

Człowiek w środowisku pracy

Przyszłość jest teraz

pod redakcją Barbary Chomętowskiej,
Iwony Janiak-Rejno, Alicji Smolbik-Jęczmień
i Agnieszki Żarczyńskiej-Dobiesz



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2025

Recenzja
Alicja Miś

Redakcja wydawnicza
Aleksandra Śliwka

Korekta
Justyna Mroczkowska-Lepka

Skład i łamanie
Adam Dębski

Projekt okładki
Beata Dębska

Na okładce wykorzystano zdjęcie z zasobów 123rf.com

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2025

Publikacja dostępna na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

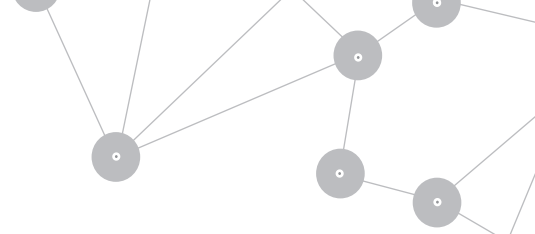


ISBN 978-83-68394-05-4 (wersja elektroniczna)

DOI: 10.15611/2025.05.4

Cytuj jako: Chomątowska, B., Janiak-Rejno, I., Smolbik-Jęczmień, A. i Żarczyńska-Dobiesz, A. (red.). (2025). *Człowiek w środowisku pracy. Przyszłość jest teraz*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

Druk i oprawa: TOTEM



3 Człowiek w innowacyjnym środowisku pracy 4.0*

Przyszłość pracy nie polega na zastępowaniu ludzi technologią, lecz na synergii ludzkich i maszynowych możliwości, tworzących nową wartość.

(Schwab, 2016)

3.1. Czwarta rewolucja przemysłowa i jej wpływ na funkcjonowanie współczesnych środowisk pracy

Przedsiębiorstwa działające we wszystkich sektorach gospodarki powinny odpowiednio szybko i skutecznie reagować na zmiany zachodzące w otoczeniu, rozumieć je, wykorzystywać innowacje organizacyjne i procesowe. W konsekwencji powinny dostosowywać wdrażane przez siebie strategie i modele biznesowe do rosnących wymagań i standardów we wszystkich obszarach swojego funkcjonowania. Ważna jest tutaj również aktywna rola państwa jako kreatora i regulatora innowacji w zmieniającym się otoczeniu, które określane jest mianem „Gospodarka 4.0” lub też zamiennie „Przemysł 4.0”. Koncepty te wywodzą się z obszarów przemysłowych i są obecnie szeroko dyskutowane również przez społeczność naukową. W publikacjach naukowych Gospodarka 4.0 stanowi uogólnienie koncepcji Przemysłu 4.0. Termin „Przemysł 4.0” pojawił się w następstwie szybkiego rozwoju technologii informatycznych i robotyki, które doprowadziły do skonstruowania nowych rodzajów zintegrowanych systemów produkcyjnych i nowej organizacji produkcji (Industry 4.0, 2024). Gospodarka 4.0 charakteryzuje się kilkoma głównymi cechami: cyfryzacją, automatyzacją, robotyzacją i algorytmizacją. Stanowią one istotę współczesnego rynku, oddziałując na różnych jego uczestników (przedsiębiorstwa, konsumentów, a także organizacje rządowe) poprzez wpływ na sposób życia oraz funkcjonowania, rodzaje i sposoby zaspokajania potrzeb, sposoby komunikacji, a także zakres i elastyczność obowiązujących regulacji prawnych (Stoma i Dudziak, 2021). Gospodarka 4.0 obejmuje pełen cyfrowy łańcuch wartości, poczynając od dostawców materiałów i komponentów potrzebnych do produkcji, przez wszystkich brokerów i dostawców niezbędnych usług, aż do ostatecznych odbiorców całej produkcji, czyli klientów końcowych: przedsiębiorców, menedżerów budynków i budowli, konsumentów, właścicieli lub menedżerów sklepów detalicznych, pracowników, obywateli, pasażerów oraz pacjentów (Cellary, 2019).

Gospodarka 4.0 z jednej strony obejmuje Przemysł 4.0 z wzajemnie współpracującymi ze sobą inteligentnymi fabrykami (*smart factory*), a z drugiej – różnorodne inteli-

* Krzysztof Nowacki, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: krzysztof.nowacki-sp@ue.wroc.pl; ORCID: 0000-0001-5805-275X

gentne środowiska¹ z wielu sektorów, takich jak: inteligentna sieć energetyczna, inteligentny transport, inteligentne budynki, inteligentna opieka zdrowotna, inteligentna hodowla itp.

Zakres Gospodarki 4.0 można sklasyfikować następująco:

- technologie 4.0 stosowane w inteligentnych fabrykach,
- technologie 4.0 stosowane do współpracy między fabrykami (inteligentnymi lub nie),
- wyprodukowane inteligentne rzeczy rozmieszczone w inteligentnych środowiskach użytkowników końcowych,
- usługi cyfrowe świadczone użytkownikom w inteligentnych środowiskach (Cellary, 2019).

Termin „Przemysł 4.0” jest niewątpliwie utożsamiany z czwartą rewolucją przemysłową, która określa gruntowne zmiany w zakresie planowania, produkcji, eksploatacji oraz serwisu systemów produkcyjnych. Pierwsza rewolucja przemysłowa polegała na wykorzystaniu energii wodnej i parowej do zmechanizowania produkcji. Podczas drugiej rewolucji dzięki energii elektrycznej została wprowadzona produkcja masowa. W trzeciej rewolucji – cyfrowej, trwającej od połowy ubiegłego wieku, wykorzystuje się elektronikę i technologie informatyczne do automatyzacji produkcji. Obecna czwarta rewolucja przemysłowa opiera się na trzeciej i charakteryzuje się fuzją technologii, która zaciera granice między sferą fizyczną, cyfrową i biologiczną. Rewolucje przemysłowe w historii gospodarczej przedstawiono na rysunku 3.1.

Revolucja	Rok	Cechy
 1	1784	Silnik parowy, mechanizacja produkcji
 2	1870	Ogniwo galwaniczne, elektryfikacja produkcji
 3	1969	Komputeryzacja procesów, systemy IT
 4	2011	Cyfryzacja procesów, świat cyberfizyczny

Rysunek 3.1. Rewolucje przemysłowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie: (Cellary, 2019, s. 48-52).

¹ Inteligentne środowiska to zaawansowane ekosystemy, które integrują technologie informacyjne i komunikacyjne w celu poprawy wydajności, bezpieczeństwa, komfortu i zrównoważonego rozwoju. Są to przestrzenie fizyczne, w których różne systemy i urządzenia są połączone i komunikują się ze sobą, tworząc sieć wzajemnie powiązanych elementów, które mogą monitorować i analizować zmiany oraz reagować na nie w czasie rzeczywistym (Cook i Das, 2007).

Przemysł 4.0 polega na transformacji produkcji, łącząc za pomocą Internetu ludzi i rzeczy w cyberfizycznym środowisku: ludzi, maszyn, systemów, procesów i usług. Generuje, zbiera, przetwarza i wykorzystuje informacje w celu poprawy innowacyjności, wydajności, produktywności i personalizacji (Cellary, 2019). Autorzy Roblek, Mesko i Krapez (2016) uważają, że celem koncepcji Przemysłu 4.0 jest osiągnięcie wyższego poziomu operacyjnego (efektywności i wydajności), a także wyższego poziomu automatyzacji procesów. Najważniejsze cechy Przemysłu 4.0 to: digitalizacja i optymalizacja procesów, personalizacja produkcji, automatyzacja, adaptacja, interakcja człowiek–maszyna, a także automatyczna wymiana danych. Według B. Ślusarczyk (2018, s. 237) Przemysł 4.0 wykorzystuje na szeroką skalę technologie internetowe, usługi cybernetyczne, automatykę przemysłową, robotykę. Ważnym czynnikiem jest także osiągnięcie odpowiedniego poziomu dojrzałości w zakresie dostępu do technologii (automatyzacji i robotyzacji), dostępu do wykwalifikowanego personelu, który będzie potrafił obsługiwać urządzenia i oprogramowanie oraz wykazywał gotowość do wewnętrznej integracji procesów z innymi ogniwami łańcucha dostaw, jak również dostępu do odpowiedniego budżetu kapitałowego (Odważny i in., 2018, s. 261). Kagermann (2014, s. 607) stwierdza natomiast, że koncepcja Przemysłu 4.0, jako czwartej rewolucji przemysłowej, przyniesie wzrost efektywności przedsiębiorstw oraz przyczyni się do powstania wielu nowych modeli biznesowych. Dodaje przy tym, że postępujące doskonalenie procesów powinno być rezultatem ewolucji procesowej przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwa powinny stale pogłębiać swoje doświadczenie technologiczne oraz projektowe i zwiększać zainteresowanie tematem innowacyjności oraz automatyzacji procesów. Lemke i Brenner (2014, s. 35) podobnie charakteryzują koncepcję Przemysłu 4.0 – jako czwarty etap rewolucji przemysłowej, który polega na rosnącym wzajemnym powiązaniu produktów (modułowość) i systemów wytwórczych (integralność). Koncentruje się również na ulepszeniu automatyzacji, elastyczności i indywidualizacji produktów. Według Androniceanu (2017, s. 61–78) Przemysł 4.0 definiuje zmiany, które wpływają na cały sektor przemysłowy.

Obecnie uważa się, że technologia i rzeczywistość cyfrowa, analityka, technologia gromadzenia danych oraz ich przechowywania i przesyłania w zdecentralizowany sposób (*blockchain*), ryzyko oraz biznes IT stanowią fundament technologiczny, na którym przedsiębiorstwa będą budować przyszłość. Można zatem przyjąć, iż z wykorzystaniem tych mechanizmów będzie się zmieniać środowisko pracy człowieka. Wprowadzenie zaawansowanych technologii oraz automatyzacja procesów prowadzą do redefinicji tradycyjnych modeli pracy. Przestrzeń robocza ulega stopniowej transformacji z fizycznych biur do hybrydowych, wirtualnych środowisk, gdzie zadania mogą być realizowane z dowolnego miejsca na świecie. Pracownicy, zamiast wykonywać powtarzalne, operacyjne zadania, coraz częściej pełnią funkcje nadzorcze, analityczne i kreatywne, nadzorując zautomatyzowane systemy i podejmując decyzje oparte na analizie danych. Wraz z tymi zmianami rośnie znaczenie elastycznych form pracy, takich jak praca zdalna i elastyczne godziny pracy, co pozwala na lepsze dostosowanie się do dynamicznie zmieniających się wymagań rynku oraz

indywidualnych potrzeb pracowników. Równocześnie środowisko pracy staje się bardziej zintegrowane, z większym naciskiem na współpracę między ludźmi a technologią. Zdolność do efektywnej komunikacji i współpracy w zespole, zwłaszcza w kontekście rozproszonych geograficznie zespołów, staje się kluczowym elementem sukcesu organizacji. Ponadto rozwój technologii wymusza stałe podnoszenie kwalifikacji pracowników, którzy muszą być przygotowani do pracy z coraz bardziej zaawansowanymi narzędziami i systemami. W efekcie zmieniające się środowisko pracy kładzie nacisk na ciągłe uczenie się i adaptację, co staje się nieodzownym elementem kariery zawodowej w erze cyfrowej (wybrane wątki przeobrażeń zachodzących w środowisku pracy zostaną omówione w kolejnych podrozdziałach).

Mimo że firmy na całym świecie wdrażają technologie Przemysłu 4.0, to stopień ich dojrzałości i zaawansowania w tym zakresie znacznie się różni. Przedsiębiorstwa znajdują się na różnych etapach rozwoju – od wstępnej fazy eksploracji technologii po zaawansowaną integrację, co prowadzi do zróżnicowanego tempa adaptacji i implementacji rozwiązań Przemysłu 4.0. Pomimo trwającej transformacji w ramach Przemysłu 4.0 coraz częściej w dyskusjach naukowych i biznesowych pojawia się koncepcja Przemysłu 5.0. Jest ona postrzegana jako kolejna faza rozwoju, w której kluczową rolę odgrywać będą współpraca człowieka z maszynami oraz zrównoważony rozwój. Podczas gdy Przemysł 4.0 skupia się na automatyzacji i efektywności, Przemysł 5.0 dąży do wzmocnienia interakcji między ludźmi a technologią, z naciskiem na indywidualizację produkcji, humanizację procesów technologicznych oraz większe uwzględnienie wartości społecznych i ekologicznych. Człowiek zajmuje centralne miejsce w procesie produkcyjnym, odgrywając rolę kreatywnego partnera dla maszyn, co otwiera nowe możliwości i wyzwania dla przedsiębiorstw (Aquilani i in., 2020; De Felice i in., 2021).

Równoległe funkcjonowanie Przemysłu 4.0 i powstającego Przemysłu 5.0 wskazuje na dynamiczny rozwój technologiczny oraz ewolucję oczekiwań społecznych i rynkowych. Przedsiębiorstwa, które dążą do utrzymania konkurencyjności, muszą nie tylko opanować technologie Przemysłu 4.0, ale także przygotować się na kolejne etapy tej rewolucji, angażując się w dialog na temat przyszłości pracy, zrównoważonego rozwoju i roli technologii w społeczeństwie (Rame i in., 2023).

3.2. Charakterystyka środowiska pracy 4.0

Środowisko pracy 4.0 to nowoczesne, zintegrowane ekosystemy pracy, które są kształtowane przez zaawansowane technologie cyfrowe i automatyzacyjne, będące fundamentem Przemysłu 4.0. Nowoczesne środowiska pracy w przedsiębiorstwach wykorzystujących koncepcję Przemysłu 4.0 można scharakteryzować jako te, które w sposób bezpośredni lub pośredni związane są z funkcjonowaniem procesów, ich technologiczną organizacją, zaopatrzeniem, technicznymi uwarunkowaniami, serwisem czy też logistyką. Analizując determinanty kształtujące środowisko pracy z zastosowaniem elementów koncepcji Przemysłu 4.0, należy dodatkowo zastanowić się nad jego powiązaniem z czynnikami automatyzacji, cyfryzacji i robotyzacji procesów. Ro-

botyzacja i automatyzacja stanowisk pracy w dobie Przemysłu 4.0 to procesy, które mają na celu zmianę postrzegania i funkcjonowania nowoczesnych (inteligentnych) przedsiębiorstw (Kaczmarek i in., 2023, s. 9). Ponadto wiążą się one najczęściej z zainstalowaniem w procesach różnego rodzaju technicznych manipulatorów, robotów i urządzeń towarzyszących, takich jak: podajniki, palety, magazyny produktów, w celu wykonywania operacji procesu z ograniczonym udziałem lub bez udziału człowieka. Dodatkowo automatyzacja procesów polega na stosowaniu urządzeń do zbierania i przetwarzania informacji, podejmujących działania poznawcze, intelektualne i decyzyjne, wykonywane dotąd przez człowieka w trakcie użytkowania danego obiektu lub w trakcie prac twórczych (np. projektowania, konstruowania, uczenia się). Cyfryzacja natomiast oznacza działania mające na celu zastępowanie urządzeń, których działanie opiera się na technice analogowej, układami cyfrowymi oraz działaniami polegającymi na przetwarzaniu, przesyłaniu i gromadzeniu w pamięci sygnałów cyfrowych (PWN, b.d.).

Analizując powyższe definicje, można wyodrębnić kilka dodatkowych czynników wpływających na organizację i funkcjonowanie współczesnych środowisk pracy. W tym kontekście kluczową rolę odgrywają cyberfizyczne systemy (*Cyber-Physical Systems* – CPS), będące otwartymi systemami socjotechnicznymi, które integrują różnorodne technologie i pozwalają na elastyczne dostosowanie do zmieniających się warunków produkcji i logistyki. Są one wyposażone w czujniki zbierające dane procesowe, mechanizmy przetwarzania tych danych oraz mają możliwość realnego oddziaływania na istniejące procesy. Dodatkowo systemy te umożliwiają sieciowe połączenia z innymi produktami i środowiskami pracy oraz wspierają wymianę informacji między człowiekiem a maszyną (Bundesministerium..., 2013). Warto również zaznaczyć, że CPS, jako systemy socjotechniczne, wpływają na aspekty społeczne środowiska pracy 4.0, takie jak struktura pracy, wymagane umiejętności pracowników, a także ich bezpieczeństwo i zdrowie. Automatyzacja i cyfryzacja procesów prowadzą do zmiany ról pracowników z naciskiem na większe kompetencje cyfrowe i umiejętność współpracy z zaawansowanymi technologiami (Kusiak, 2018).

W ujęciu socjologicznym celem wdrożenia robotyzacji i automatyzacji procesów wytwórczych jest zastępowanie ludzi maszynami. W ten sposób możliwe będzie efektywniejsze wykorzystanie potencjału ludzkiego, który obecnie dynamicznie zmienia się w kierunku współpracy człowieka z maszyną (poprzez np. nadzór nad maszyną). W rezultacie może to istotnie przyczynić się do wzrostu efektywności realizowanych procesów. Obserwując w ostatnich latach znaczący wzrost robotyzacji oraz automatyzacji w organizacjach, można przyjąć, iż również w przyszłości czynniki te będą odgrywać znaczącą rolę. Co więcej, można założyć, iż będzie następować łączenie zautomatyzowanych oraz zrobotyzowanych procesów w globalne sieci, które będą w ten sposób bardziej sprawne i efektywne. Dzięki zastosowaniu wskazanych rozwiązań wspomaganych technologiami cyfrowymi zmieni się nie tylko podejście do realizowania pojedynczych procesów, lecz także do zarządzania wszystkimi procesami wytwórczymi. Rezultatem wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 będzie stopniowe

zastępowanie tradycyjnych procesów i metod liniowych zarządzania procesami oraz metodami nieliniowymi czy wręcz rozproszonymi, o rozbudowanej sieci zależności. Dzięki temu procesy wytwórcze staną się bardziej elastyczne, spersonalizowane oraz mniej kosztowne. Nowo tworzone procesy wytwórcze będą złożone z autonomicznie działających podsystemów, które charakteryzować się będą możliwościami zmiany swojej struktury oraz funkcji.

Wśród zalet wdrożenia automatyzacji i robotyzacji procesów najczęściej wymienia się:

- większą wydajność linii produkcyjnej przy zachowaniu dużej powtarzalności procesu,
- zmniejszenie kosztów operacyjnych przedsiębiorstwa,
- zapewnienie ciągłości procesu,
- wzrost bezpieczeństwa pracowników,
- eliminację błędów wywołanych czynnikiem ludzkim,
- możliwość szybkiego dostosowywania się do zmiany produkowanego asortymentu,
- zapewnienie terminowości oraz wysokiej jakości dostarczanych produktów,
- relatywnie małą przestrzeń zajmowaną przez stanowisko produkcyjne,
- możliwość pracy w trudnych warunkach (np. w niskiej temperaturze),
- dobry wizerunek firmy (Kwapisz i Majewski, 1992).

Organizację o znacznym stopniu zaawansowania związanego z wdrożeniem koncepcji Przemysłu 4.0 określa się mianem inteligentnej fabryki. Definiuje się ją jako niezależną fabrykę, wyposażoną w nowoczesne technologie, systemy, czujniki, zorientowaną na wsparcie ludzi podczas wykonywania swoich zadań oraz procesów. Jest to zbiór systemów, które są w pełni zintegrowane i interoperacyjne oraz mogą pracować w czasie rzeczywistym w odpowiedzi na zmieniające się wymagania klientów oraz zmiany w wielkości zapotrzebowania i łańcuchu dostaw (Chien i in., 2017). Istota funkcjonowania inteligentnej fabryki skupia się wokół komunikacji pomiędzy technicznymi systemami operacyjnymi a urządzeniami peryferyjnymi, zwanymi Internetem rzeczy (*Internet of Things* – IoT). Monitoruje ona również obiekty fizyczne oraz procesy, aby opracować wirtualną kopię danych z tych procesów, co w znaczący sposób ułatwia podejmowanie decyzji, które mogą być podejmowane zdalnie. Procesy decyzyjne w inteligentnych fabrykach opierają się na globalnych sieciach współpracy w zakresie logistyki, produkcji, handlu, kadr, a klienci mają możliwość wzajemnego oddziaływania w sposób wirtualny. Inteligentną fabrykę cechuje szybkość dostosowania się do zmian na rynku, co umożliwia produkcję towaru w małych partiach, które są przystosowane do potrzeb klientów, w skuteczny i efektywny sposób (Wang i in., 2016). Warto zaznaczyć, że inteligentna fabryka charakteryzuje się doskonałym przepływem informacji, umiejętnością i łatwością dostosowania się do różnych wymagań, wysokim poziomem bezpieczeństwa danych oraz uwzględnianiem uwag swoich klientów. Organizacja taka jest wyposażona w zdecentralizowany system decyzyjny, który potrafi samodzielnie podejmować decyzje i reagować na aktualne warunki.

W rezultacie wskutek zastosowania nowoczesnej technologii, automatyzacji oraz robotyzacji widoczna jest duża zmienność procesu, częste przebrojenia produktów, krótkie cykle produkcyjne oraz znaczne przyspieszenie procesów wytwórczych.

Zmiany zachodzące w przedsiębiorstwach obejmują m.in. wymagania klientów, projektowanie, rozwój i wytwarzanie produktów oraz inżynierię ułatwiającą ponowne wykorzystanie produktu (Wang i in., 2016). Warunkiem efektywnego funkcjonowania inteligentnej fabryki jest wysoki poziom umiejętności pracy zespołowej (Liu, 2015). Ważna jest także decentralizacja, wymagana przede wszystkim ze względu na rosnący popyt na produkty niestandardowe, co utrudnia centralne zarządzanie procesami. Rozpoczęcie transformacji przedsiębiorstwa wymaga od niego odpowiedniego poziomu dojrzałości procesowej oraz cyfrowej. Istotny jest również dostęp do technologii, do wykwalifikowanej kadry, która będzie potrafiła obsługiwać urządzenia i oprogramowanie. Oczekuje się również umiejętności agregacji danych powtarzalnego procesu produkcyjnego, gotowości do wewnętrznej integracji procesów oraz dostępu do odpowiedniego budżetu kapitałowego (Odważny i in., 2018).

Nowoczesne środowisko pracy, oparte na koncepcji Przemysłu 4.0, wymaga odpowiedniej infrastruktury sieciowej, zastosowania inteligentnych sterowników, oprogramowania analitycznego ze zintegrowanym systemem informatycznym, jak również wykorzystania nowych technologii, w tym: IoT, chmury danych, technologii przetwarzania dużej ilości danych (big data) oraz technologii sztucznej inteligencji (Hermann i in., 2016). Dodatkowo podkreśla się znaczenie komunikacji między maszynami (M2M) oraz między maszynami a ludźmi (HMI), które stanowią fundament efektywnego funkcjonowania środowiska Przemysłu 4.0, umożliwiając szybkie reakcje na zmiany oraz proaktywne zarządzanie produkcją. Równie ważna jest integracja organizacyjna, zarówno wewnętrzna, jak i zewnętrzna, która jest nieodzownym elementem nowoczesnego środowiska pracy. Wewnętrzna integracja dotyczy harmonizacji procesów i komunikacji w obrębie organizacji, co sprzyja lepszemu przepływowi informacji i współpracy między działami. Zewnętrzna integracja odnosi się natomiast do współpracy z partnerami biznesowymi, dostawcami i klientami, co jest kluczowe dla elastyczności i adaptacji na dynamicznie zmieniającym się rynku.

Podsumowując, należy stwierdzić, że Przemysł 4.0 niesie ze sobą znaczące zmiany w kształtowaniu nowoczesnego środowiska pracy, gdzie integracja technologiczna i organizacyjna jest kluczem do osiągnięcia wysokiej efektywności i konkurencyjności. Odpowiednia infrastruktura sieciowa, wsparta przez zaawansowane technologie, pozwala na tworzenie inteligentnych i zwinnych systemów produkcyjnych, które są w stanie sprostać wyzwaniom współczesnego rynku.

3.3. Miejsce i rola człowieka w środowisku pracy 4.0

Transformacja cyfrowa, będąca kluczowym elementem rozwoju Gospodarki 4.0, dąży do wyposażenia systemów cyberfizycznych w odpowiedni stopień autonomii, co wiąże się z uczynieniem tych systemów nie tylko bardziej inteligentnymi, ale również bardziej wydajnymi, efektywnymi i zdolnymi do współpracy z człowiekiem. W rezultacie tego procesu zmienia się rola człowieka w systemach produkcyjnych. Tradycyjna rola operatora urządzeń ustępuje miejsca roli nadzorca autonomicznych systemów kontrolowanych przez sztuczną inteligencję, co wymaga od pracowników zaawansowanych kompetencji w zakresie nadzoru nad autonomicznymi decyzjami podejmowanymi przez te systemy. Pracownicy muszą nie tylko umieć zarządzać autonomicznymi systemami, ale również współpracować z systemami informatycznymi oraz robotami, co wymaga od nich między innymi wysokiego poziomu znajomości technologii i rozwiązań informatycznych, rozwiniętych umiejętności analitycznych, dużej elastyczności i otwartości na zmiany oraz umiejętności współpracy z innymi (Cellary, 2019; Parasuraman i in., 2000).

Rozwój Przemysłu 4.0 w znacznym stopniu zmienia tradycyjne relacje między człowiekiem a maszyną, redefiniując ich role i wzajemne interakcje. W środowisku pracy 4.0 człowiek i maszyny mogą funkcjonować w trzech głównych rolach. Pierwszą z nich jest rola operatora, gdzie człowiek bezpośrednio steruje maszynami, kontrolując ich działanie i podejmując decyzje operacyjne. Drugą rolą jest wsparcie, w której maszyny służą do zastępowania lub wspomagania wydolności człowieka. Trzecią i najbardziej zaawansowaną rolą jest rola konkurenta, w której maszyny osiągną poziom autonomii pozwalający im na samodzielne podejmowanie decyzji i wykonywanie zadań, które tradycyjnie były zarezerwowane dla człowieka (Łaszczyca, 2017). Kluczowe wyzwania w tym zakresie obejmują problemy związane z wzajemnym dostosowaniem się człowieka i maszyny, zastępowaniem pracy ludzkiej przez maszyny, rosnącą rolę przetwarzania informacji oraz przekraczaniem biologicznych ograniczeń ciała człowieka. Postęp technologiczny znacząco zmniejsza przewagę człowieka we wszystkich aspektach oprócz działań twórczych. Wpływa to na sposób, w jaki człowiek steruje maszynami. Uległ on zmianom – od bezpośredniego, fizycznego kontaktu z maszyną i środowiskiem do sterowania ułatwionego przez urządzenia wspomagające oraz tzw. systemy typu *fly-by-wire*, w których między człowiekiem a maszyną pośredniczy komputer. Układy takie charakteryzują się różnym stopniem autonomiczności względem decyzji człowieka, chociażby przez wykorzystanie systemów automatycznego parkowania czy autopilotów (Parasuraman i in., 2000). Nowością jest symulacja fizycznych oddziaływań na ciało operatora poprzez urządzenie, jakim są przykładowo rękawice kinestetyczne (Jadhav i in., 2017). Popularnymi rozwiązaniami technicznymi do sterowania maszynami są makromanipulatory (np. dźwigi), telemanipulatory i mikromanipulatory działające w skali mikronów. Praktyczne znaczenie ma sterowanie bioniczne, wykorzystujące rejestrację czynności bioelektrycznej nerwów i mięśni podczas symulacji ruchu. Stosuje się je w bionicznych protezach i egzoszkieleciech (Łaszczyca, 2017).

Kolejnym istotnym aspektem jest zmiana struktury kompetencji wymaganych na rynku pracy. W miarę jak gospodarka przechodzi z fazy przemysłowej do fazy informacyjno-cyfrowej, zmniejsza się udział pracowników w tradycyjnych sektorach przemysłowych – na rzecz tych zatrudnionych w sektorach związanych z technologią i przemysłem informatycznym. Autorzy Odważny i in. (2018, s. 263) wyróżnili trzy fazy rozwoju przedsiębiorstwa innowacyjno-cyfrowego. Pierwszą fazę określono jako wstępną, drugą nazwano dojrzałością niepełną, trzecią zaś dojrzałością pełną, określaną mianem *smart factory*. W pierwszej kluczowe znaczenie mają kompetencje związane z bezpośrednim zaangażowaniem człowieka w zachodzące procesy. W tej fazie zespoły składają się z wykwalifikowanych osób, które w dużej mierze pracują zespołowo i współpracują między sobą. Z kolei w drugiej fazie następuje stopniowa transformacja tradycyjnych kompetencji (operacyjnych, przywódczych) w kompetencje analityczne oraz nadzorcze. Faza trzecia największe znaczenie nadaje kompetencjom związanym z zarządzaniem złożonymi systemami technologicznymi, analizą big data oraz optymalizacją procesów produkcyjnych. Pracownicy w tej fazie są przede wszystkim ekspertami, którzy specjalizują się w monitorowaniu i optymalizacji samoorganizujących się procesów produkcyjnych. Ich zadania obejmują nadzór nad zaawansowanymi systemami autonomicznymi oraz reagowanie na wyjątkowe sytuacje, które wykraczają poza standardowe scenariusze działania tych systemów. Podkreślić należy również znaczenie kompetencji przywódczych podczas realizacji projektów inżynierskich, które szczególnie dotyczą osób odpowiadających za projekty strategiczne przedsiębiorstwa. Wskazuje się, że podstawowe kompetencje osób zarządzających projektami inżynierskimi nie są związane z kompetencjami technicznymi. Wręcz przeciwnie – są to umiejętności zarządzania ludźmi i zespołami projektowymi oraz skutecznego i efektywnego komunikowania się (Stallworthy i Kharbanda, 1995). Co więcej, twierdzi się, iż kompetencje takie jak: skuteczne negocjowanie, motywowanie i przewodzenie zespołowi, zdolności kierownicze i przywódcze, trudno będzie zastąpić technologią informatyczną (Kirkland, 2014).

W ramach koncepcji Przemysłu 4.0 przedsiębiorstwa przyszłości będą wyposażone w zintegrowane możliwości obliczeniowe i komunikacyjne, które wpłyną zarówno na komunikację maszyna–maszyna (M2M), jak i na interakcje między ludźmi a technologią. Zmienia się zarówno zakres zadań, jak i kwalifikacje ludzi, ponieważ procesy produkcyjne coraz częściej mogą być zarządzane bez bezpośredniej ingerencji człowieka. Podstawowym zadaniem ludzi będzie określenie strategii produkcji i monitorowanie jej wdrażania w ramach samoorganizujących się procesów produkcyjnych. Klasyczne stanowiska pracy będą tracić na znaczeniu ze względu na rozległą dostępność informacji. Procesy podejmowania decyzji i monitorowania mogą odbywać się zarówno bezpośrednio na miejscu, jak i zdalnie (Gorecky i in., s. 525-526). Zależności pomiędzy ludźmi a maszynami polegają głównie na programowaniu maszyn przez człowieka do wykonania określonego zadania lub do kontroli procesu. Dzięki takiemu rozwiązaniu stosowanie autonomicznych maszyn i robotów w procesach wytwór-

czych ma szczególne znaczenie ekonomiczne, ponieważ zmniejsza stosunek nakładów programistycznych do czasu produkcji (Naumann i in., 2014, s. 509-510).

Analizując literaturę przedmiotu, w szczególności dotyczącą roli człowieka w innowacyjnym przedsiębiorstwie 4.0, można stwierdzić, iż kompetencje pracownicze ulegają dużym zmianom. Przeważają kompetencje analityczne oraz kontrolne. Dodatkowo w przedsiębiorstwach, w których stosuje się koncepcję Przemysłu 4.0, zmieniają się ich struktury organizacyjne, dostosowując je do automatyzowanych procesów wytwórczych. Eliminuje się niektóre stanowiska produkcyjne oraz logistyczne. Pracownicy zaś w sposób zdalny monitorują proces. Przedsiębiorstwa wykazują duże zapotrzebowanie na stanowiska związane z informatyką, elektroniką, automatyką oraz mechanizacją maszyn.

3.4. Zagrożenia oraz wyzwania środowiska pracy 4.0

Wraz z wdrażaniem technologii Przemysłu 4.0 zmienia się środowisko pracy oraz pojawiają się różnej natury zagrożenia i jednocześnie wyzwania w obszarze jego kształtowania. Są one związane między innymi z bezpieczeństwem pracy, z samymi technologiami oraz ze zmianami w organizacji pracy i sposobie jej wykonywania (Badri i in., 2018).

Wśród zagrożeń powstających w materialnym środowisku pracy, związanych ze stosowaniem nowych technologii, najczęściej wymienia się możliwość awarii technicznych i błędów w oprogramowaniu oraz użytkowaniu robotów współpracujących, które mogą prowadzić do wypadków przy pracy (Vasic i Billard, 2013). Należy jednak podkreślić, że liczba wypadków powodowanych przez roboty jest relatywnie niska, co pozwala wnioskować, że wykorzystanie robotów przyczyni się z dużym prawdopodobieństwem do redukcji ogólnej liczby wypadków w środowisku pracy (Moore, 2019). Zwraca się też uwagę, że technologie mogą stwarzać nie tylko zagrożenie wypadkami, lecz także zagrożenia elektryczne i termiczne oraz powodować zwiększone narażenie na hałas, wibracje, promieniowanie i substancje chemiczne (Murashov i in., 2016).

Zmiany w zakresie zadań realizowanych przez ludzi sprawiają, że bardziej widoczne stają się zagrożenia w psychospołecznym środowisku pracy. Wśród nich wymienia się: przeciążenie psychiczne i intensyfikację pracy, utratę poczucia kontroli nad tempem, harmonogramem i sposobem wykonywania pracy, a także ograniczenie inicjatywy i kreatywności pracowników (Vogl i in., 2019). Za istotne zagrożenie związane z wdrażaniem technologii Przemysłu 4.0 można uznać także niepewność zatrudnienia i związany z nią stres. W prowadzonych badaniach podkreśla się, że jednym z następstw postępującej automatyzacji i cyfryzacji będzie utrata pracy przez osoby o niskich kwalifikacjach oraz konieczność ciągłych szkoleń w celu podnoszenia kwalifikacji personelu (Pawłowska, 2021).

Poprawę bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracujących można osiągnąć dzięki zastąpieniu ludzi przez roboty współpracujące (coboty) przy wykonywaniu prac

w warunkach szkodliwych i uciążliwych dla zdrowia (np. przy prostych i rutynowych zadaniach, które powodują zmęczenie, problemy z układem mięśniowo-szkieletowym, a także znudzenie powtarzalną pracą). Jest to możliwe również dzięki zastosowaniu nowych technologii do monitorowania zagrożeń w środowisku pracy i samopoczucia pracowników (np. nagłych anomalii, takich jak: upadek lub zmiany poziomu stresu) oraz stanu sprzętu, maszyn i urządzeń (Podgórski, 2017).

Postępująca ewolucja organizacji oraz środowisk pracy, informatyzacja, robotyzacja i automatyzacja niosą ze sobą wiele wyzwań. Za najważniejsze należy uznać podatność systemów zarządzania produkcji oraz systemów sterujących maszynami na cyberataki. Dlatego bardzo ważną kwestią jest zapewnienie bezpieczeństwa realizacji procesów produkcyjnych oraz przepływu informacji. Cyberataki mogą być powodowane chęcią uzyskania korzyści majątkowych przez oddziaływanie na procesy produkcyjne i generowanie strat przedsiębiorstwa. Przyczyny tych zagrożeń można rozważać w kategoriach występowania:

- dostępu do systemów sterowania maszynami i urządzeniami oraz potrzeb ich programowania,
- stosowania na szeroką skalę i udostępniania bibliotek programowych podczas opracowywania programów sterujących,
- unifikacji komunikacyjnych standardów informatycznych i przemysłowych,
- pełnej integracji systemów informatycznych przedsiębiorstwa z systemami przemysłowymi,
- integracji wewnętrznych systemów informatycznych z systemami zewnętrznymi klientów i dostawców,
- technologii, która jest używana do zdalnego monitorowania i obsługi maszyn oraz urządzeń (Kaczmarek i in., 2023, s. 10).

Istotnymi wyzwaniami w zarządzaniu środowiskiem pracy 4.0 są działania związane z ograniczaniem i kontrolą ryzyka związanego z wdrażaniem i funkcjonowaniem nowych rozwiązań technologicznych. Pierwszy rodzaj działań to czynności związane z unikaniem oraz eliminowaniem zagrożeń. Drugi dotyczy natomiast minimalizowania zagrożeń dzięki zastosowaniu środków: technicznych, organizacyjnych i ochrony indywidualnej. Istotne są również działania zmierzające do promowania bezpiecznych zachowań pracowników, a także wsparcie kadry kierowniczej i zaangażowanie pracowników w obszarze dokonywania analizy ryzyka zawodowego na swoich stanowiskach pracy (Gralewicz, 2015). W zakresie technicznych aspektów funkcjonowania środowiska pracy 4.0 większość prac koncentruje się na wdrażaniu bezpieczniejszych metod wytwarzania, a także udoskonalaniu stosowanych środków ochrony indywidualnej. Producenci maszyn i urządzeń w celu zwiększania bezpieczeństwa użytkownika stosują zabezpieczenia, aby odseparować człowieka od zagrożeń. Co więcej – działają, zanim pracownik znajdzie się w strefie zagrożenia. Równie ważnym elementem jest komfort człowieka. Jego brak lub niski poziom może prowadzić do niestosowania przez człowieka środków ochrony indywidualnej. Dodatkowo brak stosowania środ-

ków ochrony osobistej może następować wskutek niewłaściwego monitorowania parametrów ochronnych lub błędnych decyzji oraz poleceń (Gralewicz, 2015).

W prowadzonych badaniach nad wpływem nowoczesnej technologii na środowisko pracy przedsiębiorstw wskazuje się, że w dalszym ciągu ostrożnie oraz zachowawczo podchodzą one do wdrożeń, bojąc się zaburzenia dotychczasowych, sprawdzonych sposobów funkcjonowania. Obawiają się, że ograniczają ich możliwości finansowe, brak odpowiednich specjalistów w zespole, a także niewystarczająca własna wiedza o inicjatywach cyfrowych. Niestety, nie nadążają za coraz bardziej nowatorskimi technologiami, które wydają się im zbyt drogie i niedostępne. Dodatkowo stwierdza się, że bardzo mało organizacji dysponuje innowacyjnymi narzędziami lub myśli o ich wdrożeniu w sposób strategiczny i długoterminowy. Dla porównania przedsiębiorstwa zaawansowane koncepcyjnie i innowacyjnie deklarują, że zwiększają swoją efektywność nie tylko w aspekcie ekonomicznym, lecz również w znaczeniu społecznym, zarządzaniu talentami czy w inwestycjach technologicznych. Dlatego w kontekście zmian środowiska pracy w koncepcji Przemysłu 4.0 ważne jest ciągle likwidowanie powstających barier techniczno-organizacyjnych jej wdrażania, takich jak: bariery mentalne, edukacyjne, finansowe i związane z zagrożeniami, jakie niesie nowa rewolucja w przemyśle, chociażby ryzykiem cybernetycznym. Podkreśla się również potrzebę szkolenia wszystkich pracowników, potrzebę budowania odpowiednich relacji w zespołach oraz zatrzymywania talentów pracowniczych (PWC, 2018).

Podsumowując rozważania dotyczące środowiska pracy 4.0, należy stwierdzić, że znacząco się ono zmienia, zwłaszcza pod wpływem zastosowania nowoczesnych technologii, które w pewnych obszarach zastępują człowieka, a jednocześnie pomagają mu w wykonywaniu pracy. Niektóre kompetencje pracownicze mogą zostać w pełni wyeliminowane, jak np. kompetencje bezpośrednio produkcyjne. Inne z kolei będą zyskiwały na znaczeniu, jak np. kompetencje kontrolno-analityczne. Zwiększa się w dużym stopniu zapotrzebowanie na kompetencje i umiejętności z dziedzin informatycznych, elektronicznych oraz mechanicznych. Rola kierownictwa może również ulec zmianie pod wpływem możliwości bezpośredniej komunikacji poprzez systemy informatyczne. Ponadto wskazuje się na dużą złożoność i trudność funkcjonowania środowiska pracy 4.0. Wymienia się tutaj dużą liczbę zagrożeń oraz wyzwań, chociażby związanych z bezpieczeństwem pracy lub bezpieczeństwem przechowywanych danych. Innowacje technologiczne wiążą się z wydatkami związanymi z technologią wytwarzania, sprzedażą (czyli monitorowanie rynku, personalizacja produktów, szukanie nowych kanałów dystrybucji) oraz ludźmi (czyli zatrudnienie wysoko wykwalifikowanych specjalistów, szkolenia personelu). Jednak dobrze zaplanowane działania stają się działaniami opłacalnymi, choć rzadko tanimi. Kluczem do optymalizacji związanych z nimi kosztów może okazać się długoterminowy oraz szczegółowy plan wdrożenia, który zawiera szereg krótkich i szybkich wdrożeń pilotażowych oraz doskonalenie zastosowanych rozwiązań. Promuje się ewolucyjne podejście do wdrożenia innowacji, a częściej odrzuca się podejście rewolucyjne. Należy zgodzić się

z innymi badaczami, iż koncepcja Przemysłu 4.0 oraz ewolucyjna metoda doskonalenia procesów w przedsiębiorstwie są istotnymi czynnikami osiągnięcia przewagi konkurencyjnej, uzyskiwania długotrwałego rozwoju i ugruntowanej pozycji na rynku globalnym. Do najważniejszych zalet wdrażania innowacji metodą ewolucyjną należą niższe koszty wdrażania, większa redukcja strat pomiędzy poszczególnymi etapami procesu, poprawa jakości i ograniczenie pośpiechu oraz większa synchronizacja procesów. Dodatkowo sugeruje się systematyczne podnoszenie poziomu wiedzy wśród wszystkich pracowników oraz ciągle zwiększanie nakładów na innowacje technologiczne. Promuje się zaimplementowanie systemów gromadzenia i przetwarzania danych, a także ciągle rozwijanie poziomu dojrzałości procesowej oraz projektowej organizacji. Zaleca się także równoczesne rozwijanie narzędzi komunikacji oraz dzielenia się wiedzą czy informacjami ze wszystkimi pracownikami w przedsiębiorstwie.