Automatyzacja z głową, czyli statystyczna analiza opłacalności robotyzacji w przemyśle, logistyce i ochronie zdrowia

Marek Cwalina

Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny

e-mail: m.cwalina06@gmail.com

Małgorzata Zdrodowska

Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny

e-mail: m.zdrodowska@pb.edu.pl

DOI: 10.65731/az-2026-0037

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu była wielowymiarowa analiza wpływu procesów automatyzacji i robotyzacji na efektywność operacyjną, efektywność ekonomiczną oraz strukturę zatrudnienia w sektorach przemysłu, logistyki i opieki zdrowotnej w latach 2015–2023. Przeprowadzone badania statystyczne obaliły mit o stabilnym, liniowym wzroście wydajności wynikającym wyłącznie z wdrażania maszyn. Wykazano występowanie zjawiska korelacji pozornej między redukcją etatów a zyskami operacyjnymi, a także uwidoczniono postępujące prawo malejących przychodów, które jest szczególnie widoczne w nasyconej technologicznie branży logistycznej. Analiza dowiodła, że najwyższą rentownością jednostkową cechuje się przemysł, natomiast ochrona zdrowia wykazuje najwyższy poziom adaptacji do nowych technologii (reskillingu). Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano kluczowe ryzyka procesowe, takie jak masowa redukcja miejsc pracy, ryzyko niskiej efektywności oraz nierównomierne rozłożenie oszczędności. W celu minimalizacji tych zagrożeń, w artykule sformułowano cztery główne rekomendacje zarządcze: aktywny rozwój kompetencji pracowników (reskilling), precyzyjną selekcję optymalizowanych procesów zapobiegającą niskiej efektywności, stabilizację synergii systemowej oraz etapowe finansowanie adaptacji z wypracowanych nadwyżek.

Słowa kluczowe

automatyzacja, robotyzacja, przemysł, opieka zdrowotna, logistyka

Wstęp

Współczesny świat rozwija się pod wpływem ciągle rozwijającej się automatyzacji procesów. Jest to reforma technologiczna polegająca na zastępowaniu ludzkiej pracy fizycznej i umysłowej przez maszyny oparte na zasadzie samoregulacji. Wspomniana transformacja technologiczna posiada znaczący wpływ na kształtowanie współczesnego rynku pracy – zarówno na sytuację pracodawców i pracowników, jak i na model funkcjonowania samych przedsiębiorstw.

Celem artykułu jest wielowymiarowa analiza wpływu procesów automatyzacji i robotyzacji na efektywność operacyjną, efektywność ekonomiczną oraz strukturę zatrudnienia w przemyśle, opiece zdrowotnej i logistyce w latach 2015-2023. Praca ma za zadanie obiektywnie zaprezentować bezsporne zalety transformacji technologicznej (takie jak optymalizacja procesów, skokowy wzrost wydajności i generowanie wielomilionowych oszczędności), a jednocześnie kładzie szczególny nacisk na identyfikację i krytyczną ocenę jej negatywnych skutków, w tym gwałtownych redukcji miejsc pracy oraz narastającej luki kompetencyjnej.

Choć automatyzacja posiada wiele zalet to należy mimo wszystko przeanalizować wiele czynników aby ten proces technologiczny nie wywołał negatywnych skutków na przedsiębiorstwa, w których został przeprowadzony.

1. Przegląd literatury

Automatyzacja, rozumiana jako proces technologiczny polegający na zastępowaniu pracy ludzkiej maszynami opartymi na zasadzie samoregulacji, wywiera fundamentalny wpływ na kształtowanie współczesnego rynku pracy oraz modele funkcjonowania przedsiębiorstw. David H. Autor [2015] w swojej analizie historycznych i przyszłych uwarunkowań automatyzacji bada przyczyny utrzymującego się popytu na pracę mimo postępu technicznego. Implementacja technologii w procesach produkcyjnych pozwala na uzyskanie bezspornych zalet, takich jak optymalizacja procesów, skokowy wzrost wydajności oraz generowanie wielomilionowych oszczędności. Badania empiryczne potwierdzają, że robotyzacja jest kluczowym czynnikiem stymulującym wzrost produktywności w nowoczesnym przemyśle.

Z drugiej strony, transformacja ta niesie ze sobą istotne zagrożenia, w tym ryzyko gwałtownych redukcji miejsc pracy oraz narastającej luki kompetencyjnej. B. Zinczuk [2021] wskazuje, że automatyzacja i robotyzacja stanowią obecnie jedno z najważniejszych wyzwań dla stabilności rynku pracy, wpływając na sytuację zarówno pracodawców, jak i pracowników. W analizach statystycznych doty-

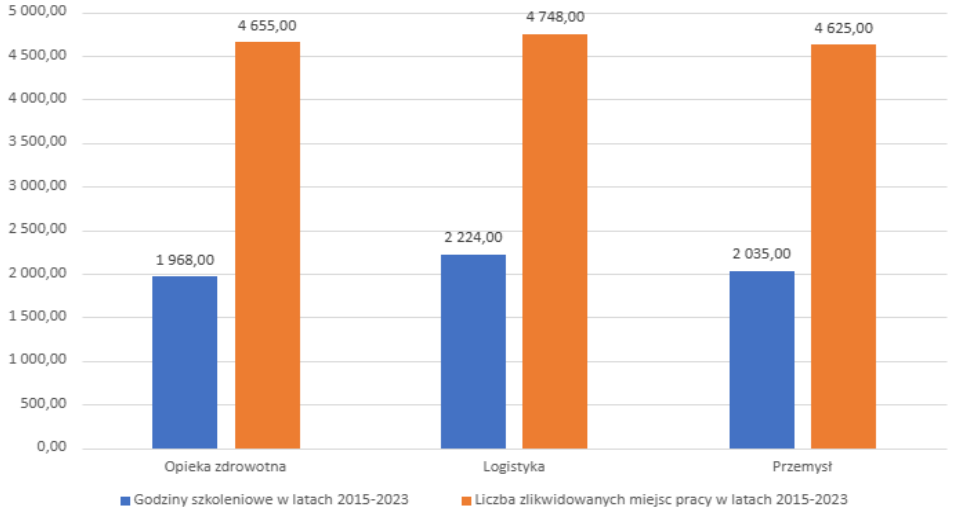
czących opłacalności tych procesów kluczowe jest unikanie błędów interpretacyjnych związanych z występowaniem korelacji pozornych. George U. Yule [1926] już w ubiegłym wieku ostrzegał przed wyciąganiem błędnych wniosków z szeregów czasowych, które mogą sugerować istnienie zależności tam, gdzie ich nie ma. Podstawą do weryfikacji tych zjawisk w sektorach przemysłu, medycyny i logistyki są precyzyjne dane operacyjne, zawarte m.in. w zbiorze Industrial Robotics and Automation Dataset [Wanakacha, 2024].

2. Metodyka badań

Metodyka badań niniejszego opracowania opiera się na analizie ilościowej danych wtórnych zgromadzonych w zbiorze Industrial Robotics and Automation Dataset, pozyskanym z repozytorium Kaggle [Wanakacha, 2024]. Proces badawczy koncentruje się na systematycznym badaniu wskaźników procesowych opisujących skalę transformacji technologicznej w sektorach przemysłu, logistyki oraz ochrony zdrowia w ujęciu czasowym obejmującym lata 2015–2023, co pozwala na uzyskanie precyzyjnej perspektywy temporalnej dotyczącej wdrażania systemów zrobotyzowanych. W toku prac analitycznych jako kluczowe wymiary badawcze przyjęto dane liczbowe odzwierciedlające dynamikę implementacji, wyrażoną poprzez całkowitą liczbę wdrożonych jednostek robotycznych w danej branży i roku. Towarzyszące tym wdrożeniom zjawiska kadrowe analizowane są przez pryzmat wpływu socjoekonomicznego, mierzonego skalą zredukowanych miejsc pracy wynikających bezpośrednio z procesów automatyzacji. Równolegle badaniu poddano wymierne parametry efektywności ekonomicznej, w tym wolumen wypracowanych oszczędności operacyjnych wyrażonych w milionach dolarów amerykańskich (USD) oraz procentowe wskaźniki przyrostu wydajności przypisywane robotyzacji i automatyzacji w danym roku. Istotnym elementem analizy są również nakłady na rozwój kompetencji pracowników, mierzone łączną liczbą godzin szkoleniowych przeznaczonych na adaptację personelu do nowych ról i umiejętności wymaganych przez środowisko zautomatyzowane. Podstawowym instrumentem statystycznym służącym do weryfikacji siły i kierunku współzależności między tymi parametrami, takimi jak korelacja między liczbą maszyn a realnym zyskiem, jest współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Takie podejście pozwala na obiektywną identyfikację zarówno bezspornych zalet płynących z optymalizacji, jak i krytyczną ocenę negatywnych skutków w postaci narastającej luki kompetencyjnej czy występowania korelacji pozornych.

3. Wyniki badań

Najwyższy udział w ogólnym wolumenie wdrożeń odnotowano w sektorze opieki zdrowotnej (38,57%), co wskazuje na masową skalę robotyzacji w tym obszarze. Drugą pozycję zajmuje branża logistyczna (33,46%), wyprzedzając sektor przemysłowy (27,97%). Uzyskane dane empiryczne falsyfikują powszechnie przyjęte w literaturze założenie o absolutnej dominacji przemysłu w zakresie adopcji technologii, dowodząc, iż pod względem wolumenu nowych jednostek sprzętowych przewagę zyskały sektory usługowe i medyczne.

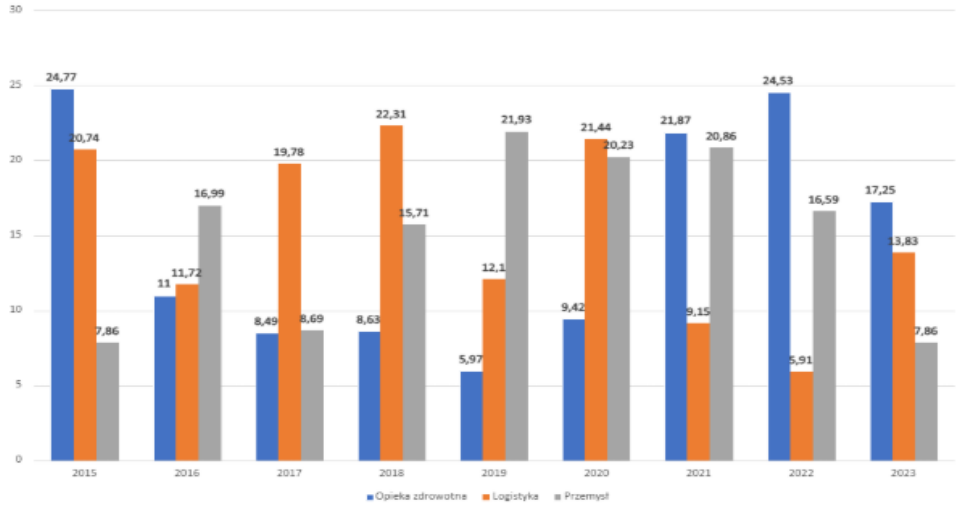


Rys. 1. Liczba godzin szkoleniowych a liczba zlikwidowanych etatów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Analiza bezwzględnej liczby zredukowanych stanowisk w zestawieniu z nakładami na szkolenia ujawnia głębokie dysproporcje w polityce zarządzania kapitałem ludzkim. Zdecydowanym liderem w zakresie inwestycji w adaptację personelu jest ochrona zdrowia, charakteryzująca się najwyższym stosunkiem czasu przeznaczonego na reskilling do liczby likwidowanych etatów. Na przeciwległym biegunie znajdują się przemysł i logistyka. W sektorach tych procesy automatyzacji korelują z masowymi redukcjami zatrudnienia przy marginalnym udziale dzia-

łań szkoleniowych. Świadczy to o implementacji modelu operacyjnego ukierunkowanego na radykalną minimalizację kosztów pracy, z pominięciem reinwestycji w rozwój kompetencji załogi.



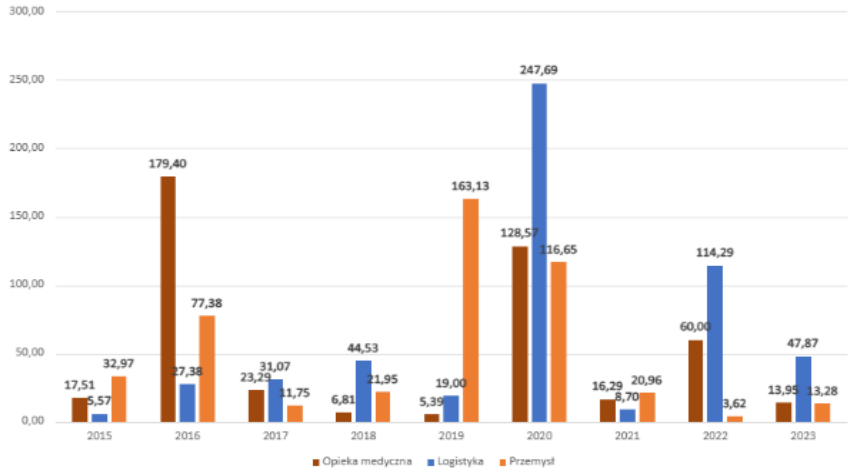
Rys. 2. Wzrost produktywności w latach 2016-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Zestawienie danych dotyczących wydajności obala hipotezę o stabilnym, liniowym przyroście produktywności w wyniku automatyzacji. Wykazano, że wzrost ten charakteryzuje się naturą falową, a poszczególne sektory wykazują odmienne cykle dojrzewania technologicznego:

- Opieka zdrowotna: Odnotowano skokowy wzrost wydajności w 2015 r. (24,77%), po którym nastąpił okres wieloletniej stagnacji (przyrosty rzędu 5–8% w latach 2017–2019). Ponowna, drastyczna maksymalizacja wskaźnika (powyżej 24%) w latach 2021–2022 stanowi efekt interwencyjnej cyfryzacji stymulowanej wymogami pandemii;
- Przemysł: Sektor ten cechuje się planowym, systematycznym cyklem wzrostowym od 2015 r., z maksimum osiągniętym w 2019 r. (21,93%). Faza po roku 2019 charakteryzuje się łagodnym spadkiem, typowym dla nasycenia procesów produkcyjnych;
- Logistyka: Mimo historycznych maksimów (22,31% w 2018 r.), sektor wykazuje najwyższy stopień niestabilności. Drastyczny spadek wskaźnika

do 5,91% w 2022 r. dowodzi, iż ciągła intensyfikacja wdrożeń maszynowych przestała generować oczekiwane zyski z tytułu optymalizacji czasu operacyjnego. Wyniki te wskazują, że najwyższa rentowność produktywności pojawia się w fazach „szoku technologicznego" oraz skutecznej integracji systemowej (np. Przemysł 4.0).



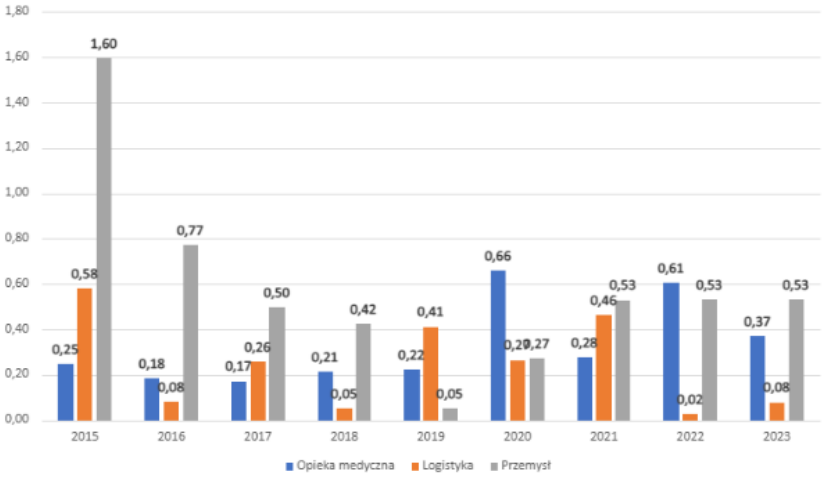
Rys. 3. Gotowość adaptacyjna a tempo automatyzacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Wskaźnik mierzący relację między dynamiką automatyzacji a nakładami na reskilling obrazuje gotowość poszczególnych branż do ponoszenia kosztów transformacji kadr:

- Logistyka: Osiągnęła najwyższą wartość wskaźnika w 2020 r. (247,69 pkt), co było wynikiem wdrożenia edukacji interwencyjnej, wymuszonej przez gwałtowne przeobrażenia łańcuchów dostaw w dobie boomu na e-commerce;
- Opieka zdrowotna: Szczyt wsparcia adaptacyjnego (179,40 pkt) odnotowano w 2016 roku, co zbiegło się w czasie z redukcją etatów administracyjnych i koniecznością pilnego przeszkolenia personelu w zakresie nowych systemów ITj;
- Przemysł: Pomimo relatywnie wysokiego wyniku w 2019 r. (163,13 pkt), wskaźnik ten wykazuje obecnie silny trend spadkowy. Zestawienie braku

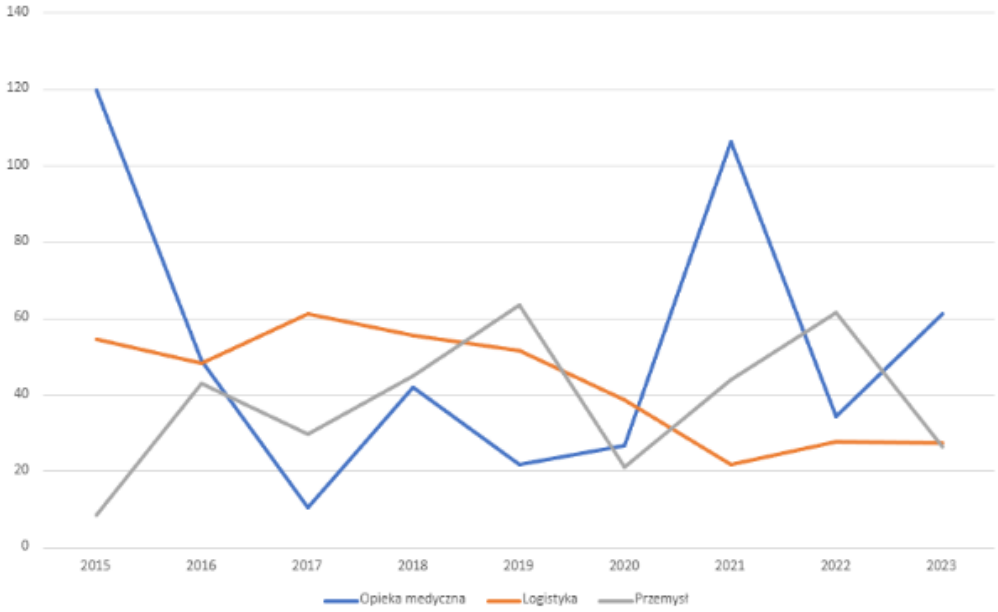
działań szkoleniowych z rekordową falą zwolnień w 2022 r. ujawnia wysokie ryzyko powstania luki kompetencyjnej w tym sektorze.



Rys. 4. Jednostkowa efektywność kosztowa wdrożeń

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Analiza generowanych oszczędności finansowych dowodzi przewagi ekonomicznej sektora przemysłowego (. Mimo najniższego udziału w ogólnym wolumenie robotów, przemysł generuje najwyższe oszczędności na pojedynczą jednostkę zautomatyzowaną (np. 1,60 mln USD w 2015 r.). W całym badanym okresie średnia efektywność kosztowa jednego robota w przemyśle wynosi 0,52 USD, deklasując opiekę zdrowotną (0,30 USD) oraz logistykę (0,23 USD). Wyniki te pozwalają sformułować tezę, iż logistyka i medycyna implementują modele automatyzacji masowej (dla procesów powtarzalnych i tanich), podczas gdy przemysł koncentruje kapitał na wysokowydajnych jednostkach zrobotyzowanych dedykowanych zadaniom krytycznym.

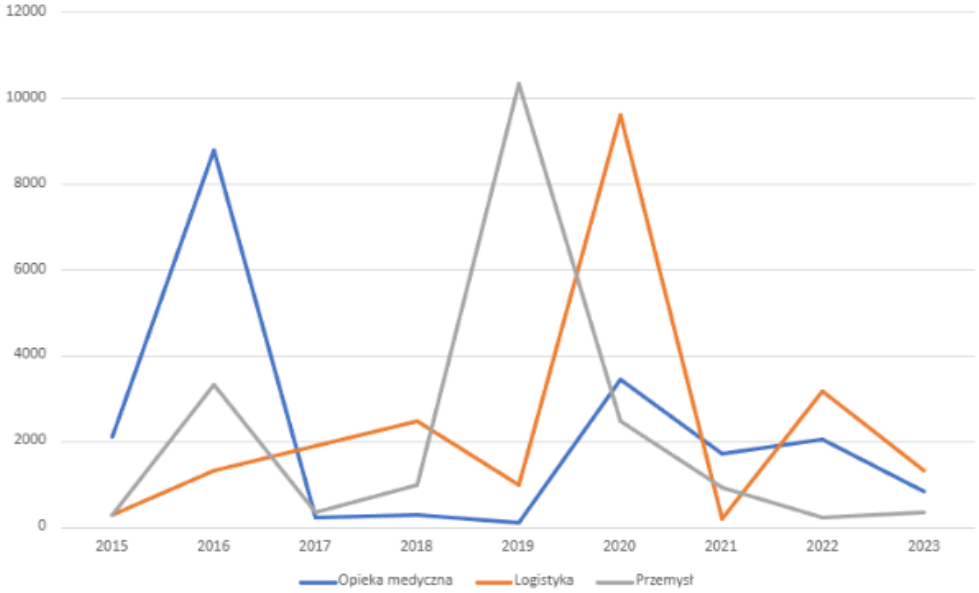


Rys. 5. Wskaźnik impulsu automatyzacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Dynamika „siły uderzeniowej" technologii (iloczyn skali wdrożeń i skoku produktywności) uwidacznia trzy odmienne modele rozwojowe:

- Model szokowy (Medycyna): Przebieg krzywej wykazuje rozwój zrywami (maksima w 2015 i 2021 r.), stanowiącymi odpowiedź na wstrząsy systemowe lub znaczące iniekcje kapitałowe;
- Model ewolucyjny (Przemysł): Zjawisko stabilnego, zaplanowanego wzrostu aż do maksimum w 2019 r., charakterystyczne dla paradygmatu Przemysłu 4.0;
- Model ulegający prawu malejących przychodów (Logistyka): Systematyczny spadek wartości wskaźnika od 2017 r. dowodzi zjawiska nasycenia technologicznego infrastruktury magazynowej.

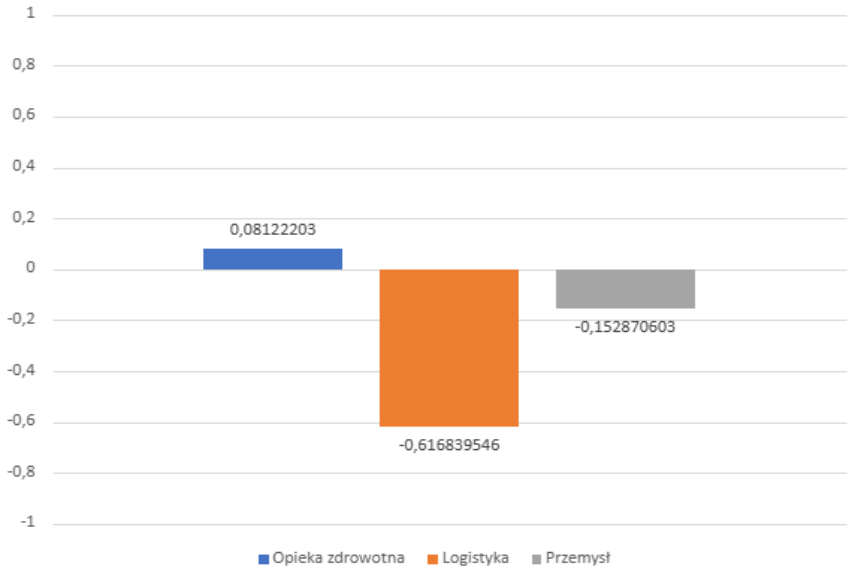


Rys. 6. Zjawisko synergii systemowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset].

Miernik synergii identyfikuje optymalny balans między wydajnością a kosztami. Badania pokazują, że maksymalna opłacalność to krótkotrwałe, 1-2 letnie „okna możliwości". Zjawisko to tłumaczy Nahavandi [2019] – systemy oparte tylko na maszynach (Przemysł 4.0) szybko się nasycają, wymuszając przejście do modelu symbiozy człowiek-maszyna (Przemysł 5.0). Historyczne maksima synergii odnotowano w:

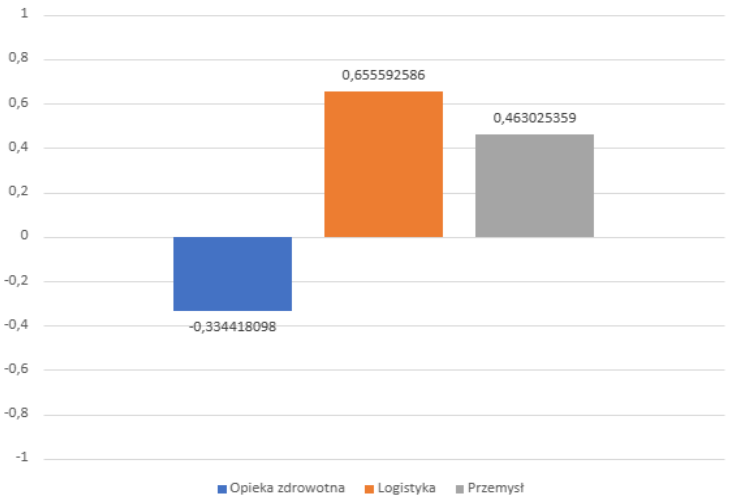
- Przemysł (2019 r.): Osiągnięto historyczne maksimum (ponad 10 000 pkt), optymalizując operacje do granic możliwości fizycznych przed wystąpieniem globalnych wzrostów kosztów stałych;
- Logistyka (2020 r.): Stan maksymalnej synergii wygenerowany przez zdolność zautomatyzowanych centrów do obsługi skokowego wzrostu wolumenu przesyłek w okresie pandemii;
- Opieka zdrowotna (2016 i 2020 r.): Okresy synergii korelują z momentami transformacji innowacyjnych procedur medycznych z fazy eksperymentalnej do rutynowej praktyki masowej.



Rys. 7. Nasycenie technologiczne a prawo malejących przychodów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset]

Analiza wykresów rozrzutu falsyfikuje założenie o występowaniu silnej, dodatniej korelacji między zwiększaniem wolumenu robotów a liniowym wzrostem prędkości procesów. Obserwowane w analizie korelacje są słabe, a w specyficznych przypadkach ujemne. Potwierdza to występowanie prawa malejących przychodów – w sektorach takich jak logistyka, infrastruktura ulega nasyceniu. Dalsza implementacja maszyn prowadzi do powstawania wąskich gardeł (kolejkowanie maszyn), niedoboru kadr technicznych oraz nieproporcjonalnego wzrostu kosztów utrzymania względem uzyskiwanych zysków operacyjnych.



Rys. 8. Identyfikacja korelacji pozornej w zarządzaniu kosztami

Źródło: opracowanie własne na podstawie [https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/industrial-robotics-and-automation-dataset]

Badanie wykazało istnienie silnej korelacji statystycznej między liczbą zredukowanych stanowisk pracy a wolumenem wygenerowanych oszczędności operacyjnych). Analiza jakościowa tego zjawiska pozwala jednak na sklasyfikowanie go jako korelacji pozornej. Oszczędności przedsiębiorstwa nie są bezpośrednią konsekwencją redukcji funduszu płac. Głównym determinantem zysku jest głęboka optymalizacja procesowa (zmniejszenie awaryjności, minimalizacja odpadów, skrócenie cyklu produkcyjnego). Redukcja zapotrzebowania na pracę ludzką stanowi w tym układzie jedynie efekt uboczny wdrożenia wydajniejszej technologii, a nie przyczynę sprawczą poprawy wyników finansowych organizacji.

4. Dyskusja wyników

Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej wykazały istotne zależności pomiędzy wybranymi strategiami wdrażania automatyzacji a realnym wzrostem efektywności operacyjnej i ekonomicznej badanych przedsiębiorstw. Uzyskane rezultaty mają istotne znaczenie zarządcze, wskazując na konieczność szczególnej uwagi w obliczu identyfikowanych wad tego procesu, takich jak masowa redukcja miejsc pracy (polegająca na likwidacji stanowisk w wyniku zastępowania pracy ludzkiej przez maszyny) oraz zjawisko nasycenia technologicznego. Parametry te,

zgodnie z wynikami wcześniejszych badań [Graetz i Michaels, 2018], uznawane są za istotne czynniki prognostyczne sukcesu lub porażki transformacji cyfrowej. Nasze obserwacje potwierdzają, że organizacje z bardziej zrównoważonym podejściem – unikające bezrefleksyjnych zwolnień na rzecz inwestycji w zaawansowane jednostki – znajdują się w grupie o wyższej stabilności operacyjnej i powinny być traktowane jako wzorzec w zarządzaniu kapitałem technologicznym.

W analizie wykazano również istotny statystycznie związek pomiędzy wdrożeniem programów szkoleniowych a utrzymaniem stabilnego wzrostu produktywności. Wynik ten jednoznacznie wskazuje na konieczność intensywnego przekwalifikowania personelu. Automatyzacja wymusza na pracownikach rozwój nowych kompetencji, co wiąże się z obligatoryjnym zapewnieniem odpowiedniej liczby godzin szkoleniowych w celu ich adaptacji do nowych warunków pracy. Zależność ta jest zgodna z doniesieniami literaturowymi, które podkreślają rolę inwestycji w kapitał ludzki w zapobieganiu luce kompetencyjnej [Zinczuk, 2021]. Należy przy tym uwzględnić wysoki koszt adaptacji – proces wdrażania nowych technologii oraz równoległego szkolenia kadr wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi, które stanowią poważne obciążenie dla budżetu firmy na wczesnych etapach transformacji.

Z kolei zmienne, takie jak bezwzględna liczba wdrożonych robotów, nie wykazały bezpośredniego wpływu na liniowy wzrost rentowności, co uwypukla realne ryzyko niskiej efektywności. Istnieje bowiem wyraźne niebezpieczeństwo, że przeprowadzone z dużym nakładem wdrożenie sprzętowe nie przyniesie oczekiwanych rezultatów wydajnościowych z powodu osiągnięcia limitów optymalizacyjnych infrastruktury. Choć niektóre źródła [Autor, 2015] identyfikują zastępowanie ludzi maszynami jako główny motor zysku, przedstawione dane obaliły tę tezę, wykazując działanie prawa malejących przychodów oraz korelacji pozornej [Yule, 1926]. Co więcej, analiza zjawiska synergii ujawnia nierównomierne rozłożenie oszczędności – wygenerowane korzyści finansowe nie zawsze dystrybuują się sprawiedliwie wewnątrz struktury organizacyjnej i społecznej, często prowadząc do krótkoterminowej kumulacji kapitału kosztem stabilności zatrudnienia na niższych szczeblach.

Należy zaznaczyć, że badanie miało charakter retrospektywny i opierało się na makroekonomicznych zmiennych operacyjnych. Brak danych dotyczących specyfikacji oprogramowania sterującego oraz precyzyjnych wskaźników nastrojów pracowniczych ograniczają możliwość pełnej oceny uwarunkowań społecznych i technologicznych. Z tego względu zasadne jest przeprowadzenie dalszych badań uwzględniających szerszy kontekst organizacyjny i psychologiczny transformacji.

Pomimo ciągłego rozwoju systemów zrobotyzowanych, problem spadku wydajności na skutek nasycenia infrastruktury – szczególnie w branży logistycznej – pozostaje aktualnym wyzwaniem, co zgodnie ze swoimi badaniami nad efektami rynkowymi automatyzacji podkreślają Aghion i współpracownicy [Aghion i in., 2020]. Przedstawione w pracy wyniki wpisują się w ten kontekst, wskazując konkretne zjawiska statystyczne, które mogą służyć jako wczesne sygnały ostrzegawcze przed nieefektywną inwestycją kapitałową w praktyce inżynierskiej.

Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu była wielowymiarowa analiza wpływu procesów automatyzacji i robotyzacji na efektywność operacyjną oraz strukturę zatrudnienia w przemyśle, opiece zdrowotnej i logistyce w latach 2015–2023. Przeprowadzone badania statystyczne obaliły mit o stabilnym, liniowym wzroście wydajności generowanym przez sam fakt zakupu maszyn. Wykazano występowanie zjawiska korelacji pozornej pomiędzy redukcją etatów a zyskami operacyjnymi, a także uwidoczniono postępujące prawo malejących przychodów, szczególnie widoczne w nasyconej technologicznie branży logistycznej. Najwyższą rentownością jednostkową cechował się przemysł, z kolei ochrona zdrowia wykazała najwyższy poziom adaptacji do nowych technologii.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zidentyfikowano kluczowe ryzyka procesowe (m.in. masową redukcję miejsc pracy, ryzyko niskiej efektywności oraz nierównomierne rozłożenie oszczędności). Aby zminimalizować zagrożenia wynikające z automatyzacji, postulujemy wdrożenie modelu organizacyjnego opartego na czterech głównych wnioskach i rekomendacjach zarządczych:

1. Aktywny reskilling i zarządzanie kapitałem ludzkim. Głównym rozwiązaniem problemu masowej redukcji miejsc pracy jest intensywny rozwój kompetencji pracowników. Należy dostosować szkolenia do tempa automatyzacji poprzez ścisłe monitorowanie „Statystycznego Ekwiwalentu Adaptacji", dbając o to, by wolumen godzin szkoleniowych pozostawał proporcjonalny do skali wdrożeń maszynowych.
2. Precyzyjna selekcja procesów (zapobieganie niskiej efektywności). Aby wyeliminować ryzyko niskiej wydajności sprzętowej i nasycenia infrastruktury, firmy muszą odejść od automatyzacji ilościowej na rzecz jakościowej. Inwestycje powinny być kierowane tam, gdzie monitorowana „Efektywność kosztowa na jedną jednostkę zautomatyzowaną" osiąga najwyższe wartości.

3. Stabilizacja synergii systemowej. Rozwiązaniem problemu nierównomiernego rozłożenia oszczędności jest dążenie do trwałej synergii operacyjnej. Należy balansować zysk i wydajność poprzez stabilizację „Rocznego wskaźnika synergii". Dodatkowo, wdrażanie maszyn działających na zasadzie samoregulacji pozwala w długim terminie ograniczyć koszty adaptacji oraz błędy ludzkie.
4. Finansowanie adaptacji z wypracowanych nadwyżek. Wysoki koszt adaptacji kadr nie musi stanowić obciążenia dla budżetu, jeśli zostanie zaimplementowane finansowanie etapowe. Wykorzystanie bieżących rocznych oszczędności do finansowania kolejnych faz szkoleniowych pozwala zachować płynność finansową. Ponadto, stały monitoring kosztów ukrytych (szczególnie w fazach wzrostu produktywności przekraczającego 20%) gwarantuje szybszy i bezpieczniejszy zwrot z inwestycji.

ORCID iD

Małgorzata Zdrodowska: https://orcid.org/0000-0003-4383-5713

Marek Cwalina: https://orcid.org/0009-0006-5442-4679

Literatura

1. Acemoglu D., Restrepo P. (2020), *Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets*, Journal of Political Economy 128(6), 2188-2244.
2. Aghion P., Antonin C., Bunel S., Jaravel X. (2020), *DP14443 What Are the Labor and Product Market Effects of Automation? New Evidence from France*, CEPR Discussion Paper 14443, CEPR Press, Paris & London.
3. Arntz M., Gregory T., Zierahn U. (2016), *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis*, OECD Social, Employment and Migra-tion Working Papers 189.
4. Autor D. H. (2015), *Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation*, Journal of Economic Perspectives 29(3), 3–30.
5. Chui M., Manyika J., Miremadi M. (2016), *Where machines could replace humans—and where they can't (yet)*, https://tiny.pl/f5wgrtxb4
6. Flejterski S., Majewski M. (2018), *Czwarta rewolucja przemysłowa (Przemysł 4.0) a rynek pracy i edukacja*, Edukacja Ekonomistów i Menedżerów 48(2), 11-24.
7. Frey C. B., Osborne M. A. (2017), *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Technological Forecasting and Social Change* 114, 254-280.

8. Graetz G., Michaels G. (2018), *Robots at Work, The Review of Economics and Statistics* 100(5), 753–768.
9. Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0 - A Human-Centric Solution, Sustainability 11(16), 4371.
10. Wanakacha K. (2024), I*ndustrial Robotics and Automation Dataset [Dataset], Kaggle Repository*, https://www.kaggle.com/datasets/kennedywanakacha/ industrial-robotics-and-automation-dataset
11. Yule G. U. (1926), *Why do we Sometimes get Nonsense-Correlations between Time-Series? – A Study in Sampling and the Nature of Time-Series*, Journal of the Royal Statistical Society 89(1), s. 1–63.
12. Zinczuk B. (2021), *Automatyzacja i robotyzacja jako wyzwanie dla rynku pracy,* Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie 2(992), s. 103–114.

Smart Automation: A Statistical Analysis of the Cost-Effectiveness of Robotization in Industry, Logistics and Healthcare

Abstract

The aim of this article was a multidimensional analysis of the impact of automation and robotization processes on operational efficiency and employment structure in the industrial, healthcare, and logistics sectors from 2015 to 2023. The conducted statistical research debunked the myth of stable, linear productivity growth generated solely by the acquisition of machines. The study demonstrated the occurrence of a spurious correlation between job reductions and operational profits, and highlighted the progressive law of diminishing returns, which is particularly evident in the technologically saturated logistics sector. The industrial sector was characterized by the highest unit profitability, whereas healthcare exhibited the highest level of adaptation to new technologies. Based on the analysis, key process risks were identified, including mass job reduction, the risk of low efficiency, and uneven distribution of savings. To minimize these threats, the authors postulate the implementation of an organizational model based on four main managerial recommendations: active reskilling and human capital management, precise process selection (preventing low efficiency), stabilization of systemic synergy, and financing adaptation from generated surpluses.

.

Key words

automation, robotization, industry, healthcare, logistics