

PRZEMYSŁ 4.0.

KSZTAŁTOWANIE SIĘ NOWEJ GENERACJI PRZEMYSŁU I ZWIĄZANYCH Z TĄ ZMIANĄ KONSEKWENCJI DLA OTOCZENIA SEKTORA PRZEMYSŁOWEGO

ANDRZEJ SOLDATY, KATARZYNA ŚLEDZIEWSKA, RENATA WŁOCH

Sygn. WIB PAB 20/2021



Raport opracowany na zlecenie Programu Analityczno-Badawczego
Fundacji Warszawski Instytut Bankowości

Warszawa, listopad 2021

Wib | PROGRAM
ANALITYCZNO
BADAWCZY

O raporcie

Raport **Przemysł 4.0. Kształtowanie się nowej generacji przemysłu („Przemysł 4.0”) i związanych z tą zmianą konsekwencji dla otoczenia sektora przemysłowego** został opracowany na zlecenie Programu Analityczno-Badawczego Fundacji Warszawski Instytut Bankowości

Autorzy

Raport przygotowany przez zespół w składzie:



Andrzej Soldaty – swoją karierę zawodową związał z obszarem automatyzacji przemysłu. W latach 1986–1990, kierując Działem Robotyzacji w ROBRA „Chemoautomatyka”, uczestniczył w opracowaniu i wdrożeniu pilotowych aplikacji robotów przemysłowych w przemyśle chemicznym. Kolejne 25 lat pracował dla międzynarodowego koncernu Festo, dostawcy rozwiązań i komponentów automatyki przemysłowej. W tym okresie brał udział w opracowaniu szeregu aplikacji i realizacji projektów automatyzacji w różnych sektorach przemysłu. Współuczestniczył w budowaniu i rozwijaniu firmy Festo w Polsce, prowadził również projekty międzynarodowe na obszarze Europy Środkowo-Wschodniej. W latach 2010–2015 był prezesem Festo sp. z o.o. W roku 2016 utworzył „Inicjatywę dla Polskiego Przemysłu 4.0” – ruch społeczny skupiający przedstawicieli przemysłu, biznesu, nauki, który inicjuje, wspomaga i prowadzi działania na rzecz transformacji krajowego sektora przemysłowego. W 2017 r. został powołany na lidera projektu „Platforma Przemysłu Przyszłości” w Ministerstwie Rozwoju. Od marca 2019 do grudnia 2020 r. pełnił funkcję prezesa zarządu Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości. Aktywnie uczestniczy w projektach dotyczących przedmiotowej tematyki, m.in. aktualnie organizuje Centrum Przemysłu 4.0 na Politechnice Śląskiej.



Dr hab. Katarzyna Śledziwska, prof. UW – dyrektor Zarządzająca DELab UW oraz Kierowniczka Działania II.3.6. POB V „Budowa Impactful Digital Alliance” w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza”. Kieruje także międzynarodowymi projektami naukowymi (m.in. w ramach NGI Forward oraz Horyzont 2020). Profesor na Wydziale Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego, kierownik Katedry Transformacji Technologicznej. Jej zainteresowania naukowe skupiają się wokół zmian, jakie transformacja cyfrowa uruchamia w gospodarce i społeczeństwie. Wcześniej prowadziła badania nad współpracą gospodarczą, w tym zagadnieniem integracji. Była stypendystką Fundacji na rzecz Nauki Polskiej i „Polityki”.



Dr hab. Renata Włoch, prof. UW – koordynatorka obszaru Society in Digital Age, w ramach którego prowadzi badania dotyczące zmian społecznych, wynikających z transformacji cyfrowej, zwłaszcza zachodzących na rynku pracy i w systemie edukacji. Profesor na Wydziale Socjologii Uniwersytetu Warszawskiego. Absolwentka stosunków międzynarodowych i socjologii. Autorka licznych ekspertyz i raportów dla biznesu i instytucji publicznych oraz ewaluacji instytucjonalnych (m.in. brukselskiego think tanku Breughel oraz systemu think tanków w Albanii). Motywem przewodnim jej zainteresowań naukowych jest globalizacja. Obecnie koncentruje się na analizie cyfrowego wymiaru globalnych procesów politycznych, ekonomicznych, społecznych i kulturowych.

Katarzyna Śledziwska i Renata Włoch są autorkami książek:

- ▶ „Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat” (WUW 2020), uhonorowanej w 2021 r. trzecim miejscem w konkursie „Economicus” w kategorii „najlepsza książka szerząca wiedzę ekonomiczną”.
- ▶ „The Economics of Digital Transformation. The Disruption of Markets, Production, Consumption, and Work” (Routledge 2021).

O programie

Program Analityczno-Badawczy przy Fundacji WIB powstał w 2019 roku jako odpowiedź na potrzeby sektora bankowego w zakresie analizy zjawisk, tworzenia opracowań i porządkowania wiedzy w obszarach cyberbezpieczeństwa i nowych technologii, a także szeroko rozumianego otoczenia sektora bankowego, kształtującego warunki działania banków w Polsce. Prace analityczno-badawcze w ramach programu realizowane są pod kątem możliwości praktycznego wykorzystania ich wyników w celu rozwoju sektora bankowego, podnoszenia poziomu bezpieczeństwa usług oraz kreowania wartości dla klientów bankowości. PAB WIB kładzie duży nacisk na rozwój współpracy ze środowiskami akademickimi i eksperckimi, poszukując synergii w zakresie zainteresowań badawczych autorów oraz potrzeb rozwojowych sektora bankowego.

W ramach programu realizowane są analizy i badania w następujących obszarach:

-  **Nowe technologie i cyberbezpieczeństwo**
-  **Zdolność banków do finansowania gospodarki**
-  **Bankowość spółdzielcza**
-  **Rynek nieruchomości**
-  **Zielony ład i finansowanie energetyki odnawialnej**
-  **Finansowanie projektów innowacyjnych**

Więcej na temat działalności programu na stronie www.pab.wib.org.pl

Kontakt

dr Andrzej Banasiak
Koordynator Programu
m: 696 405 104
e: abanasiak@wib.org.pl

Jacek Gieorgica
m: 603 626 254
e: jgieorgica@wib.org.pl

Warszawski Instytut Bankowości
00-394 Warszawa, ul. Solec 38, lok 104
t: (22) 182 31 70
e: pab@wib.org.pl

Agnieszka Nierodka
m: 607 484 391
e: anierodka@wib.org.pl

dr Tomasz Pawlonka
m: 505 917 778
e: tpawlonka@wib.org.pl

Spis treści

	Streszczenie raportu	6
	Główne tezy raportu	7
	Metodologia	7
	Wizja nowej generacji przemysłu	8
1.1	Czwarta rewolucja przemysłowa	9
1.2.	Koncepcja Przemysłu 4.0	10
1.3.	Definicyjne zróżnicowanie koncepcji Przemysłu 4.0	12
	Systemowe czynniki rozwoju Przemysłu 4.0	15
2.1.	Zmieniające się potrzeby i oczekiwania cyfrowych konsumentów	16
2.2.	Otoczenie konkurencyjne	19
	Kluczowe technologie Przemysłu 4.0	21
3.1.	Technologie chmurowe	24
3.2.	Internet Rzeczy	25
3.3.	Analityka big data z wykorzystaniem sztucznej inteligencji	27
3.4.	Zaawansowana robotyzacja	28
3.5.	Systemy cyberfizyczne	32
3.6.	Technologie przyrostowe	35
3.7.	Blockchain	36
3.8.	Mapa zastosowań technologii z zakresu Przemysłu 4.0	37
	Kluczowe zasady operacyjne Przemysłu 4.0	40
4.1.	Datafikacja procesu produkcyjnego	41
4.2.	Platformizacja produkcji	42

4.3.	Integracja pionowa i pozioma	44
4.4.	Zmiana organizacji pracy	47
5.	Wyzwania na drodze Przemysłu 4.0	50
6.	Efekty urzeczywistniania wizji Przemysłu 4.0	55
6.1.	Kluczowe korzyści z implementacji rozwiązań Przemysłu 4.0	56
6.2	Przykłady całościowej transformacji cyfrowej	56
6.3	Przykłady porażek we wdrażaniu rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0	58
7.	Gotowość do transformacji cyfrowej	60
7.1	Modele gotowości do wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0	61
	Smart Industry Readiness Index	62
	Future Industry Readiness Index, World Economic Forum	63
	Network Readiness Index, Portulans Institute	67
	Regional Industry 4.0 Readiness Index	68
	Digital Economy and Society Index, DESI	68
7.2	Od gotowości do dojrzałości cyfrowej	69
	Digital Intensity Index	70
7.3	Warunki udanej transformacji cyfrowej	70
7.4	Systemy wsparcia transformacji cyfrowej	74
	Krajowe systemy wsparcia i wizje cyfryzacji przemysłu	74
	Unijne inicjatywy wspierające transformację cyfrową	76
8	Konsekwencje rozwoju Przemysłu 4.0 dla otoczenia	79
8.1	Zmiana wzorów produkcji	80
8.2	Rynek pracy	81
8.3	System edukacji	83
8.4	Zrównoważony rozwój	83
9	Zakończenie – gdzie jesteś, Polsko?	86

Streszczenie raportu



Główne tezy raportu

- ▶ **Przemysł 4.0** to określenie odnoszące się do wizji **nowej generacji przemysłu**, której filarami są: interoperacyjność, autonomiczność i zrównoważony rozwój. Kluczowym czynnikiem, umożliwiającym urzeczywistnienie tej wizji, jest wyjątkowa **synergia** wielu równolegle rozwijających się, innowacyjnych **technologii cyfrowych**. Technologie te łączą **potencjał wykorzystywania danych** do personalizacji produkcji, optymalizacji zarządzania firmą czy tworzenia przewag rynkowych.
- ▶ Niebagatelne znaczenie mają również dwa inne czynniki systemowe, wynikające z procesów transformacji cyfrowej zachodzących w całej gospodarce: (a) **zmiana potrzeb i oczekiwań cyfrowych konsumentów** oraz (b) rosnąca **niestabilność i nieprzewidywalność otoczenia konkurencyjnego**, związana z bezprecedensowym tempem **innowacji** i zakłóceń wywoływanych w sektorach tradycyjnych przez **nowe modele biznesowe** oparte na priorytecie danych i sztucznej inteligencji.
- ▶ Koncepcja Przemysłu 4.0 bazuje na **transformacji cyfrowej** zachodzącej w sektorze przemysłowym. Namacalnym przejawem tej transformacji są **wdrożenia nowych rozwiązań technologicznych**, które umożliwiają dalszą automatyzację, a nawet autonomizację produkcji. Należą do nich m.in.: systemy cyberfizyczne (w tym cyfrowe bliźniaki) wykorzystujące zaawansowaną analitykę danych opartą na sztucznej inteligencji, współpracujące roboty, Przemysłowy Internet Rzeczy, technologie wizualizacji i druk 3D.
- ▶ Wdrożenia technologiczne są warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym do przeprowadzenia transformacji cyfrowej. Kluczowe znaczenie mają **zmiany procesowe i organizacyjne**. Przepływ danych między systemami informatycznymi i operacyjnymi prowadzi do zwiększonej integracji poziomej i pionowej procesów. Firma produkcyjna staje się platformą działającą w sieci zróżnicowanych podmiotów, w ramach której bezustannie są wytwarzane i przekazywane dane. Postępujący zakres i tempo inteligentnej automatyzacji zadań rutynowych, zarówno fizycznych jak i umysłowych, zmienia również **sposób organizacji pracy**, co z kolei tworzy zapotrzebowanie na nowe kompetencje u pracowników.
- ▶ Koncepcja Przemysłu 4.0 jest stosunkowo nowa, co odzwierciedla stan zaawansowania wdrożeń rozwiązań technologicznych, operacyjnych i organizacyjnych w przedsiębiorstwach. Liczba udanych

i całościowych transformacji cyfrowych firm produkcyjnych jest nadal niska, a zdecydowana większość firm, które decydują się na wprowadzenie nowych technologii, nie wychodzi poza stadium pilotażu na niewielką skalę. Stąd też istotne znaczenie mają metodologie pozwalające oceniać gotowość przedsiębiorstw oraz całych gospodarek do wprowadzania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 oraz rekomendacje działań na rzecz osiągnięcia dojrzałości cyfrowej.

- ▶ Rozwój Przemysłu 4.0 wywiera znaczący wpływ na otoczenie społeczno-gospodarcze. W wyniku rekonfiguracji wzorów produkcji zmieniają się **przewagi konkurencyjne poszczególnych gospodarek**: na pierwszy plan wysuwają się takie czynniki, jak dostęp do kompetentnej siły roboczej, centrów innowacji i rynków zbytu. Zmienia się funkcjonowanie rynku pracy ze względu na zmianę zapotrzebowania przedsiębiorstw na kompetencje pracowników, co w rezultacie tworzy potrzebę zmiany funkcjonowania systemów edukacyjnych.
- ▶ Nowa generacja przemysłu, oparta na innowacyjnym wykorzystaniu technologii cyfrowych, może stanowić rozwiązanie dla krytycznych wyzwań rozwojowych, ponieważ pozwala łączyć coraz wyższą **jakość życia konsumentów**, mających dostęp do spersonalizowanych produktów i usług, z zasadami **zrównoważonego rozwoju**.

Metodologia

- ▶ Opracowanie oparto na badaniach literaturowych – biorących pod uwagę najnowszą akademicką literaturę przedmiotu, zwłaszcza tzw. systematyczne przeglądy literatury – oraz wtórnej analizie danych zastanych dotyczących stanu zaawansowania transformacji cyfrowej w przedsiębiorstwach. Dla celów ilustracji poziomu cyfryzacji przedsiębiorstw UE wykorzystano dane zbierane w ramach DESI.
- ▶ Nowość koncepcji Przemysłu 4.0 przejawia się ogromnym bogactwem definicyjnym i brakiem jednoznacznie ustalonego aparatu pojęciowego do opisywania i analizowania zachodzących zmian, stąd też w opracowaniu szczególny nacisk położono na przedstawienie klarownego opisu kluczowych technologii umożliwiających rozwój nowej generacji Przemysłu 4.0 oraz jego zasad operacyjnych. Całość analizy organizują dwa pojęcia: **datafikacji** (umiejętności czerpania wartości z danych) oraz **platformizacji** (wykorzystywania efektów sieciowych za pośrednictwem internetu).

Wizja nowej generacji przemysłu



1.1. Czwarta rewolucja przemysłowa

Rewolucja przemysłowa to szeroko zakrojone i dynamiczne zmiany zachodzące w sposobie wytwarzania dóbr i usług, wynikające z pojawienia się nowych technologii. Pierwsza rewolucja przemysłowa opierała się na wykorzystaniu energii pozyskiwanej z wody i węgla do napędzania rozmaitego typu maszyn. Na przestrzeni XIX w. fabryki zastąpiły manufaktury, a w sprzedaży pojawiły się pierwsze masowo wytwarzane dobra. Na początku XX w. maszyny coraz częściej zaczęły być napędzane za pośrednictwem elektryczności; w 1910 r. po raz pierwszy pojawiło się pojęcie „drugiej rewolucji przemysłowej”. Popularność zyskało jednak dopiero w latach 50. XX w., gdy elektryczne maszyny, wykorzystywane do tworzenia zelektryfikowanych linii produkcyjnych, stały się emblematem nowoczesnej gospodarki, coraz silniej opierającej się na masowej produkcji. W latach 70. XX w. linie produkcyjne były stopniowo komputeryzowane i automatyzowane; w fabrykach pojawiły się pierwsze roboty przemysłowe, a w mediach i w publikacjach akademickich zmiany te okrzyknięto trzecią rewolucją przemysłową.

Obecnie mamy do czynienia z **czwartą rewolucją przemysłową**, którą cechują powiązane ze sobą

zjawiska **datafikacji** (czerpania wartości z danych) i **platformizacji** (pojawiania się nowych modeli biznesowych opartych na usieciowieniu). Rewolucję tę napędza wdrażanie technologii, które umożliwiają takie wykorzystanie obficie występujących danych, które prowadzi do wzrostu produktywności, optymalizacji zarządzania firmą oraz coraz lepszego dopasowania produkcji do potrzeb i oczekiwań konsumenta. Początkowo pojęcie czwartej rewolucji przemysłowej odnoszono głównie do sektora produkcyjnego, ale obecnie stosowane jest szerzej w celu określenia znaczących zmian w strukturach gospodarczych wynikających z cyfrowej transformacji łańcuchów dostaw i wartości dodanej. Zmieniają się nie tylko **systemy wytwarzania**, ale także **koncepcja produktu** (dobra fizyczne ulegają digitalizacji i serwityzacji, co zmienia cały cykl ich życia, o czym piszemy dalej), a przede wszystkim – **modele biznesowe i operacyjne**, które zaczynają opierać się na zasadzie priorytetu danych i sztucznej inteligencji („data-first, AI-first”). Wszystkie te zmiany mają na tyle szeroki i głęboki charakter oraz cechują się tak dużą dynamiką, że uzasadnione jest posługiwanie się pojęciem **transformacji cyfrowej**.

W pierwszych latach transformacji ekonomiści głowili się nad tzw. **paradoksem produktywności**, gdy wdrożenia technologii ICT, a później technologii

Tab. 1. Porównanie kolejnych rewolucji przemysłowych

	Przemysł 1.0	Przemysł 2.0	Przemysł 3.0	Przemysł 4.0
Okres	2 poł. XVIII w.	2 dekada XX w.	Po 6 dekadzie XX w.	2 dekada XXI w.
Kluczowa technologia	Mechanizacja oparta na parze	Elektryfikacja Prosta automatyzacja linii produkcyjnych	Komputeryzacja Dalsza automatyzacja, również z wykorzystaniem robotów.	Technologie datafikacji umożliwiające inteligentną automatyzację
Różnorodność produktów	Wysoka	Ograniczona	Średnia	Wysoka
Produktywność	Bardzo niska	Bardzo wysoka	Wysoka	Wysoka
Typ personalizacji	Produkty dostosowane do klienta oraz produkcja rzemieślnicza	Produkcja masowa	Masowa customizacja produktów	Wysoka personalizacja produkcji masowej
Koszt jednostki produktu	Wysoki	Niski	Średni	Niski
Zaangażowanie klienta	Prosty rynek popytowy	Rynek stabilny	Rynek niestabilny	Rynek wysoce niepewny i niestabilny

Źródło: Kumar S., Suhaib M., Asjad M. 2020. Industry 4.0: complex, disruptive, but inevitable, Management and Production Engineering Review. Z modyfikacjami własnymi.



cyfrowych nie przekładały się na wzrost produktywności. **Obecny etap transformacji cyfrowej będzie charakteryzował się stopniowym wzrostem produktywności, wynikającym z wdrożeń nowych technologii w przedsiębiorstwach.** Jak zauważyli w czerwcu 2021 r. dwaj renomowani ekonomiści, E. Brynjolfsson i G. Petropulos w artykule zamieszczonym w MIT Technology Review:

Sama technologia rzadko przynosi znaczące korzyści. Inwestycjom w technologie muszą towarzyszyć jeszcze większe inwestycje w nowe procesy biznesowe, kompetencje i inny rodzaj niematerialnego kapitału, zanim przełomowe wynalazki – tak różne jak silnik parowy czy komputery – ostatecznie napędzą wzrost produktywności. Za przykład może posłużyć wprowadzenie elektryczności do amerykańskich fabryk: produktywność nie drgnęła przez ponad dwie dekady. Produktywność zaczęła rosnąć dopiero wtedy, gdy menedżerowie przeprojektowali linie produkcyjne z wykorzystaniem rozproszonych maszyn, czyli techniki, którą umożliwiła elektryczność¹.

Innymi słowy, znajdujemy się w momencie przełomu, gdy wdrożeniom technologicznym zaczyna towarzyszyć nowa filozofia organizacyjna i produkcyjna, co przekłada się na nowe modele biznesowe i zapewnia większą konkurencyjność na rynku tych organizacji, które potrafią wykorzystać datafikację i platformizację do budowania przewag. Dotyczy to również firm produkcyjnych, które stoją przed koniecznością zmierzania się z zupełnie nowym paradygmatem działalności gospodarczej. Przemysł 4.0 przestaje być synonimem innowacji – staje się standardem funkcjonowania w gospodarce cyfrowej.

1.2. Koncepcja Przemysłu 4.0

Kanoniczna definicja Przemysłu 4.0 została przedstawiona w 2011 r. w dokumencie opracowanym na zlecenie rządu niemieckiego przez grupę roboczą złożoną z czołowych przedstawicieli niemieckiego przemysłu, nauki i administracji. W takim ujęciu koncepcja „Industrie 4.0” zaczęła się pojawiać w strategicznych dokumentach dotyczących rozwoju niemieckiego przemysłu; została też wykorzystana jako motto targów w Hanowerze, na których

prezentowane są najnowsze rozwiązania techniczne dla przemysłu.

W przyszłości działalność biznesową tworzyć będą globalne sieci obejmujące maszyny, systemy magazynowe, zakłady produkcyjne funkcjonujące w formie systemów cyber-fizycznych (*Cyber Physical Systems*). W przemyśle wytwórczym te systemy, obejmujące inteligentne maszyny, systemy magazynowe i zakłady produkcyjne będą zdolne do autonomicznej wymiany informacji, podejmowania działań i kontrolowania się wzajemnie w sposób niezależny. To umożliwi fundamentalną poprawę procesów przemysłowych występujących w: wytwarzaniu produktów, inżynierii, wykorzystaniu materiałów, łańcuchach dostaw i zarządzaniu czasem życia produktów. Inteligentne fabryki (*Smart Factories*), które już zaczynają się pojawiać, będą stosować zupełnie nowe podejście do produkcji. Inteligentne produkty identyfikowane indywidualnie mogą być lokalizowane w dowolnym momencie i będą rejestrować własną historię wytwarzania, obecny status i alternatywne drogi do osiągnięcia docelowego stanu. Systemy wytwórcze z wbudowanymi komputerami (*embedded manufacturing systems*) będą powiązane wertykalnie z procesami biznesowymi wewnątrz zakładu czy przedsiębiorstwa oraz połączone horyzontalnie do rozproszonych sieci kreowania wartości (*dispersed value networks*), które mogą być zarządzane w czasie rzeczywistym – od momentu złożenia zamówienia do wyjściowej logistyki².

W niemieckiej definicji nacisk położono zarówno na wymiar technologiczny zachodzących zmian, jak i na wymiar procesowy oraz organizacyjny. Rdzeniem produkcji przemysłowej ma być inteligentna fabryka, której funkcjonowanie będzie się opierać na zautonomizowanych i ściśle ze sobą zintegrowanych systemach cyberfizycznych oraz ucyfrowionych sieciach dostaw. Warto zauważyć, że koncepcja została przedstawiona jako wizja docelowa dla zmian zachodzących w sposobie produkcji na tle szerszych przemian gospodarczych wywoływanych przez cyfryzację.

W roku 2019 niemieckie Ministerstwo Gospodarki i Energii opublikowało dokument będący wynikiem prac realizowanych przez Plattform Industrie 4.0,

1 Brynjolfsson E., Petropulos G., 2021. *The Coming Productivity boom*. MIT Technology Review. https://www.technologyreview.com/2021/06/10/1026008/the-coming-productivity-boom/amp/?__twitter_impression=true (dostęp 22 czerwca 2021).

2 2013. *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion, CATECH.

Rys. 1. Kluczowe komponenty wizji Przemysłu 4.0 w perspektywie 2030 r.



Źródło: 2019. 2030 vision for Industry 4.0. Shaping digital ecosystems globally. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi).

przedstawiający wizję Przemysłu 4.0 w perspektywie roku 2030. W dokumencie tym podsumowano trendy zmian następująco:

Przemysł 4.0 opisuje podstawowy proces innowacji i transformacji w produkcji przemysłowej. Ta transformacja jest napędzana nowymi formami działalności gospodarczej i pracy w globalnych, cyfrowych ekosystemach. Dzisiejsze sztywne i ściśle określone łańcuchy wartości są zastępowane elastycznymi, wysoce dynamicznymi i globalnie połączonymi sieciami wartości z nowymi formami współpracy. Modele biznesowe oparte na danych priorytetowo traktują korzyści dla klienta i rozwiązań, zastępując koncentrację na produkcie jako dominującym paradygmacie tworzenia wartości przemysłowej. Dostępność, przejrzystość i dostęp do danych są kluczowymi czynnikami

sukcesu w gospodarce połączonej i w dużej mierze determinują konkurencyjność³.

Wskazane zostały trzy kluczowe cechy określające Przemysł 4.0:

- ▶ **Autonomia** operacyjna i decyzyjna wszystkich podmiotów na rynku.
- ▶ **Interoperacyjność** pozwalająca na elastyczną i zwinną współpracę między interesariuszami ekosystemu.

3 2030 Vision for Industrie 4.0. Shaping Digital Ecosystems Globally. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Standardartikel/vision.html> (dostęp 22 czerwca 2021).

- ▶ **Zrównoważony rozwój** gospodarczy, środowiskowy i społeczny, wynikający z rozwoju Przemysłu 4.0. i podtrzymujący ten właśnie kierunek rozwoju.

dają trzy wymiary zrównoważonego rozwoju – gospodarczy, społeczny i środowiskowy⁴ (do wątku zrównoważonego rozwoju wrócimy w dalszej części raportu).

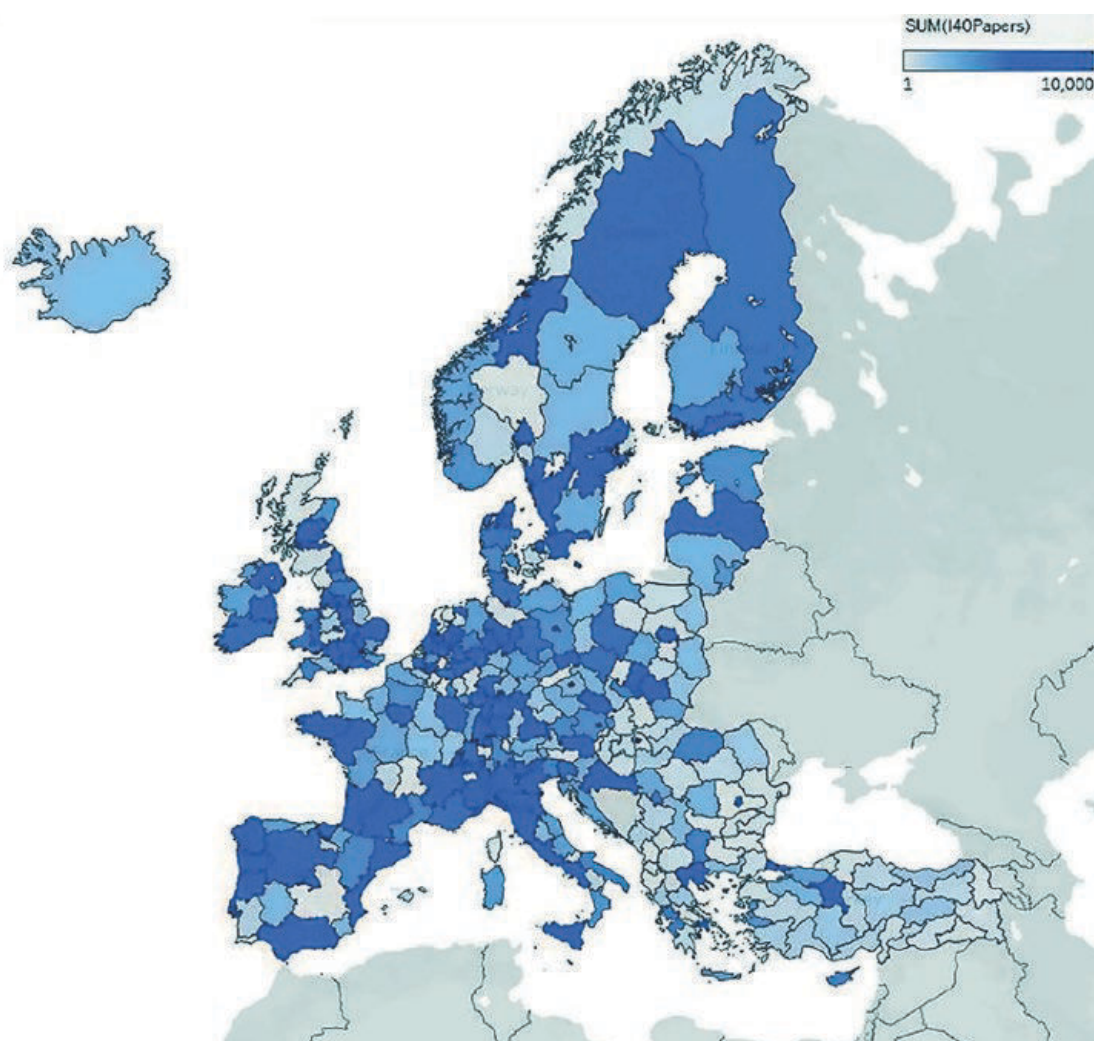
Zestawienie tych dwóch definicji pokazuje ewolucję sposobu myślenia o Przemysle 4.0: od ujęcia skupiającego się na systemie produkcyjnym, po znacznie szersze ujęcie, uwzględniające wymiar całego ekosystemu gospodarczego oraz biorące pod uwagę wartości społeczne. Coraz powszechniejsze jest traktowanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych jako środków do budowania nowej generacji przemysłu, bardziej przyjaznej dla człowieka i środowiska. To obecne ukierunkowanie transformacji przemysłu ma związek z Agendą 2030 przyjętą przez wszystkie państwa członkowskie Organizacji Narodów Zjednoczonych na szczycie ONZ w 2015 r. Agenda obejmuje 17 celów zrównoważonego rozwoju oraz powiązanych z nimi 169 zadań, które od-

1.3. Deficyjne różnicowanie koncepcji Przemysłu 4.0

Nowość koncepcji Przemysłu 4.0 tłumaczy ogromne bogactwo i różnicowanie istniejących definicji w branżowej i akademickiej literaturze przedmiotu. Przed 2015 r. pojęcie to w zasadzie nie funkcjonowało w dyskursie naukowym, natomiast obecnie co roku na całym świecie powstają tysiące publikacji doty-

4 The 17 goals. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 2. Liczba publikacji dotyczących Przemysłu 4.0 w Europie



Źródło: Honti G., Czvetko T., Abonyi, J. Data Describing the Regional Industry 4.0 Readiness Index. Data in Brief, 33, 106464.

Rys. 3. Zasady organizacyjne i trendy technologiczne Przemysłu 4.0



Źródło: Ghobakhloo M. 2018. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management.

czących zagadnień czwartej rewolucji przemysłowej. Rys. 2 pokazuje regionalne zróżnicowanie publikacji w ramach Przemysłu 4.0 w Europie.

W celu uspoźnienia dziesiątków definicji, prowadzi się szerokie badania literaturowe, uwzględniające setki fachowych artykułów, które umożliwiają wyodrębnienie swoistego konsensusu badaczy i ekspertów co do podstawowych komponentów tworzących Przemysł 4.0. Zdecydowana większość artykułów poświęconych temu zagadnieniu skupia się na technologicznych uwarunkowaniach (technologiach fundamentalnych i technologiach wspierających). Przegląd przeprowadzony w 2015 r. przez badaczy z Uniwersytetu Technicznego w Dortmundzie zidentyfikował następujące składowe Przemysłu 4.0: Systemy Cyber-Fizyczne, Przemysłowy Internet Rzeczy, Internet Usług, Inteligentne Fabryki. Autorzy pokusili się też o własną definicję, syntetyzującą uwzględnione w przeglądzie opisy.

Przemysł 4.0 jest zbiorczym określeniem dla technologii i koncepcji dotyczących organizacji łańcucha wartości. W modularnie ustrukturyzowanych Inteligentnych Fabrykach systemy cyber-fizyczne monitorują fizyczne procesy, tworzą wirtualne kopie fizycznego świata i podejmują zdecentralizowane decyzje. Poprzez Internet Rzeczy, systemy cyber-fizyczne ko-

munikują się wzajemnie i współpracują ze sobą oraz z ludźmi w czasie rzeczywistym. Internet Usług daje uczestnikom łańcucha wartości dostęp do usług wewnętrznych, jak i tych dostarczanych przez zewnętrzne organizacje.⁵

Analogiczny przegląd przeprowadzony w 2018 r. pozwolił na wskazanie 12 zasad organizacyjnych i 14 podstawowych trendów rozwoju technologii leżących u podstaw Przemysłu 4.0⁶.

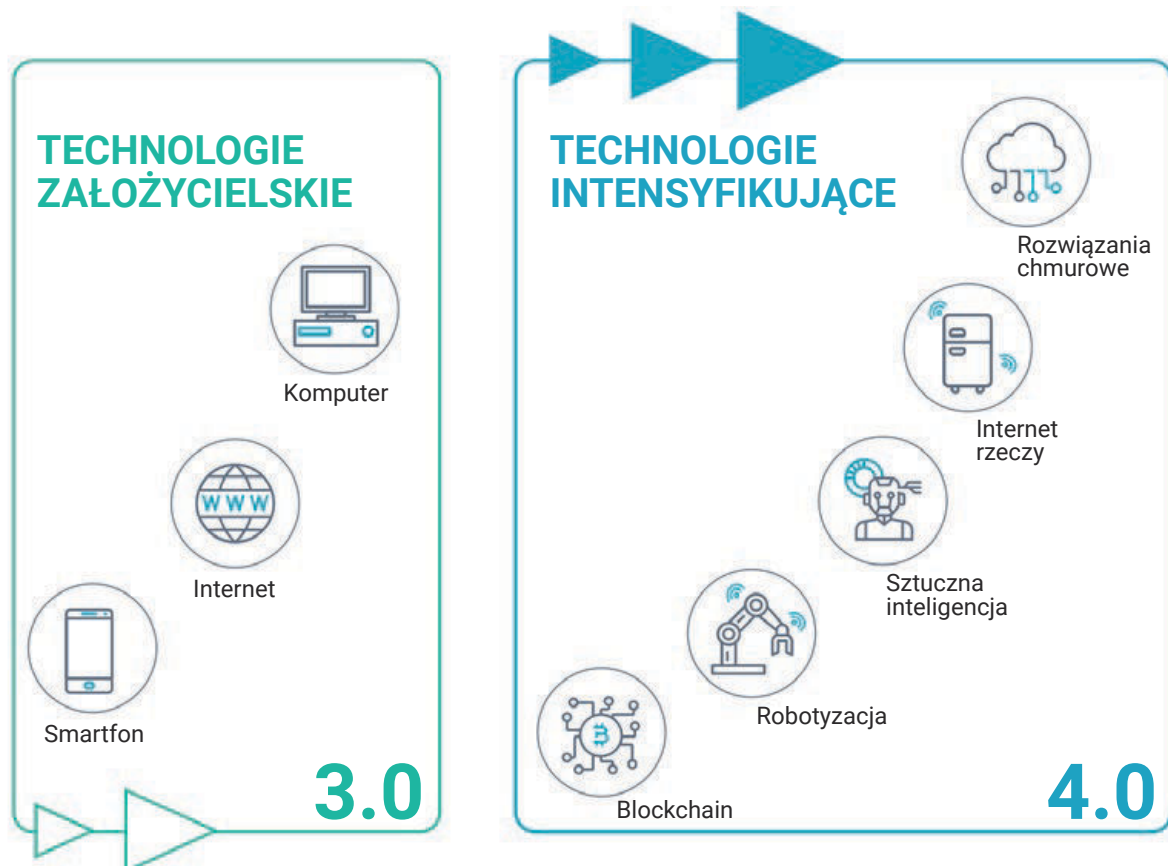
Trudno nie zgodzić się z przytomną konstatacją innej grupy badaczy Przemysłu 4.0: „Skoro wśród badaczy występuje taki konceptualny brak jasności, trudno się dziwić, że duża część firm przedsiębiorstw nie ma jasności co do skutków i oddziaływania Przemysłu 4.0.”⁷ W dalszej części tekstu spróbujemy zatem wprowadzić większą klarowność, wskazując na technologicz-

5 Hermann M., Pentek T., Otto B. 2015. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Technische Universität Dortmund.

6 Ghobakhloo M. 2018. *The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0*. Journal of Manufacturing Technology Management.

7 Stentoft J., Adsbøll Wickstrøm K., Philipsen, K. i in. 2021. *Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers*. Production Planning & Control, 32:10, s. 811–828.

Rys. 4. Technologie założycielskie i intensyfikujące jako podstawa gospodarki cyfrowej



Źródło: Śledziwska K., Włoch R., 2020. Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

ne, operacyjne i organizacyjne aspekty Przemysłu 4.0 w kontekście dwóch podstawowych koncepcji definiujących gospodarkę cyfrową: datafikacji i platformizacji. Przyjmujemy przy tym, że czwarta rewolucja przemysłowa jest konsekwencją szerzej rozumianej rewolucji technologicznej, wynikającej z upowszechnienia się technologii założycielskich, takich jak komputer, inter-

net oraz technologie mobilne (których sztandarowym przykładem jest smartfon), które weszły już do powszechnego użytku, a zatem stały się technologiami powszechnego zastosowania. Na ich bazie rozwijają się technologie intensyfikujące potencjał wykorzystania danych, informacji i wiedzy, zwane „nowymi” technologiami lub technologiami cyfrowymi.



Systemowe czynniki rozwoju Przemysłu 4.0



Kluczowym czynnikiem rozwoju Przemysłu 4.0 są w pierwszym rzędzie innowacje technologiczne, radykalnie przekształcające zasady organizacji produkcji przemysłowej; omawiamy je szczegółowo w dalszej części raportu. W tej części raportu skupiamy się natomiast na dwóch czynnikach o charakterze systemowym, wynikających ze stopniowej, nierównomiernej, ale niepowstrzymanej transformacji cyfrowej całej gospodarki, która przekształca się w gospodarkę cyfrową. Działalność produkcyjna w gospodarce cyfrowej jest determinowana przez specyficzne potrzeby i oczekiwania cyfrowych konsumentów oraz przez otoczenie konkurencyjne, które z powodu przyspieszenia tempa innowacji charakteryzuje się jeszcze wyższym niż dotąd stopniem niestabilności i zmienności.

2.1. Zmieniające się potrzeby i oczekiwania cyfrowych konsumentów

W gospodarce cyfrowej konsumenci są ciągle podłączeni do sieci internetowej; rzeczą oczywistą jest dla nich funkcjonowanie w powiązanych ze sobą, równoległych światach: wirtualnym i realnym. Korzystając z cyfrowych produktów, są jednocześnie producentami danych, które mogą być wykorzystane do personalizacji tychże produktów, czyli dostosowywania do indywidualnych preferencji, i to na poziomie pojedynczych egzemplarzy produktu.

Co więcej, konsumenci przenoszą doświadczenia z konsumpcji produktów cyfrowych/wirtualnych na konsumpcję materialnych produktów i zaczynają oczekiwać oferty zindywidualizowanej, elastycznie

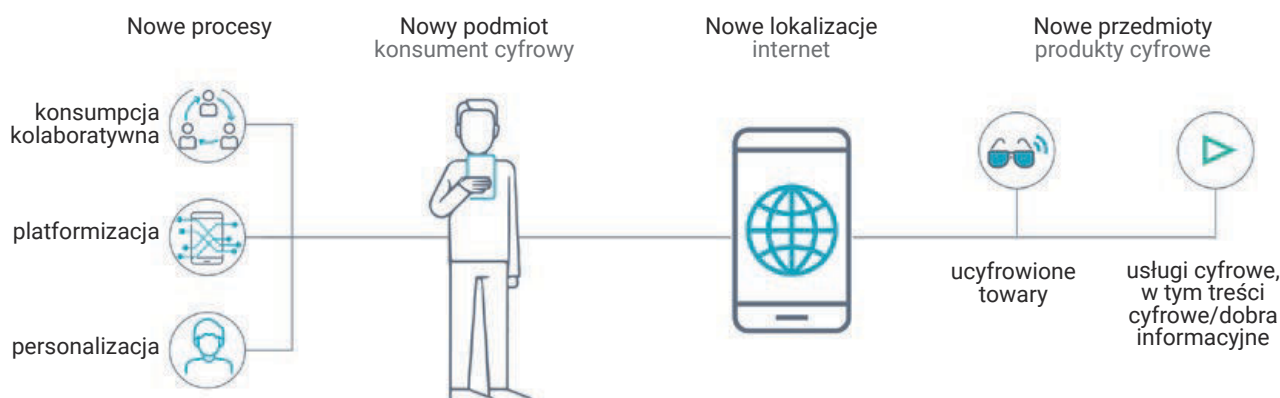
skrojonej pod ich profil, oraz dostępnej niemal od ręki¹. Ciągła obecność konsumenta w sieci oraz związane z tym rozproszenie uwagi zmienia też jego relację z markami. Doświadczenie i komfort, jakie oferuje produkt, stają się równie ważne, jeśli nie ważniejsze, niż cena. Warto podkreślić, że kierunek tych zmian uległ wzmocnieniu w czasie pandemii koronawirusa, gdy konsumenci masowo korzystali z dóbr cyfrowych oraz cyfrowych kanałów sprzedażowych. Klienci oczekują nie tylko innowacyjnych produktów, lecz również innowacyjnych podejść w obsłudze klienta i obsłudze posprzedażowej, które zapewnią szybkie, gładkie i elastyczne doświadczenie zakupu.

Przykład: rozwiązania phygital

Pandemia przyczyniła się do rozwoju rozwiązań w zakresie e-commerce, w tym do popularzacji innowacyjnych rozwiązań określanych mianem phygital (physical + digital), czyli łączących doświadczenia zakupowe w świecie realnym i wirtualnym. Są to np. rozwiązania „click and collect” (zamówienia online, odbiór w sklepie) czy zakupy w sklepie wspomagane technologią VR lub AR.

¹ *Industry 4.0 engages customers*. 2016. Deloitte University Press. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-engages-customer-en-170224.pdf> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 5. Nowe wymiary konsumpcji w gospodarce cyfrowej



Źródło: Śledziwska K., Włoch R. 2020. Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.



Tych oczekiwań nie jest w stanie spełnić produkcja przemysłowa charakterystyczna dla trzeciej rewolucji, oparta na długich seriach masowych i stosunkowo zuniformizowanych produktach. Oznacza to konieczność zmian paradygmatu wytwarzania m.in. w zakresie systemów wytwórczych pozwalających uzyskać produkcję zindywidualizowanych serii o niskim wolumenie przy rentowności nie gorszej niż przy produkcji masowej. Wymagana jest więc większa elastyczność systemów produkcyjnych poprzez stosowanie modularyzacji i architektury płynnej rekonfiguracji. Wiąże się to również z koniecznością integrowania procesu wytwarzania z procesem inżynieringu produktu, w którym aktywną rolę odgrywa klient przyjmujący często rolę prosumenta (czyli producenta i konsumenta zarazem). Pozyskiwanie i przetwarzanie danych z każdego etapu korzystania z produktu przez klienta w czasie rzeczywistym otwiera np. możliwość stworzenia cyfrowej reprezentacji produktu, którą klient może ponownie skonfigurować za pomocą intuicyjnych narzędzi projektowych (takich jak oprogramowanie Configure One)².

Oprócz oczekiwań personalizacji w doświadczeniu klienta innym ważnym trendem mającym wpływ na kształtowanie działalności przemysłowej jest oczekiwanie **zintegrowanego doświadczenia klienta**, czyli zaspokojenia w jednej interakcji kilku potrzeb. Ten trend wymusza zjawisko **serwityzacji**, czyli ko-

nieczność oferowania przez producentów nie tylko samego fizycznego produktu, ale również powiązanej z nim usługi dla zaspokojenia określonej potrzeby z wykorzystaniem tego produktu³. Koniecznością staje się zmiana asortymentu w kierunku inteligentnych produktów umożliwiających monitorowanie doświadczeń klienta. Cyfryzacja produktów fizycznych w codziennym użytkowaniu pozwala producentom zbierać coraz większą ilość danych, które otwierają ogromne możliwości dla wbudowywania do urządzeń cyfrowych nowych usług. Teoretycznie im więcej danych producent ma na temat sposobu, w jaki produkt jest używany, tym większy jest potencjał dostosowania go do potrzeb konsumentów, wprowadzania ulepszeń oraz planowania serwisowania i konserwacji.

2 CPQ Software for manufacturing. Configure One. <https://www.configureone.com/> (dostęp 22 czerwca 2021).

3 Vandemerve S., Rada J. 1988. *Servitization of business: Adding value by adding services*. *European Management Journal*, 6:4, s. 314-324. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0263237388900333> (dostęp 22 czerwca 2021); Baines, T. Evans, S. Lightfoot, H. i in. *State-of-the-art in product service-systems*. iMeche. https://www.researchgate.net/publikacja/256484048_State-of-the-art_in_product-service_systems_Proc_IMechE_Part_B_J_Eng_Manuf (dostęp 22 czerwca 2021); Baines, T. Lightfoot, H. Benedittini, O. i in. *The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges*. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17410380910960984/full/html> (dostęp 22 czerwca 2021); Annarelli A., Battistella C., Nonino F. 2019. *The Road to Servitization. How Product Service Systems Can Disrupt Companies' Business Models*. Springer.

Tab. 2. Relacje między producentem a konsumentem w Przemysle 3.0 i Przemysle 4.0

	Doświadczenie klienta	Częstość interakcji	Kontekst interakcji	Wartość
Przemysł 3.0	Reaktywne: producent reaguje na potrzeby, zażalenia lub prośby klienta	Niewielka lub żadna: nieregularny kontakt w procesie sprzedaży i serwisowania, żaden w trakcie użytkowania	Standardowy: interakcje odzwierciedlają historię zamówień	Produkt: wartość oparta na cechach produktu
Przemysł 4.0	Proaktywna postawa producenta, który dzięki posiadanym danym tworzy celowo zaprojektowane doświadczenia konsumentów	Ciągła: dzięki inteligentnym produktom i łączności sieciowej ciągły dialog między producentem i konsumentem	Spersonalizowany: interakcje oparte na danych dotyczących profilu konsumenta i sposobu użytkowania produktu	Usługi/dane: wartość przesuwana się od cech produktu w stronę spersonalizowanych usług

Źródło: 2016. *Industry 4.0 engages customers The digital manufacturing enterprise powers the customer life cycle*. Deloitte University Press. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-engages-customer-en-170224.pdf>. Z modyfikacjami własnymi.



Przykład: ewolucja serwityzacji

Prekursorem serwityzacji był Rolls Royce, który w 1962 r. zaczął oferować klientom pakiet „power-per-hour”: zakup silnika samolotu można uzupełnić o zapłacenie stałej ceny za serwis silnika i wymianę części. W 2002 r. pakiet „Corporate Care” obejmował nawet monitorowanie sprzętu, możliwe dzięki wbudowanym czujnikom i szybszemu serwisowaniu w autoryzowanych centrach rozsianych po całym świecie. W ramach obecnego pakietu serwisowego „TotalCare” firma wynajmuje silniki i zbiera od nich dane na bieżąco, umożliwiając firmie planowanie konserwacji. Firma Caterpillar, producent maszyn budowlanych, oferuje usługę zdalnego śledzenia i monitorowania w celu zapewnienia aktualizacji i „konserwacji zapobiegawczej”. Innym przykładem udanej serwityzacji są zmiany wprowadzone przez IBM: W latach 90. XX w. firma zaczęła odchodzić od produkcji komputerów na rzecz świadczenia usług konsultingowych dla przedsiębiorstw⁴, a następnie skupiła się na tworzeniu specjalistycznego i zaawansowanego oprogramowania⁵.

Modele biznesowe firm odchodzą od oferowania towarów lub usług, do oferowania towarów i usług z pakietem nowych usług, w tym tych z zakresu obsługi klienta przez cały cykl życia produktu. Ostatecznie sprowadza się to do „tworzenia strumieni przychodów dla producentów z usług”⁶.

Zamiast po prostu sprzedawać sprzęt przemysłowy, producenci mogą sprzedawać klientom umo-

wę na świadczenie wysoce usprawnionych usług konserwacyjnych i naprawczych opartych na sztucznej inteligencji dla tego konkretnego produktu. Plus dla klientów: mniej przestojów spowodowanych awarią maszyny i mniej uciążliwych kosztów naprawy. Plus dla producentów: teraz mogą wykorzystać dane generowane przez czujniki IoT umieszczone w ich urządzeniach do przychodów generowanych przez cały cykl życia ich produktu⁷.

Aby zrównoważyć to entuzjastyczne podejście, warto zauważyć, że serwityzacja pociąga za sobą rosnącą i stałą zależność klientów od dostawcy usług zbudowanych wokół produktu. Wszystkie fizyczne produkty można przekształcić w rodzaj podłączonego sprzętu, bezużytecznego bez oprogramowania dostarczonego przez producenta.

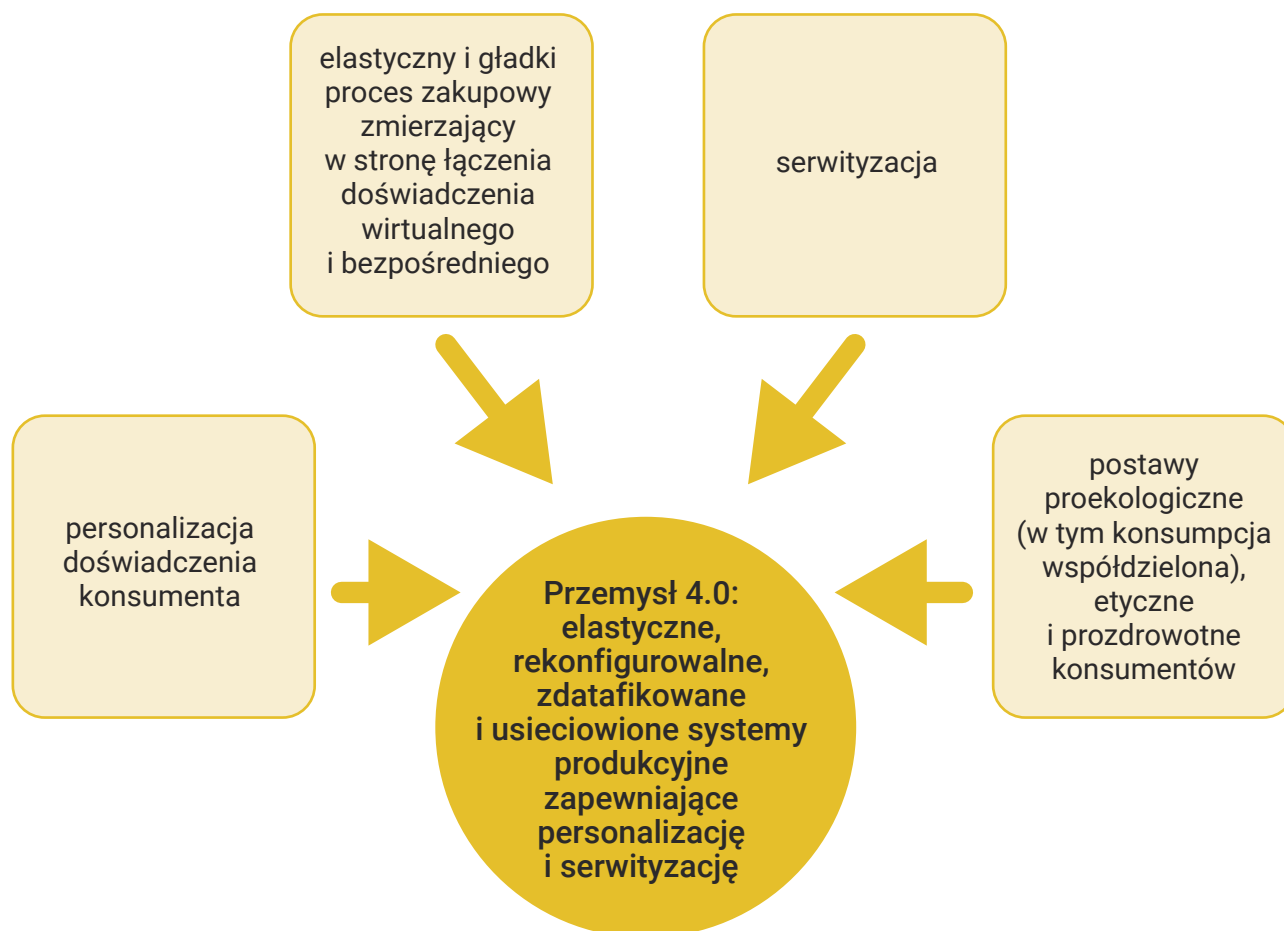
Rosnące możliwości dla serwityzacji dóbr materialnych sprawiają, że tradycyjny model, w którym konsumenci poprzez zakup towarów stają się ich właścicielami, jest zastępowany przez dostęp do produktów i usług. Rośnie rola platform cyfrowych, które odgrywają coraz ważniejszą rolę w ułatwianiu konsumpcji: działają jako bramy dla cyfrowych towarów informacyjnych, umożliwiając zakupy online czy rozwój gospodarki współdzielenia. Platformizacja konsumpcji współdzielonej czy kolaboratywnej, szczególnie widoczna jest w obszarze środków lokomocji (od samochodów po hulajnogi) czy też elektroniki użytkowej, wymagająca od producentów wprowadzania do architektury produktów rozwiązań zaawansowanego monitoringu i bezpieczeństwa użytkowania dla kilku użytkowników, wykazujących różne cechy osobowe (np. płeć, wiek, waga) i użytkujących produkt w odmienny sposób. Wśród trendów dotyczących postaw i zachowań klientów oddziałujących na kształtowanie nowej generacji przemysłu, coraz silniej zarysowuje się nastawienie pro-ekologiczne i pro-zdrowotne wymuszające stosowanie określonych reżimów wytwórczych, jak również stosownych cech produktów. Konsumenci coraz częściej oczekują szczegółowych informacji o etycznym i ekologicznym pochodzeniu i sposobie wytwarzania produktu, co wymaga transparentności w całym łańcuchu dostaw.

4 2013. *Servitization: Competing through services*. Aston Business School. <https://www.youtube.com/watch?v=K8AhLazwuEw> (dostęp 22 czerwca 2021).

5 Perona M., Saccani N., Bachetti A. 2017. *Research vs. Practice on Manufacturing Firms' Servitization Strategies: A Gap Analysis and Research Agenda*. Systems, 5(19). https://www.researchgate.net/publication/313988539_Research_vs_Practice_on_Manufacturing_Firms_Servitization_Strategies_A_Gap_Analysis_and_Research_Agenda (dostęp 22 czerwca 2021).

6 Baines T., Bigdeli Z., Bustanza A. i in. 2017. Servitization: revisiting the state-of-the-art and research priorities. *International Journal of Operations & Production Management*, 2, s. 256-278. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2015-0312> (dostęp 22 czerwca 2021).

7 Insights Team. 2018. The IoT-Powered Rethink For Manufacturing: From Sales To Servitization. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/insights-intelai/2018/09/21/the-iot-powered-rethink-for-manufacturing-from-sales-to-servitization/#2548163a128b> (dostęp 22 czerwca 2021); *Servitization: Competing through services*. Aston Business School. <https://www.youtube.com/watch?v=K8AhLazwuEw> (dostęp 22 czerwca 2021).

**Rys. 6.** Potrzeby i oczekiwania konsumentów a rozwój Przemysłu 4.0

Źródło: Opracowanie własne.

2.2. Otoczenie konkurencyjne

W gospodarce cyfrowej otoczenie konkurencyjne staje się jeszcze bardziej dynamiczne, nieprzewidywalne, złożone i nieoczywiste, co dobrze charakteryzuje koncepcja VUCA (wprowadzona skądinąd przez amerykańskich strategów wojskowych):

Volatility – turbulencje w otoczeniu konkurencyjnym, wynikające z szybkiej i dynamicznej zmiany technologicznej, operacyjnej i organizacyjnej.

Uncertainty – wysoki poziom ryzyka oraz niemożność przewidzenia kryzysów wynikających np. ze zmiany potrzeb konsumenta, zmian technologicznych, pojawienia się barier handlowych czy regulacyjnych.

Complexity – dominacja rozległych sieci zarówno wewnątrz organizacji, jak i w otoczeniu biznesowym, radykalnie zwiększa złożoność zjawisk i procesów.

Ambiguity – wieloznaczność kontekstu decyzyjnego⁸.

W dużej mierze cechy VUCA w gospodarkę cyfrową wnoszą specyfika innowacyjności wykorzystującej jako punkt wyjścia nowe technologie cyfrowe. Innowacje nie mają charakteru liniowego, lecz kombinatoryjny. Nowe technologie, nowe produkty i użyteczności powstają znacznie szybciej niż w czasie poprzednich rewolucji przemysłowych, co spowodowane jest bezprecedensowym tempem obiegu informacji i wiedzy za pośrednictwem internetu. Nowe modele biznesowe oparte są na wykorzystaniu analityki danych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji oraz na pośrednich i bezpośrednich efektach sieciowych,

8 Mohanta B., Nanda P., Patnaik S. 2019. Management of V.U.C.A. (Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity) Using Machine Learning Techniques in Industry 4.0. New Paradigm of Industry 4.0, Studies in Big Data. Springer, Cham, s. 1–24.



osiągany dzięki platformizacji, co zapewnia stosującym je przedsiębiorstwom większą zwinność, umiejętność szybkiego reagowania na zmiany otoczenia i potrzeby konsumentów.

Dysruptywny charakter oraz tempo upowszechniania się tych nowych modeli biznesowych, sprawia, że klasyczne modele, oparte na prostym sposobie konkutowania przez cechy produktu i koszty jego wytworzenia, przestają zapewniać przewagi na rynku. Miejsce liniowych i stosunkowo stabilnych łańcuchów wartości, w których rola i zadania poszczególnych podmiotów są jednoznacznie zdefiniowane, zajmują sieci, w których **elastyczne powiązania uczestników**

pozwalają na zwinne konfigurowanie partnerstw do realizacji określonych zadań i uzyskiwanie przewag poprzez łączenie kompetencji. Standardem stają się relacje koopetycyjne: przedsiębiorstwa współpracują ze sobą, poszukując możliwości ekspansji lub budowania komplementarnych kompetencji, ale też rywalizują ze sobą w celu otrzymania największych korzyści. Wyraźny trend coraz silniejszych różnic w wytwarzanej wartości dodanej w poszczególnych etapach międzynarodowych łańcuchów wartości zmusza przedsiębiorstwa do wchodzenia w nowe obszary działania i konkutowania o korzystniejsze pozycjonowanie w łańcuchu poprzez zmianę modeli biznesowych i architektury produktów.



Kluczowe technologie Przemysłu 4.0





Kluczowym czynnikiem zmian w przemyśle jest bezprecedensowy rozwój technologiczny. Spektrum technologii kształtujących Przemysł 4.0 jest bardzo szerokie. Analiza literatury przedmiotu (artykułów umieszczonych w bazie JRC) przeprowadzona w 2021 r. metodą jakościowej i ilościowej analizy treści pozwoliła zidentyfikować 111 technologii konotowanych z Przemysłem 4.0. Autorzy przeglądu zaproponowali umieszczenie ich w czterech kategoriach:

- ▶ Wytwarzanie i zbieranie danych (technologie umożliwiające, enabling).
- ▶ Transmisja danych (technologie umożliwiające).
- ▶ Czyszczenie, przechowywanie i przetwarzanie danych (technologie umożliwiające).

- ▶ Stosowanie danych (technologie wspierające tworzenie wartości).

Autorzy zauważyli, że analizowane artykuły skupiają się na omawianiu technologii umożliwiających, natomiast niewiele jest takich, które dotyczą stosowania danych.¹ Pod względem częstości występowania w fachowej literaturze na czoło wysuwały się systemy cyberfizyczne, Internet Rzeczy, big data, analityka big data i przetwarzanie chmurowe. Badacze doszli przy tym do wniosku, że w istocie Przemysł 4.0 można zdefiniować jako paradygmat działalności gospo-

¹ Klingenberg C. O., Viana Borges M. A., Valle Antunes J. A. Jr., 2019. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Tab. 3. Kategorie technologii datafikacji warunkujących Przemysł 4.0

Wytwarzanie i gromadzenie danych	Transmisja danych	Czyszczenie, przechowywanie i przetwarzanie danych	Aplikacja danych
Sensory (26) Systemy zakotwiczone (embedded systems) (23) Aktuatory (14) RFID Inteligentne sensory Zaawansowane sensory	Internet Rzeczy (70) Internet Usług (20) Internet (17) Sieci (15) Standardy i protokoły (13) Przemysłowy Internet Rzeczy Semantyki i ontologie Bezprzewodowe sieci sensorów Sieci komunikacyjne Przemysłowe sieci bezprzewodowe Sieci maszynowe Architektura zorientowana usługowo Maszyna-do-Maszyny Internet mobilny Sieci komputerowe Sieci sensorów Sieci bezprzewodowe Sieci przemysłowe Internet Wszystkiego Systemy integracji horyzontalnej i wertykalnej Sieci cyfrowe Przemysłowe Bezprzewodowe Sieci Sensorów Sieci połączone	Big data (37) Analityka big data (33) Przetwarzanie chmurowe (27) Sztuczna inteligencja (15) Chmura (15) Cyberbezpieczeństwo (13) Rzeczywistość wzmocniona (AR), (9) Produkcja addytywna Symulacja Rzeczywistość wirtualna Produkcja chmurowa Przemysłowe big data Zaawansowana analityka Agenci Blockchain Technologie interfejsowe Przetwarzanie wizualne Transfer cyfrowo-fizyczny Interfejs ludzie-maszyny Chmura przemysłowa Machine learning	Inteligentne fabryki (13) Inteligentna produkcja Robotyka Inteligentne produkty Autonomiczne pojazdy Inteligentne maszyny Inteligentne roboty Inteligentne usługi Inteligentne przedmioty Autonomiczna robotyka Elastyczna produkcja Systemy Inteligentne gridy Urządzenia ubieralne

Źródło: Klingenberg C. O., Viana Borges M. A., Valle Antunes J. A. Jr., 2019. *Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. Journal of Manufacturing Technology Management*, analiza 119 artykułów opublikowanych w latach 2015–2017.



Rys. 7. Przykład kategoryzacji technologii podstawowych dla Przemysłu 4.0

Technologie linii produkcyjnej	▶ mają zastosowanie od magazynu po linię produkcyjną aż do miejsca wysyłki ▶ druk 3D, roboty kolaboratywne i autonomiczne, pojazdy autonomiczne
Inteligentne technologie wspierające pracowników	▶ technologie wzmacniające/rozszerzające umiejętności pracowników w zakresie produkcji i czynności konserwacyjnych lub bardziej złożonych operacji serwisowych ▶ inteligentne okulary i inteligentne rękawice lub technologie rozszerzonej rzeczywistości, takie jak hologramy
Inteligentny sprzęt	▶ urządzenia, które umożliwiają monitorowanie, komunikowanie się, i wzajemne oddziaływanie na obiekty fizyczne, takie jak czujniki zainstalowane na urządzeniach fizycznych ▶ systemy cyberfizyczne
Technologie obliczeniowe	▶ technologie wzmacniające moc obliczeniową, co umożliwia symulację i optymalizację działalności firm ▶ wirtualizacja środowiska fabrycznego wraz z symulacją i tworzeniem prototypów jego funkcjonowania
Technologie umożliwiające dzielenie się zasobami	▶ umożliwiają dzielenie się zasobami, takimi jak maszyny, moc obliczeniowa czy pamięć w chmurze obliczeniowej bez potrzeby rozbudowy kosztownej infrastruktury komputacyjnej na miejscu ▶ technologie chmurowe
Inteligentne technologie produktowe	▶ technologie zainstalowane na produktach, umożliwiające zdalne monitorowanie sposobu użytkowania i stanowiące podstawę do budowania usług dla zaangażowanych producentów w relacje z klientami ▶ sensory, RFID
Technologie analizy danych	▶ umożliwiają zarządzanie rozproszonymi bazami danych (big data); są wykorzystywane głównie w rozwoju nowych usług dla klientów ▶ systemy wykorzystujące sztuczną inteligencję
Technologie sieciowe	▶ umożliwiają komunikację między obiektami za pomocą sieci Infrastruktura sieciowa umożliwia komunikację między czujnikami zainstalowanymi na sprzęcie i produktach (np. RFID), a także ich autonomiczną współpracę ▶ Internet Rzeczy
Technologie bezpieczeństwa cybernetycznego	▶ umożliwiają komunikację między obiektami za pomocą sieci Infrastruktura sieciowa umożliwia komunikację między czujnikami zainstalowanymi na sprzęcie i produktach (np. RFID), a także ich autonomiczną współpracę ▶ Internet Rzeczy

Źródło: Calabrese A., Dora M. Ghiron N. L. (2020). Industry's 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of. Production Planning and Control.
https://www.researchgate.net/publication/346217340_Industry's_40_transformation_process_how_to_start_where_to_aim_what_to_be_aware_of.

darczej opartej na danych („Industry 4.0 as a data-driven paradigm”)². Zdolność do czerpania korzyści z danych w coraz większym stopniu determinuje konkurencyjną pozycję firm na rynku poprzez rozwój inteligentnych usług i produktów (personalizacja), automatyzację procesów biznesowych, nowe sposoby budowania relacji sieciowych i zarządzanie oparte na danych (nowe modele biznesowe). Inteligentna automatyzacja procesów kognitywnych sprawia, że

szybsza, dokładniejsza i tańsza analiza jest dostępna dla coraz większej liczby firm, w tym tych, które nie mogą sobie pozwolić na zatrudnienie zespołu data scientists.

Ciekawą propozycję kategoryzacji technologii kluczowych dla Przemysłu 4.0 przedstawiła w 2020 r. inna grupa badaczy na podstawie przeglądu literatury przedmiotu zamieszczonej w bazie Scopus.

Poniżej omawiamy najważniejsze technologie warunkujące rozwój Przemysłu 4.0. wraz z przedsta-

wieniem poziomu ich obecnych wdrożeń w krajach Unii Europejskiej. Innowacyjne technologie wykazują olbrzymi potencjał datafikacyjny: umożliwiają one wysoce efektywne wykorzystanie danych do rekonstrukcji wszystkich obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa. Połączenie technologii cyfrowych i nowoczesnych technologii produkcyjnych umożliwia wertykalną integrację przedsiębiorstw, horyzontalną integrację w sieciach współpracy i łańcuchach dostaw oraz kompleksowe rozwiązania (end-to-end) w całym łańcuchu wartości.

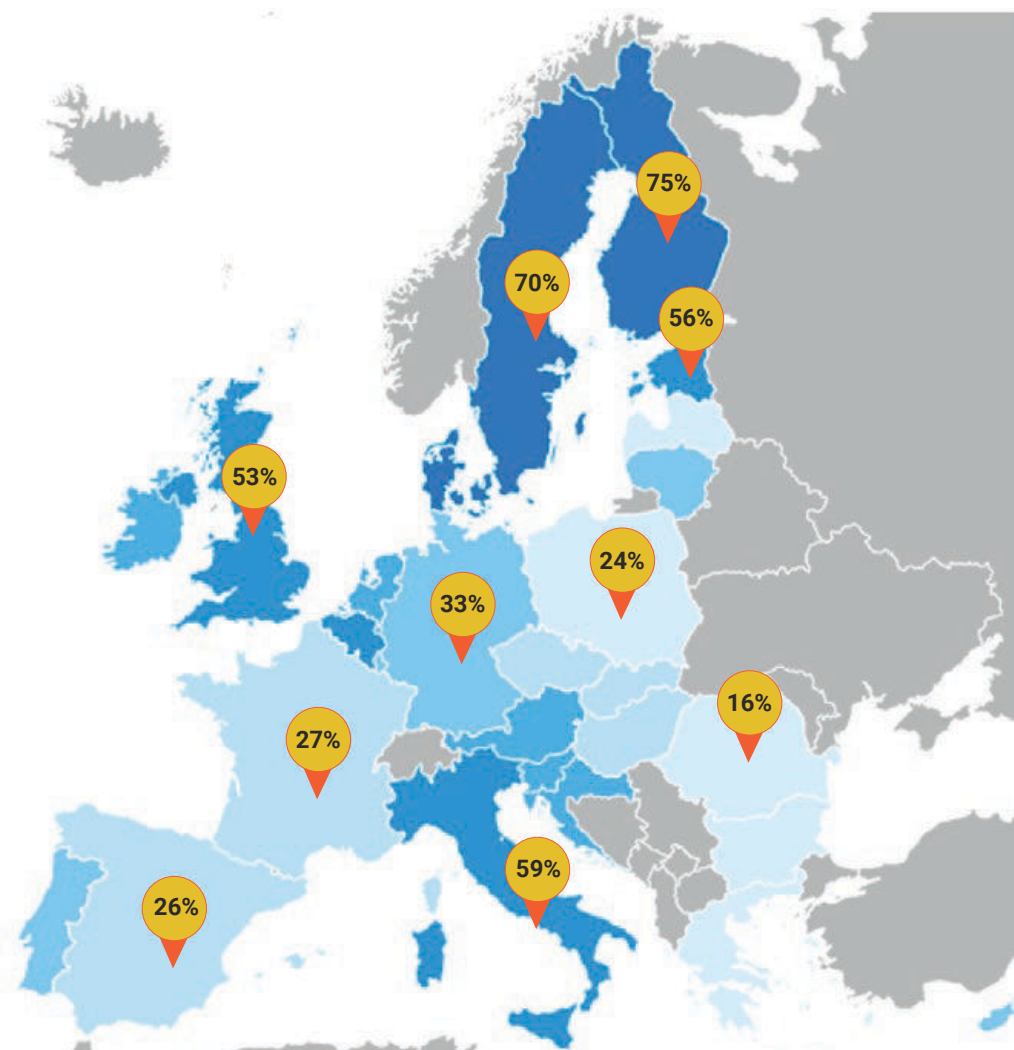
3.1. Technologie chmurowe

Postęp w obszarze łączności umożliwił rozwój rozwiązań chmurowych (*cloud computing*), pozwalających na zwiększenie mocy obliczeniowych poprzez

korzystanie z potencjału komputacyjnego zewnętrznych serwerów. Za pośrednictwem chmury organizacja może korzystać z przestrzeni dyskowej i mocy obliczeniowej (*Infrastructure as a Service, IaaS*); aplikacji i oprogramowania (*Platform as a Service, PaaS*, oraz *Software as a Service, SaaS*); rozwiązań komunikacyjnych (*Communication as a Service, CaaS*) oraz infrastruktury integrującej programy i aplikacje działające w różnych środowiskach operacyjnych (*Integration Platform as a Service*). W zasadzie wszystko może stać się usługą chmurową (*Everything as a Service, XaaS*)³. Wdrożenia technologii chmurowych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, w połączeniu z wdrożeniem Internetu Rzeczy i technologii wirtualizacji,

3 Vennam S. 2020. Cloud Computing. IBM. <https://www.ibm.com/cloud/learn/cloud-computing> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 8. Przedsiębiorstwa korzystające z usług chmury obliczeniowej w internecie



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).



przyczyniają się do powstania „cloud manufacturing” – przekształcania tradycyjnych zasobów produkcyjnych dostępnych w formie chmurowej produkcji jako usługi (*Manufacturing as a Service, MaaS*).

Przykład: Manufacturing as a Service

Firma Screvle udostępnia platformę produkcyjną i programistyczną umożliwiającą produkcję inteligentnej elektroniki. Firma produkcyjna zyskuje wsparcie w całym procesie projektowania i wytwarzania produktu. Punktem wyjścia są standardowe rozwiązania sprzętowe oferowane przez Screvle, które następnie są uzupełniane o elementy personalizujące wskazane przez klienta biznesowego⁴.

Dane dotyczące wdrażania rozwiązań chmurowych w przedsiębiorstwach na terenie Unii Europejskiej pokazują duże zróżnicowanie między poszczególnymi krajami. Najwyższy poziom wdrożeń odnotowują kraje skandynawskie. Warto zwrócić uwagę, że zaledwie co trzecie niemieckie przedsiębiorstwo i co czwarte polskie przedsiębiorstwo korzysta z tego typu rozwiązań o podstawowym znaczeniu dla rozwoju przemysłu nowej generacji.

3.2. Internet Rzeczy

Rozwój Przemysłu 4.0 opiera się na Przemysłowym Internecie Rzeczy (IIoT). Koncepcję tę można zdefiniować jako dynamiczną sieć połączonych obiektów fizycznych wyposażonych w detektory, czujniki autonomiczne, platformę i aplikacje zdolne do gromadzenia danych i udostępniania ich między sobą i otoczeniem⁵.

Czujniki, które zbierają dane, mogą być zintegrowane z:

- ▶ **Fabryką**, obejmującą halę produkcyjną, magazyny, budynki, pojazdy i okoliczne tereny. Dotyczy to gromadzenia wszelkiego rodzaju danych o ruchach

obiektów fizycznych i warunkach środowiskowych, takich jak np. temperatura i wilgotność.

- ▶ **Maszynami**, w coraz większym stopniu autonomicznymi dzięki systemom wykorzystującym sztuczną inteligencję.
- ▶ **Robotami**. Upowszechnianie się robotów i automatyzacja produkcji były typowe dla trzeciej rewolucji przemysłowej. W 1962 r. w fabryce General Motors zainstalowano pierwsze robotyczne ramię, które mogło wykonywać jeden rodzaj powtarzalnej operacji. Pod koniec lat 60. naukowcy z Uniwersytetu Stanforda zbudowali ramię, które może poruszać się w sześciu osiach; w latach 80. wciąż były one jednak mało mobilne i nie były w stanie analizować danych z otoczenia. Obecnie mniejsze, bardziej wydajne i tańsze czujniki zbierają wszelkiego rodzaju dane na temat otoczenia; które są szybko przetwarzane i analizowane w chmurze za pomocą inteligentnych algorytmów, a następnie wykonują ruch dzięki zastosowaniu siłowników (komponenty, które wykonują ruchy, takie jak silniki, układy hydrauliczne, wzmacniacze sygnałowe i siłowniki hydrauliczne/pneumatyczne)⁶.
- ▶ **Autonomicznymi pojazdami lub dronami**, które dzięki zaawansowanym czujnikom mogą pracować bezkolizyjnie, mają zdolność do komunikowania się z innymi urządzeniami, szybkiego przetwarzania danych. W Stanach Zjednoczonych jedna na dziesięć dużych i średnich firm produkcyjnych przyjęła już autonomiczne lub półautonomiczną część urządzeń mobilnych, powołując się na przewagę kosztową jako główny motyw⁷. W 2012 r. Amazon zdecydował się na zakup firmy, która opracowała roboty mobilne (o nazwie Kiva Systems). W 2020 r. ponad 200 000 robotów mobilnych przewoziło produkty wewnątrz magazynów⁸.

4 Screvle. <http://www.screvle.com/> (dostęp 22 czerwca 2021).

5 Cooper J., James A. E. 2009. *Challenges for Database Management in the Internet of Things*. IETE Technical Review. 26 (5), s. 320–329. https://www.researchgate.net/publication/26845114_Challenges_for_Database_Management_in_the_Internet_of_Things (dostęp 22 czerwca 2021).

6 Simon M. 2020. *The WIRED Guide to Robots*. Wired. <https://www.wired.com/story/wired-guide-to-robots/> (dostęp 22 czerwca 2021).

7 *The autonomous way to Industry 4.0 - Mobile Robots: the backbone of the factory of the future*. Mobile Industrial Robots. <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/resources/whitepapers/the-autonomous-way-to-industry-40-mobile-robots-the-backbone-of-the-factory-of-the-future/> (dostęp 22 czerwca 2021).; 2018. Industrial Mobility. *How autonomous vehicles can change manufacturing*. PwC. <https://www.pwc.com/us/en/industrial-products/publications/assets/pwc-industrial-mobility-and-manufacturing.pdf> (dostęp 22 czerwca 2021).

8 Del Rey, J. 2019. *How robots are transforming Amazon warehouse jobs – for better and worse*. Recode. <https://www.vox.com/recode/2019/12/11/20982652/robots-amazon-warehouse-jobs-automation> (dostęp 22 czerwca 2021).

- ▶ Urządzeniami ubieralnymi i sprzęt używany przez pracowników. Pracownik może nosić hełm wyposażony w czujniki i kamery; inteligentną kamizelkę zbierającą dane o jego ruchach i parametrach życiowych; lub przynajmniej opaskę, która nie tylko zbiera dane, ale także wibruje w przypadku wykrycia odchylenia od procedury ruchu⁹.
- ▶ Towarami uzupełnionymi o warstwę cyfrową – to pozwala na monitorowanie ich wykorzystania przez cały ich cykl życia. W rezultacie „Produkcja wykracza poza produkcję obiektu fizycznego, ponieważ obsługa inteligentnego, połączonego produktu wymaga wsparcia systemu opartego na chmurze” – stwierdzili Michael Porter i John Heppleman w artykule omawiają-

cym rolę inteligentnych połączonych produktów w funkcjonowaniu firmy¹⁰.

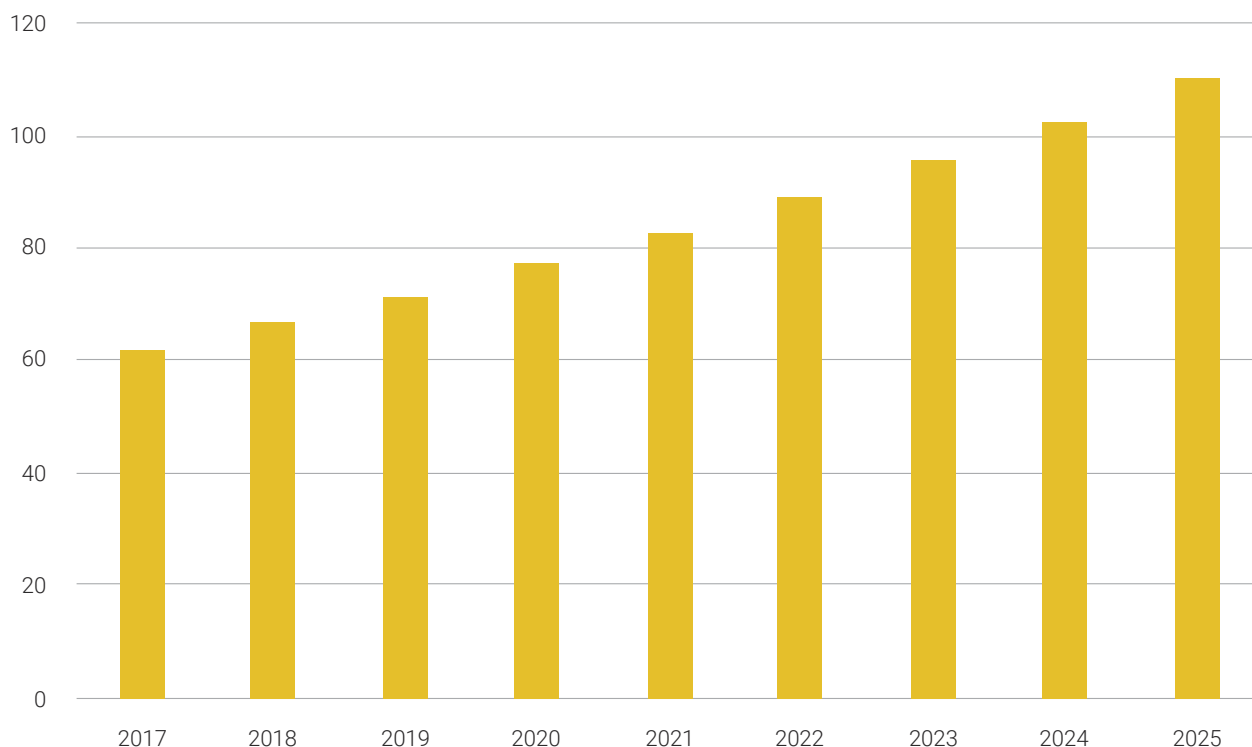
Sprawia to, że maszyny i urządzenia stają się częścią autonomicznych sieci, które komunikują się ze sobą i wchodzą ze sobą w interakcje na różne sposoby. IIoT stosowany w fabrykach umożliwia ciągłe monitorowanie procesów produkcyjnych i dostosowanie planu konserwacji i serwisu, zapobiegając w ten sposób awariom powodującym przestoje. Zintegrowany z systemami planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP), umożliwia zarządzanie zasobami energetycznymi i zużyciem energii, a także ogólniej optymalizuje procesy produkcyjne¹¹. Pozwala zbierać bieżące dane o całym cyklu życia produktu, od produkcji przez użyt-

9 DAQRI: Transforming Enterprises with Augmented Reality. CIO Review. <https://ibm.cioreview.com/sprzedawca/2018/daqri> (dostęp 22 czerwca 2021).; 2019. IBM Helps Organizations Monitor Their Workers' Safety with Watson IoT. IBM. <https://newsroom.ibm.com/2019-02-13-IBM-Helps-Organizations-Monitor-Their-Workers-Safety-with-Watson-IoT> (dostęp 22 czerwca 2021).

10 Porter M. E., Heppelmann J. E. 2015. *How Smart, Connected Products Are Transforming Companies*. Harvard Business Review, s. 8. <https://hbr.org/2015/10/how-smart-connected-products-are-transforming-companies> (dostęp 22 czerwca 2021).

11 Gamarra C., Guerrero J. M., Montero E. 2016. *A knowledge discovery in databases approach for industrial microgrid planning*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 60, s. 615–630.

Rys. 9. Wielkość rynku IIoT na świecie (w mld USD)



Źródło: Statista. 2020. Industrial Internet of Things market size worldwide from 2017 to 2025* (in billion U.S. dollars). Chart. In Statista. <https://www.statista.com/statistics/611004/global-industrial-internet-of-things-market-size/>.

kowanie po recykling; umożliwia też tworzenie cyfrowych bliźniaków maszyn i systemów, czyli cyfrowych replik pozwalających na bieżąco wprowadzać zmiany w ich funkcjonowaniu. Z kolei integracja systemów IIoT z systemami zarządzania relacjami z klientami (CRM) pozwala firmom dostosować zautomatyzowaną obsługę klienta w czasie rzeczywistym, do profilu konkretnego klienta¹². Lepsza integracja danych umożliwia wydajną i bezproblemową integrację systemów, co z kolei znajduje odzwierciedlenie w kompleksowej transformacji organizacyjnej i procesowej. Od 2017 r. wielkość rynku IIoT na świecie wzrosła o 79%.

W ramach Unii Europejskiej poziom wdrożeń IIoT pozostaje na niskim poziomie, za wyjątkiem Finlandii, gdzie cztery na dziesięć przedsiębiorstw dokonało takich wdrożeń.

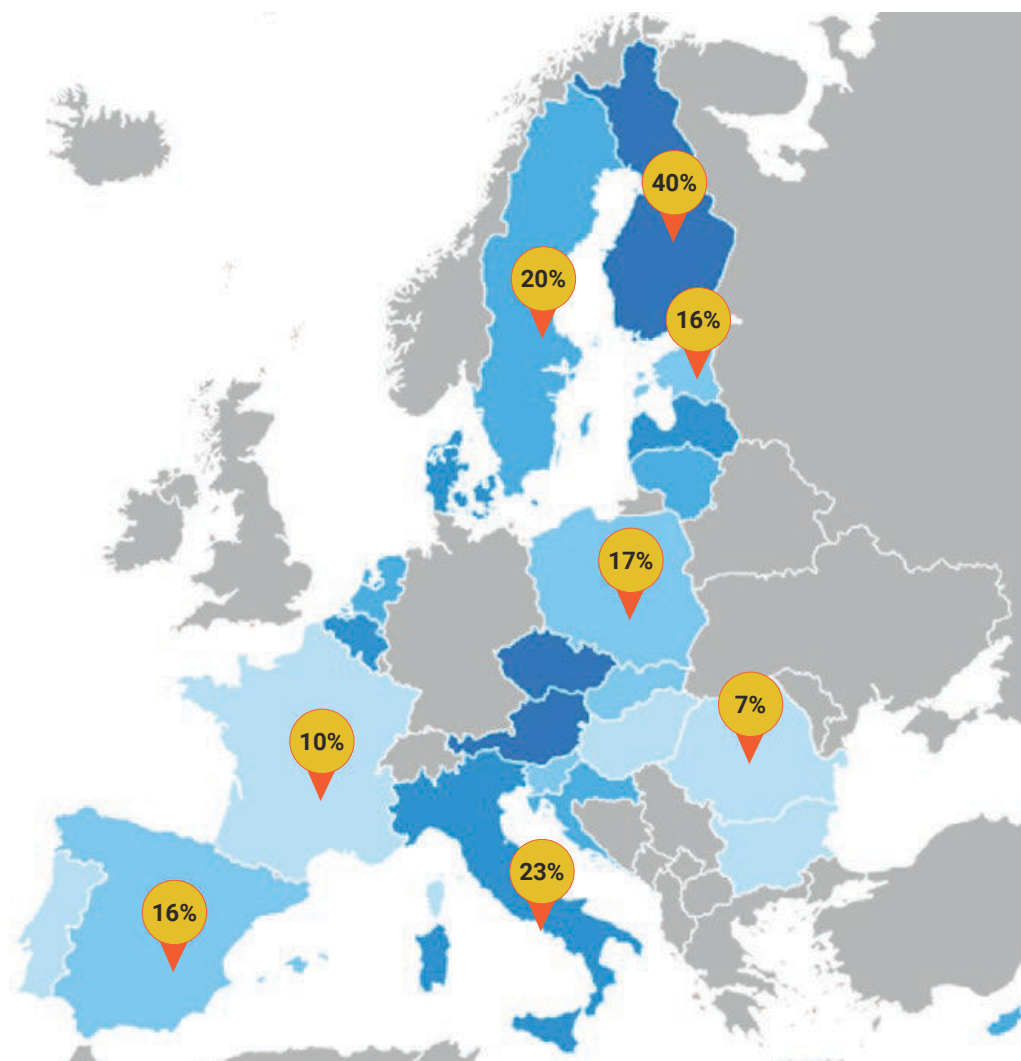
Warto dodać, że rozwój IIoT był możliwy dzięki radykalnemu spadkowi ceny sensorów instalowanych niezależnie lub w ramach urządzeń. W 2004 r. średni koszt sensora wynosił 1,3 USD, w 2020 r. – 38 centów.

3.3. Analityka big data z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

Nowoczesne przedsiębiorstwo ma dostęp do obfitych zbiorów danych pochodzących zarówno z terenu fabryki (z sensorów wbudowanych w maszyny czy inną infrastrukturę materialną, np. ściany lub podłogi), z sys-

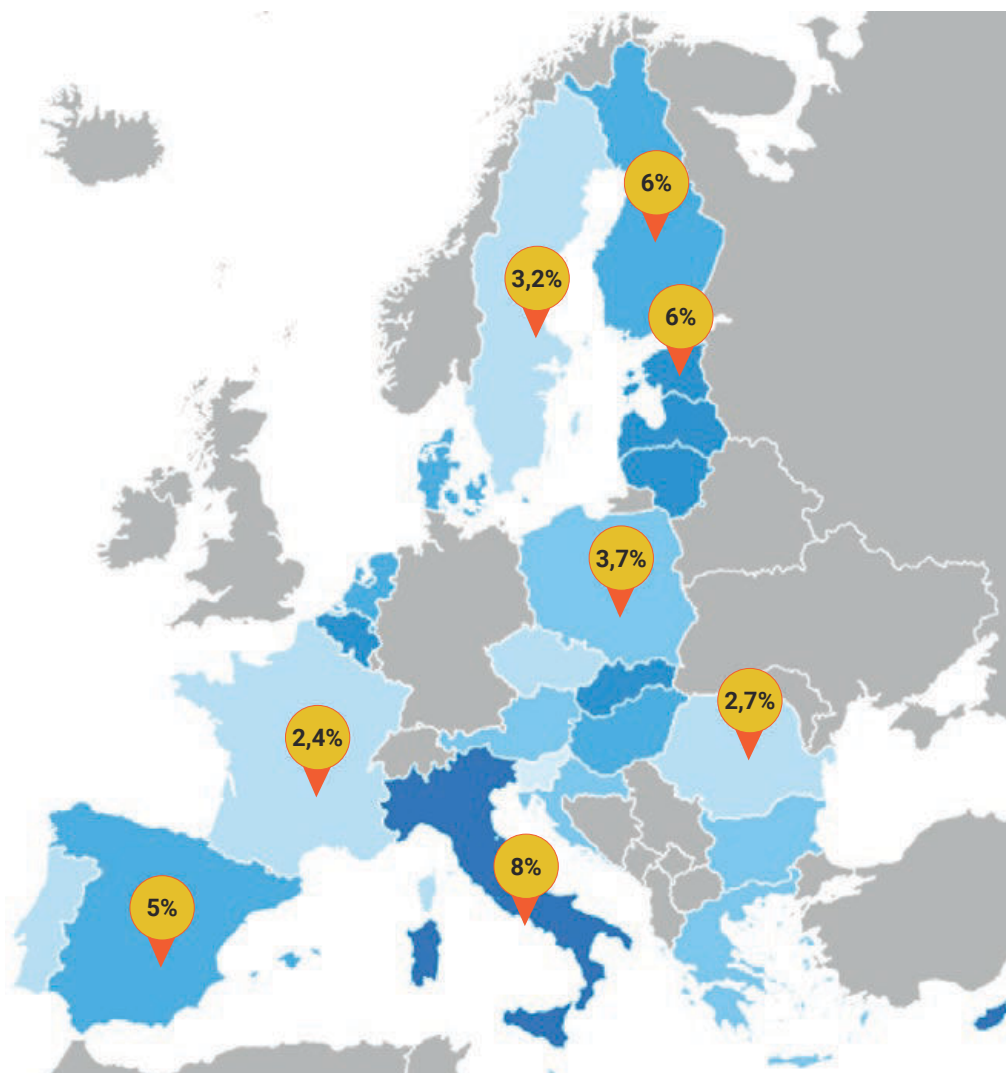
12 Goldenberg B. 2015. *The Definitive Guide to Social Crm: Maximizing Customer Relationships with Social Media to Gain Market Insights, Customers, and Profits*. Pearson FT Press.; Roblek, V. Meško, M. i A., Krapež. 2016. *A Complex View of Industry 4.0*. SAGE Open, 6(2).

Rys. 10. Przedsiębiorstwa używające urządzeń lub systemów korzystających z IIoT



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

Rys. 11. Użycie czujników, RFID, tagów IP lub kamer sterowanych przez internet w celu poprawy obsługi klienta, obserwacji zachowań klienta lub oferowania spersonalizowanych zakupów



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

temów informatycznych, z sensorów wbudowanych w produkty, komunikacji z klientami i mediów społecznościowych oraz z łańcuchów dostaw i dystrybucji. Efektywność analizy tych dużych zbiorów danych (często określanych mianem big data) w coraz większej mierze zapewniają technologie sztucznej inteligencji, oparte na wykorzystaniu algorytmów. Algorytmy te mogą mieć charakter regułowy, czyli działać zgodnie z narzuconymi przez programistę wytycznymi „jeśli wystąpi dany warunek, wykonaj dane działanie”; mogą też samodoskonalić się przy wykorzystaniu reguł statystycznych. Mamy wówczas do czynienia z uczeniem maszynowym (*machine learning*): komputery działają bez konieczności ich wcześniejszego zaprogramowania. Skuteczność takich algorytmów zależy jednak od dostępu do dużych zbiorów danych, które pojawiły się dopiero wraz z rozwojem internetu i upowszechnieniem urządzeń cyfrowych.

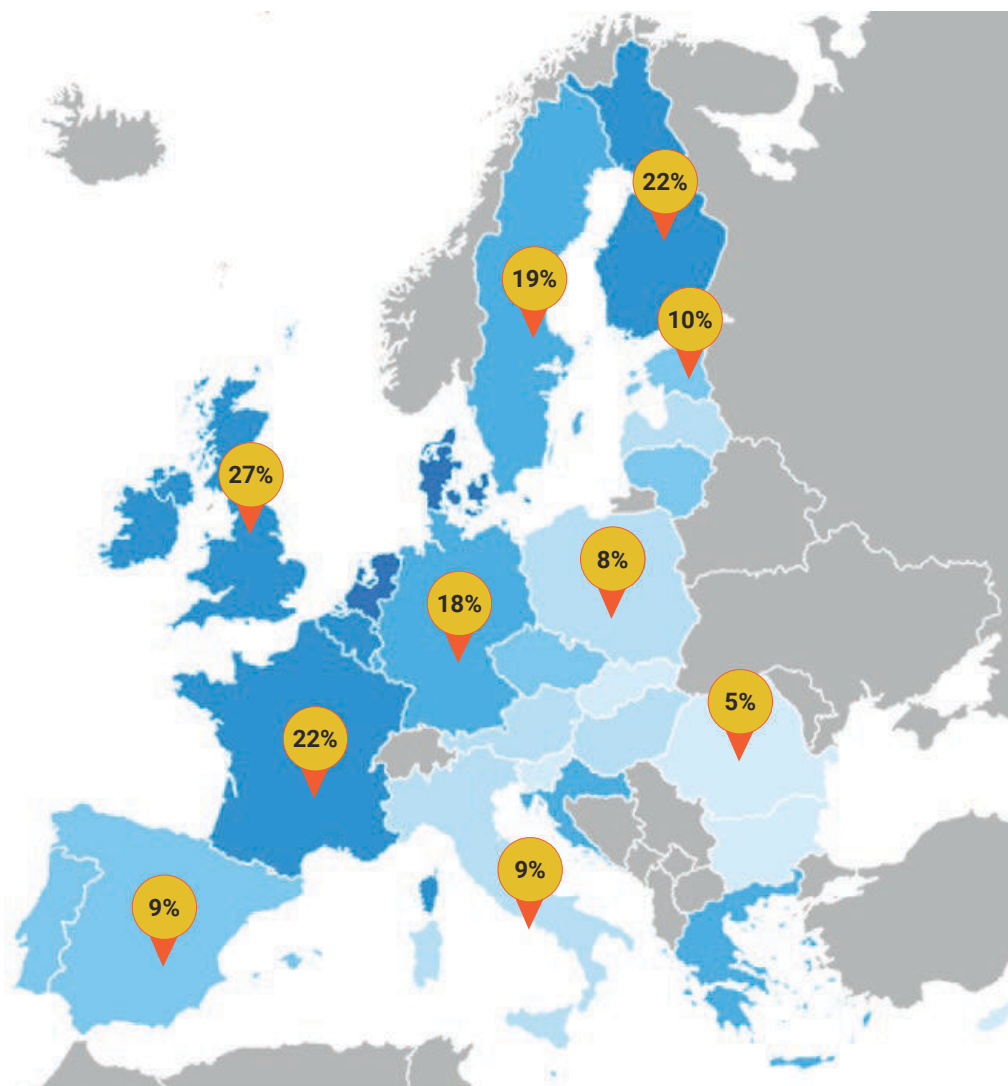
W Unii Europejskiej w dziedzinie analityki big data na czoło wysuwają się przedsiębiorstwa z Wielkiej Brytanii, Francji i Finlandii. Nawet jednak w tych krajach przedsiębiorstwa te stanowią mniejszość.

Jeszcze bardziej elitarną grupę stanowią przedsiębiorstwa, które wdrożyły systemy wykorzystujące sztuczną inteligencję. W przodującej pod tym względem Finlandii jest to zaledwie 10% przedsiębiorstw.

3.4. Zaawansowana robotyzacja

Jednym z najważniejszych wskaźników postępującej automatyzacji przemysłu jest wzrost liczby zastosowań robotów przemysłowych na całym świecie.

Rys. 12. Przedsiębiorstwa prowadzące analitykę dużych zbiorów danych



Źródła: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

Wiodące rynki robotów przemysłowych to Japonia, Chiny, Stany Zjednoczone, Korea Południowa i Niemcy. Na wschodzących rynkach produkcyjnych trend wzrostowy jest w dużej mierze napędzany przez rosnące płace, które sprawiają, że korzystanie z maszyn staje się realną alternatywą dla ludzkiej pracy.

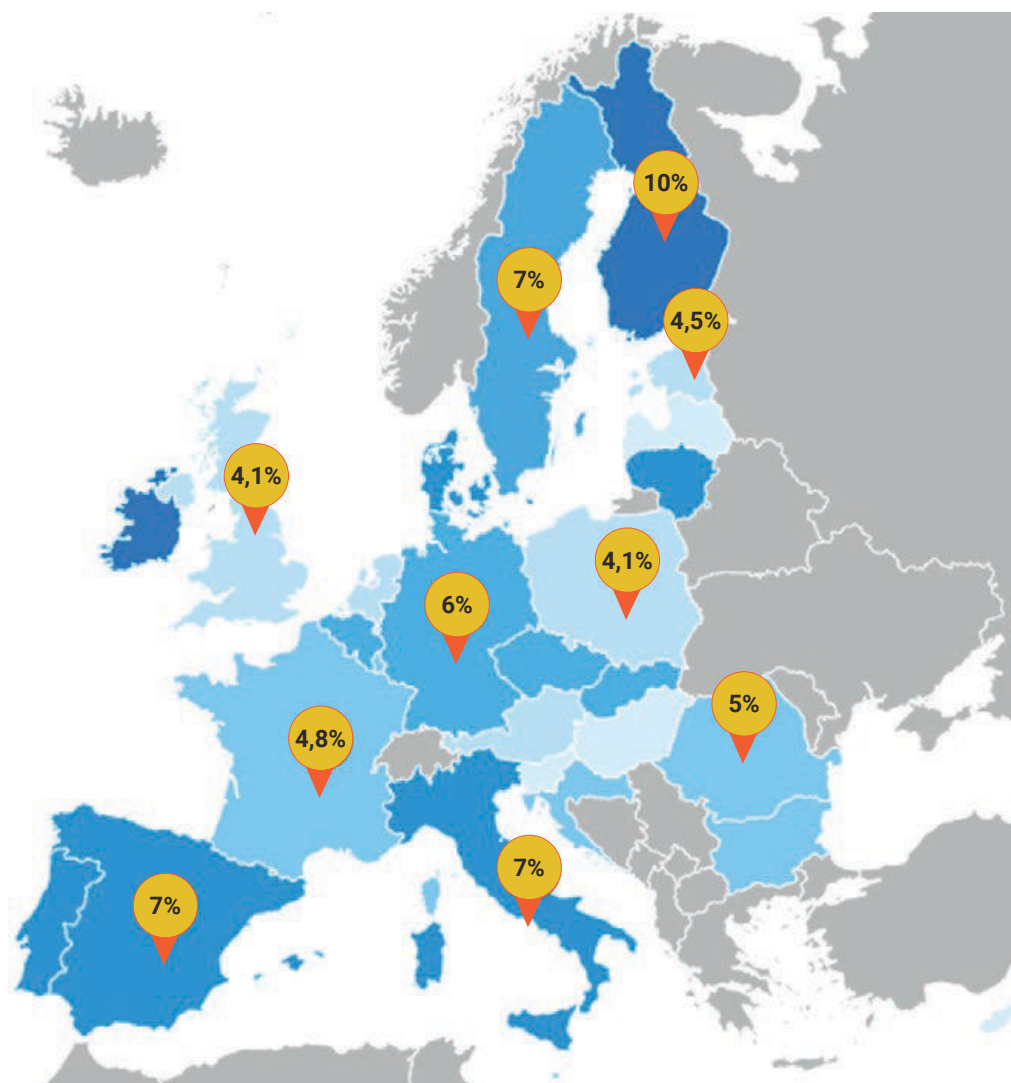
W Unii Europejskiej odsetek przedsiębiorstw wykorzystujących roboty przemysłowe nie przekracza 8%.

Roboty nowej generacji stają się coraz bardziej autonomiczne: mogą lepiej postrzegać swoje otoczenie, manipulować obiektami z większą zręcznością i elastycznością oraz komunikować się i coraz lepiej

współpracować z ludźmi¹³. Rosnąca liczba **robotów współpracujących (cobotów)** wspiera pracowników w produkcji przemysłowej, a także w produkcji żywności i opiece zdrowotnej. Postępy w odczytywaniu obrazu oraz spadek ceny czujników głębi pozwalają na bezpieczniejszą współpracę między pracownika-

¹³ 2019. *Palletising Cobot With Vision System Works In Tight Quarters In The Food Industry* – Article by Universal Robots & Asia Pacific Food Industry Mag. Cobots.ie <https://cobots.ie/news/palletising-cobot-with-vision-system-works-in-tight-quarters-in-the-food-industry-article-by-universal-robots-asia-pacific-food-industry-mag> (dostęp 22 czerwca 2021).; Marr, B. 2018. *The Future Of Work: Are You Ready For Smart Cobots?*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernard-marr/2018/08/29/the-future-of-work-are-you-ready-for-smart-cobot-s/#276938f8522b> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 13. Przedsiębiorstwa używające przynajmniej jednego systemu AI



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

mi ludzkimi a robotami na dużą skalę (do tej pory pracowały w tzw. klatkach bezpieczeństwa i wykonywały ograniczone ruchy).

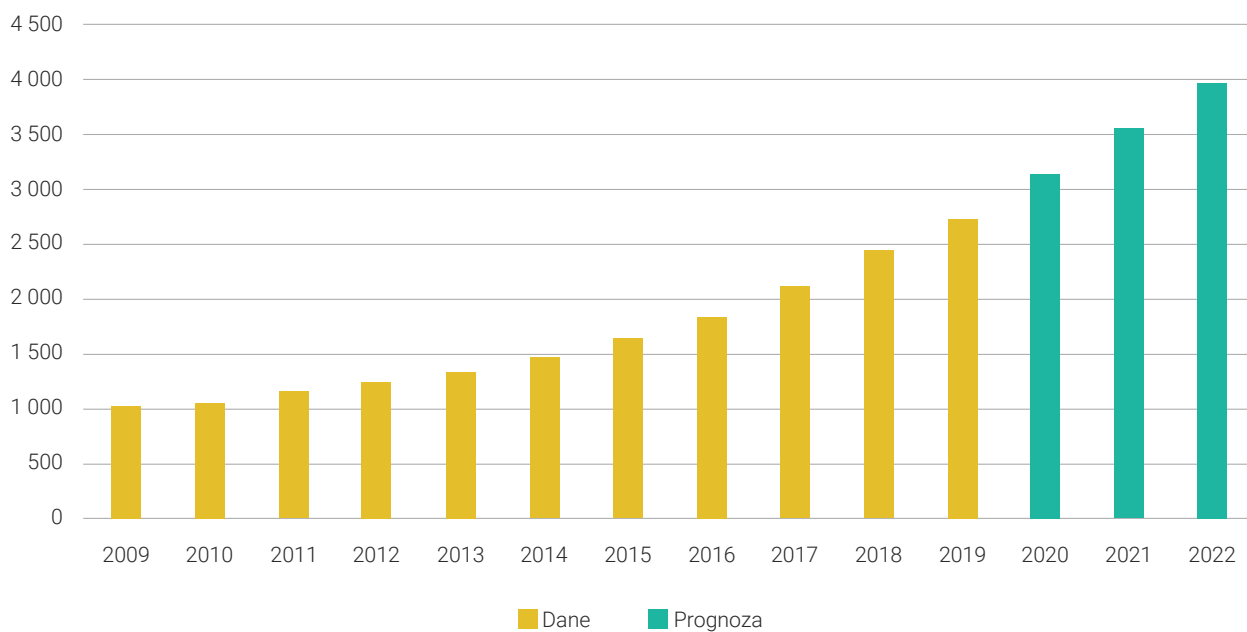
W 2020 r. na rynku dostępnych było 250 różnych rodzajów cobotów, przy czym większość z nich pracowała w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym. Prawie połowa była wykorzystywana do pakowania lub zbierania i rozmieszczania produktów lub części¹⁴. Coboty mogą być obsługiwane przez pracowni-

ka z niewielkim doświadczeniem w programowaniu, można je przekonfigurować w pół dnia lub przesunąć z jednego działu do drugiego¹⁵. Wykorzystują algorytmy uczenia maszynowego (np. rozpoznawanie obrazu, zapamiętywanie tras lub układów pomieszczeń), dzięki czemu ich wdrażanie do pracy w określonych warunkach może być niezwykle szybkie i proste.

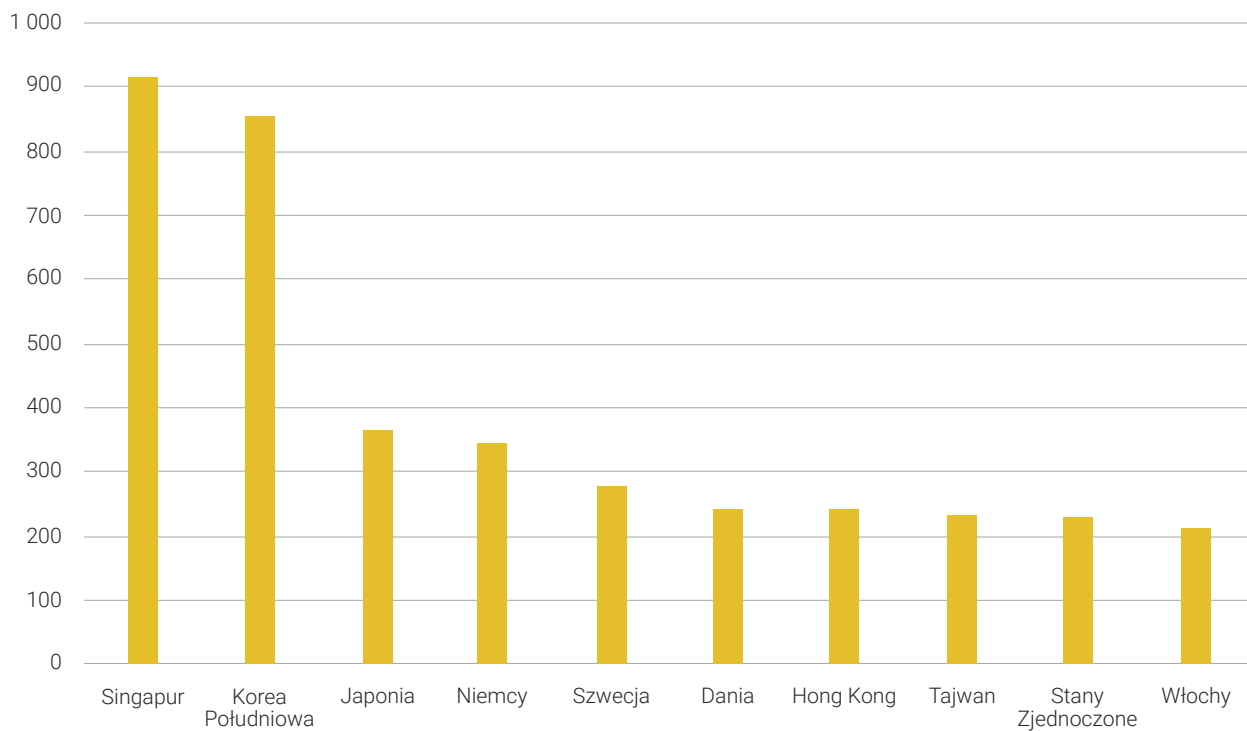
Wdrożenie cobotów jest przykładem **rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego**, który umożliwia optymalizację funkcjonalności i wydajności infrastruktury produkcyjnej. Systemy te składa-

14 Roots Analysis. 2020. *The global collaborative robots (cobots) market is projected to be worth USD 18 billion by 2030, growing at a CAGR of 34.4%, claims Roots Analysis*. Cision PR Newswire. <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-global-collaborative-robots-cobots-market-is-projected-to-be-worth-usd-18-billion-by-2030-growing-at-a-cagr-of-34-4-claims-roots-analysis-301133387.html> (dostęp 22 czerwca 2021).

15 *Collaborative Robots e-Series by Universal Robots*. Universal Robots. <https://www.universal-robots.com/pl/e-series/> (dostęp 22 czerwca 2021).

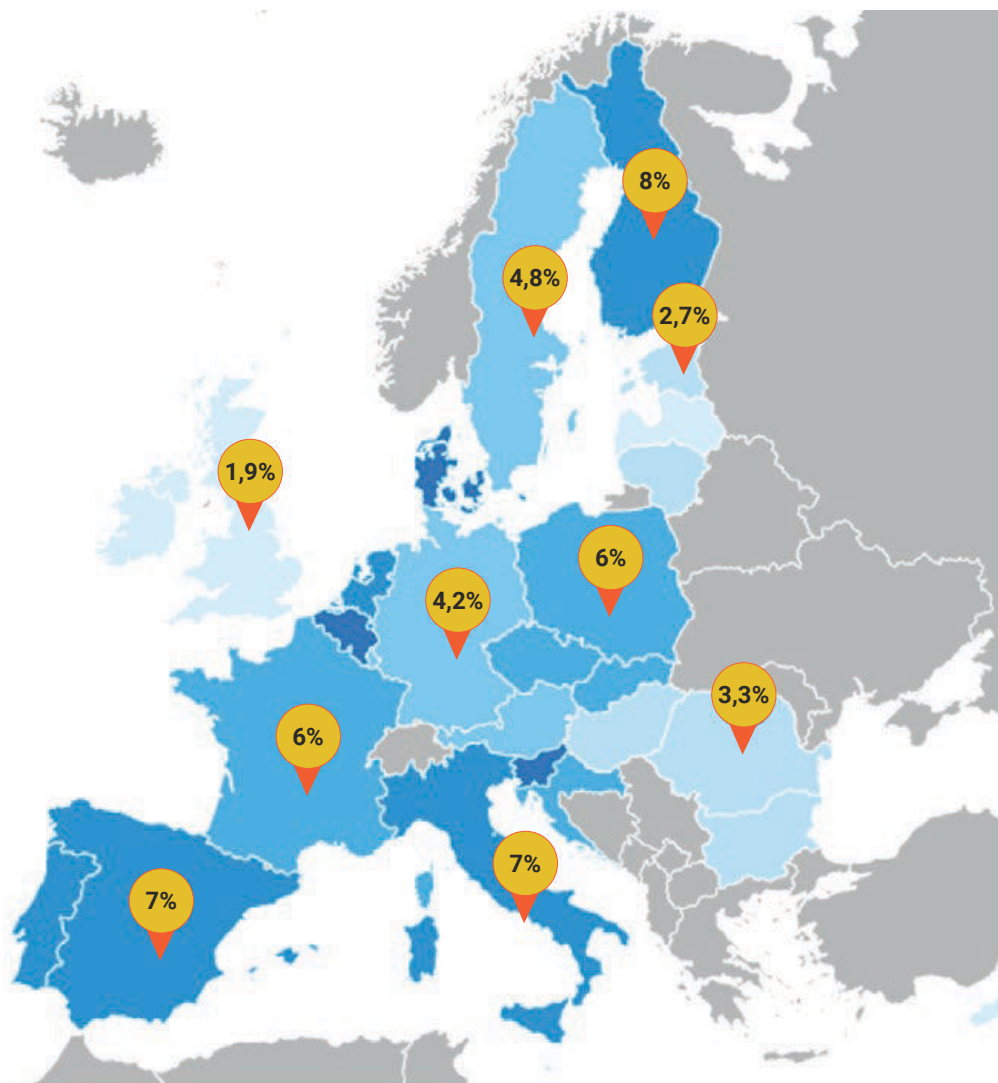
**Rys. 14.** Ogólnoświatowy zasób operacyjny robotów przemysłowych (w tysiącach)

Źródło: Własne obliczenia na bazie IFR. 2019. Worldwide operational stock of industrial robots from 2009 to 2022 (in 1,000 units). Chart. In Statista.
<https://www.statista.com/statistics/947017/industrial-robots-global-operational-stock/>; IFR. 2020.
Operational stock of multipurpose industrial robots worldwide from 2015 to 2019 (in 1,000 units).

Rys. 15. Liczba robotów przemysłowych na 10 tys. pracowników w wybranych krajach w 2019 r.

Źródło: Własne obliczenia na podstawie: IFR. 2020. Manufacturing industry-related robot density in selected countries worldwide in 2019 (in units per 10,000 employees), <https://www.statista.com/statistics/911938/industrial-robot-density-by-country/>.

Rys. 16. Przedsiębiorstwa używające roboty przemysłowe



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

ją się z modułów, które dzięki integracji operacyjnej i informatycznej można łatwo łączyć, oddzielać lub dodawać, podczas gdy zintegrowany system pomiarowy ocenia stan całego systemu. Mobilne i elastyczne roboty, działające na inteligentnych algorytmach, ułatwiają szybką i tanią konfigurację linii produkcyjnych w celu wyprodukowania małych partii i reagowania na zmieniające się preferencje odbiorców¹⁶. W ten sposób procesy technologiczne kształtujące Przemysł 4.0 umożliwią zaawansowaną personalizację produktu końcowego, w proce-

sie, który będzie przypominał produkcję rzemieślniczą przy wykorzystaniu masowej produkcji¹⁷.

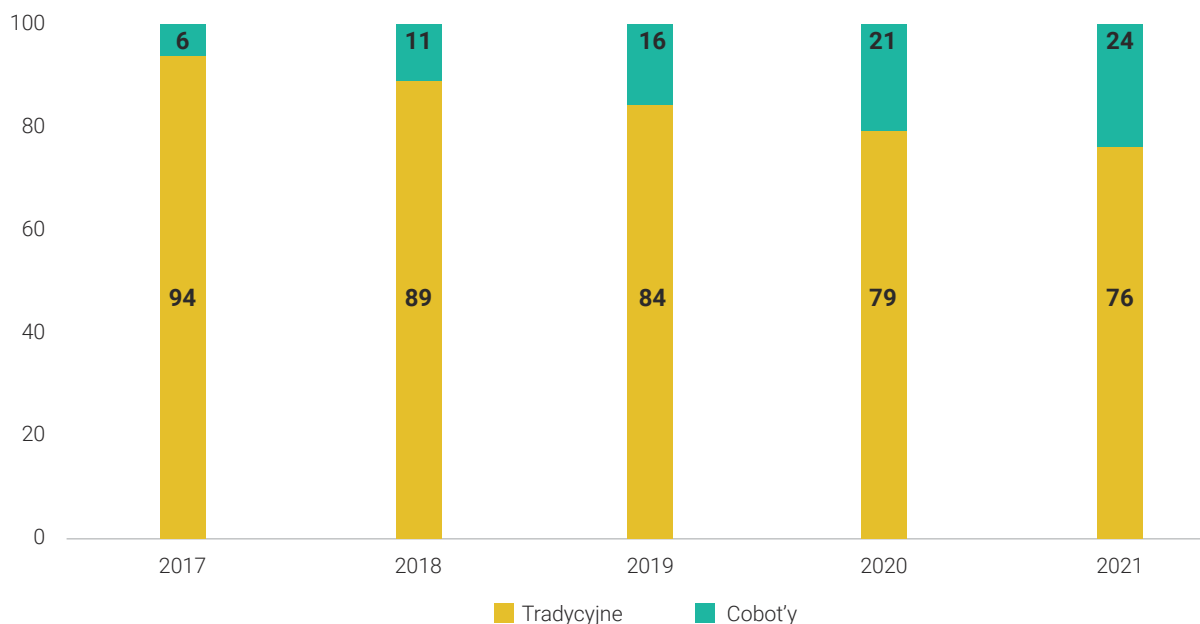
3.5. Systemy cyberfizyczne

Rozwój Przemysłu 4.0 nie byłby możliwy bez systemów cyberfizycznych (CPS), czyli cyfrowej repliki obiektów fizycznych i procesów, tworzonych z danych, które są stale dostarczane z wielu czujników i przetwarzane w chmurze w czasie rzeczywistym, przy użyciu

¹⁶ Mehrabi M. G., Ulsoy, A. G., Koren Y. 2000. Recon@urable manufacturing systems: Key to future manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, 11, s. 403–419. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/46513/10845_2004_Article_268791.pdf?sequence=1&isAllowed=y (dostęp 22 czerwca 2021).

¹⁷ Torn I. A. R., Vaneker T. H. J. 2019. Mass Personalization with Industry 4.0 by SMEs: a concept for collaborative networks. Procedia Manufacturing, 28, s. 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.022> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 17. Udział robotów tradycyjnych i współpracujących w wolumenie sprzedaży (w %, na całym świecie)



Źródło: Statista. <https://www.statista.com/statistics/1018935/traditional-and-collaborative-robotics-share-worldwide/>.

inteligentnych algorytmów. Każdy fizyczny produkt lub proces produkcyjny może otrzymać swój własny cyfrowy „model”, który pozwala m.in. na bezpieczne eksperymentowanie w wirtualnym świecie. Rezultaty zmian w modelu wirtualnym mogą być na bieżąco przekładane na rzeczywiste procesy produkcyjne; w drugą stronę – sensory wbudowane w maszyny czy linie produkcyjne mogą wychwycić zmiany w procesie produkcyjnym, które pojawią się w modelu wirtualnym.

Przykład: zastosowania cyfrowego bliźniaka

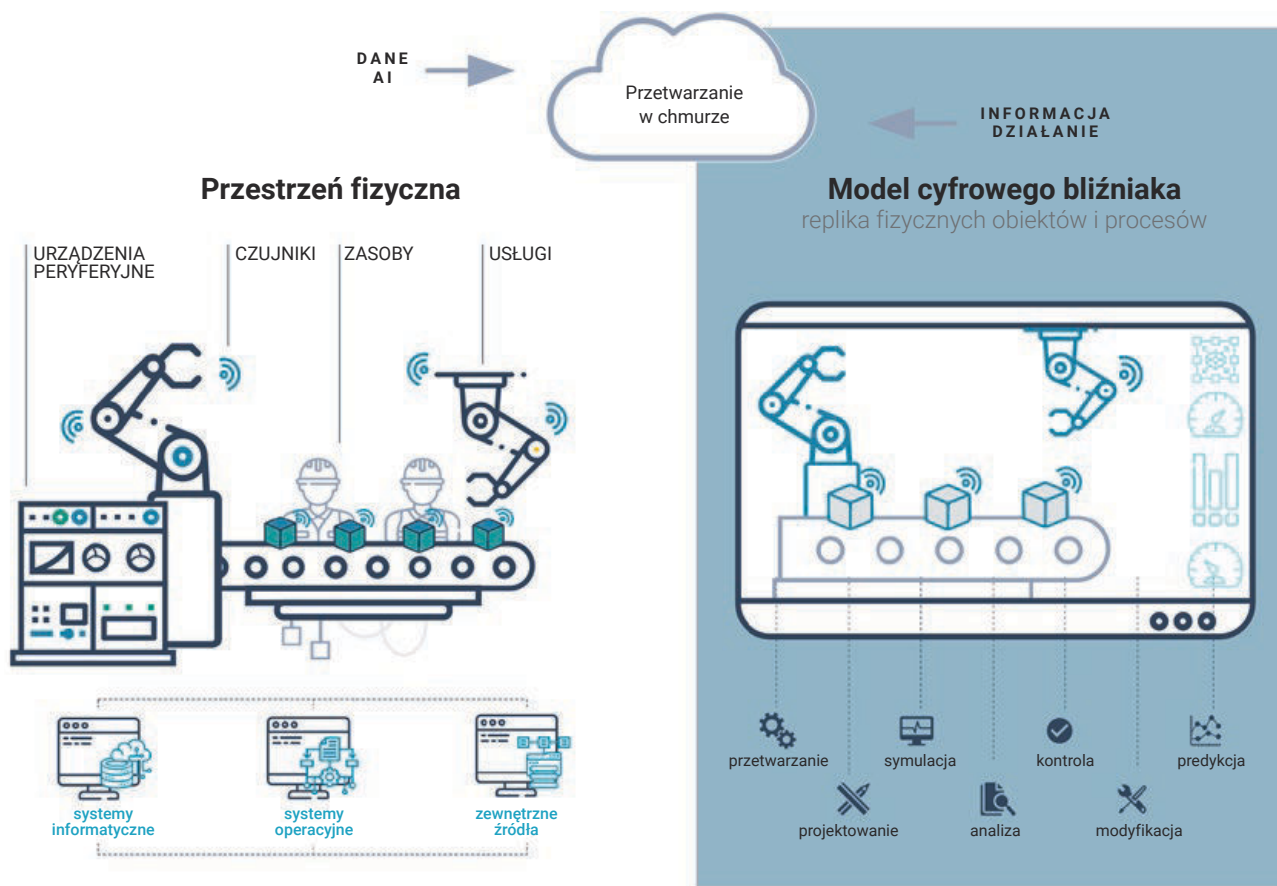
Taka cyfrowa replika może służyć do testowania i dostosowywania projektu urządzenia z wykorzystaniem danych; w tym celu technologię tę stosuje Airbus do koordynowania 12 tys. dostawców dostarczających łącznie 3 mln części do jednego z modeli silników samolotowych¹⁸. „Cyfrowe bliźniaki” są szczególnie przydatne w przypadku dużych i złożonych maszyn, takich jak silniki odrzutowe, których wirniki są poddawane ekstremalnym temperaturom sięgającym nawet 1600°C (wyższym niż w przypadku więk-

szości punktów topnienia metali). Wymagają one stałej konserwacji, ale harmonogram jest inny dla każdej jednostki, w zależności od różnych czynników, które powodują degradację, takich jak warunki na lotniskach, liczba osób na pokładzie, styl latania pilota. Z kolei firma farmaceutyczna Takeda wykorzystuje cyfrowe bliźniaki do kalibracji parametrów procesu produkcyjnego pod kątem większej wydajności; stworzyła replikę procesu produkcyjnego w celu prowadzenia wirtualnych eksperymentów i modelowania nowych reakcji chemicznych i biologicznych.

Bliźniak cyfrowy jest tym bardziej przydatny, im większa jego precyzja, co z kolei zależy od jakości wszystkich danych dotyczących parametrów produktu lub linii produkcyjnej, czy miasta i prędkości, z jaką są przesyłane. W przeciwieństwie do systemów CAD (Computer Aided Design), które umożliwiają przeprowadzanie symulacji w fazie projektowania, „cyfrowe bliźniaki” obejmują cały cykl życia produktu. Zastosowania „cyfrowych bliźniaków” rewolucjonizują zarządzanie cyklem życia produktu – od jego konceptualizacji, przez projektowanie, rozwój, produkcję, dystrybucję, użytkowanie, usługi, a nawet wycofanie z rynku czy recykling. „Cyfrowe bliźniaki” skracają cykl projektowania i pozwalają szybciej reagować na potrzeby klientów.

18 Product Lifecycle Management with future. T-Systems. https://plm.t-systems-service.com/blob/911514/f0988cfc33da4fc0a7df08a34ebfd9eb/DL_Product_Lifecycle_Management_with_Future.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 18. Model „cyfrowego bliźniaka”



Źródło: Śledziwska K., Włoch R. 2020. Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 137. link na podstawie: Yang W. i in. 2017. Digital twin-driven simulation for a cyber-physical system in Industry 4.0. DAAAM International Scientific Book, 3, link; ViX, Predix – z myślą o Przemysle 4.0. link.

Wszystko to przyczynia się do stworzenia spersonalizowanego produktu i ułatwia budowę prototypów, zmniejszając ich koszty dzięki wirtualnym, szybkim i skalowanym testom¹⁹. W konsekwencji optymalizuje również procesy decyzyjne, nie tylko w produkcji, ale także w logistyce, sprzedaży i powiązanych usługach²⁰.

Ważnym uzupełnieniem systemów cyberfizycznych są **technologie wizualizacji** oraz technologie immersyjne, które pozwalają łączyć obraz świata rzeczywistego z jego odwzorowaniem komputerowym oraz na interakcję tych obrazów w czasie rzeczywistym.

Przykład: technologie immersyjne w przedsiębiorstwach

Przykładem zastosowania technologii immersyjnych w warunkach przemysłowych, jest usługa IBM Lab Service (opracowana w partnerstwie z firmą DAQRI) obsługująca rozszerzoną rzeczywistość. Wizualizację i interakcję z istniejącą infrastrukturą umożliwia kask działający dzięki cyfrowej nakładce 3D, w warunkach mniej wymagających wystarczająco specjalne okulary. IBM współpracuje też z innymi firmami produkującymi inteligentne ubrania i wyposażenie robocze (Smart Cone czy GuardHat). Firma Panoptica dostarcza z kolei narzędzia pozwalające na zdalną współpracę między projektantami pracującymi na wirtualnym modelu w skali 1:1.

19 Zheng P., Sivabalan A. S. 2020. A generic tri-model-based approach for product-level digital twin development in a smart manufacturing environment. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 64, s. 101–958.

20 The Digital Twin Compressing time-to-value for digital industrial companies. General Electric. https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/The-Digital-Twin_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

3.6. Technologie przyrostowe

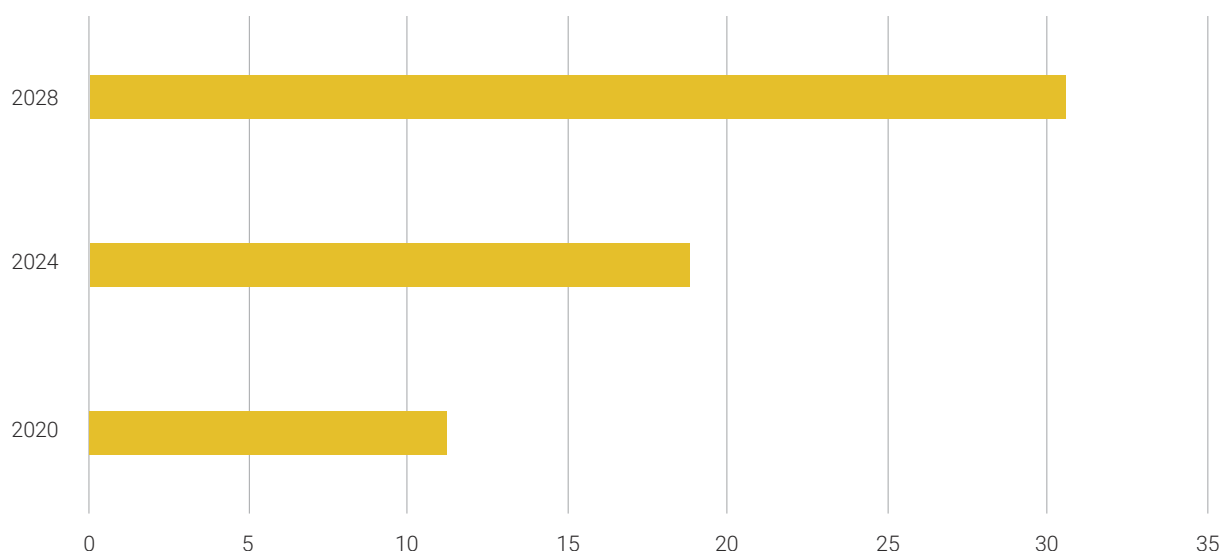
Technologie przyrostowe, potocznie określane mianem druku 3D, pozwalają na kształtowanie form przestrzennych produktów i części zamiennych²¹. W przeciwieństwie do technologii ubytkowych, w których kształt produktu powstaje w wyniku usuwania nadatków z wyjściowej bryły materiału, technologie przyrostowe polegają na kształtowaniu wyrobu poprzez nakładanie materiału budulcowego warstwa po warstwie i jego selektywne spajanie. Technika druku przestrzennego została opatentowana w 1984 r. przez amerykańskiego inżyniera Charlesa Hulla. Technologia ta nazwana została „sterolitografią” i polegała na selektywnym utwardzaniu wiązką lasera żywic termoutwardzalnych dla uzyskania form przestrzennych. Dynamiczny wzrost zastosowań technologii przyrostowych związany jest z coraz szerszym spektrum używanych materiałów obejmującym termoplasty w żyłce, żywice termoutwardzalne oraz proszki tworzyw sztucznych i proszki metali. Wykorzystuje się różne rozwiązania spajania warstw. Technologia FDM polega na drukowaniu z żywic termoplastycz-

nych dostarczanych do głowicy drukującej w formie żyłki, w której w wyniku wysokiej temperatury tworzywo uzyskuje stan półpłynny. Głowica przesuwając się według zadanej trajektorii tworzy kolejne warstwy, które spajają się ze sobą w wyniku wysokiej temperatury. Z kolei technologie SLA i DLP polegają na utwardzaniu wiązką lasera lub światłem kolejnych warstw w płynnej żywicy termo utwardzanej znajdującej się w pojemniku na stole roboczym drukarki. Inna technologia z wykorzystaniem żywic światło utwardzalnych polega na natryskiwaniu żywic podobnie jak w drukarkach atramentowych i utwardzaniu ich światłem UV. Kolejna grupa technologii dotyczy spiekania proszków. Spiekanie poliamidów nosi nazwę SLM. W objętości sproszkowanego tworzywa umieszczonego w pojemniku na stole roboczym drukarki, kolejne warstwy produktu są spiekane wiązką lasera. Po zakończeniu procesu, produkt wydobywa się z objętości niespieczonego proszku. Podobna zasada dotyczy spiekania proszków metali w technologii SLM/DMLS. Wymienione technologie należą do najczęściej stosowanych i są wykorzystywane zarówno do produkcji jednostkowej, jak i krótkich serii.

Kolejne poziomy zaawansowania technologii przyrostowych określane są mianem druku 4D i 5D. Druk 4D łączy drukowanie przestrzenne z wykorzystaniem inteligentnych materiałów, co pozwala tworzyć inteligentne dynamiczne struktury zmieniające kształt pod wpływem bodźców zewnętrznych. Druk 5D natomiast oznacza wykonywanie elementów w pięciu osiach w wyniku połączenia ruchu głowicy i stołu i odwzorowania kompute-

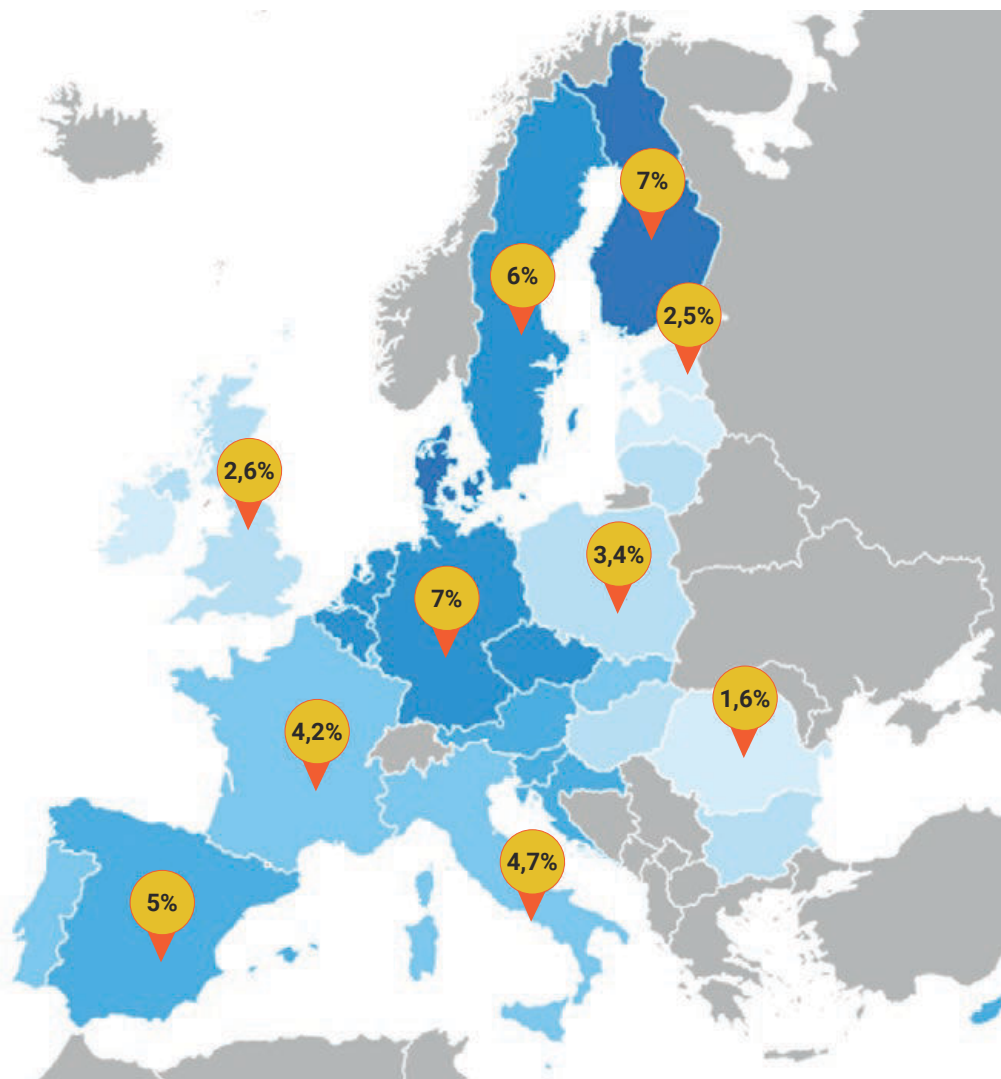
21 Kalva R. S. 2015. *3D Printing - The Future of Manufacturing (The Next Industrial Revolution)*. International Journal of Innovations in Engineering and Technology. <http://ijiet.com/wp-content/uploads/2015/02/26.pdf> (accessed June 21, 2021).; Campbell T., Williams C., Ivanowa O. et al. *Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*. Strategicznego sprawozdania prognostyczne. Atlantic Council. https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2011/10/101711_ACUS_3DPrinting.PDF (accessed June 21, 2021).

Rys. 19. Przewidywana wielkość globalnego rynku drukowania przestrzennego (w mld USD)



Źródło: Własne obliczenia na bazie PwC, Strategy&. 2019. Projected global additive manufacturing market size between 2020 and 2028 (in billion U.S. dollars). Chart. In Statista. <https://www.statista.com/statistics/284863/additive-manufacturing-projected-global-market-size/>

Rys. 20. Przedsiębiorstwa unijne wykorzystujące druk 3D



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).

rowego modelu bryłowego. Tak powstałe elementy są bardziej wytrzymałe niż w przypadku druku 3D.

Rozwój technologii przyrostowych kreuje dynamiczny wzrost rynku na ten rodzaj wytwarzania.

Jednak pomimo dynamicznej stopy wzrostu rynku druku 3D, technologia ta obecnie jest wykorzystywana przez niewielką część europejskich przedsiębiorstw.

3.7. Blockchain

Wzrost możliwości komputacyjnych komputerów dzięki rozwiązaniom chmurowym umożliwił rozwój technologii blockchainowej. Blockchain to kryptograficznie zabezpieczony, rozproszony rejestr danych, rodzaj „cyfrowej księgi rozrachunkowej działającej w ramach zdecentralizowanej sieci niezależnych komputerów,

które ją aktualizują i utrzymują w sposób, który pozwala udowodnić, że rejestry są kompletne i autentyczne²². Protokół działania blockchaina opiera się na innowacyjnym algorytmie, który wymusza zgodę na wpisanie do rejestru kolejnych danych na wszystkich należących do sieci komputerach. Każdy z nich zapisuje dane niezależnie, ale w skoordynowany sposób, dokładnie tak samo, jak pozostałe komputery. Następnie algorytm pieczętuje kryptograficznie nowy blok, uniemożliwiając zmianę zawartych w nim informacji.

Pierwotnie technologia ta była wykorzystywana do tworzenia kryptowalut, takich jak bitcoin, jednak szybko dostrzeżono potencjalne korzyści z zastosowania jej do utrzymywania chronionych i wiarygodnych reje-

22 Vigna P., Casey M. J. 2018. *The Truth Machine: The Blockchain and the Future of Everything*. St. Martin's Press.



strów danych. Blockchain może służyć do potwierdzania tożsamości jednostek i organizacji, potwierdzania wiarygodności danych pozyskiwanych z różnych źródeł, potwierdzania własności zasobów oraz zdecentralizowanego przetwarzania danych. Obecnie rozwiązania blockchainowe są testowane przede wszystkim w sektorze finansowym, m.in. do bilansowania płatności między bankami, z pominięciem pośredników i w czasie niemal rzeczywistym, ale coraz częściej blockchain jest wykorzystywany do potwierdzania wiarygodności partnerów w łańcuchu dostaw oraz uwierzytelniania pochodzenia produktów.

3.8. Mapa zastosowań technologii z zakresu Przemysłu 4.0

Wdrożenie technologii z zakresu Przemysłu 4.0 zmienia wszystkie aspekty funkcjonowania przedsiębiorstwa przemysłowego. W tabeli 4 zbiorczo omówiono wpływ implementacji poszczególnych technologii w całym cyklu życia produktu, od ich rozwoju po zarządzanie posprzedażowe.

Przykład wykorzystania blockchainu: TradeLens

Platforma logistyczna TradeLens kojarzy producentów i przewoźników oraz pozwala na zawieranie bezpiecznych kontraktów i śledzenie drogi produktów. Dzięki wykorzystaniu technologii blockchainowej, daje partnerom w ramach łańcucha dostaw dostęp do poświadczonych, uwierzygodnionych dokumentów. („It’s a single source of truth shared by — and with — permissioned supply chain partners for collective success”)²³.

23 Solution Brief. Edition 3. Tradelens. <https://www.ibm.com/downloads/cas/B4K3R1MP> (dostęp 22 czerwca 2021).

Tab. 4. Zastosowania technologii warunkujących rozwój Przemysłu 4.0 w poszczególnych obszarach produkcji przemysłowej

	Rozwój nowych produktów	Konfiguracja łańcucha dostaw	Planowanie zintegrowanych łańcuchów dostaw	Wewnętrzna logistyka	Harmogram i kontrola produkcji	Zarządzanie energią	Zarządzanie jakością	Zarządzanie serwisowaniem	Zarządzanie relacjami z klientami	Zarządzanie posprzedażowe
Rozwiązania chmurowe	Rozdzielone projektowanie oraz projektowanie zespołowe	Inteligentne nabywanie oraz zarządzanie zapasami	Zaawansowane repozytorium danych do przeprowadzania oceny i prognozowania popytu, Wymiana oraz wizualizacja informacji nt. łańcucha dostaw, Integracja i automatyzacja łańcucha dostaw; Platforma usług produkcyjnych w chmurze dla współpracy SC	-	Przechowywanie danych oraz udostępnianie dodatkowej mocy obliczeniowej dla połączonej fabryki, Wdrażanie inteligentnych rozwiązań maszynowych	Zarządzanie energią zorientowaną na usługi	-	Przechowywanie danych oraz udostępnianie dodatkowej mocy obliczeniowej na potrzeby analityki serwisowej	Platforma usług chmurowych	Przechowywanie i przetwarzanie danych dotyczących produktów w trakcie użytkowania, Zarządzanie i kontrola odwróconą logistyką



	Rozwój nowych produktów	Konfiguracja łańcucha dostaw	Planowanie zintegrowanych łańcuchów dostaw	Wewnętrzna logistyka	Harmonogram i kontrola produkcji	Zarządzanie energią	Zarządzanie jakością	Zarządzanie serwisowaniem	Zarządzanie relacjami z klientami	Zarządzanie posprzedażowe
Internet Rzeczy	Zbieranie danych w celu ulepszenia procesu projektowania produktów	Inteligentne nabywanie i zarządzanie zapasami	Gromadzenie danych do oceny i prognozowania popytu, Wymiana oraz wizualizacja informacji nt. łańcucha dostaw, Integracja i automatyzacja łańcucha dostaw	Identyfikacja i śledzenie materiałów, Automatyzacja transportu wewnętrznego, linii zasilania i obsługi materiałów	Gromadzenie danych z procesów produkcyjnych oraz zasobów produkcyjnych; Formalizacja inteligentnej połączonej fabryki	Monitorowanie zużycia energii	Wykrywanie wad jakościowych produktów	Pozyskiwanie i strukturalizacja danych przemysłowych dla analizy serwisowania	Zindywidualizowane i zaawansowane usługi	Monitorowanie produktu w trakcie użytkowania, zarządzanie i kontrola odwróconą logistyką
Analiza big data	Przetwarzanie danych i analiza w celu ulepszenia procesu projektowania	Ocena ryzyka łańcucha dostaw, Projektowanie oraz ocena układu fabryki; Inteligentne nabywanie oraz zarządzanie zapasami	Zaawansowana ocena i prognoza popytu, Wymiana oraz wizualizacja informacji nt. łańcucha dostaw; Integracja i automatyzacja łańcucha dostaw, Planowanie dystrybucji	-	Zautomatyzowane przydzielanie i planowanie zasobów	Monitorowanie wydajności energetycznej i prognozowanie zużycia energii	Monitorowanie i kontrola jakości produkcji	Diagnozowanie i analiza predykcyjnej konserwacji	Profilowanie klientów i innowacyjność usług	Ocena produktu w trakcie użytkowania
Sztuczna inteligencja	Przetwarzanie danych i analiza w celu ulepszenia procesu projektowania	Projektowanie oraz ocena układu fabryki; Inteligentne nabywanie oraz zarządzanie zapasami; Ocena ryzyka łańcucha dostaw	Wielokryterialna klasyfikacja zapasów, zaawansowana ocena i prognozowanie popytu, Integracja i automatyzacja łańcucha dostaw	Zarządzanie komplectacją towaru	Zautomatyzowane przydzielanie i planowanie zasobów, Wdrażanie inteligentnych rozwiązań maszynowych, Semantyczne rozwiązania dla systemów produkcyjnych; Rozwiązania wieloczynnikowe dla systemów produkcyjnych	-	Wykrywanie wad montażu, Wykrywanie wad jakości produktu	Diagnozowanie i analiza predykcyjnej konserwacji	-	Ocena produktu w trakcie użytkowania
Automatyzacja i roboty przemysłowe	-	Reshoring	-	Automatyzacja transportu wewnętrznego, linii zasilania i obsługi materiałów	Współpraca z ludźmi; Automatyzacja procesu produkcji	-	-	-	-	-
Systemy cyberfizyczne	Rozwój inteligentnych produktów	Produkcja rozproszona części zamiennych; Zarządzanie ryzykiem łańcucha dostaw	Integracja i automatyzacja łańcucha dostaw	-	Sporządzanie harmonogramów oraz kontrolowanie cyberfizycznych systemów produkcyjnych; Wirtualizacja zasobów produkcyjnych	Zarządzanie energią zorientowaną na usługi	-	Pozyskiwanie i strukturalizacja danych przemysłowych dla analizy serwisowania	Zaawansowane usługi	Monitorowanie produktu w trakcie użytkowania, zarządzanie i kontrola odwróconą logistyką



	Rozwój nowych produktów	Konfiguracja łańcucha dostaw	Planowanie zintegrowanych łańcuchów dostaw	Wewnętrzna logistyka	Harmogram i kontrola produkcji	Zarządzanie energią	Zarządzanie jakością	Zarządzanie serwisowaniem	Zarządzanie relacjami z klientami	Zarządzanie posprzedażowe
Symulacje i modelowanie	Wirtualne tworzenie prototypów, ocena techniczna produktu, cyfrowa reprezentacja produktu	Projektowanie oraz ocena układu fabryki; Ocena ryzyka łańcucha dostaw	-	Symulowanie przepływu materiałów w fabrykach i magazynach	Wirtualizacja zasobów produkcyjnych; Planowanie produkcji i ocena wydajności,	Monitorowanie wydajności energetycznej i prognozowanie zużycia energii	Wykrywanie wad jakości produktu	Kontrola stanu maszyn warsztatowych	Zindywidualizowane i zaawansowane usługi	Operacje regeneracji; Zarządzanie i kontrola odwróconą logistyką
Technologie wizualizacji (AI i VR)	Poszerzone projektowanie	Inteligentne nabywanie oraz zarządzanie zapasami	-	Pick by Vision, pomoc w lokalizacji materiałów	Wizualizacja hali produkcyjnej, zautomatyzowana pomoc dla pracowników wykonywaniu zadań manualnych	-	Cyfrowa, wizualna kontrola jakości	Pomoc w zadaniach dotyczących serwisowania, pomoc w treningu serwisowania	-	Zdalna pomoc serwisowa
Wytwarzanie przyrostowe	Kompleksowe cyfrowe projektowanie, szybkie tworzenie prototypów	Produkcja rozproszona części zamiennych; In-sourcing, Reshoring	-	-	Zarządzanie Just-in-Time	-	-	-	Dostosowanie produktu i indywidualizacja	Zarządzanie częściami zamiennymi; Operacje regeneracji
Blockchain	-	Inteligentne nabywanie oraz zarządzanie zapasami	Identyfikacja i śledzenie materiałów w czasie rzeczywistym; Międzyorganizacyjna współpraca pomiędzy interesariuszami	-	-	Inteligentny kontrakt na dostawę energii i konsumpcji energii	-	-	Zindywidualizowane i zaawansowane usługi	Śledzenie części zamiennych

Źródło: Zheng T.; Ardolino M., Bacchetti, A. 2021. *The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review*. International Journal of Production Research, 59:6, s. 1922–1954, ze zmianami własnymi (synteza oraz zmiana kolejności omawiania technologii).



Kluczowe zasady operacyjne Przemysłu 4.0



Realizacja wizji Przemysłu 4.0 związana jest z gruntowną zmianą funkcjonowania przedsiębiorstw, dokonującą się w wyniku transformacji cyfrowej. Datafikacja i platformizacja umożliwiają dalece posunięte zmiany organizacyjne i procesowe, do których należą: pionowa integracja przedsiębiorstwa (osiągana dzięki konwergencji systemów informatycznych i operacyjnych oraz wykorzystaniu danych w procesie zarządzania), pozioma integracja w łańcuchu dostaw oraz zmiana organizacji pracy.

menem danych, które mogą być wykorzystane do zwiększenia wydajności, optymalizacji procesów biznesowych, poprawy zarządzania, podejmowania dokładniejszych decyzji w czasie rzeczywistym, personalizacji produktów, dostosowywania ofert i rozszerzania działalności na nowe rynki. Dane mogą być kupowane, ale są również generowane przez osoby korzystające z produktów i usług firmy i wytwarzane podczas produkcji w zakładach przemysłowych wyposażonych w Internet Rzeczy.

4.1. Datafikacja procesu produkcyjnego

Datafikacja to dążenie do tworzenia cyfrowych reprezentacji coraz większej liczby obszarów świata rzeczywistego. W przypadku prowadzenia działalności gospodarczej, datafikacja objawia się wykorzystywaniem danych i zastosowaniem inteligentnych algorytmów porządkujących, łączących, systematyzujących, predykcyjnych czy rekomendujących w celu uzyskania wartości dodanej z danych, przy wsparciu zaawansowanych narzędzi analitycznych. Firmy – od korporacji po małe i średnie przedsiębiorstwa – nigdy wcześniej nie miały do czynienia z takim wolu-

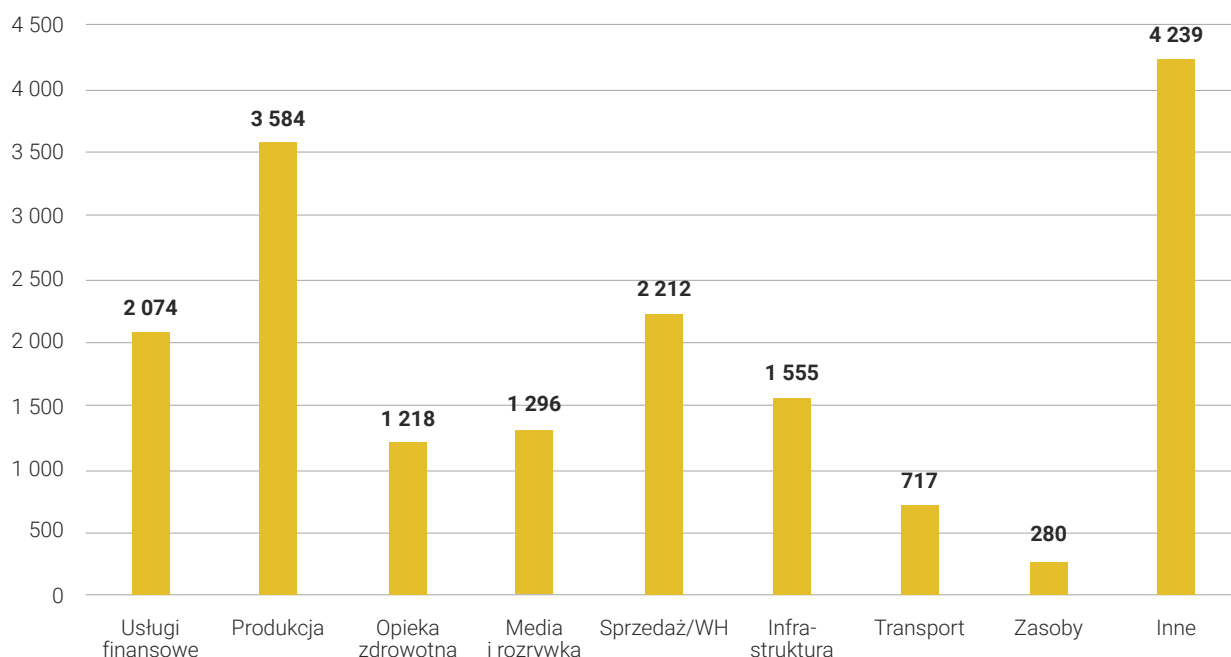
Wizja Przemysłu 4.0 opiera się na efektywnym wykorzystaniu danych i inteligentnych algorytmów w całym procesie produkcyjnym, ale też w całym cyklu życia produktu czy usługi. Dzięki wykorzystaniu danych generowana jest nowa wartość dodana, na której firmy mogą budować obecnie swoje przewagi konkurencyjne i utrzymywać udział w rynku bądź go powiększać. Liniowy, punktowy proces uzyskiwania i przetwarzania informacji, a następnie stosowania ich do decyzji dotyczących procesów fizycznych (charakterystyczny dla Przemysłu 3.0) jest obecnie zastępowany przez nieprzerwany, cykliczny i sieciowy proces gromadzenia, analizowania i działania na podstawie danych, który odbywa się niemal w czasie

Rys. 21. Wymiary transformacji cyfrowej



Źródło: Opracowanie własne na podstawie The Singapore Smart Industry Readiness Index, link i Śledziwska K., Włoch R. 2020. Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.

Rys. 22. Rozmiar danych generowanych przez przedsiębiorstwa (w eksabajtach, na całym świecie, 2018 r.)



Uwaga: Sumy do 75%, pozostałe 25% obejmuje inne branże; * – obejmuje usługi komunalne i telekomunikacyjne, ** – obejmuje ropę i gaz (górnictwo), transport ropy i gazu rurociągami lub żeglugą, przemysł surowcowy, ropa naftowa i węgiel

Źródło: Własne obliczenia na podstawie Seagate. 2018. *Size of the enterprise datasphere worldwide in 2018, by industry (in exabytes)*. <https://www.statista.com/statistics/948851/worldwide-enterprise-datasphere-total-size-by-industry/>.

rzeczywistym¹. Punkty danych są gromadzone w całym procesie produkcyjnym i poza nim, w tym systemy pamięci masowej i sieci dostawców, a wykorzystanie inteligentnych algorytmów pozwala na uporządkowanie, zintegrowanie, analizę i efektywne wykorzystanie danych².

Zdolność do czerpania korzyści z danych w coraz większym stopniu determinuje konkurencyjną pozycję firm na rynku poprzez rozwój inteligentnych usług i produktów (personalizacja), automatyzację procesów biznesowych, nowe sposoby budowania relacji sieciowych i zarządzanie oparte na danych (nowe modele biznesowe). Bardziej efektywna i szybsza analiza dużych zbiorów danych pozwala organizacjom zoptymalizować procesy decyzyjne. Inteligentna automatyzacja sprawia, że szybsza, dokładniejsza

i tańsza analiza jest dostępna dla coraz większej liczby firm, w tym tych, które nie mogą sobie pozwolić na zatrudnienie zespołu data scientists i programistów. Co więcej, analiza staje się tak prosta, jak korzystanie z arkusza kalkulacyjnego. Firma może np. skorzystać z platformy Data Robot, która czyści i formatuje wprowadzone dane, a następnie uruchamia je za pomocą dziesiątek algorytmów. Może też znaleźć lepsze rozwiązanie, niż te zbudowane na standardowych modelach statystycznych.

4.2. Platformizacja produkcji

Datafikacja stanowi podstawę dla nowych modeli biznesowych, opracowanych przez duże firmy i platformy technologiczne, opartych na wykorzystaniu platform. Cyfrowa transformacja firmy produkcyjnej nie tylko zmienia jej wewnętrzną strukturę, ale może również doprowadzić do powstania radykalnie nowego modelu biznesowego³. Zmiany sprowadzają się

1 Schmidt R., Möhring M., Härting R.-C., Reichstein C. 2015. *Industry 4.0 -Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results*. Conference: BIS 2015 18th International Conference on Business Information Systems, Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP). Abramowicz I. w. nr 208. Springer. Cham. s. 16–27.; Roblek V., Meško M., Krapež A. Op. cit.

2 Bornet P., Barkin I., Wirtz J. 2020. *INTELLIGENT AUTOMATION: Learn how to harness Artificial Intelligence to boost business & make our world more human*. Kindle Edition.

3 Roblek V., Meško M., Bach, M. P. i in. 2013. *The impact of social media to value added in knowledge-based industries*. *Kybernetes*, 42, s. 554–568.



tu do wykorzystania potencjału danych do rozbijania ustalonych łańcuchów wartości, a jednocześnie do otwierania nowych źródeł dochodów. Tradycyjne przedsiębiorstwa opierały się na liniowych łańcuchach wartości, które często przekraczały granice państwowe. Dominujący model został nazwany „rurciągiem” (*pipeline*), ponieważ oferował prosty sposób tworzenia wartości i dostawy od dostawcy surowców za pośrednictwem producenta do klienta. Idealnym procesem produkcji był tzw. lean – koncepcja oparta na zasadach i narzędziach Toyota Production System (TPS). TPS usprawnił wykorzystanie zasobów i czasu przeznaczonego na opracowywanie nowych produktów poprzez opracowanie terminowych systemów dostaw, standaryzacji i usprawnień w sposobie pracy personelu⁴.

Rosnąca ilość danych, na każdym etapie tworzenia wartości, pozwala na budowanie nowych połączeń między dostawcami, producentami i klientami. Prosty potok przekształca się w złożoną sieć dynamicznych relacji między wszystkimi uczestnikami procesu produkcyjnego. Jest on uzupełniony przejściem od produkcji scentralizowanej do zdecentralizowanej. Pierwsza z nich obejmuje wykonywanie kompletnych zadań produkcyjnych w jednym zakładzie lub w organizacji wieloobiektywnej z zakładem centralnym i siecią podmiotów powiązanych organizacyjnie. Z drugiej strony, decentralizacja polega na tworzeniu sieci autonomicznych, inteligentnych jednostek, które wymieniają informacje i konfigurują się w celu optymalizacji procesu produkcyjnego i osiągnięcia efektywnego rezultatu. Produkcja oszczędna jest zastępowana przez zwinną produkcję, opartą na elastycznym, opartym na danych podejściu organizacyjnym i rekonfigurowalnych systemach produkcyjnych. Skupienie się na mniejszych partiach, a nawet pojedynczych produktach, skrócenie czasu na wprowadzenie na rynek i utrzymywanie bezpośredniego kontaktu z konsumentem, pozwala firmom szybko reagować na zmiany. Następnie możliwe jest zaspokojenie indywidualnych potrzeb klientów przy jednoczesnym kontrolowaniu kosztów i jakości oraz utrzymaniu cen na niskim poziomie.

Datafikacja umożliwia rozwój platform produkcyjnych. Platformy mogą być budowane wokół jednego lub kilku węzłów w łańcuchu wartości; platformy mogą też obudowywać produkt w wyniku procesu

serwityzacji. Integracja procesów i danych w niezbyt odległej przyszłości pozwoli podmiotom działać w systemie rozproszonym, czyli w sieci. Będzie to miało wpływ na wszystkie podmioty w procesie produkcji, począwszy od podmiotów zarządzających i kontrolujących proces produkcji, na podmioty tworzące systemy i zarządzające dostawcami i podwykonawcami z pomocą tych systemów, na podmioty dostarczające materiały i półprodukty, do angażowania podwykonawców i pracowników, do działań informacyjnych dla klientów oraz konserwacji/obsługi. W tym systemie platformy produkcyjne staną się swego rodzaju pośrednikiem, integratorem wszystkich wyżej wymienionych podmiotów.

[...] przedsiębiorstwa przemysłowe mają obecnie możliwość tworzenia platform produkcyjnych, zarówno otwartych, jak i zamkniętych. Platformy te byłyby analogiczne do dzisiejszych wielostronnych platform internetowych, takich jak sklepy z aplikacjami, media społecznościowe lub sieci reklamowe. Platformy online są zbudowane na nieustannym przepływie małych pakietów danych, które są szybko kierowane dożądanego miejsca docelowego. Natomiast te nowe platformy produkcyjne byłyby mieszanymi systemami cyberfizycznymi składającymi się z takich funkcji, jak projektowanie, produkcja i dystrybucja, działające jako oddzielne usługi oprócz zaawansowanej sieci dystrybucji towarów. Analogicznie do świata cyfrowego, warto myśleć o tej nowej sieci fizycznej towarów jako „pakiet-switched”, co wskazuje na większą elastyczność i niższe koszty niż poprzednia generacja dystrybucji⁵.

Platformizacja produkcji przekłada się na zmianę organizacji łańcucha wartości dodanej. Rozwój technologii w XX w. pozwolił jej na rozdrobnienie i utorował drogi do liniowej współpracy. Z drugiej strony, technologie cyfrowe umożliwiają rozerwanie łańcucha i dystrybucję pracy na wielu poziomach. Sam proces produkcji może wkrótce być traktowany jako specjalna usługa, która będzie dostępna dla firm, a nawet klientów detalicznych (Manufacturing-as-a-service).

⁴ Womack J. P., Jones D. T., Rose D. 1990. *The Machine That Changed the World*. Free Press. Nowy Jork– Londyn– Toronto– Sydney.

⁵ Mandel M., *The Rise of the Internet of Goods. A New Perspective on the Digital Future for Manufacturers*, Progressive Policy Institute 2018, <https://www.progressivepolicy.org/wp-content/uploads/2018/08/Internetofgoods-reportPPI-2018.pdf>



Przykład: platformizacja produkcji

Na przykład Dassault Systemes 3DExperience Marketplace łączy potencjalnych klientów cyfrowo z producentami. Klienci wysyłają swoje projekty do producentów, którzy szybko dostarczają precyzyjne oferty, zmniejszając biurokrację i koszty. Następnie platforma przekazuje zamówienie dostępnemu producentowi, który najlepiej spełnia wymagania techniczne i lokalizacyjne⁶. Inna platforma o nazwie Xometry, działająca od 2014 r., zapewnia dostęp do technologii druku 3D i obróbki metali. Xometry dostarcza klientom geometryczny analizator (zwany centrami 3D), który umożliwia dostosowanie parametrów zamówienia, a także pojawia się niemal natychmiastowe notowania zamówień oparte na analizie AI⁷.

Platformy takie jak Xometry umożliwiają korzystanie ze zdolności produkcyjnych innych firm. Producent może zmniejszyć stan zapasów, ale przede wszystkim zdywersyfikować bazę dostawców. Platformy przemysłowe otwierają przedsiębiorstwom (w tym małym i średnim) zupełnie nowe możliwości dotarcia na rynki światowe. Uczestnicząc w tworzeniu wartości związanych z siecią i wykorzystując wyniki tej sieci, mogą wzmocnić swoje kompetencje i skuteczniej konkurować z większymi graczami. Ich rola nie jest już ograniczona do roli zdefiniowanej w modelu liniowym łańcucha tworzenia wartości; zamiast tego może ulec zmianie w zależności od projektu i partnerstwa, które zostało utworzone w sieci.

W raporcie opublikowanym w 2017 r. w sprawie cyfryzacji *przemysłu europejskiego*, przygotowanym dla Komisji Europejskiej przez grupę roboczą zajmującą się platformami przemysłowymi, podkreślono, że ich tworzenie ma kluczowe znaczenie dla

funkcjonowania inteligentnych fabryk. W sprawozdaniu argumentowano, że platformy będą pozyskiwać dane z maszyn – nie tylko po to, aby umożliwić im monitorowanie i kontrolowanie aplikacji, ale także aby dostarczać je podmiotom zewnętrznym, które mogłyby wykorzystać je do tworzenia nowych aplikacji. Kolejnym krokiem będzie stworzenie ekosystemu łączącego wielostronne rynki, umożliwiającego produkcję nowych i innowacyjnych produktów i usług. W konsekwencji pojawią się również nowe globalne standardy. Autorzy raportu twierdzą, że platformy stanowią rozwiązanie wielu wyzwań stojących przed przemysłem wytwórczym: umożliwiają zwinne i bardziej elastyczne podejście do produkcji, oparte m.in. na wykorzystaniu automatyzacji i robotów, masowej personalizacji i serwityzacji produktu, a wreszcie zwiększają efektywność energetyczną i zasobo-oszczędność⁸.

4.3. Integracja pionowa i pozioma

Inteligentne fabryki wprowadzają bezprecedensową pionową integrację procesów, czyli połączenie oddzielnych faz produkcji, sprzedaży i dystrybucji. Dotychczas oddzielne poziomy – urządzeń i czujników, urządzeń sterujących, linii przetwórczej lub rzeczywistego procesu produkcyjnego oraz planowania i zarządzania – są łączone przez nieprzerwany przepływ danych. Połączone systemy i maszyny mogą samodzielnie reagować na zmiany w potrzebach produkcyjnych i komunikować się ze sobą w celu wykrywania wadliwych części. Zapewnia to większą elastyczność i wydajność operacyjną, zwłaszcza jeśli firma wdrożyła nowoczesny system do zarządzania produkcją. Jednocześnie digitalizacja^{9,10} systemów i procesów od początku do końca, w ramach wszystkich działań mających na celu dostarczenie produktu do użytkownika, pozwala przedsiębiorcom na osiągnięcie nowego poziomu integracji poziomej. W rezultacie, wewnętrzne procesy producenta (planowanie popytu, zamówienia publiczne, logistyka i usługi posprzedażne) stają

6 Frankel A. 2017. *New Part Manufacturing Platform for additive manufacturing*. Siemens. <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/New-Part-Manufacturing-Platform-for-additive-manufacturing/ba-p/404183> (dostęp 22 czerwca 2021).

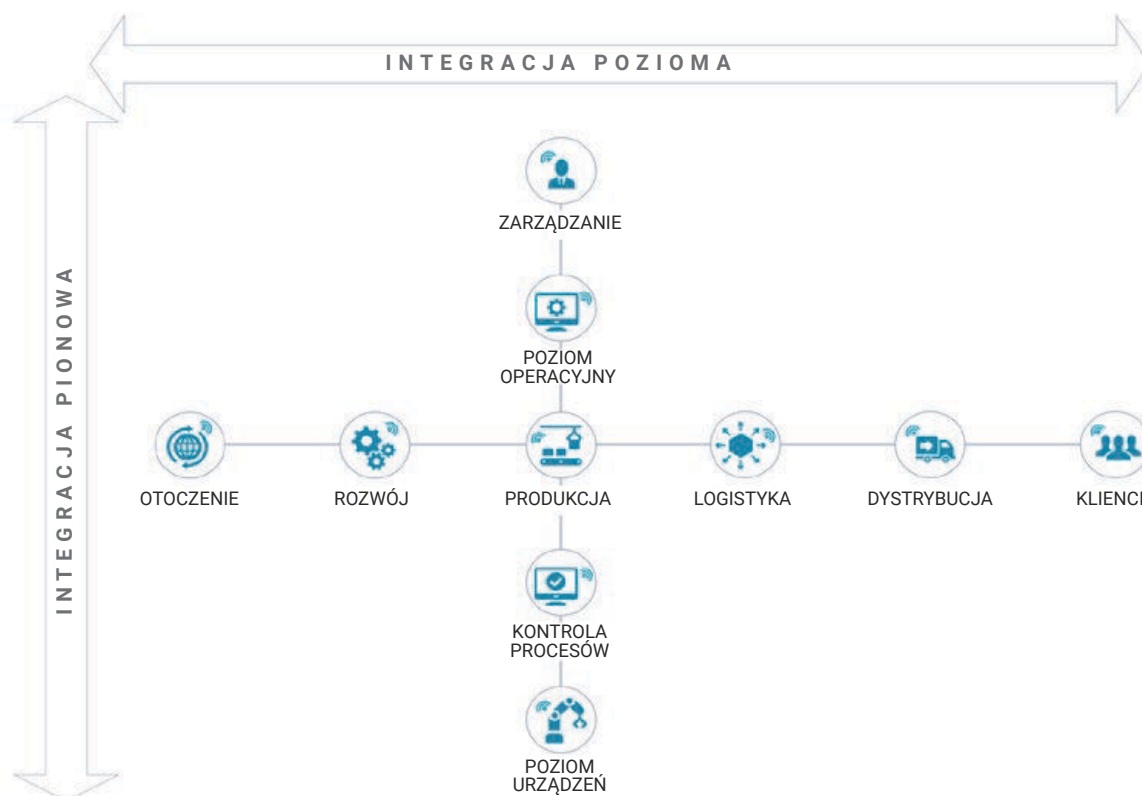
7 Mandel M. 2019. *Why 2019 Will Be The Year Of The Manufacturing Platform*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/michaelmandel/2019/01/02/2019-the-year-of-the-manufacturing-platform/?sh=1469329c3688> (dostęp 22 czerwca 2021).

8 European Union. 2017. *Digitising European Industry: Working Group 2. Digital Industrial Platforms*. 20. https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/dei_wg2_final_report.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

9 Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. i-SCOOP. https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/#Integrations_in_Industry_40_vertical_and_horizontal_integration_as_all_systems_change (dostęp 22 czerwca 2021).

10 Nowy MES: Kręgosłup Przemysłu 4.0. IYNO Advisor & Critical Manufacturing. https://www.criticalmanufacturing.com/uploads/resources/The%20New%20MES.%20Backbone%20of%20Industry%204.0_20170904162808.pdf?v67 (dostęp do 4 stycznia 2021 r.).

Rys. 23. Integracja pionowa i pozioma w cyfryzujących się przedsiębiorstwach



Źródło: Śledziwska K., Włoch R. Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 141.
link. opracowanie własne na podstawie 2018. Industry 4.0. Opportunities and challenges of the industrial internet. PwC.

się powiązane z obecnymi procesami, w których znajdują się dostawcy, partnerzy biznesowi, a nawet sami konsumenci. Rezultatem jest transparentna sieć, w której wszyscy partnerzy koordynują i optymalizują nie tylko swoje procesy, ale także zadania i decyzje w całym łańcuchu wartości¹¹.

Wydajna integracja i analiza danych – zarówno z operacji pionowych, jak i poziomych – jest w coraz większym stopniu przenoszona przez chmurowe środowisko pracy, które zmniejsza potrzebę opracowania złożonych i kosztownych systemów informatycznych na miejscu. Te tak zwane rozwiązania Platform-as-a-Service lub Infrastructure-as-a-Service łączą urządzenia, systemy, aplikacje i usługi biznesowe, umożliwiając analizę danych i dostęp do informacji w czasie rzeczywistym, przy minimalnym zaangażowaniu pracowników. W uproszczeniu zapewniają one sprawne funkcjonowanie Przemysłu Internetu Rzeczy.

Przykład: platforma jako usługa

Dobrym przykładem PaaS jest MindSphere, opracowany przez Siemens, i dostępny jako część Amazon Web Services, wraz z otwartym API. Zbiera dane z czujników, maszyn i systemów, pozwala na monitorowanie procesów, zastosowanie cyfrowych rozwiązań bliźniaczych oraz zaawansowaną analizę przy użyciu inteligentnych algorytmów. Zasoby firmy są połączone z chmurą, co pozwala na monitorowanie ich wydajności, przeprowadzanie analiz i konserwację predykcyjną, a także tworzenie spersonalizowanych aplikacji do użytku wewnętrznego¹². Predix, opracowany przez General Electric, wykonuje podobne funkcje, łącząc urządzenia przemysłowe z chmurą i umożliwiając analizę danych i dostęp do informacji w czasie rzeczywistym¹³.

11 The New MES: Backbone of Industry 4.0 Manufacturing.net. <https://www.manufacturing.net/article/2019/04/horizontal-and-vertical-integration-industry-40> (dostęp do 4 stycznia 2021 r.).

12 MindSphere. Connecting the things that run the world. Siemens. <https://siemens.mindsphere.io/en> (dostęp 22 czerwca 2021).

13 Predix Platform. Connect, optimize, and scale your digital industrial applications. GE Digital. <https://www.ge.com/digital/iiot-platform> (dostęp 22 czerwca 2021).

Przejawem rosnącej integracji pionowej jest coraz większa zbieżność między systemami informatycznymi (IT) a operacyjnymi systemami technologicznymi (OT), która umożliwia inteligentną automatyzację wszystkich procesów produkcyjnych¹⁴. W przeszłości IT i OT funkcjonowały oddzielnie: IT był używany w zarządzaniu, OT był używany do kontrolowania i monitorowania maszyn i zasobów. IIoT stosowany w fabrykach umożliwia ciągłe monitorowanie procesów produkcyjnych i dostosowanie planu konserwacji i serwisu, zapobiegając w ten sposób awariom powodującym przestoje. Zintegrowany z systemami planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP), zarządza zasobami energetycznymi i zużyciem energii, a ogólniej optymalizuje także procesy produkcyjne¹⁵. Z kolei integracja systemów IIoT z systemami zarządzania relacjami z klientami (CRM) pozwala firmom dostosować zautomatyzowaną obsługę klienta w czasie rzeczywistym, do profilu konkretnego klienta¹⁶. Lepsza integracja danych umożliwia wydajną i bezproblemową integrację systemów, co z kolei znajduje odzwierciedlenie w kompleksowej transformacji organizacyjnej i procesowej.

Technologia „cyfrowego bliźniaka” daje wgląd w specyfikę działania złożonych komponentów maszyn i pozwala na analizę ich działania w różnych warunkach. Umożliwia również optymalizację harmonogramu napraw i konserwacji w oparciu o diagnozę zużycia części maszyn w czasie rzeczywistym. Symulowane układy i systemy fabryczne umożliwiają lepszą organizację produkcji, a następnie przeprowadzenie zmian fizycznych. Integracja czujników z każdą częścią wyposażenia fabrycznego pozwala na zastosowanie cyfrowego modelu bliźniaczego w całych przedsiębiorstwach¹⁷. Funkcjonowanie inteligentnej fabryki, wraz z jej łańcuchem dostaw/siecią, można odtworzyć w oparciu o liczne punkty danych, a decyzje dotyczące zarządzania mogą być podejmowane w wysoce zauto-

matyzowany sposób, na podstawie danych, które są stale połączone i przetwarzane w chmurze przez sztuczną inteligencję¹⁸.

Przykład inteligentnej fabryki

Jednym z przykładów przekształcenia tradycyjnych metod produkcji w inteligentną fabrykę jest fabryka Hugo Boss w Izmirze w Turcji. Zatrudniając 4000 pracowników, przedsiębiorstwo – oprócz robotyzacji i automatyzacji – wprowadza systemy AI, które analizują dane zebrane z 1600 tabletów znajdujących się wokół fabryki w celu poprawy procesów zarządzania maszynami i zasobami w czasie rzeczywistym. Klienci mogą wprowadzać zmiany w zamówionych kolekcjach przy użyciu cyfrowych bliźniaków. Szybka i precyzyjna komunikacja i współpraca z klientami, biorąc pod uwagę ich preferencje, pozwoliła na skrócenie czasu realizacji produktu z sześciu miesięcy do sześciu tygodni¹⁹.

Innym przykładem jest fabryka Siemens w Amberg w Niemczech, gdzie produkowane są przemysłowe systemy sterowania komputerowego, której funkcjonowanie opisywane jest w następujący sposób: „istnieje inna fabryka, wirtualna wersja obiektu fizycznego, który znajduje się w systemie komputerowym. Ten „cyfrowy bliźniak” jest identyczny pod każdym względem i służy do projektowania jednostek sterujących, testowania ich, symulowania ich i programowania maszyn produkcyjnych. Zoptymalizowany w warstwie wirtualnej przebieg procesu jest odwzorowywany w warstwie fizycznej”²⁰.

14 IT and OT convergence – two worlds converging in Industrial IoT. i-Scoop. <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-it-ot/> (dostęp 22 czerwca 2021).

15 Gamarra C., Guerrero J.M., Montero E. 2016. A knowledge discovery in databases approach for industrial microgrid planning. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 60, 615–630.

16 Goldenberg B. Op. cit.; Roblek V., Meško M., Krapež A. Op. cit.

17 Osterrieder P., Budde L., Friedli T. 2020. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. International Journal of Production Economics, 221, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011> (dostęp 22 czerwca 2021).

18 2018. Digital Twin – Overlapping real world with virtual. Apparel Resources. <https://apparelresources.com/technology-news/information-technology/digital-twin-overlapping-real-world-with-virtual/> (dostęp 22 czerwca 2021).

19 Hugo Boss. <https://group.hugoboss.com/en/company/stories/smart-factory-in-izmir/> (dostęp 10 lipca 2021).

20 2017. Millions of things will soon have digital twins. The Economist. <https://www.economist.com/business/2017/07/13/millions-of-things-will-soon-have-digital-twins> (dostęp 22 czerwca 2021).



Cyfryzacja rewolucjonizuje również **zarządzanie cyklem życia produktu** – od jego conceptualizacji, przez projektowanie, rozwój, produkcję, dystrybucję, użytkowanie, usługi, a nawet wycofanie z rynku i być może recykling. Cyfrowe bliźniaki skracają cykl projektowania i pozwalają szybciej reagować na potrzeby klientów. Wszystko to przyczynia się do stworzenia spersonalizowanego produktu i ułatwia budowę prototypów, zmniejszając ich koszty dzięki wirtualnym, szybkim i skalowanym testom. W konsekwencji optymalizuje również procesy decyzyjne, nie tylko w produkcji, ale także w logistyce, sprzedaży i powiązanych usługach²¹.

4.4. Zmiana organizacji pracy

Realizacja wizji Przemysłu 4.0 wiąże się ze zmianami w sposobie wykonywania oraz formach świadczenia pracy w przedsiębiorstwach przemysłowych.

Część zadań będzie ulegała nieubłaganej automatykacji, a na coraz większej liczbie stanowisk ludzie będą współpracować z inteligentnymi maszynami pod okiem systemów wykorzystujących sztuczną inteligencję. Ciężka, rutynowa i często niebezpieczna praca fizyczna zostanie zastąpiona pracą umysłową, która polega na zarządzaniu robotami i inteligentnymi systemami wyposażonymi w przyjazne dla użytkownika interfejsy²². Umiejętności i kompetencje człowieka i maszyny będą się wzajemnie uzupełniać, co pozwoli ludziom skupić się na nierutynowych działaniach wykorzystujących potencjał ich kreatywności.

Nowa kultura organizacyjna wymaga od pracowników nowych kompetencji i znacznie większej elastyczności w wykonywaniu obowiązków zawodowych, dlatego cyfryzująca się firma powinna dążyć do rozwoju umiejętności pracowników w sposób zaplanowany z uwzględnieniem perspektyw rozwoju firmy, jej strategii jak i specyfiki danej branży.

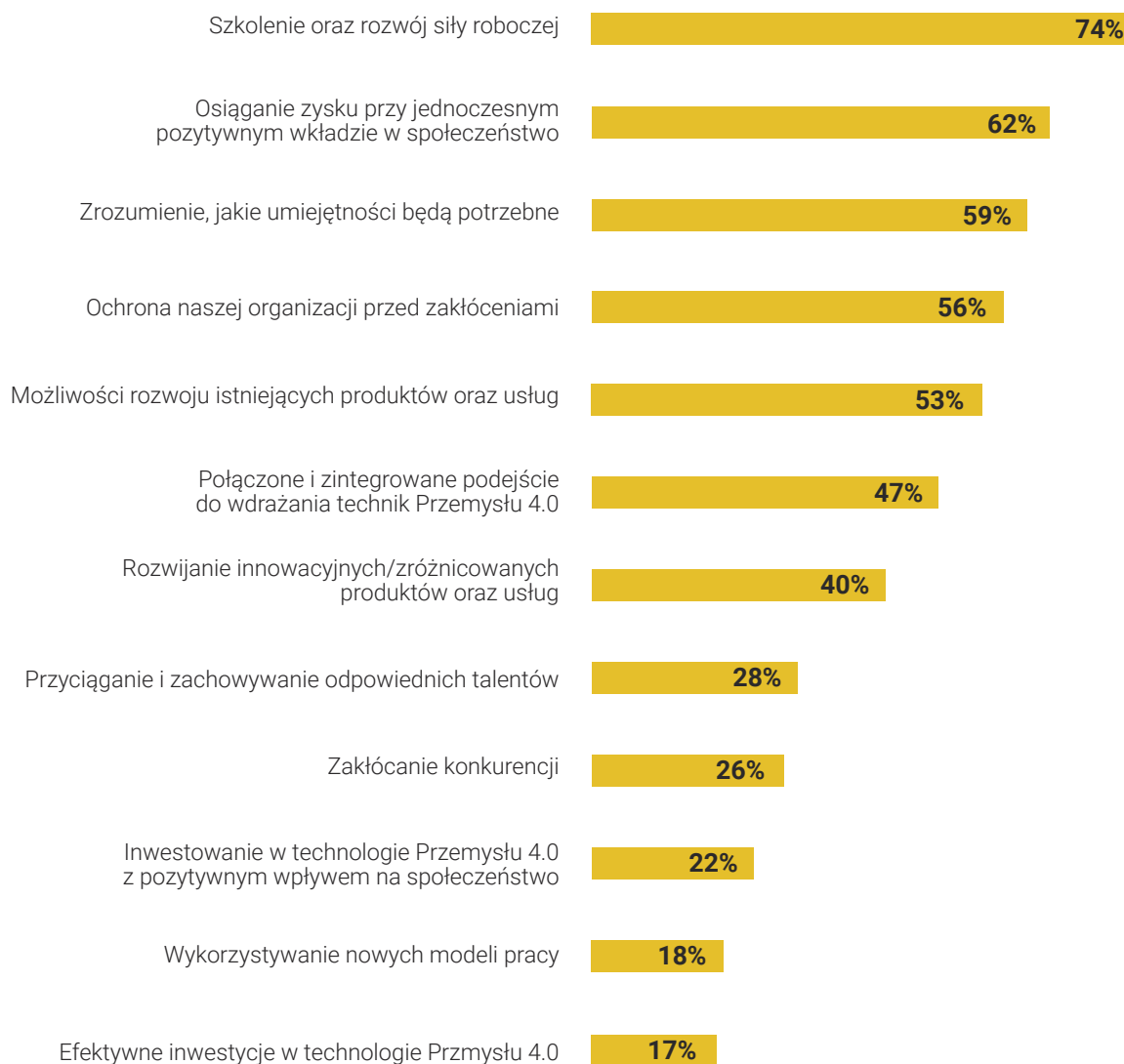
21 2018. *The Digital Twin Compressing time-to-value for digital industrial companies*. General Electric. https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/The-Digital-Twin_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

22 Bisello M., Fernandez-Macias E., 2018. *Are blue-collar jobs turning white?*. LSE Business Review. <https://blogs.lse.ac.uk/businessreview/2018/10/18/are-blue-collar-jobs-turning-white/> (dostęp 22 czerwca 2021).

Tab. 5. Zmiana profilu pracowników produkcyjnych w Przemysle 4.0

Przemysł 3.0		Przemysł 4.0
Pracownik produkcyjny	Wykonuje zadania produkcyjne, głównie manualne	Operator maszyn w zautomatyzowanym środowisku pracy, zajmuje się rozwiązywaniem niestandardowych problemów, z którymi nie radzą sobie inteligentne maszyny
Pracownik serwisowy	Rozwiązuje bieżące problemy z utrzymaniem maszyn	Nadzoruje predyktowne serwisowanie maszyn i planuje ich utrzymanie w oparciu o analizę danych
Specjalista ds. jakości	Nadzoruje części i kontroluje standardy jakości post factum	Uczestniczy w inteligentnym inżynieringu procesów, zajmuje się zdalnie wyprzedzającą kontrolą jakości
Menedżer od zarządzania produkcją	Zajmuje się ogólnym planowaniem i sterowaniem liniowymi procesami produkcyjnymi	Menedżer od zarządzania łańcuchem dostaw Tworzy elastyczne i autonomiczne strumienie wartości
Menedżer od planowania logistiką		Planuje w pełni zintegrowanie łańcuchy dostaw
Menedżer zespołów	Zarządza pracownikami w danej fabryce	Zarządza rozproszonymi zespołami ludzko-maszynowymi

Źródło: Caylar P-L., Naik K., Noterdaeme O. 2016. *Digital in industry: From buzzword to value creation*. McKinsey Digital. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/digital-in-industry-from-buzzword-to-value-creation> z modyfikacjami własnymi.

**Rys. 24.** W jakie priorytety z zakresu Przemysłu 4.0 firma będzie inwestować?

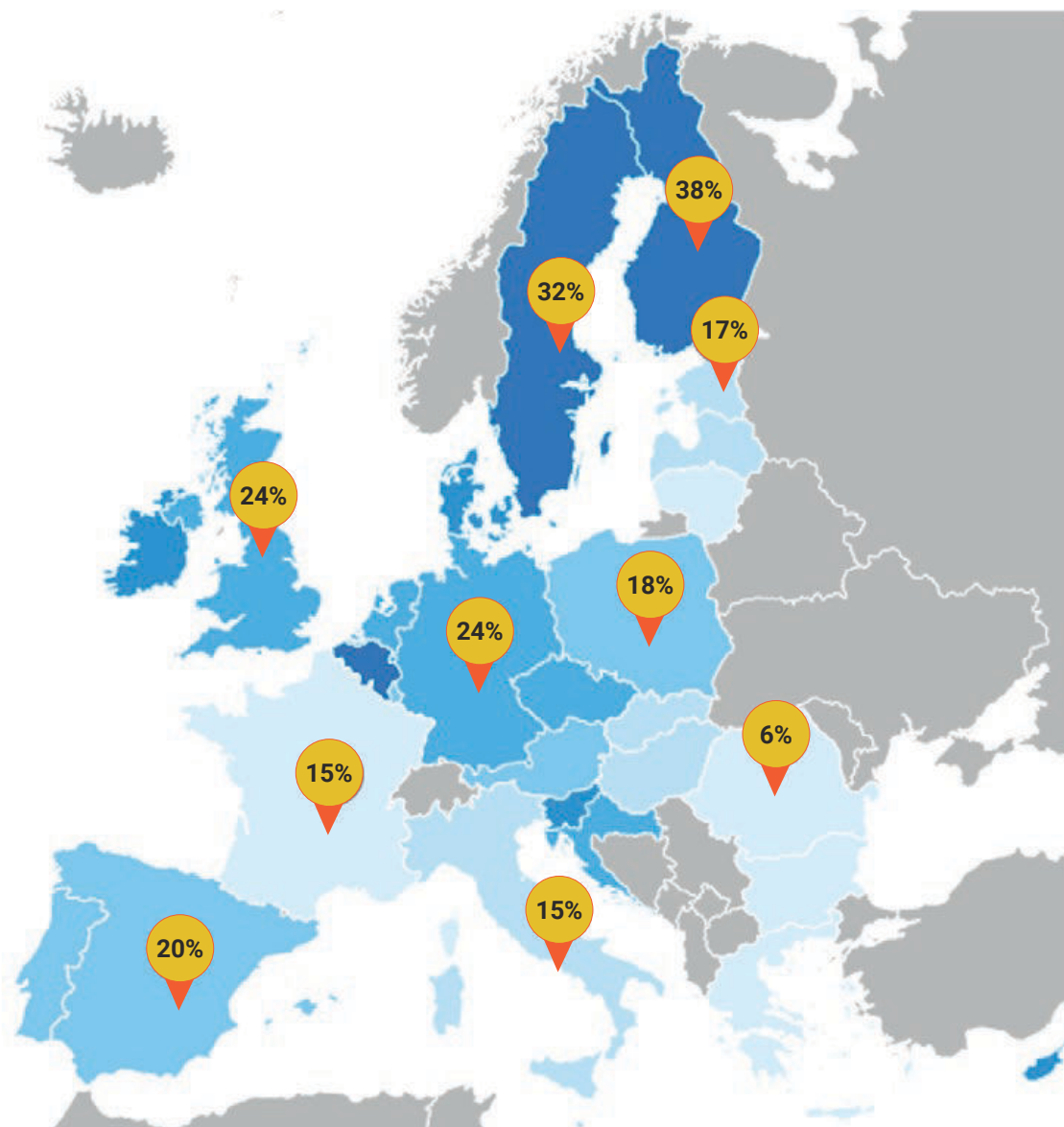
Źródło: Deloitte Global Analysis, The Fourth Industrial Revolution. At the intersection of readiness and responsibility.
https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/us32959-industry-4-0/DL_Industry4.0.pdf Wyniki ankiety z 2 tys. przedstawicieli zarządów firm z 19 krajów.

Badania ankietowe przeprowadzone w 2019 r. przez firmę Deloitte wśród 2 tys. przedstawicieli zarządów firm z 19 krajów pokazują, że firmy zdają sobie sprawę z kluczowego znaczenia tzw. aspektów ludzkich dla udanej transformacji cyfrowej.

Dane wyraźnie pokazują jednak, że inwestowanie w szkolenia wzmacniające kompetencje cyfrowe pracowników nie stanowią priorytetu dla przedsiębiorstw na terenie Unii Europejskiej.



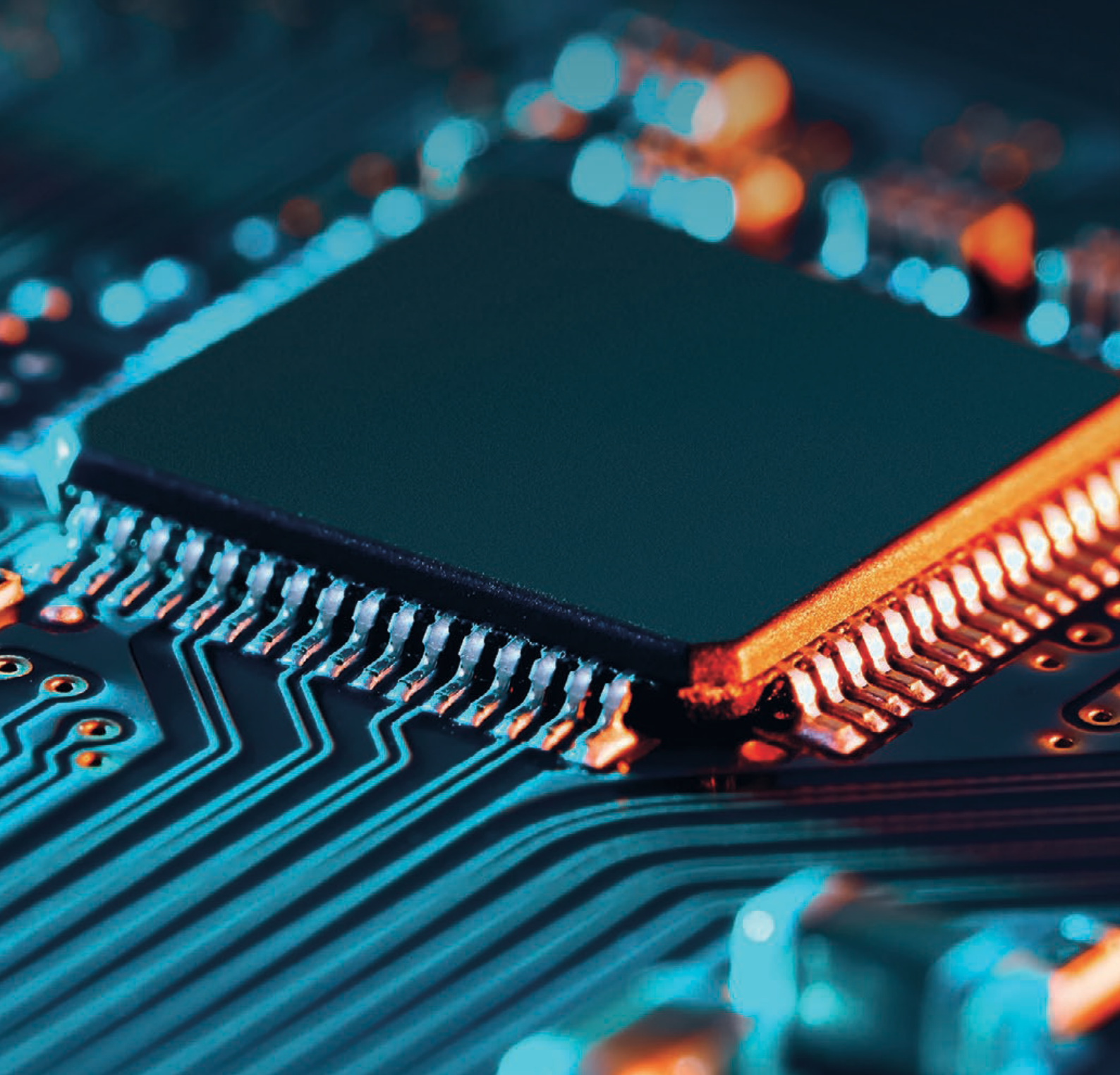
Rys. 25. Odsetek przedsiębiorstw zapewniających szkolenia wzmacniające kompetencje cyfrowe



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Eurostat (dane na 2021 r.).



Wyzwania na drodze Przemysłu 4.0





Rozwój Przemysłu 4.0 – czyli połączenie ludzkich umiejętności podejmowania decyzji kontekstowych oraz precyzji i regularnego wprowadzania zautomatyzowanych systemów cyberfizycznych napędzanych przez inteligentne algorytmy – może prowadzić do szybkiego wzrostu wydajności i przyspieszenia rozwoju gospodarczego. Wdrażanie rozwiązań z obszaru Przemysłu

4.0 może jednak zostać udaremnione przez obecność barier lub wyzwań. Przegląd literatury przedmiotu wykonany przez Calabrese, Levialdi i Tiburzi w 2020 r. na podstawie 240 artykułów zamieszczonych w bazie Scopus umożliwił wyodrębnienie najczęściej wskazywanych wyzwań, z jakimi muszą mierzyć się przedsiębiorstwa wchodzące w proces transformacji cyfrowej.

Tab. 6. Zewnętrzne i wewnętrzne wyzwania na drodze do Przemysłu 4.0

Zewnętrzne	Wewnętrzne
Brak standardów komunikacyjnych (protokołów) dla urządzeń dostarczanych przez różnych producentów; utrudnia lub uniemożliwia to współpracę między urządzeniami i systemami, a w konsekwencji – autonomizację urządzeń, systemów i procesów.	Wdrażanie rozwiązań z obszaru Przemysłu 4.0 jest nieodłącznie związane ze zmianami strukturalnymi w zatrudnieniu (nowe kompetencje pracowników), z nowymi zadaniami czy rolami jakie mają pracownicy pracujący w środowisku, które staje się coraz mocniej przesycane technologiami. Niedobór kompetencji – brak kompetencji, które przypisuje się czynnikom wewnętrznym przedsiębiorstw (np. brak szkoleń lub starzenie się siły roboczej) Bariera kulturowe – kultura pracy – chodzi o sceptyczne podejście pracowników do transformacji cyfrowej w przedsiębiorstwie i problemy z zarządzaniem. Wskazuje się na niechęć średnio i nisko wykwalifikowanych pracowników niechętnych zmianom i obwijających się przede wszystkim kontroli
Brak ram regulacyjnych, zwłaszcza przepisów odnośnie wymiany czy wykorzystywania danych. Wzrost wolumenu wymienianych danych wzmacnia obawy dotyczące prywatności użytkowników, ochrony własności technologii i patentów. Dodatkowo, ze względu na umiędzynarodowienie łańcuchów wartości dodanej potrzebna jest zgodność między różnymi systemami prawnymi w różnych krajach.	Trudności w reorganizacji firmy, która zaczyna wdrażać rozwiązania z obszaru Przemysłu 4.0. Datafikacja, platformizacja, w tym produkcja w chmurze czy sieci partnerstw, zmieniają organizację całego przedsiębiorstwa. Serwityzacja czy monetyzacja danych sprawia, że firma pozyskuje nowe źródła finansowania swojej działalności. Przeprojektowanie wartości dodanej – technologie datafikacji tworzą możliwości dla nowych źródeł wartości dodanej, co często wiąże się to ze zmianą w sposobie prowadzenia działalności gospodarczej (np. dodawanie usług do produktów).
Niedostateczny poziom rozwój łączności. Przemysł 4.0 potrzebuje bardzo dobrej łączności dla wymiany danych i infrastruktury sieciowej wysokiej jakości. Regionalne różnice w przepustowości zaburzają warunki konkurencji i utrudniają wykorzystywanie potencjału Przemysłu 4.0. czy wręcz stanowią barierę do wdrażania rozwiązań z jego obszaru.	Inwestycje – gruntowna renowacja zasobów firm (maszyny i ludzie) wymaga wysokich wydatków początkowych, które firmy mogą nie być przygotowane do poniesienia.
Szybki rozwój technologiczny prowadzi do zmian w zapotrzebowaniu na kompetencje pracowników, co wymaga całościowej reformy systemu edukacji.	Kompleksowe projektowanie, instalacja i zarządzanie systemami – technologie 4.0 wiążą się ze skomplikowaną instalacją i wdrożeniami. Stąd często sam proces instalacji systemów integrujących maszyny i czujniki może stawać się barierą. Wyzwaniem jest projektowanie i zarządzanie architekturą złożonych systemów, które pozwalają na wdrażanie autonomicznych procesów czy urządzeń autonomicznych. Składających się z automatycznych. Projektowanie systemów produkcyjnych musi być tak zrobione by były one niezawodne i odporne, w tym zdolne do utrzymania przepływu danych pomimo awarii pojedynczego komponentu. Kolejny wyzwaniem jest optymalizacja i koordynacja funkcjonowania systemów autonomicznych. „Wiek technologii” – technologia może być zbyt „młoda” jest opór przed jej instalowaniem na liniach produkcyjnych. Nie ma też pewności co do tego jak będzie dalej rozwijać się technologia w danej branży. Póki nie jest „dojrzała” i sprawdzona trudno się na nią decydować.



Zewnętrzne	Wewnętrzne
Brak dodatkowych środków finansowych i rządowych systemów wsparcia na sfinansowanie początkowych wysokich kosztów przejścia na rozwiązania z obszaru Przemysłu 4.0 jest barierą szczególnie dla małych i średnich firm.	Dojrzałość klienta – nowe technologie pozwalają rozwijać nowe funkcje dla produktów. Wyzwaniem jest wprowadzanie takich rozwiązań, które faktycznie sprostają potrzeby rynku czyli klientów. Klienci nie tylko muszą być gotowi używać produkty wyposażone w nowe rozwiązania, ale przede wszystkim zapłacić za dodatkowe funkcje.
	Zarządzanie informacjami – zarządzanie danymi, ich zbieranie, łączenie baz, strukturyzowanie, organizowanie jest głównym wyzwaniem w przedsiębiorstwach wdrażających technologie datafikacji. Integrację danych często utrudnia przestarzała infrastruktura, która nie była projektowana do przepływu dużych zbiorów danych.
	Wykorzystywanie danych – wyzwanie to dotyczy trudności w znajdowaniu nowych i rentownych zastosowań dla dużych zbiorów danych pozyskiwanych przez technologie datafikacji. Odnosi się to konwersji informacji do nowych aktywności czy modeli biznesowych i ich monetyzację.
	Bezpieczeństwo to wyznawanie odnosi się do braku wewnętrznych możliwości do zapewnienia bezpieczeństwa danych, ich przepływu i zarządzania w zintegrowanym i ucyfrowionym środowisku. W ekstremalnym przypadku może prowadzić do zagrożenia dla życia ludzi współpracujących w autonomicznymi robotami. Przeprojektowanie partnerstw – transformacja przemysłu 4.0 niesie ze sobą możliwość dzielenia się zasobami i nowego sposobu zarządzania nimi, co oznacza konieczność przeprojektowania współpracy przedsiębiorstw.
	Personalizacja produktu – datafikacja pozwala na wprowadzenie, w ramach produkcji masowej, spersonalizowanych produktów. Przy czym wiąże się to z wyzwaniami technicznymi, które pojawiają się przy projektowaniu wdrożeń w ramach personalizacji.

Źródło: Calabrese A., Dora M. Ghiron N. L. (2020). Industry's 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of. *Production Planning and Control*.
https://www.researchgate.net/publication/346217340_Industry's_4.0_transformation_process_how_to_start_where_to_aim_what_to_be_aware_of.

Innym podstawowym wyzwaniem, z jakim będą się mierzyć przedsiębiorstwa wchodzące na drogę transformacji, będzie dostęp do surowców i materiałów, które są konieczne do rozbudowy inteligentnego parku maszynowego i połączonych systemów (w ramach Przemysłowego Internetu Rzeczy). Rozwój Internetu Rzeczy stał się możliwy dzięki ogromnemu wzrostowi mocy komputacyjnych mikroprocesorów przy ich jednoczesnej miniaturyzacji, co opisuje tzw. prawo Moore'a.

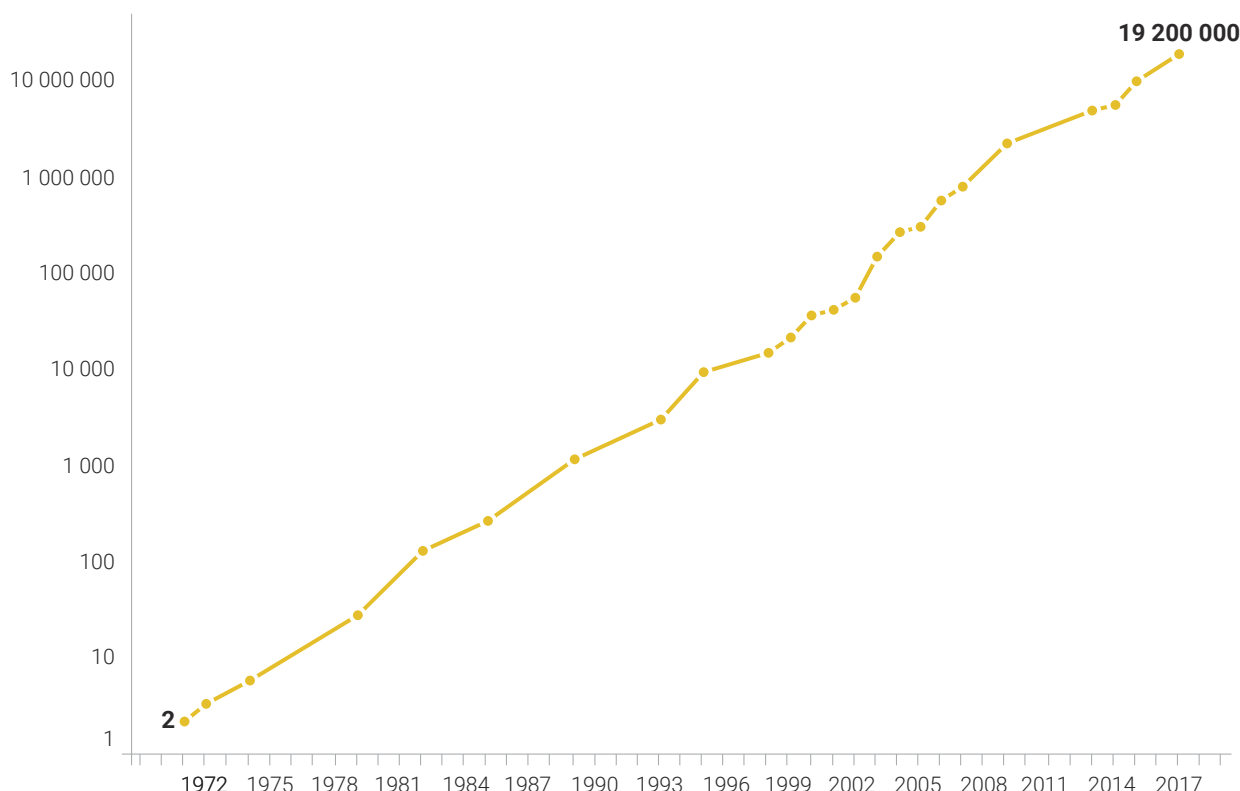
Niedobory w produkcji i dostawach podstawowych półproduktów służących do rozwoju inteligentnych, połączonych maszyn i systemów, przede wszystkim czipów i półprzewodników, mogą przekładać się na krytyczne zakłócenia w ciągłości produkcji.

Przykład: wpływ niedoboru procesorów na przemysł motoryzacyjny i elektroniczny

W 2000 r. elektronika pokładowa stanowiła 18% kosztów auta, w 2010 r. wzrosła już do 27%, a w 2020 r. – do 40%¹. W 2021 r., postawieni w obliczu chronicznego niedoboru mikroprocesorów, producenci zaczęli ponownie instalować mniej zaawansowane układy elek-

1 Coppola G., Patel, T., Wu D. 2021. *Chip Shortage Forces Carmakers to Leave Out Some High-End Features*. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-06/chip-shortage-forces-carmakers-to-strip-out-high-tech-features?srnd=premium-europe&ref=ctSj-Kj2N> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 26. Prawo Moore'a w działaniu



Źródło: Our World in Data, Moore's Law: Transistors per microprocessor, <https://ourworldindata.org/grapher/transistors-per-microprocessor?time=1971.2017>.

troniczne; np. Nissan przestał fabrycznie instalować systemy nawigacyjne². Kryzys dotknął jednak również producentów przedmiotów codziennego użytku, takich jak pralki (wyposażane w stosunkowo proste sensory wagi wsadu) czy elektryczne szczoteczki do zębów, a przede wszystkim – producentów elektroniki. Wiosną 2021 r. firma Samsung, skądinąd będąca jednym z największych producentów półprzewodników (sprzedaż na poziomie 56 mld jednostek rocznie), odroczyła w czasie premierę nowego, zaawansowanego smartfonu, ze względu na niedobór półprzewodników.

Potencjał produkcji mikroprocesorów i półprzewodników staje się jednym z kluczowych determinantów rozwoju przemysłowego. Tymczasem Unia Europejska jest pod tym względem uzależniona od dostawców chińskich i amerykańskich. Na przestrzeni ostat-

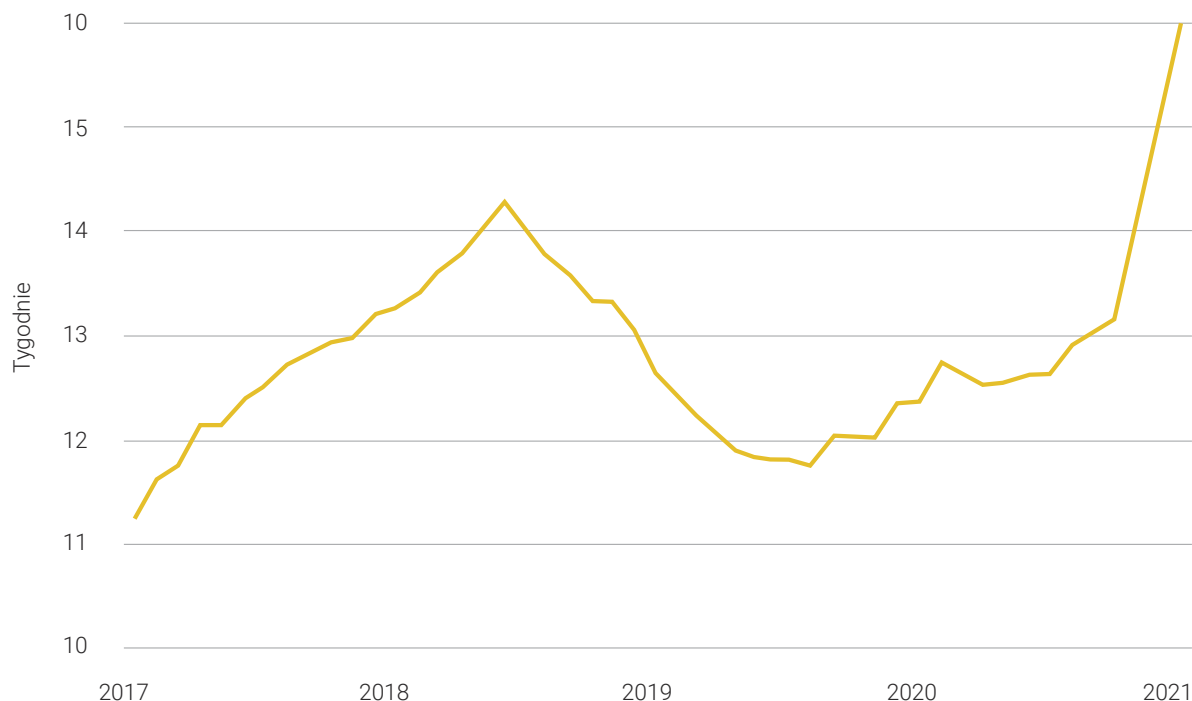
nich trzech dekad udział krajów europejskich spadł z 44% do ok. 10%; w dodatku obecna produkcja skupia się na przestarzałych, mniej wydajnych i dużych czipach. Thierry Breton, komisarz KE ds. przemysłu, określił takie podejście jako „zbyt naiwne, zbyt otwarte”³. W 2020 r. Komisja Europejska ogłosiła plany rozbudowy tego potencjału, deklarując wsparcie inwestycyjne rzędu 20–30 mld euro. Rozwojowi przemysłowemu ma towarzyszyć cyfrowa suwerenność. W grudniu 2020 r. 22 państwa UE, łącznie z Polską, podpisały wspólną deklarację dotyczącą rozbudowy potencjału technologicznego w obszarze procesorów i półprzewodników.

Europa ma wszystko, czego potrzeba, by zdywersyfikować i zredukować krytyczne uzależnienie, przy zachowaniu otwartości. Musimy nakreślić ambitne plany, od projektowania do zaawansowanej produkcji czipów o wymiarze 2 nanometrów, dążąc do zróżni-

2 Ibidem.

3 Bloomberg. 2021. *Europe looks to secure chip supply after 'naive' past approach*. Automotive News Europe. <https://europe.autonews.com/suppliers/europe-looks-secure-chip-supply-after-naive-past-approach> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 27. Luka między zamówieniami na procesory a terminem dostawy (w tygodniach)



Źródła: Coppola G., Patel T., Wu D. 2021 Chip Shortage Forces Carmakers to Leave Out Some High-End Features. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-06/chip-shortage-forces-carmakers-to-strip-out-high-tech-features?srd=premium-europe&sref=ctSjKj2N>.

cowania i rozwoju naszych najważniejszych łańcuchów wartości⁴.

Działalność przemysłową kształtuje również zmniejszająca się podaż surowców, zwłaszcza tzw. pierwiastków ziem rzadkich, stosowanych w produkcji komponentów nowoczesnej elektroniki. Zakłócenia w łańcuchach dostaw tych surowców w okresie pandemii zwielokrotniły problem. Czynniki te kierują przemysł w kierunku gospodarki obiegu zamkniętego, wymuszając m.in. wprowadzanie rozwiązań produktowych dostosowanych do ponownego wykorzystania deficytowych materiałów oraz stosowania dedykowanych do tego celu technologii.

⁴ Joint declaration on processors and semiconductor technologies. European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/joint-declaration-processors-and-semiconductor-technologies> (dostęp 22 czerwca 2021).



Efekty urzeczywistniania wizji Przemysłu 4.0



6.1. Kluczowe korzyści z implementacji rozwiązań Przemysłu 4.0

Z perspektywy przedsiębiorstwa implementacja rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 może przynieść zarówno wzrost dochodu (np. poprzez zwiększenie udziału rynkowego kluczowych produktów), jak i obniżenie kosztów funkcjonowania i produkcji.

6.2. Przykłady całościowej transformacji cyfrowej

Przykłady wyróżniających się transformacji cyfrowych są gromadzone w ramach wspieranej przez World Economic Forum platformy Shaping the Future of Advanced Manufacturing and Production. W 2018 r. w jej ramach powstała społeczność firm z sektora przemysłowego, które przodują pod kątem wdrożeń z zakresu Przemysłu 4.0 – Global Lighthouse Network. Inicjatywa polega na wskazywaniu przykładów udanego, całościowego wdrożenia z zakresu Przemysłu 4.0, które mogą służyć jako punkt odniesienia dla innych przedsiębiorstw, swoistych latarni morskich, pomagających zagubionym statkom bezpiecznie zawinąć do portu; firmom tym udało się przejść od pilotażu do integracji rozwiązań technologicznych w ramach konkretnego zakładu produkcyjnego. Do-

datkowo, wśród przodujących przedsiębiorstw, które przeprowadziły transformację w obrębie fabryki, wyróżniają się te, które rozszerzyły udaną transformację przeprowadzoną w ramach jednego zakładu horyzontalnie, na cały łańcuch wartości. Łącznie do 2021 r. miano latarni przyznano 69 przedsiębiorstwom z całego świata. Dominują firmy z Europy i Azji, jednak w zestawieniu nie ma jeszcze ani jednego przykładu polskiego przedsiębiorstwa¹.

Analiza funkcjonowania liderów pozwala wyodrębnić trzy obszary wykorzystania technologii, które zapewniają sukces transformacji i budują przewagi konkurencyjne na rynku:

- ▶ proces projektowania produktu skupiony na kliencie;
- ▶ płynna komunikacja/łączność w obrębie przedsiębiorstwa;
- ▶ niezakłócona łączność z otoczeniem przedsiębiorstwa – w szerzej rozumianym łańcuchu do-

1 2019. *Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution*. In collaboration with McKinsey & Company. World Economic Forum.

Tab. 7. Kluczowe korzyści płynące z rozwoju Przemysłu 4.0

Zaspokajanie oczekiwań indywidualnych klientów	Uwzględnienie indywidualnych kryteriów w procesie produkcji Szybkie uwzględnianie preferencji konsumentów w procesie produkcji Umożliwianie wysokiego stopnia elastyczności Umożliwianie zmian na ostatnią chwilę w procesie produkcyjnym
Elastyczny i zwinny proces projektowania i wytwarzania	Dynamiczna i elastyczna konfiguracja różnych elementów procesów biznesowych Tworzenie zwinnych procesów projektowania i wytwarzania Bieżąca weryfikacja decyzji projektowych i szybkie wdrażanie decyzji w życie
Lepsza wymiana informacji i podejmowanie decyzji	Łatwy dostęp do bieżących informacji i skuteczna współpraca między różnymi systemami maszynowymi i produkcyjnymi Lepsza wydajność i jakość produkcji Optymalizacja procesu rozwoju produktu
Lepsza integracja i współpraca	Monitorowanie operacji z dowolnej lokalizacji Umożliwienie proaktywnego podejścia do rozwiązywania problemów
Poprawa produktywności zasobów	Stoła optymalizacja procesu produkcyjnego i systemów produkcyjnych Tworzenie kosztowo efektywnych systemów pomiaru oraz narzędzi zarządzania wydajnością Automatyzacja narzędzi pomiaru środowiskowego
Masowa personalizacja	Indywidualizacja procesu produkcyjnego Produkcja niewielkich serii wysoko spersonalizowanych produktów Wytwarzanie wysoce spersonalizowanych produktów wysokiej jakości.

Źródło: Fatorachian H., Kazemi H. 2018. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29:8, s. 633–644.

Tab. 8. Wybrane przykłady udanej transformacji cyfrowej w zakładach produkcyjnych

Nazwa przedsiębiorstwa	Rodzaj wdrożeń (use cases)	Rezultaty
Foxconn Chengdu (Chiny)	Zastosowanie technologii rzeczywistości mieszanej, sztucznej inteligencji i Internetu Rzeczy w celu doboru pracownika do obsługi danej maszyny; predyktoryczne utrzymanie ruchu w oparciu o dane historyczne, zastosowanie zaawansowanej analityki	200% wzrostu wydajności pracy ludzkiej Zwiększenie współczynnika wykorzystania wyposażenia maszynowego o 19% Zmniejszenie stanów magazynowych o 25%
Henkel Montornès, Hiszpania	W celu zwiększenia produktywności z równoczesną realizacją celów zrównoważonego rozwoju, opracowano i wdrożono system cyber-fizyczny obejmujący całe przedsiębiorstwo. Efektem była optymalizacja zużycia energii poprzez analizy predyktoryczne, cyfrowe narzędzia dla wzmocnienia potencjału zasobów ludzkich, zastosowanie sztucznej inteligencji do kontroli procesów, robotyzacja logistyki, cyfrowe śledzenie produktów	Redukcja emisji CO2 o 10%, redukcja czasu nieplanowanych przestoju o 20%, redukcja stanów magazynowych o 16%, skrócenie czasu wprowadzania produktów na rynek o 30%.
HP Inc. Singapur	Dokonano przejścia od pracy ręcznej do pracy wysoce ucyfrowionej, zautomatyzowanej i kontrolowanej przy udziale sztucznej inteligencji. Wprowadzono roboty kolaboratywne, monitoring i wizualizację pracy urządzeń w czasie rzeczywistym, technologie przyrostowe oraz zdalną optymalizację poprzez platformy analityczne.	Poprawa wydajności pracy o 70%, redukcja kosztów wytwarzania o 10%, poprawa wskaźników jakości o 70%.
Procter & Gamble Amiens, Francja	Celem zaspokojenia gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na produkty firmy wprowadzono technologię „cyfrowych bliźniaków” oraz cyfrowe zarządzanie produkcją i optymalizacją magazynu. „Use cases” dotyczące realizacji wizji Przemysłu 4.0 w tym przypadku to: zastosowanie „cyfrowego bliźniaka” do zdalnego optymalizowania produkcji, integracja danych z poziomu produkcji z systemami informatycznymi zarządzania przedsiębiorstwem, cyfryzacja inżynieringu, zaawansowana analityka dla optymalizacji logistyki i magazynu	Zmniejszenie poziomów magazynowych o 6%, poprawa współczynnika wykorzystania wyposażenia (OEE) o 10%, zmniejszenie zużycia materiałów do pakowania o 40%.

Źródło: 2019. Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution. In collaboration with McKinsey & Company. World Economic Forum.

staw. Cyfrowa infrastruktura umożliwia zupełnie nowy poziom współpracy z partnerami i klientami, np. dzielenie się wiedzą, informacjami i danymi i doświadczeniami z procesem wdrożeń.

W przodujących przedsiębiorstwach zmiana zachodzi równolegle w czterech obszarach: zmieniają się procesy biznesowe, systemy zarządzania, systemy zarządzania pracą ludzi oraz systemy Przemysłowego Internetu Rzeczy i zarządzania danymi.

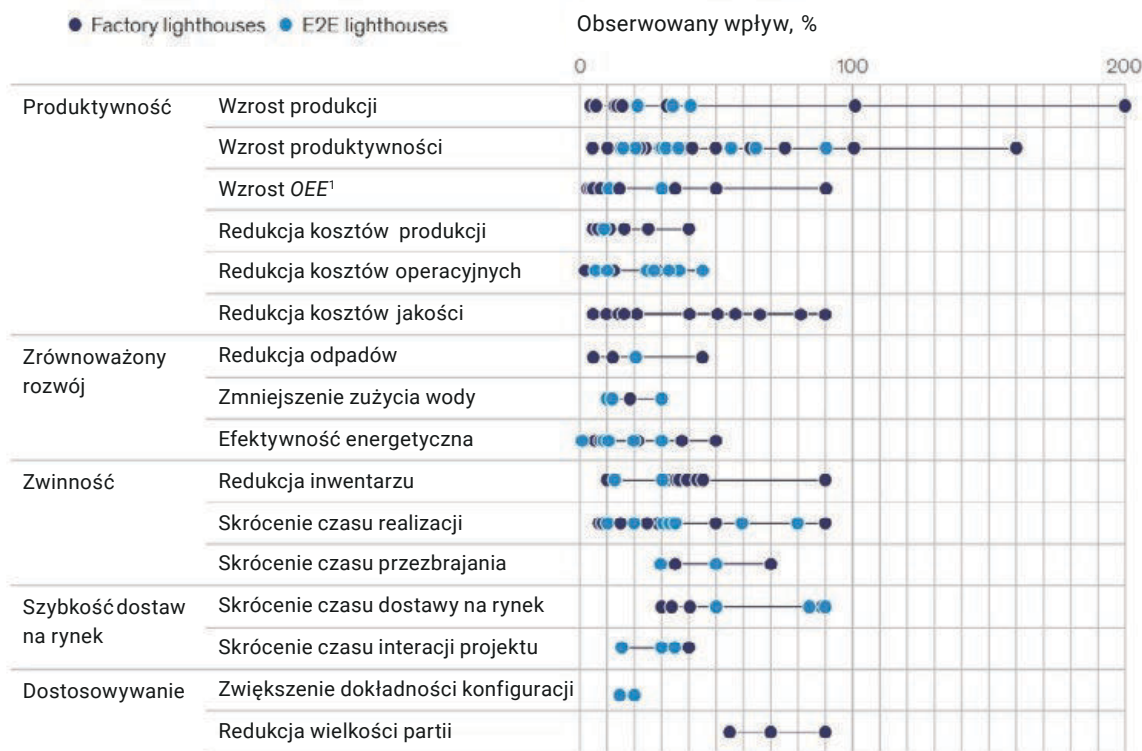
Transformacja całego kontekstu produkcyjnego, od pozyskiwania zasobów po dostawę, jest niemałym osiągnięciem. Ostatecznie, budowanie cyfrowej łączności na tym szerszym poziomie oznacza wzrost złożoności i zróżnicowania motywacji partnerów. Od przedsiębiorstwa wymaga to zburzenia własnych wewnętrznych podziałów, dzielenia się danymi z zewnętrznymi partnerami oraz budowy nowego potencjału – co pokazu-

je, że rola elementu ludzkiego w udanym wdrożeniu technologii nie ulega zmniejszeniu.

Ich zarządy rozumieją, że w gospodarce cyfrowej ciągła zmiana jest imperatywem – organizacja zawsze będzie w procesie zmiany. W związku z tym bazują na zwinnych pilotażach wdrożeń, które są ograniczone w czasie; wykazują też dużą tolerancję na porażki i potrafią uczyć się na własnych błędach. Liderzy potrafią też wykorzystywać usieciowione platformy do czerpania korzyści ze skali. W rezultacie, liderzy zyskują większą zwinność (szybciej reagują na zmiany na rynku), szybciej dostarczają nowe produkty na rynek i są w stanie masowo personalizować swoją ofertę.

Kolejny kluczowy czynnik sukcesu stanowi architektura informatyczna, zwłaszcza która umożliwi skalowanie i ciągle uzupełnianie o nowe rozwiązania informatyczne („future proof”).

Rys. 28. Rezultaty osiągane przez liderów Przemysłu 4.0



1. Overall Equipment Effectiveness, Całkowita Efektywność Wyposażenia

Źródło: 2019. Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution. In collaboration with McKinsey & Company. World Economic Forum.

Wiele firm deklaruje brak gotowości do wprowadzania bardziej zaawansowanych wdrożeń i odradza modernizację infrastruktury IT/danych. Liderzy mają inne podejście: wiedzą, że liczy się czas; wiedzą, że chodzi o wyposażenie siły roboczej w infrastrukturę technologiczną, która umożliwia innowacje w przeciągu tygodni, przewyższając izolację technologiczną, która cechuje długoletnie projekty wdrożeń IT.

Liderów wyróżnia jednak przede wszystkim zmiana sposobu organizacji pracy i podejścia do zasobów pracowniczych. Priorytetyzują inwestowanie w rozwój kompetencji pracowników, eksperymentują z nowymi sposobami i formami wykonywania zadań służbowych i rekonstruują strukturę organizacyjną tak, by wpisywała się ona w całościową transformację cyfrową. Kompetencje siły roboczej są rozwijane za pomocą szkoleń wewnętrznych i zewnętrznych, przy wykorzystywaniu nowych metod edukacyjnych, np. gamifikacji czy rozwiązań wykorzystujących rzeczywistość rozszerzoną (AR). Ogromna większość (70%) badanych przedsiębiorstw zamyka się w sytuacji ciągnących się pilotaży (autorzy raportu określają tę sytuację jako „czyścić pilotaży”).

Podsumowanie doświadczeń przedsiębiorstw uznanych za „latarnie morskie” transformacji cyfrowej

wskazuje na zmiany w definiowaniu celów transformacji przez liderów. Obok produktywności, na czoło wysuwa się dążenie do szybkiej i adekwatnej reakcji na zmieniające się potrzeby i oczekiwania odbiorców oraz efektywne wykorzystanie zasobów w celu ochrony środowiska naturalnego (eco-efficiency). Doświadczenia wiodących firm potwierdzają, że wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych na dużą skalę i przy zaangażowaniu posiadanego potencjału środków produkcji oraz zasobów ludzkich pozwala osiągnąć wielorakie korzyści, począwszy od wzrostu produktywności, a kończąc na lepszym dopasowaniu do oczekiwań odbiorców, i to bez konieczności dokonywania wielkich inwestycji w środki produkcji i infrastruktury. Obecnie alternatywną drogą jest łączenie najnowocześniejszych narzędzi cyfrowych z elastycznymi, rekonfigurowalnymi systemami produkcyjnymi.

6.3. Przykłady porażek we wdrażaniu rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0

Jak każdy proces szeroko zakrojonej zmiany, transformacja cyfrowa w przedsiębiorstwach przemysłowych natyka się na liczne i różnicujące bariery

i trudności. Krytycznym momentem jest rozszerzenie zakresu pilotażu na całe przedsiębiorstwo: udaje się to zaledwie co trzeciej firmie, która zdecydowała się na wdrożenie nowych technologii².

Przykład nieudanej transformacji cyfrowej: Adidas zamyka fabryki w Niemczech i USA

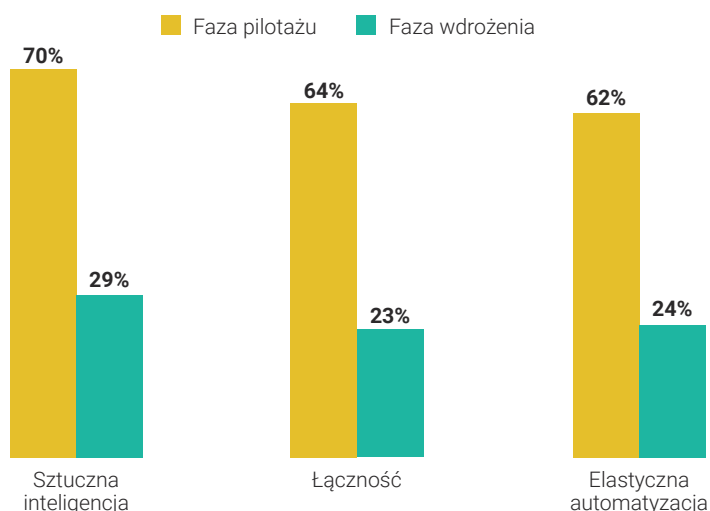
W 2016 i w 2017 r. firma Adidas otworzyła dwie tzw. szybkie fabryki (speedfactory), o podobnej architekturze i wysokim poziomie automatyzacji, które miały przyspieszyć drogę produktów na rynki. W zamierzeniu sieć takich zestandaryzowanych zakładów produkcyjnych miała stanowić alternatywę dla offshoringu produkcji do Azji w związku z rosnącymi kosztami pracy i logistyki. Ostatecznie jednak w 2020 r. firma wróciła do modelu podzlecania produkcji butów zakładom produkcyjnym zlokalizowanym w Azji jako „bardziej ekonomicznego i elastycznego”, pod warunkiem wykorzystania przez nie technologii przetestowanych w likwidowanych fabrykach (np. wkładki i podeszew tworzonej metodą druku 3D)³.

Według globalnego badania przeprowadzonego przez Bain&Company w 2019 r., prawie połowa (44%) z 796 ankietowanych menedżerów przyznała, że wdrożenie technologii automatyzacji, takich jak RPA i sztuczna inteligencja nie przyniosło oczekiwanych oszczędności, chociaż jednocześnie 45% stwierdziło, że technologie te „pozwoliły przekierować pracowników do pracy o wyższej wartości”⁴. Zwroty z inwestycji w automatyzację i wprowadzanie inteligentnych systemów są rozłożone w czasie, co wyjaśnia, dlaczego większość firm wybiera podejście inkrementalne i koncentruje się na automatyzacji obszarów niskiego ryzyka, takich jak śledzenie preferencji klientów, zamiast angażować się w kompleksową transformację cyfrową. Jednocześnie staje się coraz bardziej jasne, że zarówno na rynkach globalnych, jak i lokalnych dominację będą zdobywać te firmy, które przyjmują nowe modele biznesowe oparte na zasadzie „data-first, AI-first”, Automatyzacja usprawnia procesy i pozwala na niespotykaną elastyczność i szybkość reakcji w coraz bardziej burzliwym świecie⁵.

- 2 Bahrendt A., Kelly R., Rettig R. i in. *How digital manufacturing can escape 'pilot purgatory'*. McKinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-digital-manufacturing-can-escape-pilot-purgatory> (dostęp 22 czerwca 2021).
- 3 Thomasson E. 2019. *Adidas is closing its high-tech 'robot' factories in the US and Germany just 3 years after the first one opened*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/adidas-to-close-german-us-robot-factories-2019-11?IR=T> (dostęp 22 czerwca 2021).

- 4 Heric M., Doddapaneni P., Atieh S. i in. *Intelligent Automation: Getting Employees to Embrace the Bots*. Bain&Company. <https://www.bain.com/insights/intelligent-automation-getting-employees-embrace-bots/> (dostęp 22 czerwca 2021).
- 5 Iansiti M., Lakhani K. R. 2020. *Competing in the Age of AI: Strategy and Leadership When Algorithms and Networks Run the World*. Harvard Business Review Press, 204.

Rys. 29. Wdrażanie rozwiązań z zakresu cyfryzacji produkcji



Źródło: Bahrendt A., Kelly R., Rettig R. i in. *How digital manufacturing can escape 'pilot purgatory'*. McKinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-digital-manufacturing-can-escape-pilot-purgatory>



Gotowość do transformacji cyfrowej



Zmiany paradygmatu produkcji przemysłowej, którym poświęcamy uwagę w tym raporcie, są efektem szerzej rozumianej transformacji cyfrowej. Czwarta rewolucja przemysłowa nabiera tempa, jednak nadal przykładów udanych wdrożeń technologicznych, zwłaszcza takich, które udało się wyskalować na cały zakład produkcyjny, a w dalszej kolejności całe przedsiębiorstwo wraz z jego łańcuchem dostaw, jest stosunkowo niewiele. Z drugiej strony dominuje przekonanie, że transformację cyfrową będzie musiało przejść każde przedsiębiorstwo, dlatego też powstają metody oceny gotowości pojedynczych przedsiębiorstw i całych sektorów do wejścia w proces transformacji¹. Ich celem jest mierzalna ocena sytuacji, oparta w większym stopniu na zobiektywizowanych wskaźnikach niż na subiektywnych deklaracjach przedsiębiorstw, kształtowanych przez interpretacje koncepcji Przemysłu 4.0 (czemu nie sprzyja, jak zaznaczyliśmy powyżej, brak jednolitej definicji wypracowanej przez środowisko akademickie). Narzędzia te są skupione

bądź na ocenie gotowości cyfrowej poszczególnych przedsiębiorstw, bądź też gotowości cyfrowej całych sektorów czy gospodarek.

7.1. Modele gotowości do wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0

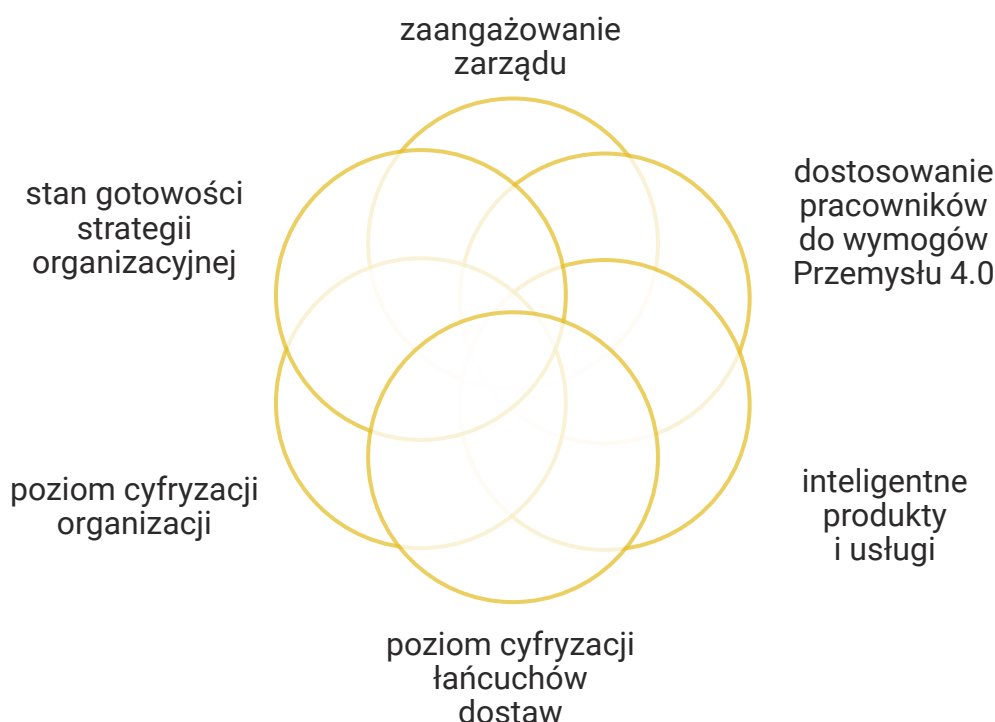
Systematyczne przeglądy literatury przedmiotu wykazują istnienie co najmniej 30 modeli gotowości, uwzględniających łącznie 158 wymiarów/kryteriów². Ocenie podlegają czynniki umożliwiające rozpoczęcie procesu transformacji i umiejętność czerpania korzyści z wdrożenia nowych technologii. W szczególności, ocenie podlega pakiet tzw. technologii umożliwiających transformację³, ale proponowane są również szersze analizy dotyczące szeregu aspektów, takich jak przygotowanie kompetencyjne pracowników czy

¹ Schumacher A., Erol S., Sihn W. 2016. *A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises*. Procedia CIRP, 52, s. 161–166.

² Hizam-Hanafiah M., Soomro M. A., Abdullah N.L. 2020. *Industry 4.0 Readiness Models: A Systematic Literature Review of Model Dimensions*. Information, 11(7):364.

³ Lucato W. C., Pacchini A. P. T., Facchini F. i in. 2019. *Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies*. IFAC Conference Paper, 52:13, s. 1808–1813.

Rys. 30. Kluczowe aspekty oceny gotowości Przemysłu 4.0





otwartość kultury organizacyjnej na zmiany⁴. W ramach jednego z takich przeglądów, przeprowadzonego przez M. Sony i S. Naika w 2019 r., przeanalizowano 68 artykułów dotyczących Przemysłu 4.0 (wyselekcjonowanych z pierwotnej próby 298 artykułów zamieszczonych w bazach akademickich; warto dodać, że z dalszej analizy wykluczono artykuły nieanglojęzyczne). Na tej podstawie badacze wskazali kluczowe aspekty oceny gotowości do wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0.

- ▶ Dodatkowo badacze wyodrębnili 17 założeń, które powinny przyświecać badaniu gotowości poszczególnych przedsiębiorstw oraz wspieraniu ich na drodze transformacji cyfrowej.
- ▶ Organizacyjna strategia wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 musi brać pod uwagę zmiany w relacjach między organizacją i jej otoczeniem, wspólnotami, łańcuchami dostaw oraz ludźmi.
- ▶ Technologicznym wdrożeniom musi towarzyszyć strategia organizacyjna, uwzględniająca np. nowy, zdecentralizowany model decyzyjny oraz zwiększoną interoperacyjność systemów i poziom wymiany danych.
- ▶ Wdrożenia z zakresu Przemysłu 4.0 przełożą się na zmianę większości elementów strategii organizacyjnej (wizję, misję, wartości, cele, KPI, analizę SWOT).
- ▶ O sukcesie wdrożenia rozwiązań z zakresu P4.0 zdecyduje poziom integracji zasobów cyberfizycznych w organizacji.
- ▶ Zautomatyzowane zarządzanie danymi przełoży się na lepsze zautomatyzowane modele decyzyjne wykorzystujące rozwiązania P4.0.
- ▶ Poprzez integrację zasobów organizacyjnych, rozwiązania P4.0 przyczynią się do optymalizacji wykorzystania zasobów.
- ▶ Kompatybilność systemów IT z procesami organizacyjnymi przełoży się na lepsze wdrożenie rozwiązań P4.0.
- ▶ Zarządzanie łańcuchem dostaw w P4.0 będzie wymagało bieżącej, intensywnej pod względem wykorzystania danych i dynamicznej organizacji

strukturalnej między różnymi podmiotami w łańcuchu, tworząc zapotrzebowanie na nowe algorytmy.

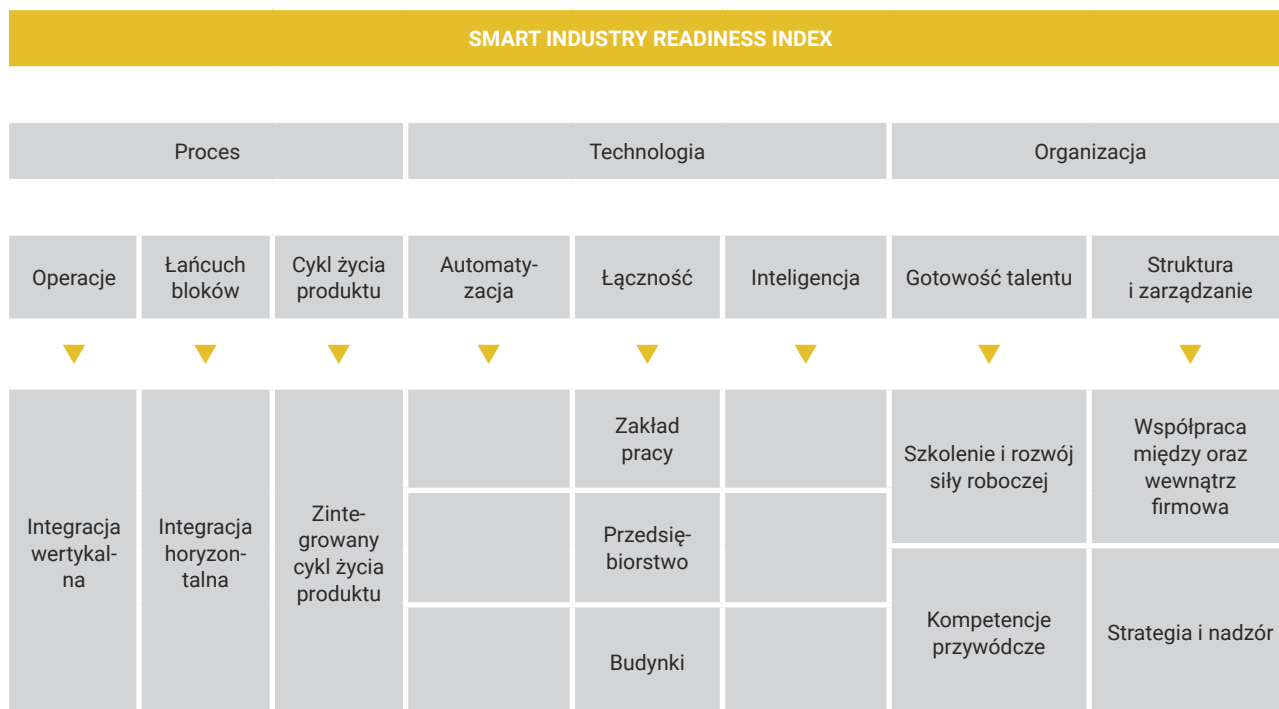
- ▶ Sukces rozwiązań P4.0 zapewni wdrożenie autonomicznych rozwiązań w ramach łańcucha dostaw.
- ▶ Autonomiczne (samoreagujące) procesy w łańcuchu dostaw zapewnią lepszą zbieżność przepływów, integrację funkcji, koordynację procesów, projektowanie złożonych systemów i zarządzanie zasobami.
- ▶ Systemy cyberbezpieczeństwa i zarządzanie danymi oparte na chmurze zapewniające ochronę danych uczestników łańcucha dostaw są kluczowym czynnikiem sukcesu P4.0.
- ▶ Integracja produktów i usług z innymi cyberfizycznymi systemami umożliwi monitoring, samoregulację i optymalizację zasobów.
- ▶ Produkty i usługi powinny być innowacyjnie zaprojektowane, tak by produkt był zintegrowany z usługą w sposób użyteczny dla klienta.
- ▶ Integracja systemów cyberfizycznych w organizacji powinna uwzględniać klientów w celu tworzenia nowych ofert.
- ▶ Zasady zarządzania usługami powinny być zintegrowane z Przemysłem 4.0 w celu projektowania usług, które zaspokoją oczekiwania klientów.
- ▶ W celu przewidywania sposobów dostosowywania się pracowników do zmian związanych z wdrożeniami P4.0 należy opracować inteligentne modele adaptacji pracowników.
- ▶ Zaangażowanie zarządu przyczyni się do takiego wykorzystania zasobów organizacyjnych w celu udanego wdrożenia P4.0

Smart Industry Readiness Index

Najbardziej znany i szeroko stosowany wskaźnik oceny gotowości cyfrowej – Smart Industry Readiness Index, SIRI – został stworzony przez singapurską Radę Rozwoju Ekonomicznego w celu wsparcia transformacji cyfrowej przedsiębiorstw z różnych sektorów i o różnej wielkości. SIRI uwzględnia trzy podstawowe elementy Przemysłu 4.0: Procesy, Technologie i Organizację. Do tej pory ścieżkę

⁴ Industrie 4.0-Readiness Online-Selbst-Check für Unternehmen. Impuls. <https://www.industrie40-readiness.de/> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 31. Architektura Smart Industry Readiness Index



Źródło: The Smart Industry Readiness Index, Catalysing the transformation of manufacturing. Economic Development Board Singapore. <https://www.siri.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/the-smart-industry-readiness-index.pdf>.

oceny z wykorzystaniem tego wskaźnika przeszło ponad 350 firm z 15 państw.

W 2019 r. zastosowanie tego wskaźnika do oceny gotowości 200 singapurskich przedsiębiorstw produkcyjnych z 12 sektorów produkcyjnych pozwoliło wyodrębnić cztery podstawowe archetypy transformacji.

- ▶ Las deszczowy: większość firm przechodzi transformację cyfrową, jednak niewielka grupa firm nie dotrzymuje kroku; dotyczy to m.in. przemysłu chemicznego i elektronicznego.
- ▶ Sawanna: większość firm na początkowym etapie transformacji cyfrowej, niewielka liczba liderów; w tej grupie znajduje się inżynieria precyzyjna, przemysł spożywczy.
- ▶ Tundra: specyfika produktów i procesów produkcyjnych utrudnia transformację cyfrową; dotyczy to m.in. inżynierii lotniczej i morskiej.
- ▶ Las iglasty: firmy zaawansowane w procesie transformacji cyfrowej, produkujące wysoko zaawansowane technologiczne towary i usługi; wymiana wiedzy między liderami.

Tego typu uporządkowanie pozwala dobrać odpowiednie instrumenty polityczne i ekonomiczne w celu wspierania firm z poszczególnych sektorów.

Future Industry Readiness Index, World Economic Forum

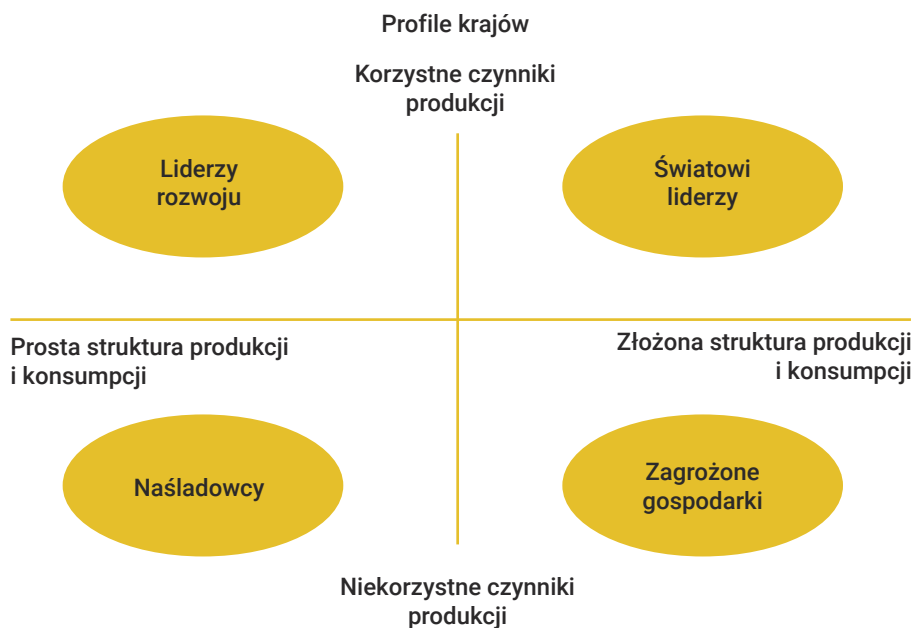
Wskaźnik FIRI został zaproponowany w 2018 r. przez WEF. Ocenia on gotowość do transformacji cyfrowej w odniesieniu do poszczególnych sektorów. Budowa wskaźnika została poprzedzona przeglądem literatury przedmiotu, w wyniku którego wyodrębniono blisko 70 wskaźników, które następnie skonsultowano z przedstawicielami sektorów przemysłowych z 20 krajów. Dane źródłowe zaczerpnięto ze statystyk międzynarodowych opartych na wkładach poszczególnych krajów (np. dane raportowane do Banku Światowego, UNCTAD, OECD), baz tworzonych przez think tanki, oraz międzynarodowy sondaż dla menedżerów prowadzony przez WEF.

Przeprowadzona w 2018 r. analiza gotowości cyfrowej stu gospodarek wykazała, że państwa można pogrupować w zależności od struktury produkcji i konsumpcji oraz czynników produkcji.

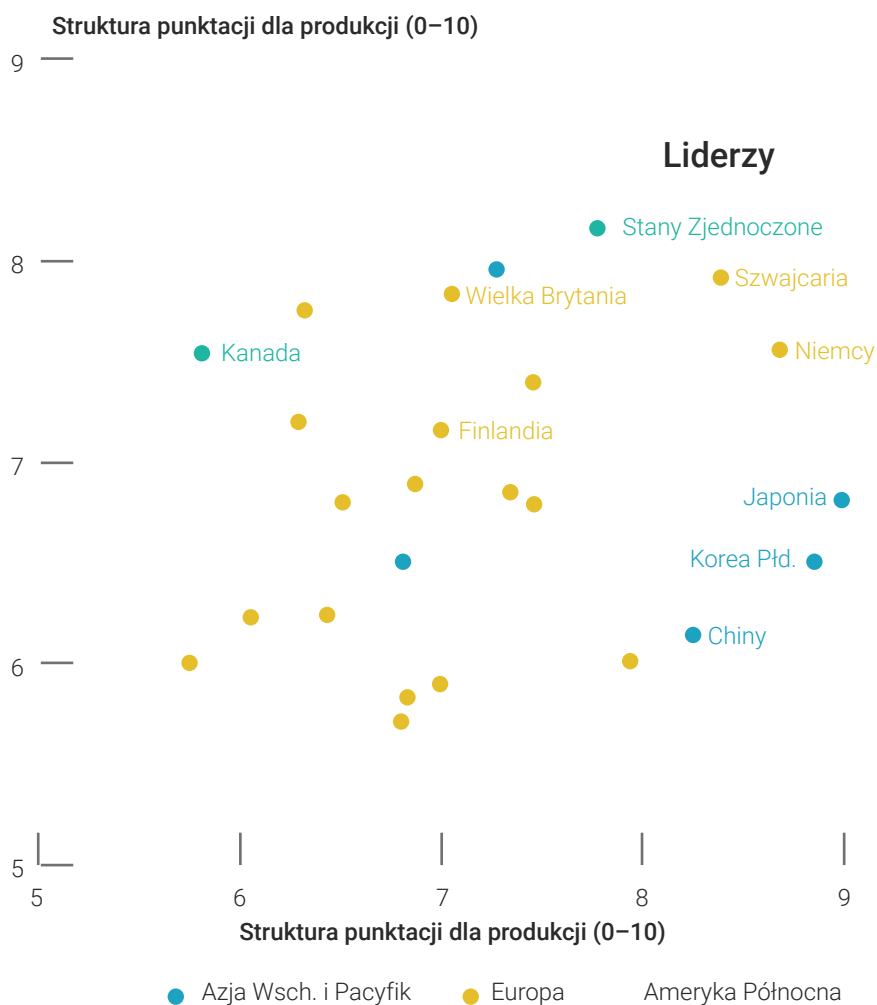
**Tab. 9.** Architektura wskaźnika Future Industry Readiness Index

Wskaźnik		Wskaźniki cząstkowe
Struktura produkcji i konsumpcji	Struktura produkcji	Stopień złożoności gospodarki Powiązania rozwojowe (forward/backward linkages) Udział w globalnych łańcuchach wartości Wskaźnik innowacyjności (density/discovery factor)
	Struktura konsumpcji	Gotowość do próbowania nowych towarów i usług Otwartość na nowe sposoby produkcji Preferencje konsumenckie i dostępność danych
Wskaźnik innowacji i technologii	Nakłady na badania	Wydatki na badania i innowacje jako %PKB Złożone patenty w badaniach podstawowych Stan rozwoju klastrów Patenty STEM we współpracy co najmniej 3 krajów
	Aktywność przemysłowa	Tworzenie kapitału stałego (gross fixed capital formation) Rejestracje nowej działalności gospodarczej Producenci wysokiej i średnio-wysokiej technologii
	Dostępność i wykorzystanie ICT	Wykorzystanie ICT przez firmy Średnia prędkość internetu Łączność komórkowa Dostępność cenowa ICT
	Poziom zaawansowania	Roboty przemysłowe na 1000 pracowników Zatrudnienie w zawodach wymagających wiedzy, w % Rozmiar ekosystemu cyfrowego (size of digital universe) Liczba drukarek 3D w kraju Liczba firm zaangażowanych w tworzenie dysruptywnych technologii
Kapitał ludzki i kompetencje	Poziom edukacji	Pozycja uniwersytetów w rankingach Jakość kształcenia matematycznego i naukowego Wyniki PISA Poziom alfabetyzacji dorosłych
	Elastyczność i umiejętność adaptacji	Szkolenia w miejscu pracy Dostępność inżynierów i naukowców na rynku pracy Elastyczność rynku pracy Eksport produktów sektora kulturowego i kreatywnego (jako %PKB)
	Inkluzywność	Udział kobiet w rynku pracy Mobilność dochodowa Poziom bezrobocia (trend dziesięcioletni)
	Kompetencje siły roboczej	Odsetek populacji z wyższym wykształceniem Odsetek populacji ze średnim wykształceniem Zatrudnienie w produkcji (w odniesieniu do całej populacji)
	Migracje	Liczba studentów zagranicznych Migracje netto

Wskaźnik	Wskaźniki cząstkowe
Regulacje i rząd	Wskaźnik korupcji Wskaźnik rządów prawa Bezpieczeństwo Jakość biurokracji Skuteczność regulacyjna
	Ochrona IP Bezpieczeństwo serwerów internetowych Prywatność programów komputerowych
	Stopa podatkowa (jako odsetek dochodów) Poziom otwartości rynków
	Obciążenie procedurami celnym Realna stopa cła Intensywność konkurencji na rynkach lokalnych
Zasoby naturalne i wskaźniki zrównoważonego rozwoju	Nakłady energetyczne i koszty Stosunek zasobów energii do PKB (energy intensity level of primary energy) Import energii (jako odsetek zużycia energii) Energia alternatywna i atomowa (jako odsetek zużycia energii)
	Gospodarka cyrkularna Poziom recyklingu
	Praktyki na rzecz zrównoważonego rozwoju Poziom nieprzetworzonych odpadów Wystawienie na ryzyko środowiskowe Aplikacje o ISO 14000
	Klimat Trend w intensywności wykorzystania węgla (per kWh) Wskaźnik smogu (fine particle matter exceedance)
	Powietrze Średnia ekspozycja na smog
	Woda Bazowy niedobór wody Oczyszczanie wody
Wskaźniki globalnej gospodarki, handlu i inwestycji	Infrastruktura handlowa Wydajność logistyki Jakość infrastruktury
	Wskaźniki handlowe Handel w odniesieniu do PKP Wskaźnik produkcji przemysłowej Wskaźnik wartości dodanej produkcji przemysłowej Eksport towarów jako %PKB
	Inwestycje Inwestycje bezpośrednie FDI (stocks and flows), %PKB w ujęciu dziesięcioletnim Napływ inwestycji bezpośrednich, %PKB w ujęciu dziesięcioletnim
	Certyfikacje i akredytacje % certyfikatów ISO w sektorach przemysłowych ISO 9000/PKB PPP\$bn

**Rys. 32.** Kategorie krajów pod kątem gotowości do transformacji cyfrowej przemysłu

Źródło: Readiness for the Future of Production Report 2018, World Economic Forum/A.T.Kearney.

Rys. 33. Kraje przodujące w transformacji cyfrowej

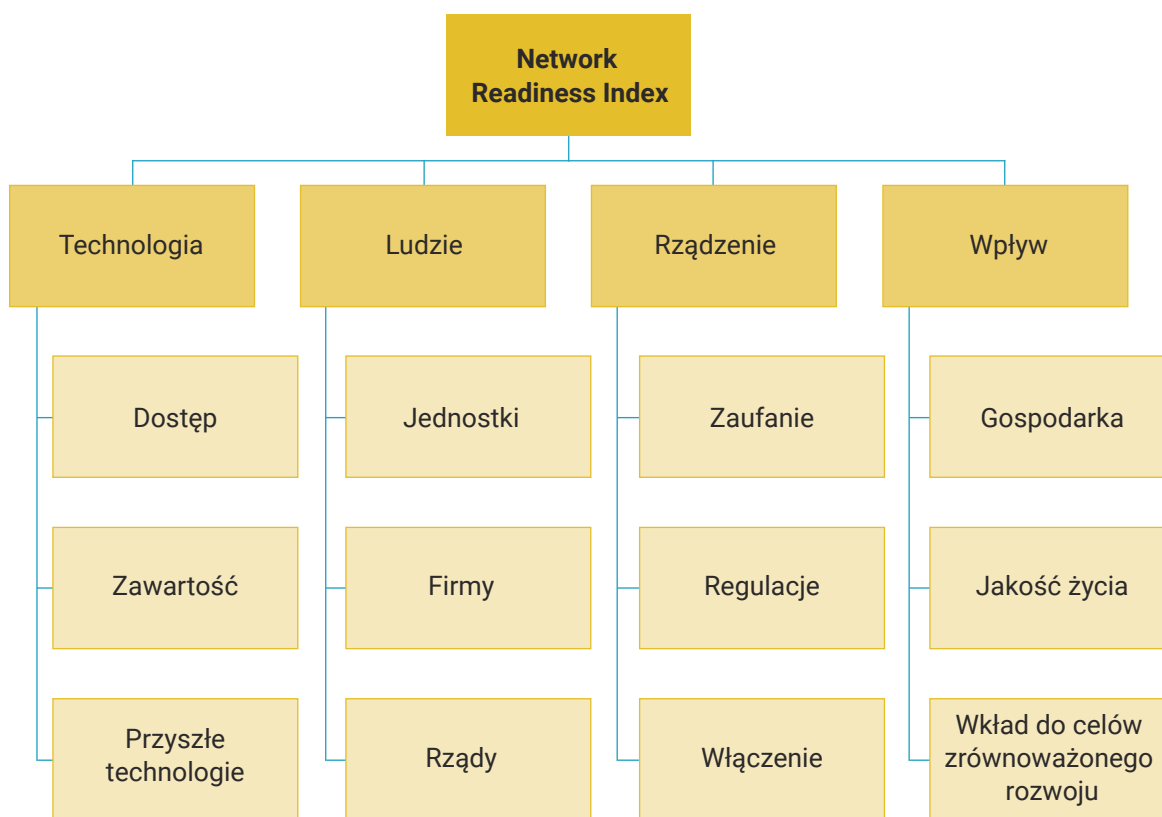
Źródło: Readiness for the Future of Production Report 2018, World Economic Forum/A.T.Kearney.

Network Readiness Index, Portulans Institute

Rezultaty zastosowania tego wskaźnika do oceny zaawansowania transformacji cyfrowej są publikowane corocznie od 2001 r. (pierwotnie w ramach the Global Information Technology Report będącego projektem w ramach Światowego Forum Gospodarczego, a obecnie przez Portulans Institute). The Network Readiness Index jest wynikiem syntezy 60 wskaźników pogrupowanych w 4 kategorie.

Wskaźnik silnie koreluje z ogólnym poziomem rozwoju gospodarczego, a zwłaszcza z poziomem PKB. Pozwala ocenić, czy poszczególne kraje wykorzystują potencjał technologii informacyjno-komunikacyjnych, przy czym bierze pod uwagę ich wpływ na konkurencyjność gospodarczą oraz poziom życia w danym kraju. Obecnie wskaźnik ranguje 134 kraje.

Rys. 34. Architektura Networked Readiness Index



Źródło: Lanvin B., Dutta S. 2020. The Network Readiness Index 2020: Accelerating Digital Transformation in a post-COVID Global Economy. Portulans Institute. https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/NRI_master_deck_2020.pdf.

Tab. 10. Rezultaty NRI w 2020 r.

Zbiorczo	Technologia	Ludzie	Rządzenie
Szwecja	Szwajcaria	Dania	Norwegia
Dania	Szwecja	Korea Pd.	Dania
Singapur	Holandia	Finlandia	Holandia

Źródło: NRI 2020 Countries. Portulans Institute. <https://networkreadinessindex.org/nri-2020-countries/>.

Regional Industry 4.0 Readiness Index

Ten wskaźnik został opracowany przez badaczy akademickich⁵. Bierze pod uwagę 101 wskaźników indywidualnych i wykorzystuje otwarte bazy danych dotyczących edukacji (np. bazy dot. programu Erasmus), nauki, jakości rządzenia i mediów. Częstokowe wskaźniki odnoszą się do kwestii wyższego

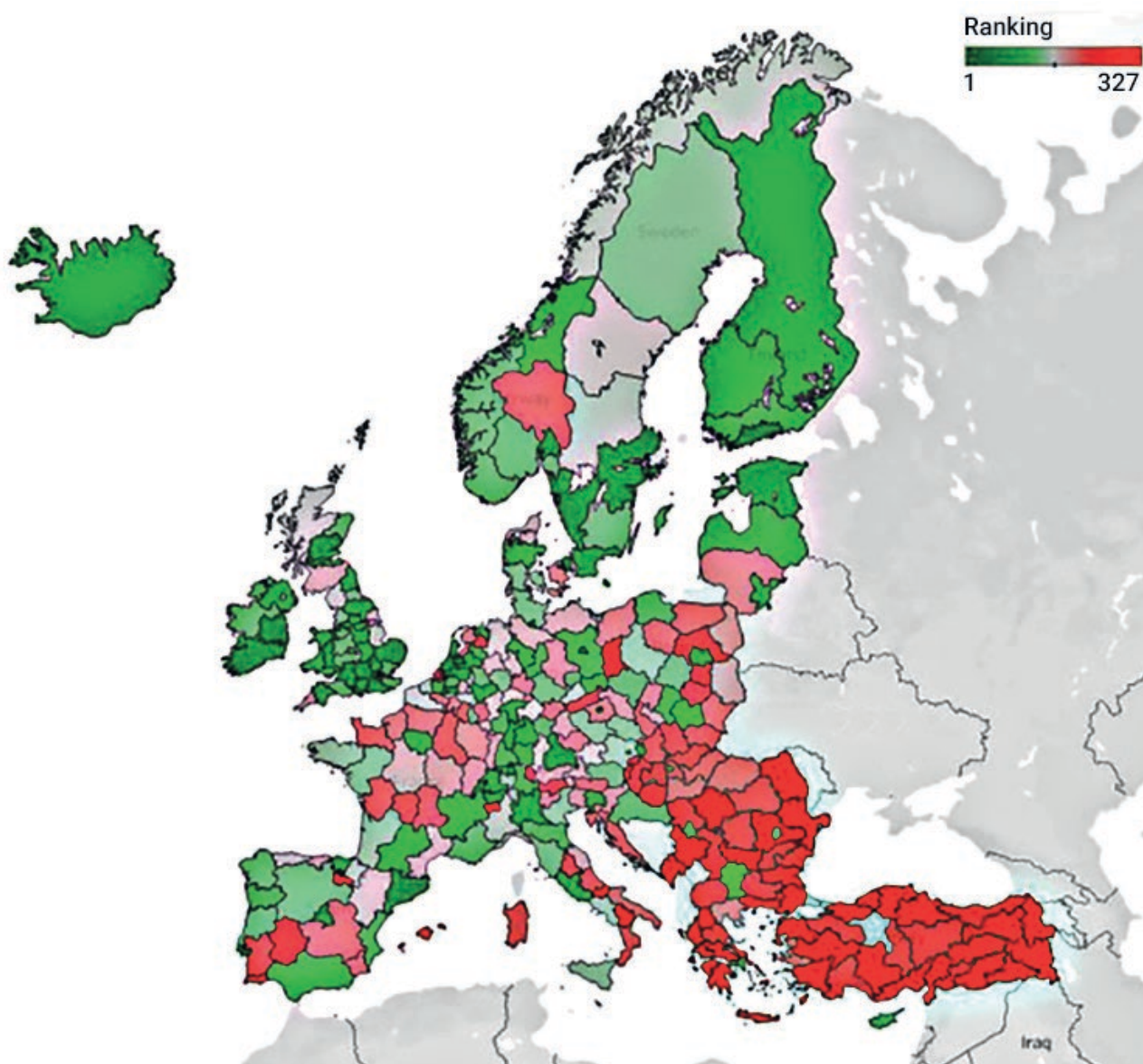
wykształcenia i uczenia się przez całe życie, innowacyjności, inwestycji technologicznych, rynku pracy i gotowości technologicznej. Do walidacji indeksu wykorzystano wskaźniki PKB i innowacyjności (Regional Innovation Index).

Digital Economy and Society Index, DESI

Wskaźnik DESI jest wykorzystywany przez Komisję Europejską do pomiaru postępów państw do pomiaru postępów państw Unii Europejskiej na drodze bu-

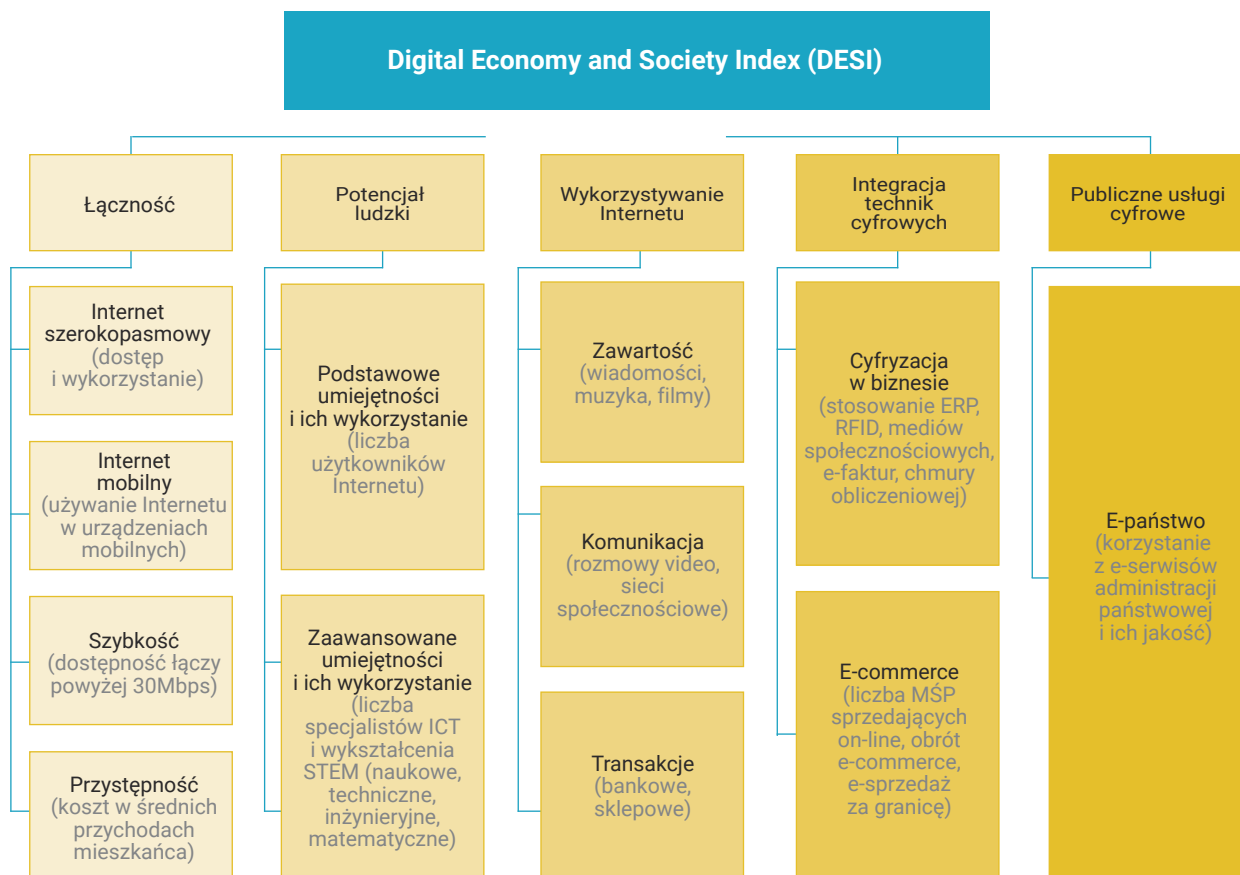
5 Honti G., Czvetko T., Abonyi J. 2020 *Data Describing the Regional Industry 4.0 Readiness Index*. Data in Brief, 33, s. 106–464.

Rys. 35. Regionalne zróżnicowanie gotowości do wprowadzania Przemysłu 4.0 w Europie



Źródło: Honti G., Czvetko T., Abonyi J. 2020 *Data Describing the Regional Industry 4.0 Readiness Index*. Data in Brief, 33, s. 106–464.

Rys. 36. Architektura DESI



Źródło: The Digital Economy and Society Index (DESI). European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>.

dowania konkurencyjności poprzez cyfryzację⁶. DESI zbudowany jest w oparciu o ponad 30 wskaźników dotyczących pięciu obszarów: łączności zapewniającej szerokopasmowy dostęp do internetu, umiejętności cyfrowych społeczeństwa, wykorzystywania internetu, cyfryzacji w biznesie, cyfryzacji usług publicznych. Wykorzystuje dane raportowane przez poszczególne państwa członkowskie na potrzeby Eurostat. W tym raporcie wykorzystujemy dane źródłowe, na których opiera się ten wskaźnik w celu pokazania stanu wdrażania poszczególnych technologii cyfrowych przez unijne przedsiębiorstwa.

7.2 Od gotowości do dojrzałości cyfrowej

„Dojrzałość cyfrowa” oznacza osiągnięty już przez przedsiębiorstwo stopień zaawansowania transformacji. Definiuje się ją jako zdolność organizacji do zdo-

bywania przewagi konkurencyjnej poprzez wykorzystanie rozwiązań opartych o technologie cyfrowe. Dojrzałość cyfrowa określona jest przez odniesienie do wizji rozwoju możliwości firmy w wymiarach kluczowych dla Przemysłu 4.0. Najwyższy poziom dojrzałości opisywany jest jako pełne wykorzystanie technologii cyfrowych w celu osiągnięcia m.in. integracji danych w łańcuchu wartości, maksymalizacji korzyści biznesowych płynących z dostosowywania modeli biznesowych, wdrażaniem technologii cyfrowych w zakresie produkcji, personalizacji produktów, budowania kompetencji w ramach cyfrowego ekosystemu oraz skuteczne zarządzanie i rozwój umiejętności pracowników.

W literaturze przedmiotu można wyodrębnić trzy nurty oceny dojrzałości: podejście koncentrujące się na technologiach i rozwiązaniach stosowanych w produkcji, podejście koncentrujące się na określaniu dojrzałości w wymiarze zmian organizacyjnych lub mieszane. Przeważająca liczba modeli zakłada ocenę całkowitej dojrzałości w rozbiciu na ocenę w konkretnych wymiarach. Większość modeli do oceny dojrzałości cyfrowej stworzona została przez firmy

⁶ The Digital Economy and Society Index (DESI). European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi> (dostęp 22 czerwca 2021).

Rys. 37. Gotowość cyfrowa i dojrzałość cyfrowa



Źródło: Opracowanie własne.

konsultingowe, wykorzystujące je jako narzędzie do dalszego pogłębiania oceny w ramach prowadzonych usług konsultingowych.

Digital Intensity Index

Komisja Europejska dla wielobszarowej oceny stopnia ucyfrowienia przedsiębiorstw europejskich proponuje wprowadzenie indeksu cyfrowego. Bazuje on na danych Eurostat odnoszących się do dwunastu mierników poziomu ucyfrowienia⁷:

Za spełnienie każdego z powyższych warunków firma otrzymuje jeden punkt. Poziom ucyfrowienia firm, które uzyskały nie więcej niż trzy punkty, określa się jako bardzo niski; cztery do sześciu punktów to poziom niski; od siedmiu do dziewięciu – poziom wysoki; a od dziesięciu do dwunastu – bardzo wysoki.

7.3. Warunki udanej transformacji cyfrowej

Nieliczne narzędzia podają listę rekomendacji wskazujących kierunek rozwoju firmy na drodze do osią-

gnięcia sukcesu poprzez wykorzystanie technologii cyfrowych. Są to m.in. następujące wskazania:

- ▶ Dojrzała cyfrowo firma we wszystkich swoich procesach i produktach ma świadomość dostępnych na rynku rozwiązań i wykorzystuje te, które wniosą największą wartość do jej biznesu. Innymi słowy, niekoniecznie jest to firma, która wykorzystuje najwięcej tych narzędzi ani ta, która wykorzystuje najnowsze. Jest to taka firma, która w sposób świadomy, posiadając odpowiednio szeroką wiedzę, dobiera te narzędzia, które najbardziej pasują do jej profilu. Określenie symptomu/kryterium dojrzałości firmy jest silnie uzależnione od branży, w której dana firma produkcyjna działa.
- ▶ Podstawowym wyznacznikiem tego, że firma jest dojrzała cyfrowo jest cyfrowa dojrzałość pracowników. Stąd kluczowym jest zapewnienie pracownikom możliwości ciągłego uczenia się (*lifelong learning*) i podnoszenia swoich kompetencji. Przy czym ze względu na złożoność procesu transformacji cyfrowej również należy zwrócić uwagę na umiejętności miękkie, w niewielkim stopniu rozwijane w systemie edukacji formalnej. Z punktu widzenia usprawniania procesów i łączności firmie, dojrzała cyfrowo firma powinna umożliwiać dotarcie wiedzy i umiejętności pracowników do zarządu. Strategia dojrzałej firmy jest skupiona na pozyskiwaniu informacji wewnątrz i na zewnątrz organizacji. Równie kluczowe jest jednak przetwarzanie, analizowanie i wykorzystywanie tych informacji.

⁷ Digital Intensity Index v1 (2015-2019). <https://circabc.europa.eu/sd/a/85e9f133-c930-4453-84d0-2161469b1695/DIGITAL%20INTENSITY%20INDEX.pdf> (dostęp 22 lipca 2021).

Rys. 38 Konstrukcja wskaźnika Digital Intensity Index



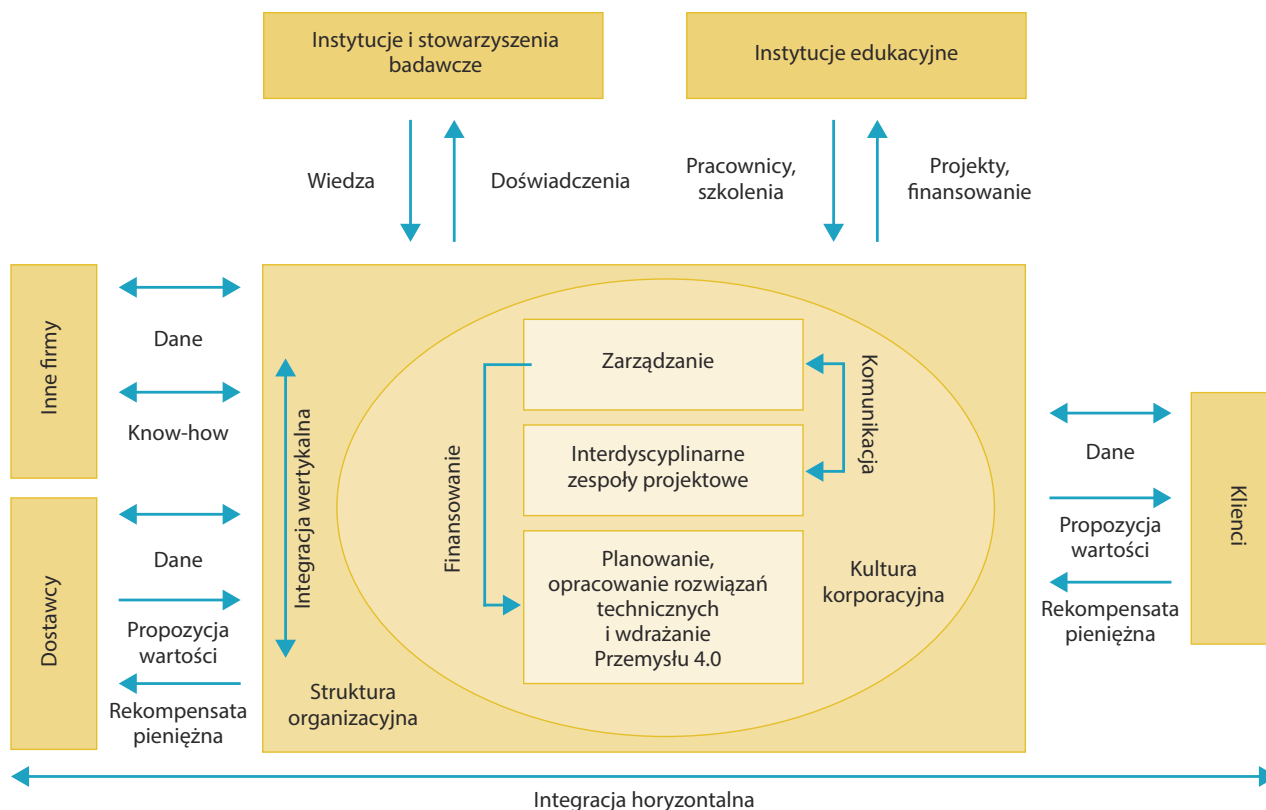
Źródło: Digital Intensity Index v1 (2015-2019). <https://circabc.europa.eu/sd/a/85e9f133-c930-4453-84d0-2161469b1695/DIGITAL%20INTENSITY%20INDEX.pdf>.

- Dojrzała cyfrowo firma wykorzystuje technologie do wprowadzenia nowej organizacji pracy oraz do wzmacniania kompetencji u swoich pracowników. Rozwój technologii przyczyni się do zniknięcia niektórych rodzajów pracy, ale ostatecznie stworzy więcej miejsc pracy. Roboty lub systemy cyfrowe wkrótce przejmą wiele obecnych zawodów, ale dzięki ludzkiej kreatywności, nowym zawodom, nowym sektorom gospodarki i nowym sposobom zarabiania pieniędzy powstaną one z popiołów. Pogląd ten przenika również raporty Światowego Forum Ekonomicznego. W wyniku podziału siły roboczej między ludzi i maszyny na całym świecie może zniknąć 75 milionów miejsc pracy, ale zostaną one przeznaczone na 13 milionów nowych, które lepiej odpowiadają potrzebom gospodarki cyfryzacji.
- Dla dojrzałej cyfrowo firmy ważne jest zaangażowanie klienta w tworzenie produktu lub usługi. W tym

celu korzysta z dedykowanych do tego aplikacji online, gdzie klienci na bieżąco odpowiadają na pytania, włączając się w proces projektowania produktu. Produkty firmy dojrzałej cyfrowo powinny być jak najtrwalsze z uwagi na rozwijającą się koncepcję sharing economy. Firmy nie powinny tworzyć produktów w celu sprzedaży jednej osobie, ale w celu sprzedaży społeczności, która będzie korzystać razem z tego produktu, np. poprzez wynajem.

Wieloaspektowy model systemu wsparcia rozwoju Przemysłu 4.0, zaproponowany w 2020 r. przez badaczy w oparciu o analizę doświadczeń z wdrażania rozwiązań w ramach niemieckich przedsiębiorstw produkcyjnych, uwzględnia przepływy zasobów materialnych i niematerialnych wewnątrz firmy oraz między firmą a podmiotami funkcjonującymi w jej otoczeniu. Istotną rolę w tym modelu odgrywają zarówno instytucje i stowarzyszenia badawcze, jak i instytucje edukacyjne.

Rys. 39. Model systemu wsparcia rozwoju Przemysłu 4.0



Źródło: Veile J. W., Kiel D., Müller J. i in. 2020. Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. Journal of Manufacturing Technology Management. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-08-2018-0270/full/html>.

Analiza warunków funkcjonowania niemieckich firm w kontekście transformacji cyfrowej skłoniła autorów badania do sformułowania następujących rekomendacji o charakterze uniwersalnym. Przy wykorzystaniu wsparcia zewnętrznego firmy powinny:

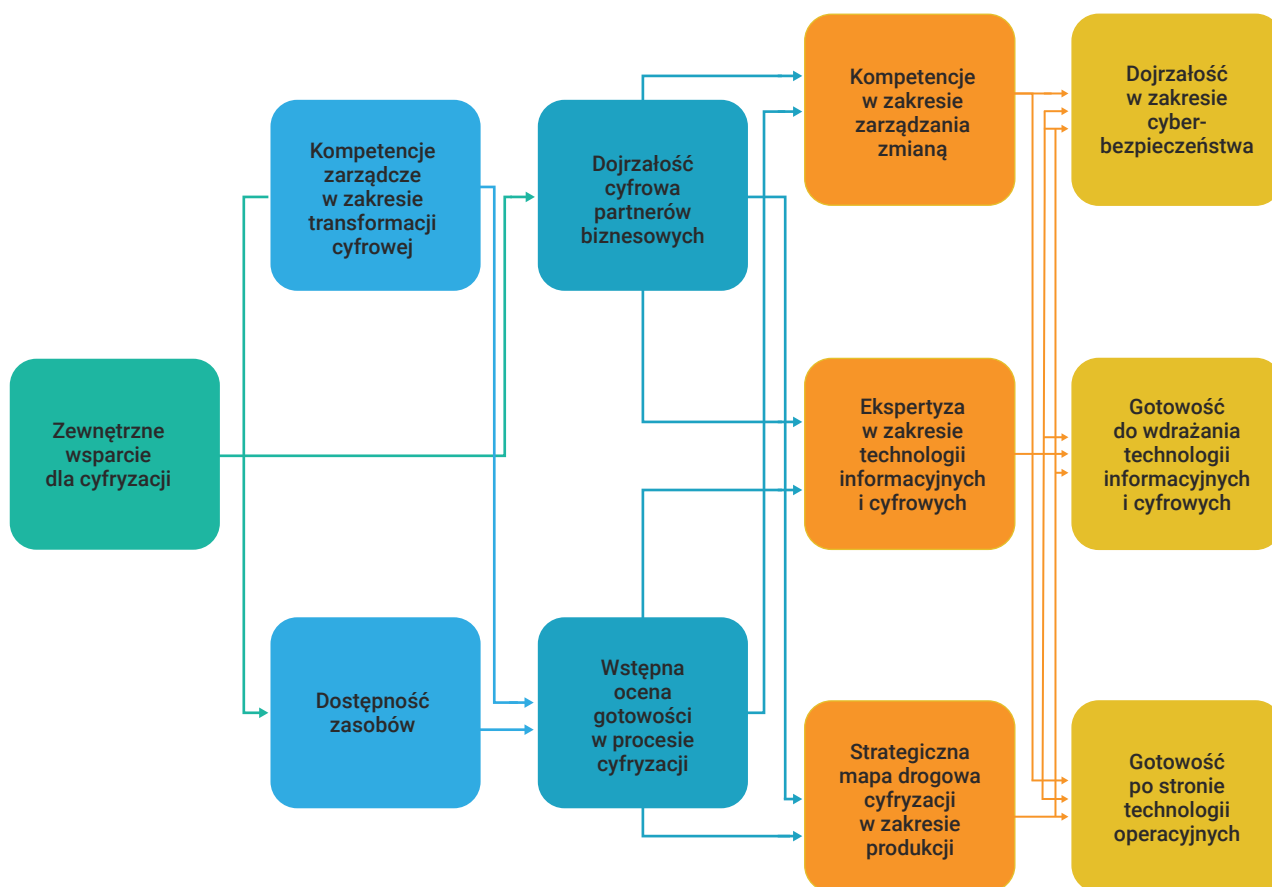
- ▶ Inwestować w rozwój kompetencji cyfrowych pracowników. Zalecane są nowatorskie metody nauczania, np. e-learning i nauczanie oparte na scenariuszach działań, współpraca z różnorodnymi instytucjami edukacyjnymi oraz tworzenie programów edukacyjnych dostosowanych do potrzeb przedsiębiorstw przechodzących transformację cyfrową.
- ▶ Rozwijać wiedzę na temat Przemysłu 4.0, zarówno tę tworzoną przez badaczy akademickich, jak i tę wykorzystującą specyficzne doświadczenia firm.
- ▶ Wprowadzać zmiany organizacyjne na rzecz budowania płaskiej struktury i zdecentralizowanego podejmowania decyzji, co przyczyni się do większej zwinności. Wspierać powstawanie interdyscyplinarnych zespołów projektowych, łączących np. programistów, inżynierów i ekspertów od marketingu,
- ▶ w celu zwiększania kreatywności, umiejętności rozwiązywania problemów i podejmowania decyzji.
- ▶ Rozwijać kulturę organizacyjną opartą na zasadach elastyczności, otwartości, chęci nauki i przedsiębiorczości. Zmiany powinny być odgórnie, ale stopniowo wprowadzane przez zarząd, a pracownicy powinni mieć możliwość wypowiedzenia się i uczestnictwa.
- ▶ Rozpocząć proces horyzontalnego łączenia łańcucha wartości, wykorzystując tymczasową współpracę, sieci, strategiczne sojusze czy kooptację w celu tworzenia nowych modeli biznesowych.
- ▶ Zaplanować proces wdrożeń w zakresie wdrażania nowych rozwiązań technologicznych, a zwłaszcza ich skalowania na całe przedsiębiorstwo. Nowe technologie powinny być zintegrowane z istniejącymi systemami i maszynami; w tym celu trzeba stworzyć jednolite standardy interfejsów, typów danych oraz protokołów komunikacyjnych.
- ▶ Zapewnić bezpieczeństwo danych oraz bezpieczeństwo pracy.

**Tab. 11** Determinanty sukcesu transformacji cyfrowej w sektorze produkcyjnym

Determinanty sukcesu transformacji cyfrowej w sektorze produkcyjnym	Charakterystyka
Dojrzałość cyfrowa partnerów biznesowych (business partner digital maturity)	Konkurencyjne otoczenie: skrócenie czasu wejścia na rynek, coraz bardziej złożone produkty: sukces transformacji cyfrowej zależy od poziomu ucyfrowienia partnerów w ramach łańcucha dostaw
Dojrzałość w zakresie cyberbezpieczeństwa (cybersecurity maturity)	Cyberbezpieczeństwo jako kluczowy element strategii korporacyjnej; systemy dokrojone do specyfiki i potrzeb danej firmy, a zatem złożone, kosztowne i wiedzointensywne
Kompetencje w zakresie zarządzania zmianą (change management competency)	Wykazywana przez zarząd i pracowników zdolność do rekonstrukcji obecnego modelu biznesowego i operacyjnego w procesie transformacji cyfrowej
Wstępna ocena gotowości w procesie cyfryzacji (digitalization readiness pre-assessment)	Zrozumienie specyfiki, korzyści, kosztów i barier dotyczących wdrożenia technologii cyfrowych z perspektywy konkretnej firmy, również w celu uniknięcia przedwczesnej i nieefektywnej cyfryzacji.
Zewnętrzne wsparcie dla cyfryzacji (external support for digitalization)	Wdrożenie technologii cyfrowych jest złożone, kosztowne i wiedzointensywne, zatem wymaga systemowego wsparcia ze strony rządu
Ekspertyza w zakresie technologii informacyjnych i cyfrowych (information and digital technology expertise)	Dostęp do pracowników z kompetencjami cyfrowymi (inżynieria komputerowa, analiza danych, modelowanie biznesowe, cybernetyka, mechatronika)
Gotowość do wdrażania technologii informacyjnych i cyfrowych (information and digital technology readiness)	Zdolność do płynnego wdrażania rozwiązań cyfrowych w ramach istniejących sieci, infrastruktury IT/OT i procesów w celu stworzenia spójnego systemu produkcyjnego opartego na przepływie i wykorzystaniu danych
Kompetencje zarządcze w zakresie transformacji cyfrowej (management competency for digital transformation)	Strategiczna wizja cyfryzacji oraz kompetencje cyfrowe po stronie zarządu; umiejętność kierowania zmianą organizacyjną w sposób angażujący pracowników
Strategiczna mapa drogowa cyfryzacji w zakresie produkcji (manufacturing digitalization strategic roadmapping)	Harmonogram wdrożeń technologicznych i zmian organizacyjnych, oparty na diagnozie obecnego zaawansowania na drodze do transformacji cyfrowej
Gotowość po stronie technologii operacyjnych (operations technology readiness)	Systematyczna cyfryzacja OT; wyposażenie systemów operacyjnych w sensory i inteligentne kontrolery
Dostępność zasobów (resource availability)	Dostęp do kapitału (wdrożenia technologii cyfrowych są kosztowne) oraz do pracowników z odpowiednimi kompetencjami

Źródło: Ghobakhloo M., Iranmanesh M. 2020. Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Rys. 40. Model czynników sukcesu transformacji cyfrowej w sektorze produkcyjnym



Źródło: Ghobakhloo, M. Iranmanesh, M. 2020. Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. Journal of Manufacturing Technology Management.

Szczegółową analizę determinantów udanej transformacji cyfrowej na podstawie systematycznego przeglądu literatury przedmiotu przeprowadzili w 2020 r. M. Ghobakhloo i M. Iranmesh. Jakością analizy treści 107 artykułów zamieszczonych w recenzowanych czasopismach (wybranych z bazy 536 artykułów) została wykonana niezależnie przez dwóch ewaluatorów (assessors). W kolejnym kroku czynniki sukcesu zostały ocenione przez 9 ekspertów zajmujących się wdrożeniami w zakresie Przemysłu 4.0. Zestawienie najważniejszych determinantów oraz ich wzajemne powiązania przedstawiono w tab. 11 i na rys. 39.

7.4. Systemy wsparcia transformacji cyfrowej

W modelu czynników sukcesu transformacji cyfrowej przedstawionym na rys. 1 pierwszorzędne znaczenie przyznano zewnętrznemu wsparciu dla procesów cyfryzacji zachodzących w przedsiębiorstwach ze strony rządu i/lub systemów ponadpaństwowych.

Krajowe systemy wsparcia i wizje cyfryzacji przemysłu

Pierwszym krajem europejskim, który uruchomił konkretne programy wsparcia przedsiębiorców w transformacji cyfrowej były Niemcy. Ogłoszony w 2013 r. zestaw rekomendacji dotyczący tzw. strategicznej inicjatywy Industrie 4.0, opracowany przez grupę roboczą złożoną z przedstawicieli nauki, przemysłu i administracji został przyjęty przez rząd niemiecki i skierowany do operacjonalizacji przez właściwe resorty i organizacje. Uruchomiony został program prac B+R dotyczących cyfryzacji jako wsparcie dla opracowywania i rozwijania specjalistycznych rozwiązań, a równocześnie pod patronatem Federalnego Ministerstwa Gospodarki i Energii powstała sieć centrów kompetencji Industry 4.0, których celem jest wsparcie krajowych MŚP w rozwijaniu i adoptowaniu technologii Industry 4.0. Zadaniem każdego centrum jest przeprowadzenie określonej ilości wzorcowych projektów, serwis konsultacyjny w adoptowaniu podejścia i technologii Industry 4.0 przez MŚP, szkolenie dla pracowników z zakresu nowych technologii z wykorzystaniem inte-



raktywnych warsztatów oraz prezentacje rozwiązań organizacyjnych i technologicznych.

Programy wsparcia dla rozwoju nowej generacji przemysłu przyjęło wiele państw na całym świecie. Stoso-

wane są w nich różne określenia dla nowej rzeczywistości w przemyśle, tym niemniej pojęcie Industry 4.0 przyjęło się w skali globalnej i jest powszechnie używane przy wskazywaniu wizji transformacji cyfrowej w sektorze przemysłowym.

Tab. 12. Przykłady wizji strategicznych i programów wsparcia dla transformacji cyfrowej w przemyśle

Program	Założenia programu	Wizja produkcji przemysłowej
Future of Manufacturing (Wielka Brytania)	Nowe formy informacji pozwalające na uzyskanie lepszej wizji produkcji w poszczególnych sektorach, bardziej ukierunkowana pomoc dla producentów oparta na nauce, technologiach, innowacjach; stworzenie nowych zdolności instytucjonalnych na przyszłość.	Stąła zdolność do adaptacji produkcji, R&D, innowacje, system dożywnotnego serwisowania produktów, zrównoważone produkty i procesy, recykling produktów, zamknięty obieg pozwalający na ograniczenie marnotrawstwa surowców i energii.
Industrie du futur (Francja)	Produkcja wykorzystująca najnowocześniejszą technologię, transformacja biznesowa, treningi i szkolenia pracowników, współpraca międzynarodowa oraz promowanie IdF.	Uczynienie francuskiej gospodarki liderem światowej rewolucji przemysłowej. Fundamentalna modernizacja zakładów produkcyjnych, narzędzi, wsparcie używania i integracji technologii cyfrowych.
Factories of the Future (Komisja Europejska)	Automatyzacja przemysłu, zrównoważona i konkurencyjna produkcja, energio i zasoboelektryczne procesy produkcyjne, wzrost udziału przemysłu w PKB EU.	Celem jest stworzenie bardziej konkurencyjnego przemysłu europejskiego, który zapewniłby wzrost i miejsca pracy.
Industrie 4.0 (Niemcy)	Rozwój cyfrowej produkcji, innowacje (R&D), sieci i współpracy pomiędzy partnerami danej branży, wertykalna i horyzontalna integracja łańcucha dostaw z inteligentną fabryką.	Stworzenie gospodarki, którą cechuje autonomia i swoboda działania gwarantującą konkurencyjność w cyfrowych modelach biznesowych, zrównoważony rozwój – nowoczesny przemysł zapewnia wysoki poziom życia, interoperacyjność – współpraca i otwarte ekosystemy pozwalają na elastyczność i pluralizm.
Manufacturing Industry Innovation 3.0 (Korea Płd.)	Innowacje w dziedzinie technologii informatycznych i oprogramowania, stworzenie silnika wzrostu, zachowanie wiodącej pozycji w przemyśle części i materiałów, dostarczanie dopasowanych rozwiązań HR, Korea jako HUB B&R północno-wschodniej Azji.	Stworzenie nowego skonwergowanego przemysłu, intensyfikacja możliwości produkcyjnych głównych gałęzi, wzmocnienie infrastruktury innowacyjnej w zakresie produkcji.
Research, Innovation and Enterprise 2020 Plan (Singapur)	Wzmocnienie powiązań R&D. Stworzenie rdzenia między jednostkami badawczymi a przedsiębiorstwami w celu zintensyfikowania tworzenia wartości dodanej z inwestycji w badania i rozwój. Inwestowanie w kapitał ludzki w celu stworzenia silnej społeczności prowadzącej innowacyjnych przedsiębiorstw, które napędzają konkurencyjność ekonomiczną.	Zwiększenie konkurencyjności i wydajności w strategicznych branżach, w których Singapur posiada przewagi komparatywne. Rozwój technologii: zaawansowana produkcja i inżynieria, zdrowie i nauki biomedyczne, rozwiązania urbanistyczne, digitalizacja usług oraz gospodarki.
Industry 4.0 Testlabs (Australia)	Sieć składająca się z australijskich firm i uczelni dająca dostęp do istotnych informacji i regulacji rządowych, infrastruktura dla technologii przemysłu 4.0.	Wzmocnienie powiązań między jednostkami badawczymi a przedsiębiorstwami w celu zintensyfikowania tworzenia wartości dodanej z inwestycji w badania i rozwój. Inwestowanie w kapitał ludzki w celu stworzenia silnej społeczności prowadzącej R&D. Stworzenie rdzenia innowacyjnych przedsiębiorstw, które napędzają konkurencyjność ekonomiczną.



Program	Założenia programu	Wizja produkcji przemysłowej
Made in China 2025	Osiągnięcie niezależności w obszarze surowcowym, naukowym i technologicznym od innych państw, rozwój innowacji, wysokiej jakości produkcja, zielony rozwój, optymalizacja strukturalna, szkolenia oraz kształcenie siły roboczej.	Odejście od określenia Chin jako fabryki świata – producenta nisko zaawansowanych technologicznie towarów. Zamiana fabryk pracy intensywnych w zakłady kapitału intensywne, gdzie znaczną rolę będą odgrywały technologie.
Samarth Udyog/Samarth Udyog Bharat 4.0 (Indie)	Prowadzenie kampanii informacyjnej, programy szkoleniowe, przykłady poprawnego wdrożenia przemysłu 4.0 w firmie, współpraca z uczelniami, startupy, badania zastosowania technologii przemysłu 4.0, współpraca międzynarodowa.	Stworzenie oraz umacnianie systemu mającego na celu rozpowszechnianie i propagowanie używania technologii przemysłu 4.0 w indyjskich firmach.
Advanced Manufacturing Partnership (Stany Zjednoczone)	Tworzenie krajowych zdolności produkcyjnych w sektorach przemysłu o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa narodowego, skrócenie czasu opracowania i wdrożenia zaawansowanych materiałów, inwestowanie w robotykę nowej generacji, opracowywanie innowacyjnych, energooszczędnych procesów produkcyjnych.	Współpraca amerykańskich uczelni, sektora prywatnego oraz rządu w celu inwestowania oraz opracowywania nowych technologii, takich jak biotechnologia, nanotechnologia, technologia informatyczna. Pozwoli to wzmocnić konkurencyjność amerykańskich firm.

Źródło: Komisja Europejska. 2013., National Reasearch Foundation. 2016., Prime Minister's Industry 4.0 Taskforce. 2017., Platform Industrie 4.0. 2019., Foresight. 2013., Komisja Europejska. 2017., Institute for Security & Development Policy. 2018., Moon H. i in.. 2018., Opracowanie własne (Jan Sala).

Unijne inicjatywy wspierające transformację cyfrową

W roku 2016 Komisja Europejska ogłosiła inicjatywę pod nazwą „Digitising European Industry”⁸ dotyczącą wykorzystania instrumentów polityki, wsparcia finansowego, koordynacji uprawnień ustawodawczych w celu uruchomienia dalszych inwestycji publicznych i prywatnych we wszystkich sektorach przemysłowych oraz stworzenia warunków ramowych dla cyfrowej rewolucji przemysłowej. Podjęcie tej inicjatywy wynikało z jednej strony ze znaczenia i wielkości europejskiego przemysłu, a z drugiej – było wyrazem niepokoju o niewystarczający poziom jego cyfryzacji. W 2018 r. sektor produkcji przemysłowej w Unii Europejskiej to: 2,2 mln przedsiębiorstw (z czego 233 tys. to polskie firmy) i 29,3 mln pracowników (z czego 2,8 mln w Polsce). Cel inicja-

tywy został określony jako zwiększenie konkurencyjności UE w zakresie technologii cyfrowych oraz zapewnienie, aby każda firma w Europie – w każdym sektorze, niezależnie od tego, gdzie się znajduje, niezależnie od wielkości – mogła w pełni korzystać z innowacji cyfrowych. Aby osiągnąć ten cel, Komisja Europejska określiła pięć kluczowych kierunków działania obejmujących:

- ▶ uruchomienie europejskiej platformy inicjatyw na rzecz cyfryzacji przemysłu,
- ▶ utworzenie sieci hubów innowacji cyfrowych,
- ▶ rozwój cyfrowych platform,
- ▶ stworzenie ram prawnych właściwych dla ery cyfryzacji
- ▶ przygotowanie obywateli Europy do cyfrowej przyszłości.

Od momentu ogłoszenia inicjatywy do końca 2020 r. zrealizowano szereg konkretnych przedsięwzięć,

⁸ European Commission. 2016. *Digitising European Industry. Reaping the full benefits of a Digital Single Market*. Brussels. <https://www.zbw-mediataalk.eu/wp-content/uploads/2016/04/DigitisingEuropeanIndustryReapingthefullbenefitsofaDigitalSingleMarket.pdf>.



dzięki wykorzystaniu 5 mld euro ze środków UE oraz 50 mld euro ze środków krajowych i prywatnych. W ostatnim raporcie, monitorującym zaawansowanie inicjatywy, zidentyfikowano łącznie 300 krajowych inicjatyw, które są ukierunkowane m.in. na kształtowanie świadomości przedsiębiorców odnośnie możliwości i zagrożeń związanych z cyfryzacją, wsparcie w kształtowaniu kompetencji oraz dostosowanie ram regulacyjnych. Inicjatywy te w zdecydowanej większości przypadków wchodzi w skład krajowych strategii cyfryzacji. Jednym z flagowych przedsięwzięć jest utworzenie 200 hubów cyfrowych innowacji we wszystkich krajach europejskich. Ich głównym zadaniem jest przygotowanie przedsiębiorców zwłaszcza MŚP do przeprowadzania transformacji cyfrowej poprzez kształtowanie kompetencji oraz pomoc w opracowywaniu i testowaniu rozwiązań przed podejmowaniem inwestycji. Huby stanowią dla przedsiębiorców podstawowy punkt kontaktu we tematach związanych z transformacją, zarówno w odniesieniu do zagadnień technologicznych, jak i pozyskiwania wsparcia finansowego na inwestycje.

Kolejny etap działań Komisji Europejskiej na rzecz cyfryzacji wyznacza program „Digital Europe”, zaplanowany na lata 2021–2027. Jego głównym celem jest kształtowanie cyfrowej transformacji w Europie. Koncentruje się na rozwoju strategicznych umiejętności cyfrowych UE i wsparciu rozwoju technologii cyfrowych na potrzeby europejskich obywateli i przedsiębiorstw. Obecnie działania prowadzone w tym obszarze wydają się dążyć do priorytetyzacji finansowania projektów, których celem jest tworzenie technologii pozwalających osiągać unijne cele w zakresie ochrony środowiska. Nowe technologie nie są w takim ujęciu celem samym w sobie, lecz raczej narzędziami niezbędnymi do realizacji unijnych planów w zakresie np. ograniczania emisji. Droga taka, odmienna od strategii rozwoju gospodarki cyfrowej charakterystycznej dla Stanów Zjednoczonych czy Chin, może stanowić ścieżkę umożliwiającą UE wzmocnienie jej pozycji w obszarze rozwoju gospodarki cyfrowej. Z drugiej strony – UE jest czołowym aktorem w obszarze tworzenia aktów prawnych odnoszących się do wyzwań związanych z nowymi technologiami, czego najbardziej znanym przykładem stało się ogólne rozporządzenie o ochronie danych (RODO). Obecnie w UE rozpoczęła się debata nad kwestią regulacji sztucznej inteligencji. Zaproponowana treść aktu prawnego może mieć daleko idące konsekwencje dla ograniczania ryzyk związanych

z wdrażaniem rozwiązań wykorzystujących technologie takie, jak uczenie maszynowe, w tym również rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0⁹.

Program „Cyfrowa Europa” zapewni finansowanie przedsięwzięć w pięciu obszarach:

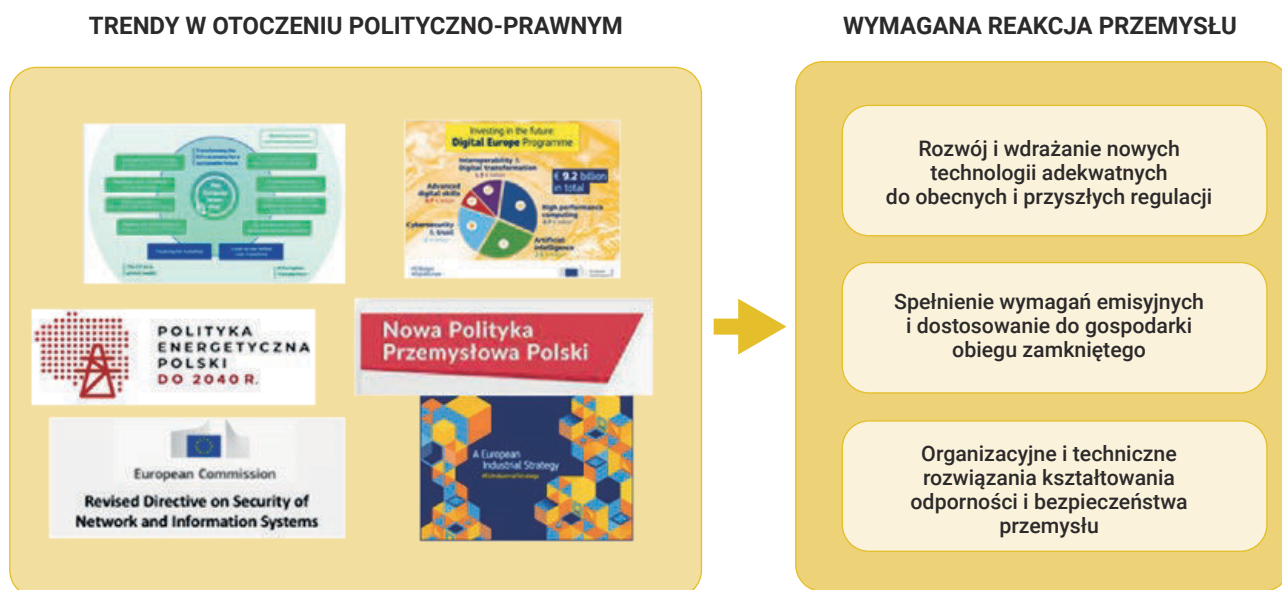
- ▶ obliczenia superkomputerowe (supercomputing),
- ▶ sztuczna inteligencja (artificial intelligence),
- ▶ cyberbezpieczeństwo (cybersecurity),
- ▶ zaawansowane umiejętności cyfrowe (advanced digital skills),
- ▶ zapewnienie szerokiego wykorzystania technologii cyfrowych w gospodarce i społeczeństwie (ensuring the wide use of digital technologies across the economy and society).

Zaangażowane środki mają z jednej strony wspomagać tworzenie dedykowanych rozwiązań, a z drugiej – wspierać ich wykorzystywanie, zwłaszcza przez MŚP. Równolegle z programem „Digital Europe” uruchamiany jest program „Horizon Europe” jako wsparcie dla prac B+R, w tym dotyczących cyfryzacji. Program jest kontynuacją programu „Horizon 2020”. Nowym źródłem wsparcia transformacji cyfrowej jest Europejski Plan Odbudowy i Odporności w ramach którego 20% środków jest przeznaczonych na wsparcie cyfryzacji.

Warto też podkreślić, że systemy wsparcia dla rozwoju Przemysłu 4.0, zarówno na poziomie unijnym, jak i państwowym, akcentują konieczność dostosowania działalności produkcyjnych do wymogów tzw. Zielonego Ładu. Jednym z celów transformacji działalności przemysłowej jest bardziej efektywne wykorzystanie zasobów dzięki przejściu na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym oraz przeciwdziałanie utracie różnorodności biologicznej i zmniejszenie poziomu zanieczyszczeń. Do 2050 r. UE chce stać się kontynentem neutralnym dla klimatu. Przygotowywane jest europejskie prawo o klimacie, aby przekształcić to zobowiązanie polityczne w zobowiązanie prawne. Osiągnięcie tego celu będzie wymagało inwestycji

9 European Commission. 2019. *Regulation (eu) 2021/694 of the european parliament and of the council of 29 April 2021 establishing the digital europe programme and repealing decision (eu) 2015/2240 (text with EEA relevance)*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0694&qid=1623079930214> (dostęp 22 lipca 2021).

Rys. 41. Trendy w obszarze otoczenia polityczno-prawnego wpływające na powstawanie nowej generacji przemysłu



Źródło: Opracowanie własne.

w technologii przyjazne dla środowiska i w wielu przypadkach – całkowitej zmiany stosowanych technologii w procesach produkcyjnych. Kierunek koniecznych zmian w zakresie redukcji emisji jest w ujęty również w regulacjach krajowych m.in. w Polityce energetycznej Polski do roku 2040 oraz w Krajowym

Planie Odbudowy. Zielona i cyfrowa transformacja przemysłu idą w parze z dążeniem do budowania odporności w odniesieniu do łańcuchów dostaw i lokalizacji działalności przemysłowej oraz zachowaniem wysokiego poziomu cyberbezpieczeństwa.



Konsekwencje rozwoju Przemysłu 4.0 dla otoczenia



Narracje na temat Przemysłu 4.0 w literaturze przedmiotu są w ogromnej mierze optymistyczne i skupiają się na wyliczaniu korzyści z transformacji cyfrowej dla samego przedsiębiorstwa, ale i konsumentów oraz całego społeczeństwa i gospodarki. Systematyczny przegląd literatury przedmiotu przeprowadzony w 2021 r. nie wykazał ani jednego artykułu poświęconego negatywnym skutkom transformacji cyfrowej w przemyśle. Jedyne zastrzeżenia dotyczyły ryzyka utraty miejsc pracy w wyniku automatyzacji oraz zagrożeń z zakresu cyberbezpieczeństwa. Dopiero w nowszej literaturze przedmiotu pojawiają się kwestie dotyczące m.in. kosztów energetycznych, wykluczenia cyfrowego, nadmiernej konsumpcji czy nierówności społecznych¹.

8.1. Zmiana wzorów produkcji

Jednym z kluczowych efektów transformacji cyfrowej sektora przemysłowego może być reindustrializacja, czyli nowe uprzemysłowienie krajów wysokorozwiniętych. Trzecią rewolucję przemysłową, zwłaszcza od końca lat 80., cechowały offshoring i outsourcing, przenoszenie produkcji przemysłowej za granicę w poszukiwaniu tańszej siły roboczej. Przemysł 4.0 oparty na rekonfigurowalnych, inteligentnych systemach produkcyjnych, technologiach zielonych i przyrostowych, wymaga zatrudniania dobrze wykształconej i elastycznej siły roboczej i szybszego dostępu do centrów wiedzy i innowacji². Imperatyw personalizacji obejmuje również znacznie szybszą drogę produktu z fabryki do klienta³. Efektem może być zmiana globalnych wzorów produkcji w ramach rozproszonych dotąd łańcuchów wartości⁴.

Przeniesienie produkcji bliżej rynków konsumenckich i centrów innowacji zmieni całą strukturę handlu międzynarodowego, w szczególności w odniesieniu do produktów opartych na wiedzy (tj. towarów i usług, których produkcja wymaga wysoce kompetentnego kapitału ludzkiego). Do tej pory produkty te były

projektowane w krajach wysokorozwiniętych i tanio produkowane w krajach protekcyjnie nazywanych „rozwijającymi się”. Schemat ten jest podważany również przez szybką ewolucję chińskiego ekosystemu technologicznego, który zaczyna konkurować z ekosystemem amerykańskim.

Trend reindustrializacji może ulec wzmocnieniu w wyniku szoku, jakiego liczne sektory przemysłowe doświadczyły w wyniku pandemii. COVID-19 obnażył ryzyko związane z modelem ograniczonego magazynu (lean inventory) i dostaw na czas (just in time) w przypadku globalnych łańcuchów dostaw. Model ten pozwalał na duże oszczędności w odniesieniu do kosztów magazynowania towarów i półproduktów, jednak w momencie, gdy zostały zamknięte granice, a sieci dostaw uległy poważnemu nadwyrężeniu, pojawiły się trudności z utrzymaniem ciągłości produkcji. Dotyczyło to zwłaszcza tych sektorów, które w dużym stopniu polegały na półproduktach wytwarzanych w Chinach: osiem na dziesięć amerykańskich korporacji działających na rynkach globalnych musiało stawić czoła zakłóceniom w sieciach dostaw⁵. Zakłócenia dotknęły zwłaszcza przemysł motoryzacyjny i elektroniczny: trzech na czterech dostawców półproduktów do produkcji urządzeń Apple miało przynajmniej jedną fabrykę ulokowaną w Chinach⁶. W przypadku przemysłu farmaceutycznego bezprecedensowy kryzys zdrowotny uwidocznił wzory współzależności mające bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo lekowe: europejskie firmy farmaceutyczne sprowadzają 90% substancji czynnych z Chin i Indii⁷.

Wstępne szacunki przeprowadzone przez World Economic Forum pokazują, że doświadczenie pandemii wzmocni trendy transformacji cyfrowej i reindustrializacji zwłaszcza w przypadku przemysłów wysokich technologii oraz w przemyśle farmaceutycznym, któ-

- 1 Ghobakhloo M., Fathi M., Iranmanesh M. i in. 2021. *Ten Years On: A Bibliometric and Systematic Review of Concepts, Sustainability Value Drivers, and Success Determinants*. Journal of Cleaner Production, 301, 127052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052> (dostęp 22 czerwca 2021).
- 2 Cézanne C., Lorenz E., Saglietto L. 2020. *Exploring the economic and social impacts of Industry 4.0*. Revue d'économie industrielle, 169, s. 11–35. <https://www.cairn.info/revue-d-economie-industrielle-2020-1-page-11.htm> (dostęp 22 czerwca 2021).
- 3 *5 life-changing ways industry 4.0 will change society*. HPE Voices. <https://it-voices.com/en/articles-en/5-life-changing-ways-industry-4-0-will-change-society/> (dostęp 22 czerwca 2021).
- 4 Future Industry Readiness

- 5 BofA Global Research. 2020. *Global Equity Strategy. The USD1trillion cost of remaking supply chains: Significant but not prohibitive*. BofA Securities. https://www.bofaml.com/content/dam/boamlimages/documents/articles/ID20_0734/cost_of_remaking_supply_chains.pdf (dostęp 22 lipca 2021); McKausland, T. 2020. *COVID-19's Impact on Globalization and Innovation*. Routledge. s. 54–59. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08956308.2020.1813506> (dostęp 22 lipca 2021).
- 6 Kyngé J., Ruehl M. 2020. *Apple suffers further supply chain setbacks in China*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/973e5260-52ed-11ea-8841-482eed0038b1> (dostęp 22 lipca 2021).
- 7 UNCTAD. 2020. *World Investment Report 2020*. https://unctad.org/system/files/official-document/WIR2020_Key_Messages.pdf (dostęp 22 lipca 2021); Srai J. S., Graham G., Hennelly P. i in. 2020. *Distributed manufacturing: a new form of localised production?*. Emerald Insight. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2019-0600/full/html> (dostęp 22 lipca 2021).



ry będzie funkcjonował w oparciu o inteligentne fabryki i regionalne platformy produkcyjne. Rezultatem będzie wzrost elastyczności reakcji na gwałtownie rosnący popyt oraz znacznie krótsze sieci dostaw. W przypadku sektora spożywczego i chemicznego, łańcuchy wartości pozostaną rozdrobnione, ale będą się w większym stopniu skupiać w regionalnych klastrach. Długie i rozdrobione sieci dostaw utrzymają się w usługach i przemysłach o niskiej i średniej intensywności technologicznej (np. w przemyśle tekstylnym); jednak również i w tym przypadku wdrażanie technologii cyfrowych przełoży się na wzrost transparentności tych sieci oraz możliwość bardziej elastycznego reagowania na zakłócenia⁸.

Zakłócenia wywołane przez pandemię koronawirusa zwiększyły świadomość korzyści płynących z transformacji cyfrowej, co niewątpliwie przełoży się na większą skłonność przedsiębiorstw do wdrażania takich rozwiązań technologicznych, które pozwolą im bardziej efektywnie wykorzystywać dane w celu personalizacji, elastycznego i zwinnego reagowania na kryzysy i zakłócenia w sieciach dostaw oraz rozwoju produkcji biorącego pod uwagę zrównoważony rozwój.

Udana transformacja cyfrowa przedsiębiorstw produkcyjnych będzie stanowiła koło zamachowe dla transformacji cyfrowej pozostałych, bardziej tra-

dycyjnych sektorów gospodarki, w tym sektora rolniczego. Trend platformizacji, integrujący sektory przemysłowe i usługowe, będzie sprzyjał poszerzaniu się i swoistej standaryzacji rozwiązań cyfrowych na całą gospodarkę. Warto też zauważyć, że nowoczesne fabryki są źródłem ogromnej ilości danych dotyczących chociażby organizacji procesu produkcyjnego. Z perspektywy ich właścicieli, bezpieczniej, by znajdowały się one w państwach wysokorozwiniętych, gdzie mogą mieć nad nimi większą kontrolę. Może na tym skorzystać atrakcyjnie zlokalizowana na mapie Europy Polska, o ile zadamy o edukację pracowników pod kątem wymogów Przemysłu 4.0. Zmiana wzorów produkcji może więc stanowić najważniejszy czynnik rozwoju gospodarczego w nadchodzących latach.

8.2. Rynek pracy

Transformacja cyfrowa przedsiębiorstw, w tym również przedsiębiorstw produkcyjnych, zrewolucjonizuje strukturę i funkcjonowanie rynku pracy. Najnowsze badania OECD pokazują wprawdzie, że bezrobocie technologiczne jest mało realne, jednak radykalnej zmianie ulegnie zapotrzebowanie na kompetencje pracowników⁹. Wszelkie zadania rutynowe, powtarzalne, dające się zapisać jako ciąg procedur, zarówno fizyczne, jak i umysłowe, będą ulegać automatyzacji.

8 Brown S. 2020. *Reshoring, restructuring, and the future of supply chains*. MIT Management Sloan School. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/reshoring-restructuring-and-future-supply-chains> (dostęp 22 lipca 2021).

9 Green A. 2019. *What is happening to middle skill workers?*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers. nr. 230. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a934f8fa-en>.

Tab. 13. Zmiany w sposobach funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych

Kluczowe zmiany	Przesunięcia wywołane przez te wyzwania
Niepewność popytu i zakłócenia stanowią wyzwanie dla systemu planowania.	Zwinność i skupienie na konsumencie.
Interes bezpieczeństwa narodowego, bariery handlowe i zakłócenia logistyczne tworzą potrzebę alternatywnych rozwiązań dla globalnych łańcuchów dostaw. Zakłócenia w ramach globalnej produkcji i w sieciach dostaw tworzą wyzwania dla producentów.	Odporność sieci dostaw.
Wymuszone przejście na zdalne zarządzanie i cyfrową współpracę. Regulacje nakazujące dystans fizyczny w miejscu pracy zmuszają producentów do rekonfiguracji przepływów produkcyjnych. Recesja gospodarcza wymaga szybkiej redukcji kosztów operacyjnych i kapitałowych.	Szybkość i produktywność.
Wzrost globalnej troski o wpływ ludzkich działań na środowisko.	Ekowydajność.

Źródło: World Economic Forum. *Global Lighthouse Network, Four Durable Shifts for a Great Reset in Manufacturing*. 2021.

cji z wykorzystaniem inteligentnych algorytmów. Na rynku pracy będzie zatem spadać zapotrzebowanie na pracowników o średnich kompetencjach.

Rutynowe zadania fizyczne mogą być wykonywane nie tylko przez zautomatyzowane linie montażowe lub duże nieruchome roboty klatkowe, ale także przez coraz bardziej popularne coboty wykorzystujące uczenie maszynowe i lepiej przystosowane do pracy z ludźmi. Krokiem w kierunku automatyzacji ludzkich działań poznawczych jest Robotic Process Automation. RPA jest rodzajem oprogramowania (bota), który za pomocą algorytmów uczy się naśladować ludzkie zadania. Śledzi logowania do aplikacji, przenoszenie plików, wyodrębnianie lub kopiowanie danych, tworzenie dokumentów, przeprowadzanie obliczeń¹⁰. Coraz częściej te boty będą korzystać z uczenia maszynowego, umożliwiającego dostosowanie się do nowych zadań lub poprawę ich wydajności, nawet w odniesieniu do nieustrukturyzowanych danych i procesów.

Przykład: automatyzacja pracy administracyjnej

Inteligentny RPA opracowany przez SAP służy do automatycznego przetwarzania faktur. Rozpoczyna od automatycznego otwierania skrzynki odbiorczej księgowego i identyfikowania wiadomości e-mail zawierających faktury. Następnie wyodrębnia załączone dokumenty, odczytuje je i wysyła do aplikacji uczenia maszynowego, która dodatkowo wyodrębnia szczegóły faktury i przekazuje je z powrotem do bota RPA. Ta aplikacja ML jest szkolona na dużych zestawach danych, w tym wszystkich typach faktur z dowolnej firmy na świecie. Proces ten jest błyskawiczny i wolny od ludzkich błędów¹¹.

Automatyzacja z łatwością przenika do zadań takich, jak praca na linii montażowej, przetwarzanie wniosków lub sortowanie dokumentów, a także przetwarzanie danych, analiza danych tekstowych i wizualnych oraz

niektóre obszary obsługi klienta¹². W ramach indywidualnych zadań zawodowych istnieje sporo niszy, które nie są łatwo zautomatyzowane, więc oszacowanie skali i tempa automatyzacji jest trudne¹³. Estymacje dokonane przez firmę McKinsey pokazują, że powolny postęp automatyzacji może oznaczać utratę miejsc pracy dla 10 mln ludzi na całym świecie, podczas gdy szybkie tempo pochłoniełoby stanowiska 800 mln pracowników do 2030 r. W rezultacie liczba osób, które mogą być zmuszone zmienić zawód lub zrezygnować z niektórych zadań, może dotknąć mniej niż 10 mln ludzi – a może 375 mln. Dlatego proponuje się przyjęcie scenariusza średniego, w którym 400 mln ludzi może stracić pracę, a kolejne 75 mln zostanie zmuszonych do przekwalifikowania¹⁴.

Tempo automatyzacji będzie zależało od struktury gospodarczej poszczególnych krajów¹⁵. Najszybsze tempo będzie widoczne w krajach o gospodarkach przemysłowych, gdzie rynek pracy jest stosunkowo sztywny. Gospodarka Słowacji może doświadczyć automatyzacji nawet 44% obecnych miejsc pracy. Gospodarki usługowe, takie jak Stany Zjednoczone i Wielka Brytania, które mają wielu stosunkowo niewykwalifikowanych pracowników, mogą doświadczać średniego poziomu automatyzacji. W krajach nordyckich – przy wysokim poziomie zatrudnienia w zawodach mniej podatnych na automatyzację i z wysoko wykształconym kapitałem ludzkim – automatyzacja będzie występować wolniej. Natomiast kraje Azji Wschodniej – w których dokonuje się szybki postęp technologiczny – doświadczą szybszego i wyższego tempa automatyzacji w krótszym okresie. Jednak ze względu na stosunkowo wysoki poziom kompetencji pracowników automatyzacja będzie miała nieco mniejszy wpływ. Biorąc pod uwagę specyfikę i skład zadań w danym sektorze, automatyzacja będzie odbywać się w trzech kolejnych etapach, uzależnionych od rozwoju sztucznej inteligencji.

Obecna faza „algorytmiczna” obejmuje automatyzację prostych zadań obliczeniowych i analitycznych

10 2017. *IEEE Guide for Terms and Concepts in Intelligent Process Automation*. IEEE Std 2755-2017, s. 1–16.

11 Cmoja I., Col P. 2019. *Infusing RPA With Machine Learning: A Powerful Medley (Part 5)*. Digitalist Magazine. <https://www.digitalistmag.com/cio-knowledge/2019/07/22/infusing-rpa-with-machine-learning-powerful-medley-part-5-06199588/> (dostęp 22 czerwca 2021).

12 Acemoglu D., Restrepo P. 2020. *Unpacking Skill Bias: Automation and New Tasks*. AEA Papers and Proceedings, 110, s. 356–361. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pandp.20201063> (dostęp 22 czerwca 2021).

13 Arnold D., Arntz M., Gregory T. i in. *No need for automation angst, but automation policies*. W: Neufeind, M. O'Reilly, J. Ranft, F. Work in the Digital Age. London, New York.

14 Ibidem.

15 PwC. 2018. *Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential long term impact of automation*. https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/impact_of_automation_on_jobs.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

w sektorach, w których istnieją duże pule danych strukturyzowanych, tj. znajduje to odzwierciedlenie w wykorzystywaniu RPA. Deloitte podaje, że w 2015 r. tylko 13% badanych firm planowało wprowadzenie RPA, podczas gdy w 2020 r. 78%¹⁶. Kolejna faza „wzmocnienia”, obejmie automatyzację powtarzających się zadań, takich jak wypełnianie formularzy, prosta komunikacja i wymiana informacji, a także analiza statystyczna nieustrukturyzowanych danych uzyskanych w częściowo kontrolowanym środowisku (np. z czujników i maszyn podłączonych do internetu rzeczy w fabrykach). Automatyzacja będzie w coraz większym stopniu opierać się na inteligentnych algorytmach i ewoluuje w kierunku automatyzacji kognitywnej. Gospodarka wejdzie w fazę „autonomiczną” w 2030 r. Spowoduje to inteligentną automatyzację pracy fizycznej, zwłaszcza tej, która wymaga umiejętności manualnych, oraz automatyzację rozwiązywania problemów w czasie rzeczywistym w stale zmieniających się środowiskach występujących w fabrykach i magazynach. Pojawienie się w pełni autonomicznych pojazdów i robotów zrewolucjonizuje sektory takie, jak budownictwo, transport, logistyka, zarządzanie zasobami wodnymi i usługi komunalne.

8.3 System edukacji

W gospodarce cyfrowej decydującym czynnikiem sukcesu przedsiębiorstw będzie dostęp do wykwalifikowanych pracowników, zdolnych do współpracy z coraz bardziej autonomicznymi robotami i systemami wykorzystującymi sztuczną inteligencję. W 2018 r. dla trzech czwartych firm planujących wdrożenie technologii cyfrowych (według World Economic Forum) dostęp do wykwalifikowanych pracowników, którzy będą mogli przejść na pracę z zautomatyzowanymi maszynami i systemami, był ważniejszy niż takie czynniki, jak koszty pracy, elastyczność lokalnych przepisów prawa pracy, dostępność surowców czy bliskość aglomeracji miejskich.

Zmieniające się zapotrzebowanie na kompetencje i umiejętności będzie wymagało wprowadzenia istotnych zmian w systemie edukacyjnym. W hierarchicznym systemie edukacyjnym, kładącym nacisk na dyscyplinę i nabywanie standardowej wiedzy, uczniowie nie uczą się kreatywności, elastyczności, umiejęt-

ności reagowania na kryzysy i wyzwania. W rezultacie niemal połowa pracowników będzie musiała podnieść swoje kompetencje, a jeden na dziesięciu pracowników będzie potrzebował gruntownego, co najmniej kilkumiesięcznego przeszkolenia¹⁷. Dodatkowo większych trudności z podnoszeniem kwalifikacji doświadczą pracownicy posiadający niższe i średnie wykształcenie, wykonujący rutynową pracę fizyczną¹⁸.

Zmiany w systemie edukacji dostosowane do potrzeb gospodarki cyfrowej będą obejmowały: wzrost nacisku na uczenie praktycznych umiejętności zamiast pozbawionej odniesień teorii; skrócenie cykli edukacyjnych na rzecz certyfikowanych kursów skupionych na konkretnych umiejętnościach; zmianie metod i form nauczania w stronę edukacji hybrydowej i zdalnej¹⁹. Tradycyjne instytucje edukacyjne będą się musiały mierzyć z coraz silniejszą konkurencją ze strony potężnych platform edukacyjnych, wspieranych w coraz większym stopniu przez duże firmy technologiczne (Google zadeklarował, że w procesie rekrutacji będzie uznawał certyfikaty zdobywane na platformie Coursera jako ekwiwalenty licencjatu)²⁰. Zmiana dotknie w największej mierze uniwersytety i inne uczelnie, które będą musiały nauczyć się funkcjonowania w szerokim ekosystemie edukacyjnym oraz współpracy z partnerami biznesowymi²¹.

8.4 Zrównoważony rozwój

Przemysł 4.0 daje nadzieje na pogodzenie rosnących oczekiwań konsumentów z imperatywem ochrony środowiska naturalnego i zasobów na rzeczy przy-

16 Hurst A. 2020. Two-thirds of business leaders used automation for Covid-19 response — Deloitte. Information Age. <https://www.information-age.com/two-thirds-business-leaders-used-automation-for-covid-19-response-123492795/> (dostęp 22 czerwca 2021).

17 Zobacz: Card D., DiNardo J. E. 2002. *Skill-Biased Technological Change and Rising Wage Inequality: Some Problems and Puzzles*. Journal of Labor Economics. v.20. nr.4. s.733–783; Galor O., Moav O. 2000. *Ability-Biased Technological Transition, Wage Inequality, and Economic Growth*. The Quarterly Journal of Economics. 2000. s.469–497.

18 OECD. 2018. *The Future of Education and Skills. Education 2030. OECD Learning Framework 2030*. OECD. [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf) (dostęp 22 lipca 2021).

19 Selwyn N. 2019. *Should Robots Replace Teachers?: AI and the Future of Education (Digital Futures)*. Polity.

20 Marshall C. 2020. *Google Introduces 6-Month Career Certificates, Threatening to Disrupt Higher Education with “the Equivalent of a Four-Year Degree”*. Open Culture. <https://www.openculture.com/2020/09/google-introduces-6-month-career-certificates-threatens-to-disrupt-higher-education.html> (dostęp 22 lipca 2021).

21 Craig, R. 2015. *College Disrupted: The Great Unbundling of Higher Education*. St. Martin's Press; McCowan, T. 2017. *Higher education, unbundling, and the end of the university as we know it*. Oxford Review of Education. 43(1):1-16. <https://doi.org/10.1080/03054985.2017.1343712> (dostęp 22 lipca 2021).

Tab. 14. Cele zrównoważonego rozwoju Organizacji Narodów Zjednoczonych oraz technologie Przemysłu 4.0.

Cel	Charakterystyka	Związek z technologiami Przemysłu 4.0.
Koniec ubóstwa	Koniec z ubóstwem we wszystkich jego formach na całym świecie.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą zapewnić dostęp do informacji, edukacji, opieki zdrowotnej i większych możliwości ekonomicznych, które zapewniają ubogim więcej podstawowych zasobów i usług oraz pomogą im wyjść z ubóstwa. Technologie Przemysłu 4.0 mogą również złagodzić nieoczekiwane straty gospodarcze podczas katastrof.
Koniec głodu	Koniec z głodem, osiągnięcie bezpieczeństwa żywnościowego i lepszego odżywiania oraz promowanie zrównoważonego rolnictwa.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą promować zrównoważone rolnictwo i systemy sprawiedliwej dystrybucji, aby upewnić się, że nikt już nie będzie cierpieć z powodu głodu. Technologie Przemysłu 4.0 pomagają również osiągnąć bezpieczeństwo żywnościowe oraz lepsze odżywianie.
Dobre zdrowie i samopoczucie	Zapewnienie zdrowego życia oraz promowanie dobrego samopoczucia osobom w każdej grupie wiekowej.	Technologie Przemysłu 4.0 umożliwiają cyfryzację opieki zdrowotnej, promują zdrowy tryb życia, środki zapobiegawcze oraz nowoczesne i wydajne usługi opieki zdrowotnej dla wszystkich.
Wysokiej jakości edukacja	Zapewnienie sprzyjającej włączeniu społecznemu i sprawiedliwej edukacji na wysokim poziomie oraz promowanie możliwości uczenia się przez całe życie dla wszystkich.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą pomóc cieszyć się z przystępnej cenowo, sprawiedliwej i wysokiej jakości edukacji podstawowej oraz średniej.
Równość płci	Osiągnięcie równości płci oraz wzmocnienie pozycji wszystkich kobiet i dziewcząt.	Technologie Przemysłu 4.0 zapewnią równe szanse na sukces na wszystkich szczeblach każdego stanowiska zarówno mężczyznom, jak i kobietom.
Czysta woda i higiena	Zapewnienie dostępności oraz zrównoważonego zarządzania wodą i środkami higieny.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą pomóc zapewnić przystępny cenowo sprzęt i edukację w zakresie praktyk higienicznych, które zapewnią dostęp do czystej wody pitnej oraz higieny.
Czysta i przystępna cenowo energia	Zapewnienie wszystkim dostępu do przystępnej cenowo, rzetelnej, zrównoważonej oraz nowoczesnej energii.	Technologie Przemysłu 4.0 zapewnią zrównoważoną efektywność energetyczną, aby umożliwić użytkownikom wyższą jakość oraz zmniejszenie kosztów.
Godna praca i rozwój ekonomiczny	Promowanie sprzyjającego włączeniu społecznemu oraz zrównoważonego rozwoju ekonomicznego, zatrudnienia i godnej pracy.	Technologie Przemysłu 4.0 mają znaczący bezpośredni i pośredni wpływ gospodarczy, nie szkodząc przy tym środowisku. Rozwój ekonomiczny wytworzy godne i satysfakcjonujące miejsca pracy.
Przemysł, innowacja i infrastruktura	Budowanie odpornej infrastruktury, promowanie zrównoważonej industrializacji oraz wspieranie innowacji.	Technologie Przemysłu 4.0, jak nowe branże oraz technologie informacyjno-komunikacyjne, są ważnymi sposobami promowania zrównoważonego przemysłu, inwestowania w badania naukowe i innowacje oraz modernizacji infrastruktury.
Mniejsze nierówności	Zmniejszenie nierówności w obrębie krajów i między nimi.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą pomóc zapewnić dostęp do sieci niepodłączonym oraz zmniejszyć przepaść cyfrową w celu zredukowania nierówności w obrębie i między krajami oraz ludźmi.



Cel	Charakterystyka	Związek z technologiami Przemysłu 4.0.
Zrównoważone miasta i społeczności	Sprawienie, by miasta sprzyjały włączeniu społecznemu, były bezpieczne, odporne i zrównoważone.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą pomóc w budowie nowoczesnych, zrównoważonych, inteligentnych miast zapewniających porządek publiczny i bezpieczeństwo, z ekologicznymi i inspirującymi kulturowo warunkami do życia.
Odpowiedzialna konsumpcja i produkcja	Zapewnienie zrównoważonych wzorców konsumpcji i produkcji.	Technologie Przemysłu 4.0 już są wykorzystywane w celu zwiększenia wydajności w różnych branżach, większej przejrzystości łańcucha dostaw oraz poprawy wzorców produkcji i konsumpcji.
Działania na rzecz klimatu	Podjęcie pilnych działań w celu zwalczania zmian klimatycznych i ich skutków.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą prowadzić do redukcji emisji CO ₂ poprzez skupiony na danych i identyfikowalny ślad węglowy.
Podwodne życie	Ochrona i zrównoważone korzystanie z oceanów, mórz i zasobów morskich.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą przyczynić się do bardziej zrównoważonego korzystania z zasobów oceanów.
Życie na lądzie	Zrównoważone zarządzanie lasami, walka z pustynnieniem, zatrzymywanie i odwracanie degradacji gruntów, powstrzymanie utraty bioróżnorodności.	Technologie Przemysłu 4.0 mają kluczowe znaczenie dla gospodarki leśnej i bioróżnorodności.
Pokój, sprawiedliwość i silne instytucje	Promowanie sprawiedliwych, pokojowych i integracyjnych społeczeństw.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą zapewnić i wypromować odpowiedzialne przedsiębiorstwo lub łańcuch dostaw, prawa człowieka oraz wolność wypowiedzi.
Partnerstwo na rzecz celów	Ożywienie globalnego partnerstwa na rzecz zrównoważonego rozwoju.	Technologie Przemysłu 4.0 mogą pomóc we współpracy z szerokim gronem akcjonariuszy w celu stymulacji zrównoważonego rozwoju.

Źródło: Bai C., Dallasega P., Orzes G., Sarkis J. 2020. Industry 4.0 technologies Assessment: A sustainability perspective, International Journal of Production Economics.

szłych pokoleń²². Wzrost produktywności połączony z efektywnym wykorzystaniem zasobów może stać się istotnym czynnikiem rosnącej jakości życia w cyfrowym społeczeństwie i gospodarce. Tab. 14 pokazuje wpływ zastosowania technologii na realizację celów zrównoważonego rozwoju wyznaczonych przez Organizację Narodów Zjednoczonych.

22 2017. Industry 4.0. Opportunities Behind The Challenge. UNIDO General Conference 17. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/UNIDO%20Background%20Paper%20on%20Industry%204.0_FINAL_TII.pdf (dostęp 22 czerwca 2021).

Zakończenie – gdzie jesteś, Polsko?



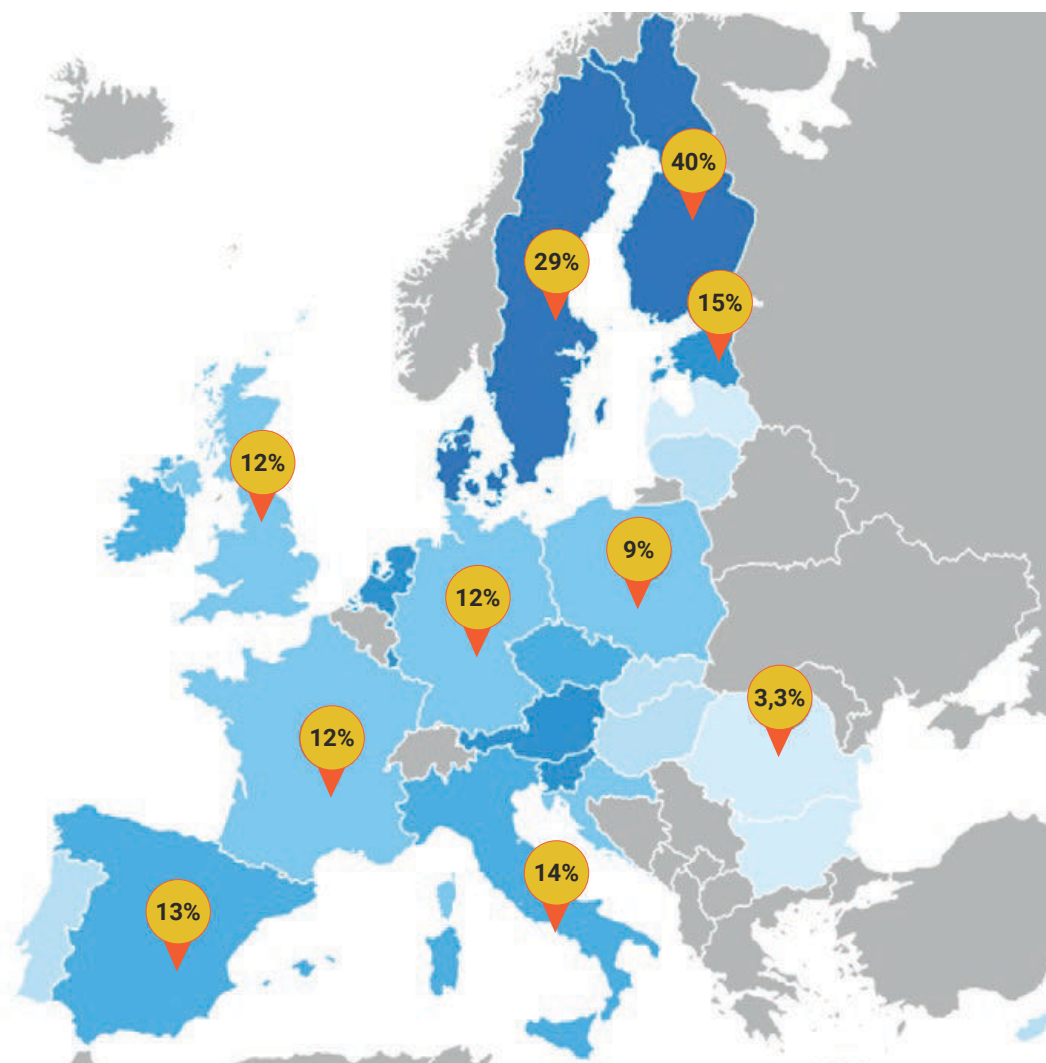
Na przestrzeni ostatniej dekady koncepcja Przemysłu 4.0 zdobyła niemałą popularność w dyskursie akademickim i publicystycznym. Jest to pojemne pojęcie, pozwalające uchwycić bezprecedensową zmianę zachodzącą w funkcjonowaniu firm produkcyjnych w kontekście cyfryzacji całej gospodarki. Warto przy tym zaznaczyć, że bywa ono wykorzystywane zawężająco, wyłącznie do opisu wszelkich zmian technologicznych związanych z wdrażaniem technologii cyfrowych w firmach, lub też zbyt szeroko, utożsamiając Przemysł 4.0 z transformacją cyfrową gospodarki.

Bazując na gruntownym przeglądzie najnowszej literatury przedmiotu, w niniejszym raporcie wskazaliśmy kluczowe elementy składowe i zasady operacyjne Przemysłu 4.0. Staraliśmy się pokazać wielowymiarowość zachodzących zmian, akcentując przy tym ich nierównomierne tempo. Obecnie Przemysł 4.0 jest

w pierwszym rzędzie koncepcją orientującą strategię rozwoju gospodarczego, **zbiorem innowacyjnych rozwiązań technologicznych, procesowych i organizacyjnych**, których realizacja ma przełożyć się na przewagę konkurencyjną poszczególnych przedsiębiorstw i całych gospodarek.

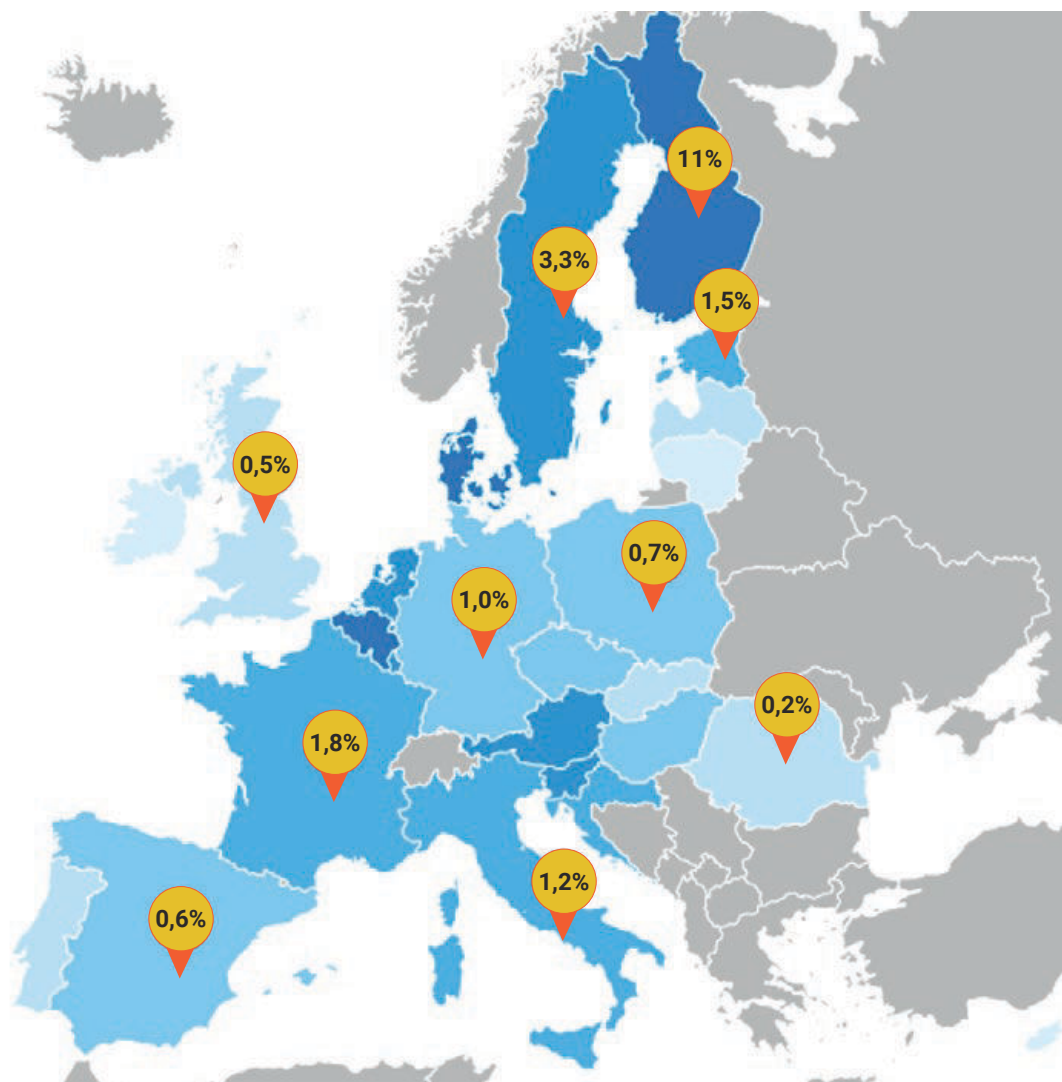
Dostępne dane jednoznacznie pokazują, że europejskie przedsiębiorstwa dopiero rozpoczynają niełatwy proces transformacji cyfrowej. Przykłady całościowej zmiany są jeszcze na tyle rzadkie, że firmy, którym udało się jej dokonać, zyskują status latarni transformacji cyfrowej. Digital Intensity Index stworzony na zlecenie Komisji Europejskiej pokazuje, że wysoki i bardzo wysoki wskaźnik ucyfrowienia osiąga przede wszystkim państwa skandynawskie: Finlandia, Dania i Szwecja. W Europie Środkowej relatywnie duży udział przedsiębiorstw przemysłowych

Rys. 42. Przemysłowe przedsiębiorstwa unijne z wysokim Digital Intensity Index w państwach członkowskich UE (2020)



Źródło: Digital Intensity Index na podstawie danych Eurostat, odsetek przedsiębiorstw w danym kraju.

Rys. 43. Przemysłowe przedsiębiorstwa unijne z bardzo wysokim Digital Intensity Index w państwach członkowskich UE (2020)



Źródło: Digital Intensity Index.

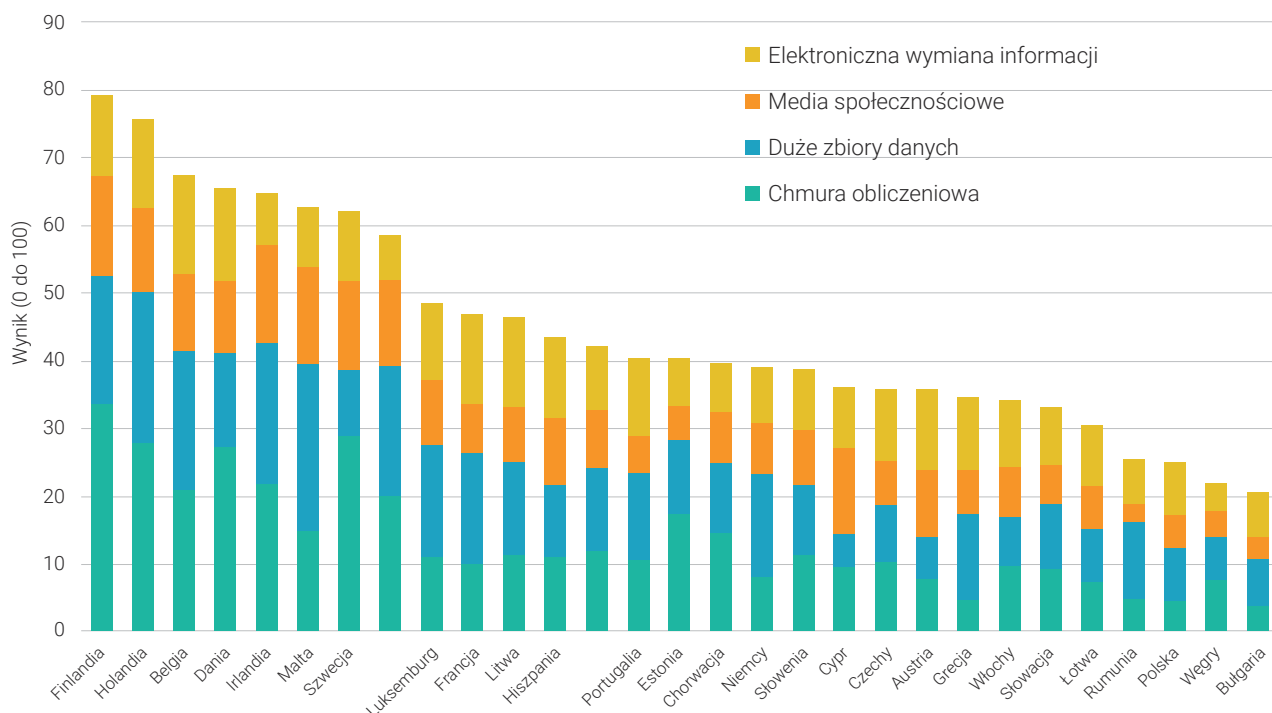
wych o wysokim i bardzo wysokim DII odnotowują Austria i Słowenia. W państwach takich, jak Niemcy czy Francja udział przedsiębiorstw o wysokim DII jest niski (około 10%).

Tempo i dynamika transformacji cyfrowej przedsiębiorstw unijnych zdeterminuje szanse europejskiej gospodarki, zwłaszcza na tle gospodarki amerykańskiej i chińskiej. W tym kontekście warto zasygnalizować niski poziom ucyfrowienia polskich przedsiębiorstw, zwłaszcza przedsiębiorstw produkcyjnych; temat ten pogłębimy i rozwinemy w kolejnym raporcie pt. „Wdrażanie i rozwój Przemysłu 4.0 w Polsce oraz konsekwencje powstawania nowej generacji przemysłu dla sektora bankowego”.

Tymczasem zwrócimy uwagę na fakt, że zgodnie z omawianym w rozdziale 7 Future Industry Readiness Index **Polska jest jednym z krajów o wysokim poziomie gotowości do transformacji cyfrowej.** Jednocześnie **poziom dojrzałości cyfrowej polskich przedsiębiorstw jest niski.** W 2021 r. w gronie liderów transformacji cyfrowej („lighthouses”) wyróżnionych przez World Economic Forum, czyli 69 firm, którym udało się przeprowadzić udaną cyfryzację procesów produkcyjnych, a nawet całego łańcucha wartości, **nie było ani jednego polskiego przedsiębiorstwa** (a znajdowały się na niej przedsiębiorstwa ulokowane



Rys. 44. Poziom ucyfrowienia przedsiębiorstw (2021)



Źródło: DESI.

w Czechach lub Rumunii)¹. Wynika z tego, że nawet te polskie firmy, które zdecydowały się wprowadzić rozwiązania technologiczne charakteryzujące Przemysł 4.0, nadal znajdują się w czystcu pilotaży, i nie są w stanie rozszerzyć ograniczonego obszaru i czasowo wdrożenia na cały proces produkcyjny, nie mówiąc o sieciach dostaw.

W Polsce zaledwie 0,7% przedsiębiorstw produkcyjnych osiąga bardzo wysoki wskaźnik ucyfrowienia, a niecałe 9% – wskaźnik wysoki. Szczegółowa analiza poziomu wdrażania poszczególnych technologii z zakresu Przemysłu 4.0 lokuje Polskę pod koniec unijnej stawki. Zgodnie ze wskaźnikiem Digital Economy and Society Index **Polska zajmuje dalekie 24 miejsce pod kątem ogólnego wskaźnika integracji technologii cyfrowych i 25 miejsce pod względem wykorzystania technologii cyfrowych przez przedsiębiorstwa.**

W przypadku polskiej gospodarki niepokojący jest również bardzo niski poziom kompetencji cyfrowych

pracowników. Pod tym względem Polska plasuje się na siódmym miejscu od końca wśród państw unijnych. Zaledwie 9% pracowników fizycznych może się pochwalić ponadpodstawowymi umiejętnościami cyfrowymi (czyli np. potrafi programować w prostym zakresie); umiejętności takie posiada 37% pracowników umysłowych, jednak nadal jest to wynik znacznie poniżej unijnej średniej.

Ogólnie biorąc, niski poziom wdrażania technologii z zakresu Przemysłu 4.0 można interpretować jako przejaw ogólnie niskiego poziomu innowacyjności polskich firm i polskiej gospodarki: kompleksowy Europejski Wskaźnik Innowacyjności (tworzony na zlecenie Komisji Europejskiej) lokuje Polskę na czwartym miejscu od końca wśród krajów UE, w grupie krajów o średnim poziomie innowacji („moderate innovators”)². Mało innowacyjne są zwłaszcza małe i średnie przedsiębiorstwa.

Ten niewesoły stan rzeczy wymaga **kompleksowego systemu wsparcia innowacyjności, przede wszyst-**

1 World Economic Forum. 2021. *Global Lighthouse Network: Reimagining Operations for Growth*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_GLN_2021_Reimagining_Operations_for_Growth.pdf (dostęp 22 lipca 2021).

2 *European Innovation Scoreboard 2020*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_1150 (dostęp 22 lipca 2021).



kim w obszarze transformacji cyfrowej, tak aby polskie przedsiębiorstwa były w stanie osiągnąć cyfrową dojrzałość w tempie dorównującym konkurentom z Europy i całego świata. Wsparcie powinno skupiać się na następujących obszarach: rozwoju kompetencji pracowników (obecnych i przyszłych); rozwoju in-

frastruktury; dostępu do wiedzy, zwłaszcza dobrych praktyk, oraz finansowania innowacyjnych wdrożeń technologicznych, procesowych i organizacyjnych. W tym ostatnim obszarze kluczową rolę ma do odegrania sektor bankowy w Polsce, równolegle wkraczający w proces transformacji cyfrowej.

Rys. 45. Rekomendacje dla rozwoju Przemysłu 4.0

W obszarze kompetencji

- ▶ program szkoleń dla kadr przemysłu przyszłości
- ▶ tworzenie programów studiów specyficznych dla wyzwań Przemysłu 4.0.
- ▶ upowszechnianie wiedzy o Przemysle 4.0 (aspekt technologiczny, zmiany strategiczne, korzyści)
- ▶ inicjatywy kształtujące kompetencje przyszłości wśród uczniów, studentów i pracowników

W obszarze infrastruktury

- ▶ tworzenie programów zachęcających i ułatwiających wdrażanie rozwiązań w obszarze Przemysłu 4.0 w sektorze prywatnym
- ▶ powołanie grup w celu wypracowywania standardów lub przekazywania wiedzy
- ▶ budowa infrastruktury danych: otwartych partnerstw danych, platform i zbiorów danych

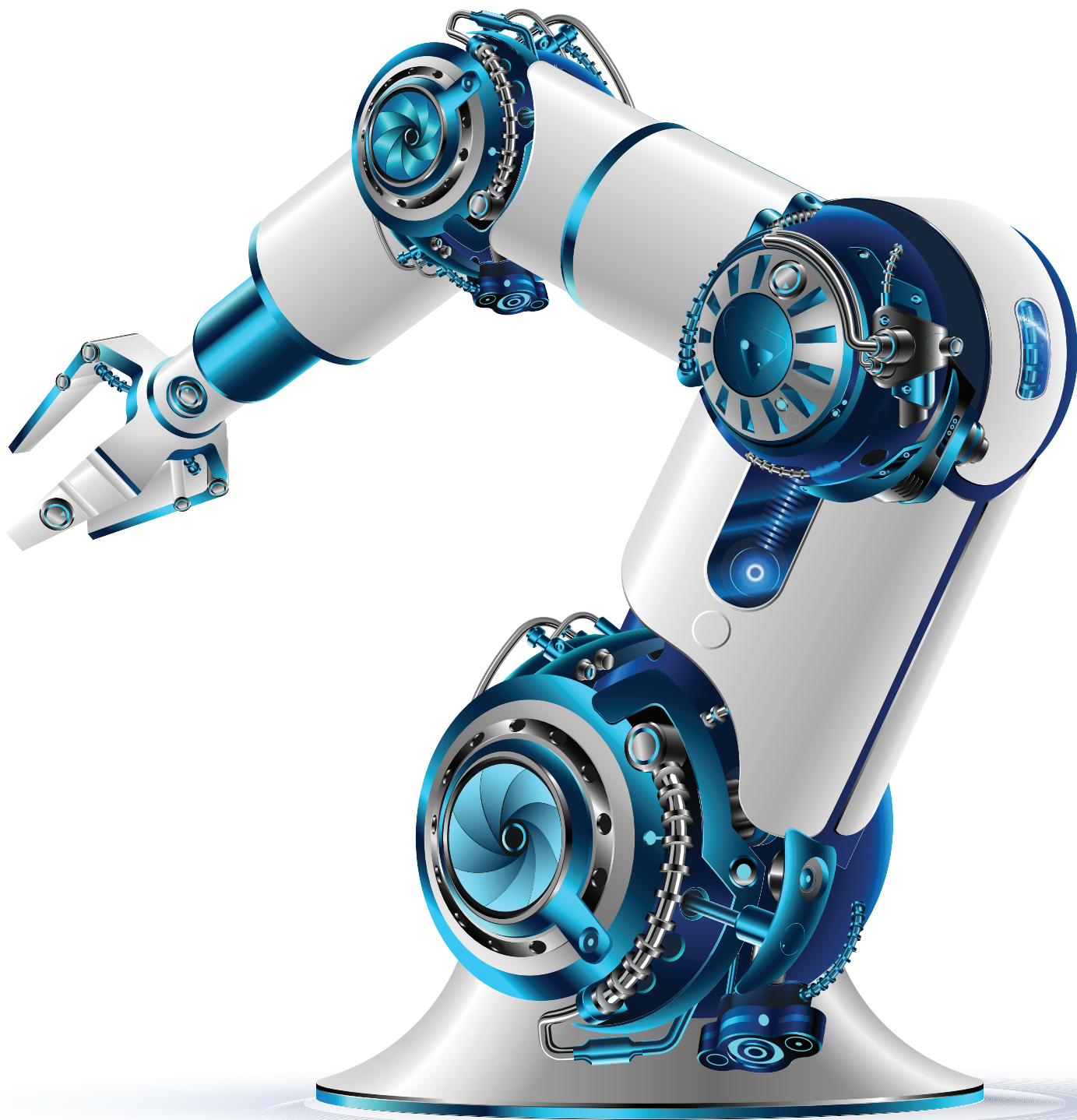
W obszarze dostępu do wiedzy

- ▶ umożliwienie testowania rozwiązań i dostęp do dobrych praktyk
- ▶ prowadzenie badań naukowych rozwijających technologie wykorzystywane w Przemysle 4.0
- ▶ współpraca z międzynarodowymi gremiami ekspertów wypracowujących standardy dla Przemysłu 4.0
- ▶ popularyzacja standardów wśród polskich producentów i dostawców technologii

W obszarze finansowania

- ▶ wszechstronna europejska i regionalna strategia cyfrowa uwzględniająca MŚP, polityki ułatwiające dostęp do finansowania, sieci wiedzy i umiejętności
- ▶ dostęp do instrumentów wsparcia finansowego na rozwój cyfryzacji w firmach
- ▶ rekomendowanie rozwiązań dysponentom finansowego wsparcia rozwiązań dla europejskich firm

Źródło: Opracowanie własne.



Raport opracowany na zlecenie Programu Analityczno-Badawczego
Fundacji Warszawski Instytut Bankowości



PROGRAM
ANALITYCZNO
BADAWCZY