

Marcin Gryczka

Economy 4.0 in the age of global challenges

Marcin Gryczka

Gospodarka 4.0 w erze wyzwań globalnych

Marcin Gryczka. Gospodarka 4.0 w erze wyzwań globalnych. Monograph. Szczecin: Scientific Publishing House (SPH), Centre of Sociological Research, 2021. - Bibliogr. – Illiustr. –151 p.

Official reviewers of the monograph:

prof. Romualdas Ginevičius, (Politechnika Białostocka)

dr Katarzyna Chudy-Laskowska (Rzeszów University of Technology)

Typesetting

dr Svitlana Bilan s.bilan@csr-pub.eu



All rights reserved. No part of this book may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

© 2021 Centre of Sociological Research

ISBN 978-83-959336-9-1

DOI: 10.14254/978-83-959336-9-1/2021

Publishing House

Fundacja Centrum Badań Socjologicznych

Centre of Sociological Research

ul. Bolesława Śmiałego 22

70-347, Szczecin, Poland

e-mail: office@csr-pub.eu

<https://www.csr-pub.eu>

Contents

Introduction	7
Wstęp	9
1. Economy 4.0 and evolution of international division of labor	11
1.1. International specialization as an economic category	11
1.2. International division of labor and industrial revolutions	13
1.3. Contemporary stage of international division of labor	20
1.4. Economy 4.0 as a consequence of the fourth industrial revolution	31
1.4.1. 3-D Printing	38
1.4.2. Big Data and artificial intelligence	40
1.4.3. Internet of Things	42
1.4.4. Robotics and automation	44
2. Development prospects of selected Economy 4.0 components	47
2.1. International market of industrial and service robots.....	49
2.2. International drone market	61
2.3. Global Internet of Things ecosystem	68
2.4. 3-D Printing market	78
2.5. Market of AI and Big Data solutions	88
3. Economy 4.0 as a response to the contemporary global challenges	101
3.1. Socio-economic inequalities	104
3.2. Technological inequalities	113
3.3. Climate change-related inequalities	120
3.4. Fourth industrial revolution achievements and contemporary global challenges	123
Summary	135
List of tables and figures	137
References	141

Spis treści

Introduction	7
Wstęp	9
1. Gospodarka 4.0 a ewolucja międzynarodowego podziału pracy	11
1.1. Specjalizacja międzynarodowa jako kategoria ekonomiczna	11
1.2. Międzynarodowy podział pracy a rewolucje przemysłowe	13
1.3. Współczesny etap międzynarodowego podziału pracy	20
1.4. Gospodarka 4.0 jako konsekwencja czwartej rewolucji przemysłowej	31
1.4.1. Druk przestrzenny (3D)	38
1.4.2. Big Data i sztuczna inteligencja	40
1.4.3. Internet rzeczy	42
1.4.4. Robotyzacja i automatyzacja	44
2. Perspektywy rozwoju wybranych elementów Gospodarki 4.0	47
2.1. Międzynarodowy rynek robotów przemysłowych i usługowych	49
2.2. Międzynarodowy rynek dronów	61
2.3. Globalny ekosystem Internetu rzeczy	68
2.4. Rynek druku 3D	78
2.5. Rynek rozwiązań SI i Big Data	88
3. Gospodarka 4.0 jako odpowiedź na wyzwania współczesnego świata	101
3.1. Nierówności społeczno-ekonomiczne	104
3.2. Nierówności technologiczne	113
3.3. Nierówności klimatyczne	119
3.4. Zdobywcze czwartej rewolucji przemysłowej a współczesne wyzwania globalne	123
Podsumowanie	135
Spis tabel i rysunków	137
Literatura	141

Introduction

Development of the fourth stage of industrial revolution has been observed for at least two recent decades. The key feature of this process is an increasing significance of information and communication technologies (ICT) for world economy growth, which leads to the gradual convergence between real and digital markets. At the same time, especially due to such events like global financial crisis in the late 2000s, global risks and inequities are expanding not only in the individual economies, but particularly between the rich North and the poor South countries.

The main purpose of this study is to analyze, on the basis of available statistical data and reports, to what extent technologies and innovations resulting from the fourth industrial revolution (4IR) can be utilized to mitigate threats connected with the world problems' escalation, especially related to the snowballing climate crisis. For obvious reasons it's impossible to anticipate any directions and paths of contemporary world economy growth. This is primarily accounted for by the local peculiarity of issues in different regions, as well as by social, political and economic uncertainties arising from long-term coronavirus pandemic effects.

The study consists of three chapters, in which extensive source materials have been utilized. It should be noted that more detailed technical considerations concerning solutions in question haven't been included, and that's mainly because of study goal. In first chapter the positioning attempt of the fourth industrial revolution under international division of labor has been made, stressing some 4IR characteristics in comparison with previous industrial revolutions. Economy 4.0 as a global digital ecosystem has been also shortly explained, with the distinction between Industry 4.0, Agriculture 4.0 and Service 4.0.

Second, entirely empirical chapter examines selected markets of Economy 4.0, advantages connected to them, but also some constraints, which can interfere with their future development. It should be emphasized that while Economy 4.0 is based on many different digital technologies, to this chapter have been selected those, which in author's opinion have the most significant importance and play crucial role as determinants of international competitiveness.

Third chapter concerns the selected global inequalities analysis in a wider sense, i.e. not only income inequalities, the most widespread in the literature, but some other types of inequalities as well. It has been assumed that current and future shape of world economy is affected, among others, by socio-economic, technological and climate change-related inequalities. The final part of this chapter includes some dissertations about possibilities of fourth industrial

revolution achievements' utilization in the process of global disparities and challenges mitigation, as well as two scenarios of development of the situation in this area have been provided.

Taking into account the complexity of issues covered it was not feasible to comment on majority of topics, although author believes that even in such a concise form this study fits into general discussion on digital transformation of the contemporary world. Moreover, it is focused not only on possible benefits, but also stresses some threats and negative effects related to the development of Economy 4.0.

Wstęp

Od co najmniej dwóch dekad jesteśmy świadkami rozwoju kolejnego, czwartego etapu rewolucji przemysłowej. Jego głównym wyróżnikiem jest coraz większe znaczenie technologii telekomunikacyjno-informatycznych (ICT) dla rozwoju gospodarki światowej, dzięki następuje stopniowa konwergencja rynków rzeczywistych i cyfrowych. W tym samym czasie, za sprawą takich wydarzeń jak globalny kryzys finansowy pod koniec pierwszej dekady XXI wieku czy obecna światowa pandemia COVID-19, rośnie globalne ryzyko oraz nierówności nie tylko w poszczególnych krajach, lecz w szczególności między bogatą Północą a ubogim Południem.

Celem niniejszej pracy jest przeanalizowanie w oparciu o dostępne dane, na ile technologie i innowacje będące efektem czwartej rewolucji przemysłowej mogą umożliwić uporanie się, a przynajmniej zminimalizowanie zagrożeń związanych z eskalacją problemów globalnych, zwłaszcza związanych z pogłębiającym się kryzysem klimatycznym. Z oczywistych względów nie jest możliwe prognozowanie, w jakim kierunku podąży rozwój współczesnej gospodarki światowej. Wynika to przede wszystkim z lokalnej specyfiki problemów, z jakimi borykają się różne regiony świata, jak również z niepewności — politycznej, społecznej i gospodarczej — związanej z długookresowymi konsekwencjami pandemii koronawirusa.

Praca składa się z trzech rozdziałów, w których wykorzystano bogatą literaturę przedmiotu, przy czym należy zaznaczyć, że z racji postawionego celu nie poświęcono w niej zbyt wiele miejsca szczegółowym aspektom technicznym prezentowanych technologii. W rozdziale pierwszym podjęto próbę umiejscowienia czwartej rewolucji przemysłowej w ramach międzynarodowego podziału pracy, podkreślając kwestie ją wyróżniające na tle poprzednich rewolucji przemysłowych. Zdefiniowano i krótko scharakteryzowano w nim także pojęcie Gospodarki 4.0 jako globalnego ekosystemu cyfrowego, w którym przenikają się rozwiązania dotyczące nie tylko Przemysłu 4.0, ale również sektorów, które przez analogię można określić Rolnictwem 4.0 i Usługami 4.0.

Rozdział drugi jest w całości rozdziałem empirycznym, w którym na podstawie dostępnych danych przeanalizowano wybrane rynki składające się na Gospodarkę 4.0, korzyści z nimi związane, ale również pewne ograniczenia mogące zakłócić ich dalszy rozwój. Należy zaznaczyć, że jakkolwiek Gospodarka 4.0 bazuje na wielu technologiach cyfrowych, do analiz w tym rozdziale wybrano te, które w przekonaniu Autora mają najdonioślejsze znaczenie i już obecnie odgrywają istotną rolę jako determinanty konkurencyjności międzynarodowej.

Rozdział trzeci poświęcono przeanalizowaniu wybranych nierówności globalnych, przy czym zagadnienie to zostało potraktowane szerzej, niż tylko jako egemplifikacja najczęściej chyba w literaturze przywoływanych nierówności dochodowych. Przyjęto, że poza nierównościami społeczno-gospodarczymi na obecny i przyszły kształt gospodarki światowej równie doniosły wpływ będą miały nierówności technologiczne oraz nierówności klimatyczne. W końcowej części rozdziału znajdują się rozważania dotyczące możliwości wykorzystania zdobyczy czwartej rewolucji przemysłowej w łagodzeniu nierówności i wyzwań globalnych, jak również zaprezentowano dwa scenariusze rozwoju sytuacji w tym obszarze.

Ze względu na złożoność poruszanych kwestii nie było możliwe odniesienie się do wszystkich zagadnień, Autor ma jednak nadzieję, że nawet w obecnym zakresie niniejsza praca wpisuje się w nurt rozważań dotyczących cyfrowej transformacji współczesnego świata, nie skupiając się jedynie na potencjalnych korzyściach, ale również akcentując — może nawet czasami zbyt mocno — zagrożenia i negatywne konsekwencje związane z rozwojem Gospodarki 4.0.

1. Gospodarka 4.0 a ewolucja międzynarodowego podziału pracy

1.1. Specjalizacja międzynarodowa jako kategoria ekonomiczna

Międzynarodowy podział pracy, rozumiany w najogólniejszym ujęciu jako specjalizacja poszczególnych krajów w produkcji i wymianie międzynarodowej, kształtuje się od co najmniej kilku stuleci i wywodzi z lokalnego w swej istocie, tak zwanego społecznego podziału pracy. W momencie, gdy w poszczególnych krajach powstały nadwyżki produkcyjne, a chłonność lokalnych rynków okazała się zbyt mała w porównaniu z rosnącym asortymentem i wolumenem oferowanych wyrobów, pojawiła się tendencja do poszukiwania nowych odbiorców – początkowo w ramach poszczególnych krajów, a następnie w skali międzynarodowej.

Analogicznie jak w społecznym podziale pracy, w którym specjalizacja zależała m.in. od dostępności lokalnych zasobów, żyzności ziemi czy indywidualnych umiejętności, znaczenie danej gospodarki w międzynarodowym podziale pracy jest wypadkową szeregu czynników, które można podzielić na wewnętrzne (zaliczamy do nich m. in. ustrój polityczny czy wyposażenie w czynniki produkcji) bądź zewnętrzne, wynikające z bieżących przekształceń zachodzących w gospodarce światowej jako całości [Bożyk i in., 2002, s. 24–34]. W innym ujęciu czynniki różnicujące predyspozycje poszczególnych krajów do określonych kierunków specjalizacji międzynarodowej można podzielić na cztery kategorie [Gryczka, 2007, s. 12–17; Bobowski, 2012, s. 185–186]:

- czynniki strukturalne, takie jak dostęp do zasobów naturalnych oraz zróżnicowanych wewnętrznie czynników produkcji (praca prosta i złożona, kapitał rzeczowy i ludzki);
- czynniki techniczno-technologiczne związane z postępem naukowo-technicznym, uczestnictwem w międzynarodowym transferze technologii oraz dyfuzji (absorpcji) wiedzy, a w ostatnich kilku dekadach — także z rozwojem technologii teleinformatycznych (ICT) oraz rozwijaniu zdolności ich efektywnego wykorzystywania w gospodarce;
- czynniki instytucjonalne: ustrój polityczny, charakter prowadzonej polityki gospodarczej oraz przynależność do ugrupowań międzynarodowych w wyniku podpisanych umów i traktatów wielostronnych i bilateralnych;
- czynnik koniunkturalny — związane ze stanem aktywności gospodarczej oraz odzwierciedlające krótkookresowe zmiany relacji popytu i podaży na rynku międzynarodowym.

Jeśli chodzi natomiast o najważniejsze cechy charakteryzujące międzynarodowy podział pracy, na pierwszym miejscu należy niewątpliwie wymienić jego dynamiczny i strukturalny charakter. Oznacza to, że przynajmniej w teorii kierunki specjalizacji międzynarodowej

mogą ulegać modyfikacjom związanym z ewolucją międzynarodowych powiązań gospodarczych ukształtowanych na bazie specjalizacji produkcji. Co więcej, także czynniki leżące u podstaw kształtowania międzynarodowego podziału pracy ulegają ciągłym zmianom, zarówno jeśli chodzi o ich znaczenie w wyznaczaniu kierunków specjalizacji międzynarodowej, jak i zmienną w czasie dostępność dla poszczególnych krajów. W rezultacie przemiany zachodzące w ramach międzynarodowego podziału pracy powinny skutkować dopasowywaniem struktur gospodarczych do potrzeb współpracujących krajów.

Należy jednak zaznaczyć, że obserwując dotychczasową ewolucję specjalizacji międzynarodowej, wiele gospodarek, w szczególności postkolonialnych krajów rozwijających się, nie było w stanie istotnie zmienić ukształtowanej w odległej przeszłości specjalizacji w produkcji i handlu międzynarodowym. Międzynarodowy podział pracy może zatem zapewniać korzyści wszystkim uczestniczącym w nim podmiotom gospodarczym, przy czym korzyści te nie muszą i zazwyczaj nie są jednakowe (o czym świadczą utrzymujące się dysproporcje między krajami specjalizującymi się w produkcji przemysłowej a krajami surowcowo-rolnymi).

Poza powstaniem trwałych nadwyżek produkcyjnych w jednych krajach i pojawieniem się możliwości ich upłynnienia w innych, warunkiem niezbędnym do przekształcenia społecznego podziału pracy w międzynarodowy podział pracy była także wystarczająca dostępność środków umożliwiających przemieszczenie rosnącego wolumenu towarów na znaczne odległości. Innymi słowy, dopiero rozwój odpowiedniej infrastruktury techniczno-organizacyjnej (będącej jednym z wielu efektów postępu naukowo-technicznego) pozwolił na ukształtowanie się trwałych i wielostronnych międzynarodowych powiązań handlowych.

Co więcej, powiązania istniejące między różnymi podmiotami, a powstałe w wyniku specjalizacji, nie mają wyłącznie wpływu na charakter, strukturę i kierunki międzynarodowej wymiany towarowej, lecz oddziałują również na tworzenie się związków gospodarczych o innym charakterze — finansowym, politycznym, technicznym, społecznym, kulturowym itp. Można również zauważyć, że kształtująca się po drugiej wojnie światowej specjalizacja międzynarodowa nie dotyczy wyłącznie sfery produkcji i handlu towarowego, lecz w coraz większym stopniu obejmuje sferę usług i czynników produkcji, takich jak kapitał czy wiedza naukowo-techniczna. Tym samym rozszerza się grupa interesariuszy uczestniczących w kształtowaniu międzynarodowego podziału pracy. Jakkolwiek nadal państwo odgrywa główną rolę w wyznaczaniu celów oraz doborze narzędzi kształtowania krajowej i międzynarodowej polityki gospodarczej, coraz większą rolę w tym procesie odgrywa sektor prywatny, w szczególności korporacje transnarodowe (KTN). Ich nieustannie rosnący potencjał gospodarczy, czy wręcz polityczny, oznacza, że coraz trudniejsze jest efektywne oddziaływanie państwa na pozostałe

podmioty gospodarki w celu ich zachęcania lub zniechęcania do zwiększania zaangażowania w produkcję na potrzeby obrotu międzynarodowego. Innymi słowy, o kierunkach i strukturze współczesnego podziału pracy w coraz większym stopniu decyduje polityka wielkich korporacji, w efekcie czego osiągają one zdecydowanie największe korzyści, natomiast koszty ewentualnych zmian specjalizacji międzynarodowej są w większości ponoszone przez sektor publiczny. Najlepszym tego przykładem jest rola korporacji transnarodowych w realizacji celów polityki innowacyjnej nie tylko w krajach o niższym poziomie rozwoju gospodarczego, ale również, a może przede wszystkim, w krajach zaliczanych do czołówki gospodarczej świata.

1.2. Międzynarodowy podział pracy a rewolucje przemysłowe

Biorąc pod uwagę, że międzynarodowy podział pracy ma charakter dynamiczny, w ramach jego ewolucji wyróżnić można co najmniej kilka etapów. Oczywiście kwestią dyskusyjną pozostają ramy czasowe każdego z tych etapów, ponieważ przejście między nimi dokonywało się w sposób płynny. Co więcej, okresy kształtowania się kolejnych etapów ewolucji międzynarodowego podziału pracy ulegały skróceniu, co może sugerować coraz większą dynamikę tego procesu spowodowaną w głównej mierze kluczowym znaczeniem postępu naukowo-technicznego i międzynarodowego transferu wiedzy.

Warto w tym miejscu podkreślić, że główne przyczyny ewolucji międzynarodowego podziału pracy, tj. okresy globalnej niestabilności politycznej (takie jak wojny czy rewolucje), towarzyszące im zmiany geopolityczne, odkrywanie nowych zasobów naturalnych oraz zmiany technologii produkcji [Szymaniuk, Zyguła, 2009, s. 11–12], na początkowych etapach kształtowania się specjalizacji międzynarodowej pokrywały się z długimi cyklami koniunkturalnymi określanymi w literaturze długimi cyklami Kondratiewa. Fakt, że po drugiej wojnie światowej cykle koniunkturalne uległy znacznemu skróceniu i nie pokrywają się współcześnie z obserwowanymi przez N. Kondratiewa, Szymaniuk i Zyguła [2009] tłumaczącą postępującą globalizacją i rozwojem gospodarki światowej, odejściem od systemu z Bretton Woods, jak również rozwojem technologii informatycznych. Autorzy ci podkreślają ponadto, że wojny i rewolucje również nie utraciły znaczenia, ponieważ część wynalazków powstałych na potrzeby wojskowe jest później adaptowana w ramach zastosowań cywilnych, czego przykładem jest chociażby internet czy łączność bezprzewodowa.

Z kolei coraz szybszy postęp technologiczny, gospodarczy i społeczny po drugiej wojnie światowej przyczynił się do wyraźnego skrócenia pierwotnych 50-letnich cykli Kondratiewa. Jakkolwiek współcześnie istnienie tak długich cykli koniunkturalnych jest powszechnie kwestionowane, można zgodzić się z dość zgodnymi opiniami, że na ich stopniowe skracanie

największy wpływ mają innowacje, postęp naukowo-techniczny, jak również rozwój sektora usług [Schumpeter, 1939, s. 172–174; Dicken, 2011, s. 525; Marciniak, 2010, s. 13–14].

Tabela 1.1. Etapy ewolucji międzynarodowego podziału pracy

Kryterium	Tradycyjny	Przemysłowy	Teleinformatyczny	Informacyjny (usieciowiony)
Podział świata	dwubiegunowy (metropolie kolonialne, kolonie i terytoria zależne politycznie i gospodarczo)	trójbiegunowy (kraje rozwinięte, socjalistyczne, rozwijające się)	dwubiegunowy (kraje rozwinięte i rozwijające się — po rozpadzie bloku socjalistycznego)	wielobiegunowy
Główne centra polityczno-gospodarcze	Imperium Brytyjskie	Stany Zjednoczone Ameryki	USA, Unia Europejska, Japonia	USA, Chiny, Unia Europejska
Główne czynniki kształtujące MPP	zasoby naturalne (ziemia, surowce mineralne), praca prosta, kapitał rzeczowy	zasoby naturalne (surowce mineralne, zwłaszcza paliwa kopalne), praca złożona, kapitał rzeczowy i finansowy	kapitał rzeczowy i finansowy (krajowy lub związany z napływem bezpośrednich inwestycji zagranicznych), kapitał ludzki, wiedza i nowoczesne technologie	dane cyfrowe, zaawansowana wiedza i nowoczesne technologie, kapitał ludzki, kapitał rzeczowy i finansowy
Dominujący strumień wymiany międzynarodowej	towary słabo przetworzone i pracochłonne (surowcowo-rolne)	towary o różnym stopniu przetworzenia i zaawansowaniu technicznym	towary o średnim i wysokim stopniu przetworzenia i zaawansowaniu technicznym, usługi, kapitał w ramach inwestycji bezpośrednich i portfelowych	towary o średnim i wysokim stopniu przetworzenia i zaawansowaniu technicznym, usługi, kapitał w ramach inwestycji bezpośrednich i portfelowych
Specjalizacja	międzygałęziowa	wewnątrzgałęziowa	wewnątrzsortymentowa	technologiczna
Skala produkcji	produkcja jednostkowa i małoseryjna	produkcja wielkoseryjna	produkcja masowa	produkcja masowa, produkcja na zamówienie
Międzynarodowa mobilność czynników produkcji	niska	średnia	wysoka	b. wysoka

Główni uczestnicy procesów innowacyjnych	jednostki (naukowcy), uczelnie wyższe	uczelnie wyższe, korporacje, zwłaszcza związane z sektorem obronnym	korporacje transnarodowe, sektor publiczny (głównie uczelnie wyższe), klastry naukowo-techniczne	korporacje transnarodowe, sektor publiczny (głównie uczelnie wyższe), klastry naukowo-techniczne, ale także konsumenci (użytkownicy) oraz inni interesariusze, np. w modelu otwartej innowacji
Główne źródła finansowania działalności B+R	kapitał prywatny	środki publiczne (państwo) i prywatne (korporacje transnarodowe)	środki prywatne (korporacje transnarodowe), środki publiczne (państwo)	środki prywatne (korporacje transnarodowe), środki publiczne (państwo), venture capital

Źródło: opracowanie własne.

Podobnie jak w przypadku cyklu Kondratiewa, w procesie kształtowania się międzynarodowego podziału pracy można wyróżnić kilka etapów, przy czym każdy kolejny jest zdecydowanie krótszy od poprzedniego:

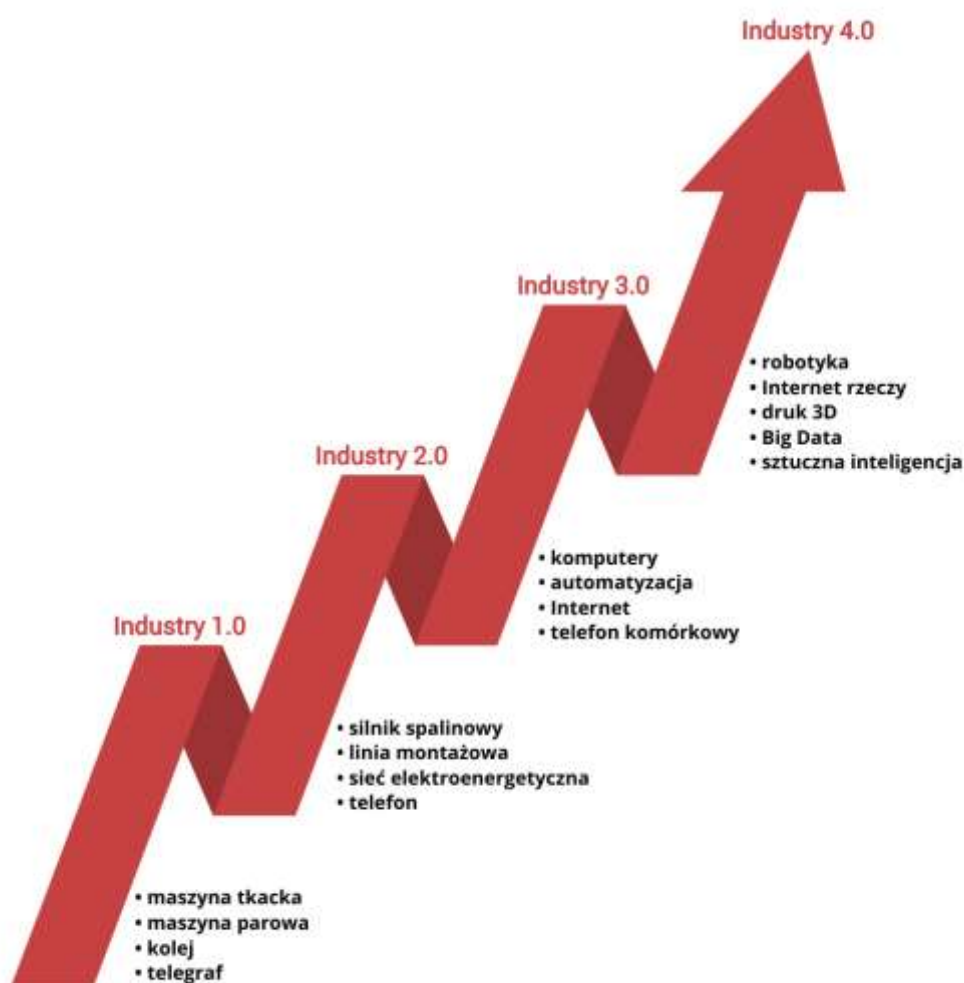
- a) I etap – *tradycyjny*, którego główne cechy ukształtowały się przede wszystkim w XIX oraz w pierwszych trzech dekadach XX wieku;
- b) II etap – *przemysłowy*, charakterystyczny dla okresu II wojny światowej i dekad późniejszych (mniej więcej do lat 70. ubiegłego stulecia);
- c) III etap – *teleinformatyczny*, kształtujący się w ostatnich dekadach XX wieku,
- d) IV etap – *informacyjny (usięciowiony)*, charakterystyczny dla pierwszych dekad XXI wieku.

Ze względu na to, że główne cechy poszczególnych faz rozwoju międzynarodowego podziału pracy przedstawiono w tabeli 1.1, rozważania zaprezentowane w dalszej części niniejszego rozdziału mają przede wszystkim na celu ukazanie związku między nimi a kolejnymi etapami rewolucji przemysłowej.

Światowa i kolonialna hegemonia Imperium Brytyjskiego w XVIII i XIX wieku, czyli okres utożsamiany z koncepcją *Pax Britannica*, miała niebagatelny wpływ nie tylko na rozwój ówczesnego, ale również współczesnego świata. Można zatem postawić tezę, że rozkwit Imperium Brytyjskiego stanowił jeden z najważniejszych bodźców rozwojowych tradycyjnego międzynarodowego podziału pracy. Do radykalnych innowacji, z którymi utożsamiana jest pierwsza i druga rewolucja przemysłowa (por. rys. 1.1), należy zaliczyć przede wszystkim wykorzystanie czynnika termodynamicznego w postaci pary wodnej do napędu maszyn parowych oraz upowszechnienie się energii elektrycznej. Jakościowe zmiany w ramach międzynarodowego

podziału pracy nie byłyby jednak możliwe bez dynamicznego rozwoju transportu kolejowego, transportu morskiego, w którym napęd żaglowy został zastąpiony napędem parowym, a później spalinowym, motoryzacji i lotnictwa.

Co więcej, już na tym etapie pojawiły się rozwiązania sieciowe za sprawą rozwoju sieci energetycznych, dzięki którym produkcja energii mogła zostać scentralizowana, a produkt — dostarczany bezpośrednio do odbiorców. Z wynalezieniem telegrafu, a nieco później telefonu zapoczątkowana została z kolei era telekomunikacji, która po upływie niespełna wieku zaowocowała pojawieniem się takich przełomowych innowacji jak internet czy telefonia bezprzewodowa.



Rys. 1.1. Cztery etapy rewolucji przemysłowej

Źródło: opracowanie własne.

Należy jednak zaznaczyć, że odkrycia naukowe, wynalazki oraz innowacje w ramach pierwszej oraz drugiej rewolucji przemysłowej były również efektem swego rodzaju wyścigu

technologicznego, jaki trwał przede wszystkim między Wielką Brytanią, krajami kontynentalnej Europy oraz Stanami Zjednoczonymi. Pierwszoplanową rolę odgrywali w nich indywidualni naukowcy, inżynierowie i wynalazcy, tacy jak na przykład Alessandro Volta, George Stephenson czy Thomas A. Edison, których badania przełożyły się na dynamiczny rozwój wielu branż przemysłu czy w dalszej kolejności — nowych rodzajów usług, a także rosnącego stopnia ich umiędzynarodowienia.

W pierwszej połowie XIX wieku głównym centrum globalnego postępu naukowo-technicznego było niewątpliwie Imperium Brytyjskie, w szczególności za sprawą upowszechnienia doniosłej innowacji, jaką była maszyna parowa (por. tab. 1.2). Dzięki niej miał miejsce dynamiczny rozwój transportu morskiego i śródlądowego, a następnie również kolejowego. Z kolei badania podstawowe i stosowane prowadzone przez takich uznanych wynalazców jak M. Faraday czy A. Volta pozwoliły na późniejsze upowszechnienie się elektryczności. Należy również podkreślić, że już w tym okresie Stany Zjednoczone efektywnie włączyły się w globalny wyścig technologiczny, przyczyniając się między innymi do stworzenia podwalin rozwoju telekomunikacji.

Druga połowa XIX wieku przyniosła kolejne doniosłe wynalazki przemysłowe związane w głównej mierze z rozwojem energetyki i sieci elektroenergetycznych. Jakkolwiek Wielka Brytania nadal miała znaczny udział w globalnej działalności innowacyjnej, coraz silniejszą konkurencję stanowiły dla niej Stany Zjednoczone, a w Europie — zwłaszcza Niemcy. Zaznaczyło się również zjawisko, które w pełnej krasie uwidoczniło się dopiero w XX wieku, a mianowicie wpływ zamówień wojskowych i konfliktów zbrojnych na pojawianie się szeregu innowacji, a nawet późniejszy rozwój branż związanych z produkcją na potrzeby wojska. Takie amerykańskie wynalazki jak pralka, maszyna do pisania, gramofon czy zmywarka do naczyń zainicjowały natomiast rozkwit branży dóbr konsumpcyjnych. W kontynentalnej Europie prym z kolei wiodły przede wszystkim Niemcy i Francja, przy czym na szczególne podkreślenie zasługuje wkład niemieckich naukowców i wynalazców w późniejszy rozwój branży motoryzacyjnej. Co więcej, w tym okresie coraz większe znaczenie zaczęły odgrywać krajowe i międzynarodowe przepisy dotyczące ochrony praw własności intelektualnej, czego przykładem były między innymi spory dotyczące wynalezienia żarówki czy telefonu.

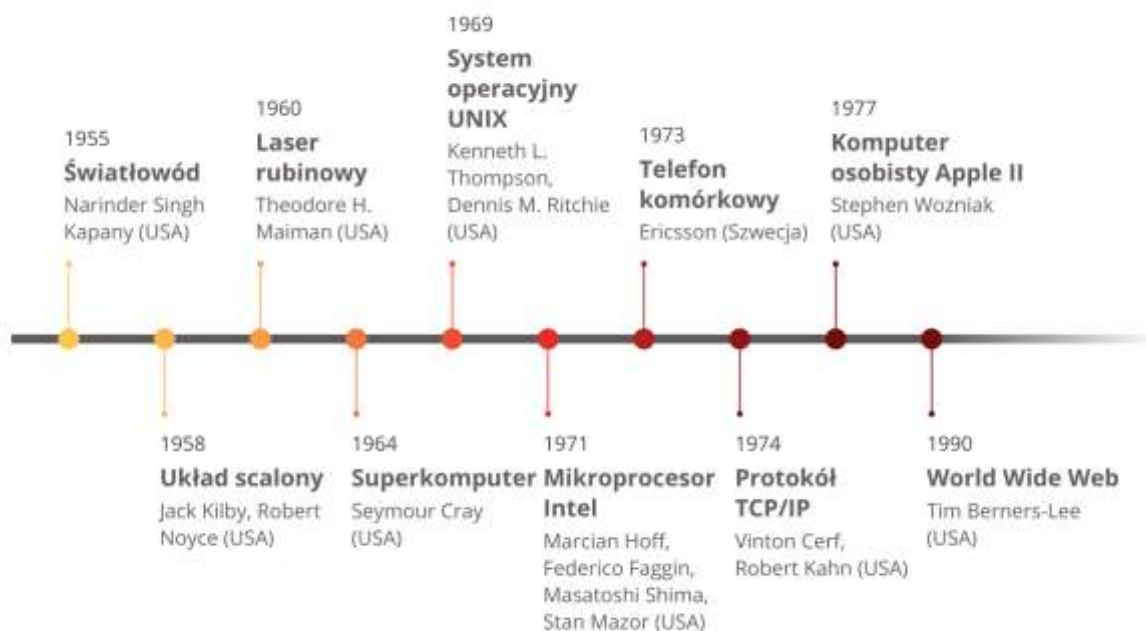
Tabela 1.2. Wybrane najważniejsze wynalazki w XIX oraz w pierwszej połowie XX wieku

Okres	Wielka Brytania	Stany Zjednoczone	Europa (kontynentalna)
I połowa XIX wieku	• tokarka (H. Maudslay) • powóz parowy (R. Trevithick) • silnik zewnętrznego spalania (R. Stirling) • lokomotywa parowa (G. Stephenson) • mechaniczna maszyna licząca (Ch. Babbage) • transatlantycki statek parowy (I.K. Brunel) • prądnicą prądu stałego (M. Faraday) • ogniwo paliwowe (W. Grove)	• parowiec napędzany śrubą (J. Stevens) • handlowy statek parowy (R. Fulton) • żniwiarka (C.H. McCormick) • silnik prądu stałego (T. Davenport) • rewolwer (S. Colt) • telegraf elektryczny (S. Morse) • pług stalowy (J. Deere) • guma wulkanizowana (Ch. Goodyear) • maszyna do szycia (E. Howe)	• bateria (A. Volta) • maszyna tkacka (J.M. Jacquard) • oświetlenie gazowe (F.A. Winsor) • maszyna drukarska (F. Koenig) • fotografia (J.N. Niépce, L.J. Daguerre) • turbina wodna (B. Fourneyron) • maszyna do szycia (B. Thimonnier)
II połowa XIX wieku	• produkcja stali (H. Bessemer) • piec martenowski (W. Siemens) • fotografia kolorowa (J.C. Maxwell) • torpeda (R. Whitehead) • bicykl (J. Starley) • sygnalizacja świetlna (J.P. Knight) • telefon (patent – A.G. Bell) • turbina parowa (Ch. Parsons) • karabin maszynowy (H. Maxim) • opona (J.B. Dunlop)	• produkcja stali (W. Kelly) • pralka (W. Blackstone) • kartacznica (R. Gatling) • metro (A.E. Beach) • maszyna do pisania (Ch.L. Sholes) • celulozoid (J.W. Hyatt) • fonograf (T.A. Edison) • żarówka (patent – T.A. Edison) • mechaniczna kasa rejestrująca (J.J. Ritty) • silnik prądu przemiennego, transformator (N. Tesla) • zmywarka do naczyń (J. Cochrane) • gramofon (E. Berliner) • okręt podwodny (J.Ph. Holland)	• żyroskop (J. Foucault) • silnik wewnętrznego spalania (É. Lenoir) • akumulator kwasowo-ołowiowy (G. Planté) • konserwacja żywności (L. Pasteur) • dynamit (A. Nobel) • beton zbrojony (J. Monier) • silnik iskrowy (N.A. Otto) • automobil (K.F. Benz) • czterosuwowy silnik spalinowy (G. Daimler) • sterowiec (F. von Zeppelin) • silnik wysokoprężny (R. Diesel) • szybowiec (O. Lilienthal) • kinematograf (bracia Lumière) • telegraf bezprzewodowy (G. Marconi)
I połowa XX wieku	• dioda próżniowa (J.A. Fleming) • telewizja (J.L. Baird, I. Shoenberg) • penicylina (A. Fleming) • radar (R.A. Watson-Watt) • silnik odrzutowy (F. Whittle) • komputer przechowujący instrukcje w pamięci (T. Kilburn)	• samolot (bracia Wright) • kompas żyroskopowy (E.A. Sperry) • taśma produkcyjna samochodów (H. Ford) • produkcja szkła płaskiego (I.W. Colburn) • lampa rentgenowska (W.D. Coolidge) • silnik raketowy na paliwo ciekłe (R.H. Goddard) • cyklotron (E.O. Lawrence) • kserografia (Ch. Carlson) • śmigłowiec jednowirnikowy (I. Sikorsky) • komputer ENIAC (J.W. Mauchly) • tranzystor (J. Bardeen, W.H. Brattain, W.B. Shockley) •	• faks (A. Korn) • śmigłowiec (L. Breguet) • świeca zapłonowa (R. Bosch) • mikroskop elektronowy (E. Ruska) • samolot odrzutowy (H.J. Pabst von Ohain) • rakiet balistyczna (W. von Braun) • akwalung (J. Cousteau) • reaktor jądrowy (E. Fermi) • komputer (K. Zuse)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Encyklopedii Britannica, <https://www.britannica.com/technology/invention-technology/A-chronology-of-invention> (dostęp: 20.06.2021)

Najważniejsze wynalazki pierwszej połowy XX wieku były przede wszystkim owocem wyścigu technologicznego związanego z pierwszą i drugą wojną światową. Wielka Brytania, która w konsekwencji dwóch globalnych konfliktów zbrojnych utraciła pozycję światowego hegemonu na rzecz Stanów Zjednoczonych, nadal odgrywała doniosłą rolę w światowej nauce i technice. Stany Zjednoczone stały się jednak światowym liderem, jeśli chodzi o

komercjalizację wynalazków i efektów prac badawczo-rozwojowych. Wyścig zbrojeń poprzedzający drugą wojnę światową ugruntował z kolei renomę niemieckich naukowców, których prace i odkrycia naukowe były następnie wykorzystywane przez zwycięskie kraje alianckie, w szczególności przez przemysł Stanów Zjednoczonych i Związku Radzieckiego, a przyczyniły się między innymi do rozwoju branży lotniczej, raketowej czy kosmicznej.



Rys. 1.2. Najważniejsze osiągnięcia trzeciej rewolucji przemysłowej

Źródło: opracowanie własne.

Należy wspomnieć, że przedstawione na rysunku 1.2 wynalazki charakterystyczne dla trzeciej rewolucji przemysłowej były po części rozwinięciem odkryć z wcześniejszych jej etapów [Rifkin, 2012]. Wystarczy wspomnieć mechaniczną kasę rejestrującą J.J. Ritty’ego, telegraf bezprzewodowy G. Marconiego czy pierwowzór współczesnych komputerów opracowany przez T. Kilburna, a następnie twórczo rozwinięty w postaci komputera ENIAC. Przełomowe odkrycia w naukach ścisłych, które były prowadzone coraz częściej przez międzynarodowe zespoły badaczy, przyczyniły się szybkiego rozwoju branż wysokiej techniki, takich jak wojskowa, farmaceutyczna, elektroniczna czy chemiczna. Pozwoliło to na rozwój nowoczesnej komunikacji światłowodowej i bezprzewodowej oraz informatyki, przyczyniając się od lat 60. i 70. XX wieku do gwałtownego przyspieszenia komputeryzacji i automatyzacji w ówczesnej gospodarce światowej, a w ich następstwie do pojawienia się pod koniec XX wieku kolejnej przełomowej innowacji — Internetu [Schwab, 2018, s. 22–23].

1.3. Współczesny etap międzynarodowego podziału pracy

Jakkolwiek nie można dokładnie określić, kiedy nastąpiła transformacja teleinformatycznego etapu międzynarodowego podziału pracy w jego formę współczesną, czynnikiem mającym niewątpliwie wpływ na ten proces miało upowszechnienie się internetu jako medium komunikacyjnego oraz związana z tym diametralna zmiana paradygmatu społeczno-ekonomicznego. Za sprawą rozwoju telekomunikacji — najpierw kablowej, a później także światłowodowej i bezprzewodowej — Internet stał się dostępny z prawie każdego miejsca na Ziemi, a konkurencyjność podmiotów (w szczególności korporacji transnarodowych) na rynku globalnym oraz kierunki specjalizacji międzynarodowej stały się w coraz większym stopniu uzależnione od dostępu do informacji i danych elektronicznych [Buckley, Ghauri, 2004]. Tym samym tradycyjny, nadal formalnie stosowany podział na kraje rozwinięte (usługowe i przemysłowe) oraz rozwijające się (surowcowo-rolne), bądź według klasyfikacji Banku Światowego — na gospodarki o różnym poziomie dochodu *per capita*, należy uzupełnić o ich podział w zależności od dostępu do światowych zasobów danych. Obserwując rozwój gospodarki światowej w ostatnich dekadach, można zauważyć, że gospodarki z dostępem do globalnej infostrady zyskują pod względem konkurencyjności i innowacyjności, natomiast kraje, których dostęp do Sieci jest z różnych względów ograniczony, będą skazane na marginalizację [Castells, 2001; James, 2003]. Innymi słowy, istotną determinantą współczesnego rozwoju społeczno-gospodarczego jest możliwość efektywnego gromadzenia, filtrowania, przetwarzania oraz praktycznego wykorzystywania olbrzymich zasobów danych, co pozwala w konsekwencji na ich monetyzację.

Trzeba jednak zaznaczyć, że na etapie współczesnym nadal istotną rolę odgrywają czynniki, które miały istotny wpływ na kształtowanie się międzynarodowego podziału pracy w okresach wcześniejszych, tj. przede wszystkim strukturalne (dostęp do kapitału, dostęp do wysoko wykwalifikowanych kadr) oraz techniczno-technologiczne. Zjawiska charakterystyczne dla etapu przemysłowego ulegają tym samym dalszej intensyfikacji — rośnie znaczenie usług w wymianie międzynarodowej oraz w podnoszeniu się poziomu zamożności niektórych krajów, pogłębia się specjalizacja wewnątrzgałęziowa, rośnie tempo przemian technologicznych w sferze produkcji (związanych z automatyzacją oraz komputeryzacją procesów wytwórczych, co sprzyja z kolei rozwijaniu produkcji wielkoseryjnej i masowej), podnosi się jakość i wydajność pracy, rosną wydatki związane z pracami badawczo-rozwojowymi, a postęp naukowo-techniczny staje się podstawowym czynnikiem rozwoju cywilizacyjnego.

Tabela 1.3. Wybrane wskaźniki rozwoju społeczeństwa sieciowego w latach 1990–2019

Wyszczególnienie	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2000= 100
Użytkownicy Internetu (procent populacji)	0,0	0,7	6,7	15,7	28,8	41,7	49,0*	728
Szerokopasmowy dostęp do Internetu (na 100 osób)	.	.	0,8	3,7	7,8	11,5	15,7	1872
Abonenci telefonii komórkowej (na 100 osób)	0,2	1,6	12,0	33,8	76,1	97,4	109,4	908

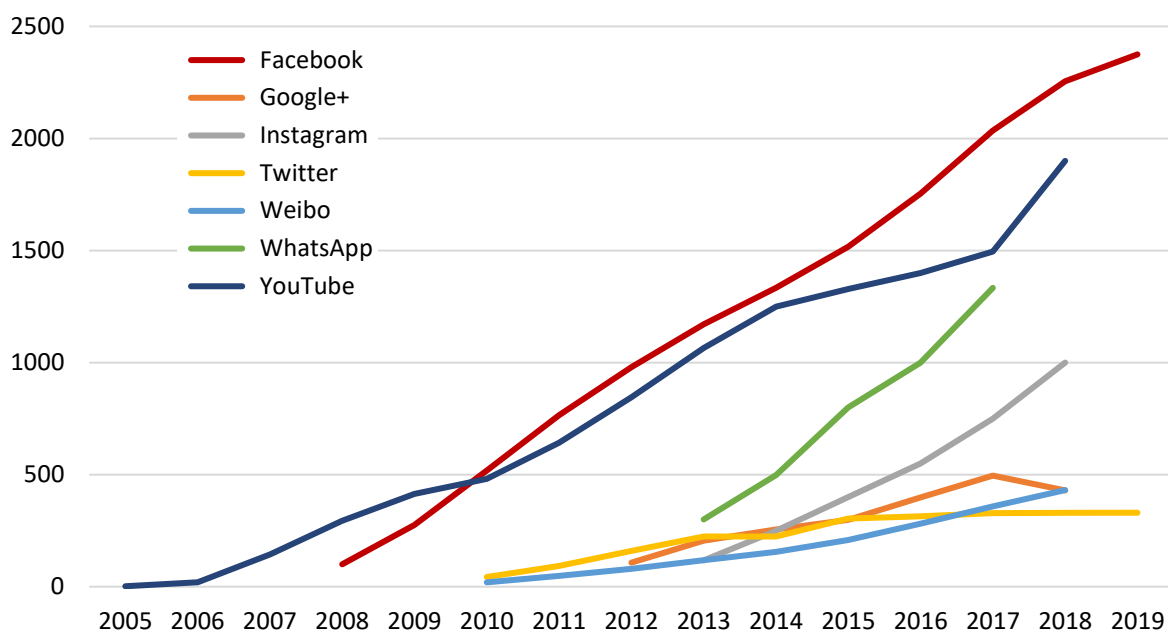
* Dane z 2017 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/> (dostęp: 29.06.2021).

Przedstawione w tabeli 1.3 dane potwierdzają rosnące znaczenie Internetu oraz technologii informacyjno-komunikacyjnych we współczesnym świecie. W ostatnich dwóch dekadach liczba użytkowników Internetu jako odsetek populacji na świecie wzrosła ponad siedmiokrotnie, w rezultacie czego prawie połowa światowej populacji korzystała w 2017 roku z globalnej Sieci. Nie byłoby to zapewne możliwe dzięki dokonującemu się jednocześnie postępowi w telekomunikacji. W latach 2000–2019 prawie 19-krotnie zwiększyła się penetracja szerokopasmowego internetu, natomiast liczba abonentów telefonii komórkowej zbliżyła się do wartości 110 na 100 osób. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że dostęp do sieci komórkowych zapewniających szybkości transferu na poziomie co najmniej 4G jest domeną przede wszystkim krajów bogatej Północy, natomiast w wielu krajach afrykańskich lub Ameryki Łacińskiej takie rozwiązania techniczne nie są na razie powszechne [GSMA, 2021, s. 8–9]. Z drugiej jednak strony, między innymi za sprawą procesów demograficznych (tj. znacznie wyższego niż w krajach Północy odsetka osób młodych) kraje biedniejszego Południa stanowią atrakcyjny rynek zbytu między innymi dla takich korporacji globalnych jak Facebook [Łukasik, 2020].

Powstanie i upowszechnienie się globalnej sieci teleinformatycznej umożliwiło różnorodnym interesariuszom osiąganie wymiernych korzyści gospodarczych, jak również leżało u źródeł dynamicznego rozwoju rynków elektronicznych (zwanych niekiedy także elektroniczną przestrzenią rynkową — *e-marketspace*). Nie była to jednak wyłącznie rewolucja w aspekcie technologicznym i ekonomicznym sensu stricto, gdyż pociągnęła za sobą szereg fundamentalnych, globalnych przemian o charakterze politycznym oraz społecznym. Wśród politycznych skutków rozwoju internetu i nowoczesnych środków komunikacji należy wymienić przyczynianie się do wzrostu świadomości obywatelskiej, możliwość uczestniczenia w ważnych wydarzeniach (np. kampaniach wyborczych i akcjach charytatywnych) oraz wyrażania swoich

poglądów bezpośrednio na forum globalnym¹. Z kolei do implikacji społecznych można zaliczyć między innymi zacieranie się różnic kulturowych (co niekiedy jest utożsamiane z utratą tożsamości społecznej), pojawianie się nowych możliwości spędzania wolnego czasu, przemiany dotyczące tworzenia i zacieśniania więzi międzyludzkich, czy też możliwości zdalnej pracy i nauki, co z całą wyrazistością jest widoczne w okresie trwającej właśnie pandemii COVID-19.



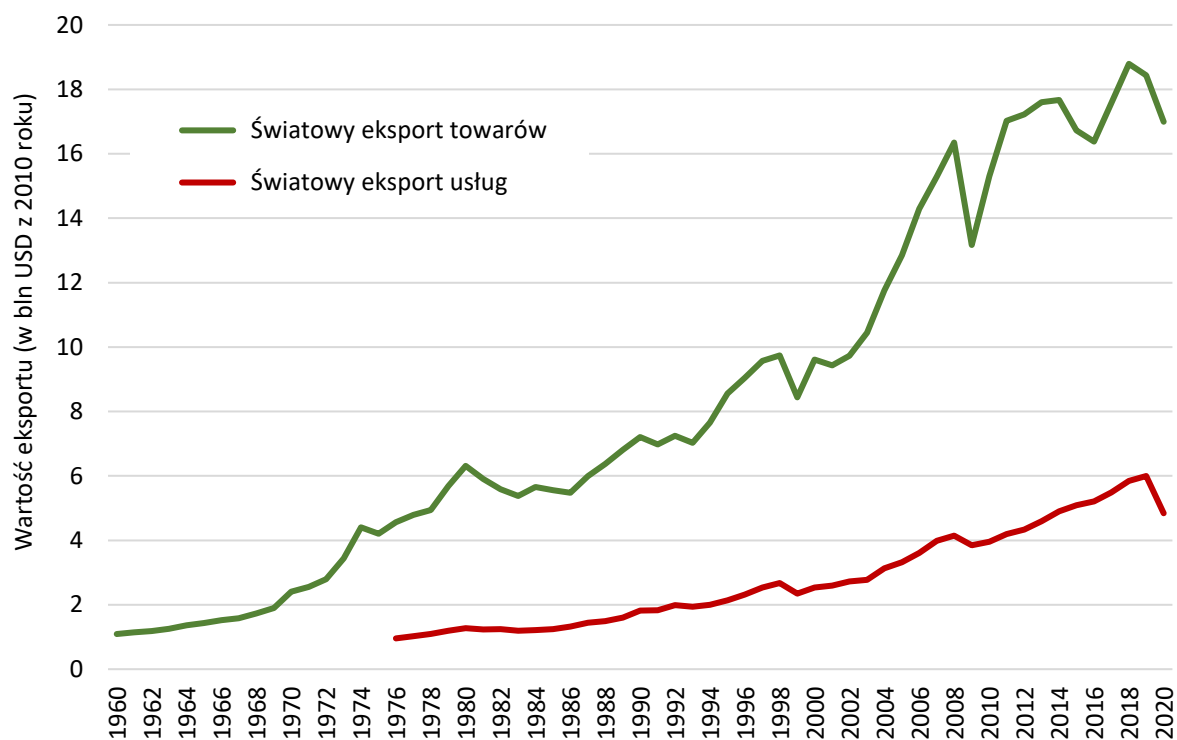
Rys. 1.3. Użytkownicy wybranych mediów społecznościowych w latach 2005–2019
(w milionach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych pochodzących z witryn Statista, <https://www.statista.com/> oraz The Next Web, <https://thenextweb.com/tech/2019/06/11/most-popular-social-media-networks-year-animated/> (dostęp: 02.07.2021).

Należy w tym miejscu wspomnieć, że przemiany zachodzące współcześnie na rynkach międzynarodowych są po części zdeterminowane rozwojem mediów społecznościowych. Na rysunku 1.3 zaprezentowano zmiany liczby użytkowników najpopularniejszych mediów społecznościowych w ostatnim piętnastoleciu. Nawet biorąc pod uwagę, że część internautów korzysta równocześnie z kilku mediów społecznościowych, np. Facebooka, Instagrama i Twittera, liczba ich użytkowników sięga co najmniej kilku miliardów — w 2019 roku z samego Facebooka korzystał co trzeci mieszkaniec Ziemi. Z jednej strony popularność serwisów społecznościowych zapewnia szerokie możliwości dotarcia z przekazem marketingowym do licznej

¹ Ponieważ globalna Sieć jest słusznie postrzegana jako medium pozwalające na swobodną wymianę informacji, ograniczanie dostępu do niej jest jednym ze sposobów prowadzenia walki politycznej. W krajach, w których władze sprawują reżimy totalitarne czy autorytarne, dostęp do internetu jest znacznie utrudniony, a także prowadzone są próby cenzurowania przekazywanych tą drogą treści.

populacji na całym świecie, sprzyja rozwojowi komplementarnych rynków elektronicznych (oprócz tradycyjnego e-commerce istnieje np. *f-commerce*, *m-commerce* czy *t-commerce*²), umożliwia szybką wymianę informacji oraz bezpośredni kontakt między producentami, handlowcami i konsumentami [Gryczka, 2013], jak również może przyczyniać się do ujednolicania wzorców konsumpcyjnych w różnych krajach. Jednak po niespełna dwóch dekadach rozwoju mediów społecznościowych pojawiło się także wiele związanych z nimi zjawisk negatywnych. Chodzi między innymi o coraz większy szum informacyjny spowodowany olbrzymią ilością danych udostępnianych w internecie, zalew nieprawdziwych informacji i tzw. fake newsów, rozpowszechnianie teorii spiskowych czy tworzenie się tzw. baniek informacyjnych [Pariser, 2011]. Tym samym internet, który w swej istocie powinien ułatwiać komunikację oraz wymianę wartościowych informacji i wiedzy, staje się medium po części wykluczającym, a nawet pogłębiającym nierówności społeczne.



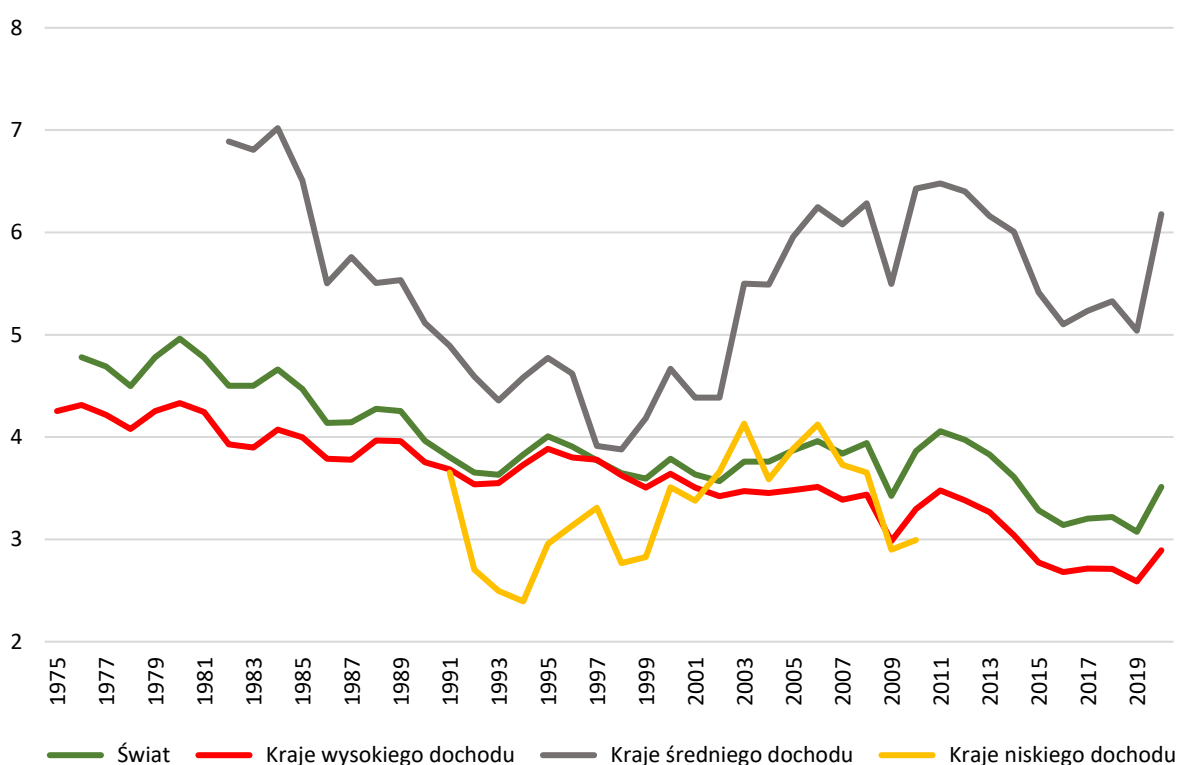
Rys. 1.4. Wartość eksportu towarów i usług w latach 1960–2020

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/>; UNCTAD, https://unctadstat.unctad.org/wds/Report-Folders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en (dostęp: 29.06.2021).

² *F-commerce* jest odmianą rynku elektronicznego wywodzącą się właśnie z mediów społecznościowych („f” od „Facebook”), *m-commerce* wiąże się z rozwojem technologii mobilnych i sieci bezprzewodowych (*mobile commerce*), natomiast *t-commerce* to segment rynku elektronicznego dostępny za pośrednictwem telewizji cyfrowej (smart TV).

Kolejnym potwierdzeniem coraz szybszego tempa przekształceń w gospodarce światowej, a zarazem zmian zachodzących we współczesnym międzynarodowym podziale pracy jest dynamiczny wzrost obrotów w handlu międzynarodowym. Przedstawione na rysunku 1.4 dane dotyczące światowego eksportu towarów i usług wskazują, że w ostatnich 60 latach wywóz towarów w ujęciu realnym wzrósł ponad 15-krotnie, natomiast eksport usług od początku lat 70. XX wieku — przeszło 5-krotnie. Należy także podkreślić, że największy wzrost obrotów w handlu międzynarodowym przypadał na ostatnie trzy dekady, i to mimo szeregu kryzysów globalnych, które miały miejsce w tym okresie.

Na rysunku 1.5 przedstawiono z kolei zmianę relacji wartości eksportu towarów do wartości eksportu usług w latach 1976–2020. Obserwowany wyraźny trend rosnący wiąże się z poprawą tego wskaźnika na korzyść usług, tj. w połowie lat 70. ubiegłego stulecia analizowana relacja w przypadku obrotów światowych wynosiła mniej więcej 5:1, natomiast obecnie zmalała do 3,5:1. Zmiana ta może wydawać się niewielka, jednak biorąc pod uwagę fakt, że dokonała się w niespełna pół wieku, a także to, że ze swej natury usługi charakteryzują się znacznie niższym stopniem umiędzynarodowienia obrotów niż towary, wskazuje to na rosnące znaczenie usług wraz z postępującą serwicyzacją gospodarek.



Rys. 1.5. Relacja wartości eksportu towarów do wartości eksportu usług w latach 1975–2020

Źródło: jak pod rysunkiem 4.1.

Analizując tę relację w odniesieniu do grup krajów według klasyfikacji Banku Światowego [World Bank, 2021a; World Bank, 2021b], można zauważyć, że w analizowanym okresie kształtowała się ona całkowicie odmiennie w krajach o niższym dochodzie narodowym *per capita*. W krajach niskiego i średniego dochodu zmiany były zbliżone — co do kierunku i wielkości — zwłaszcza w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia, przy czym największa poprawa na korzyść eksportu usług wystąpiła w krajach średniego dochodu na przełomie tych dekad. Diametralnie inna sytuacja miała miejsce w dwóch dekadach XXI wieku — w przeciwieństwie do krajów wysokiego dochodu, w krajach średniego dochodu relacja wartości eksportu towarów do eksportu usług wzrosła powyżej 6. Jakkolwiek przy tak dużym stopniu agregacji danych trudno jednoznacznie określić przyczyny tego zjawiska, jedną z bardziej prawdopodobnych może być właśnie specjalizacja międzynarodowa tych krajów. Dość często specjalizują się one bowiem w wydobywaniu i przetwórstwie surowców mineralnych i paliw (ostatnio często gwałtownie drożących na rynkach międzynarodowych), natomiast mają relatywnie niewielki udział w eksporcie usług, w szczególności drogich, wymagających specjalistycznej wiedzy usług biznesowych.

Tabela 1.4. Wartość dodana i produktywność w sektorach gospodarki w latach 2000–2019

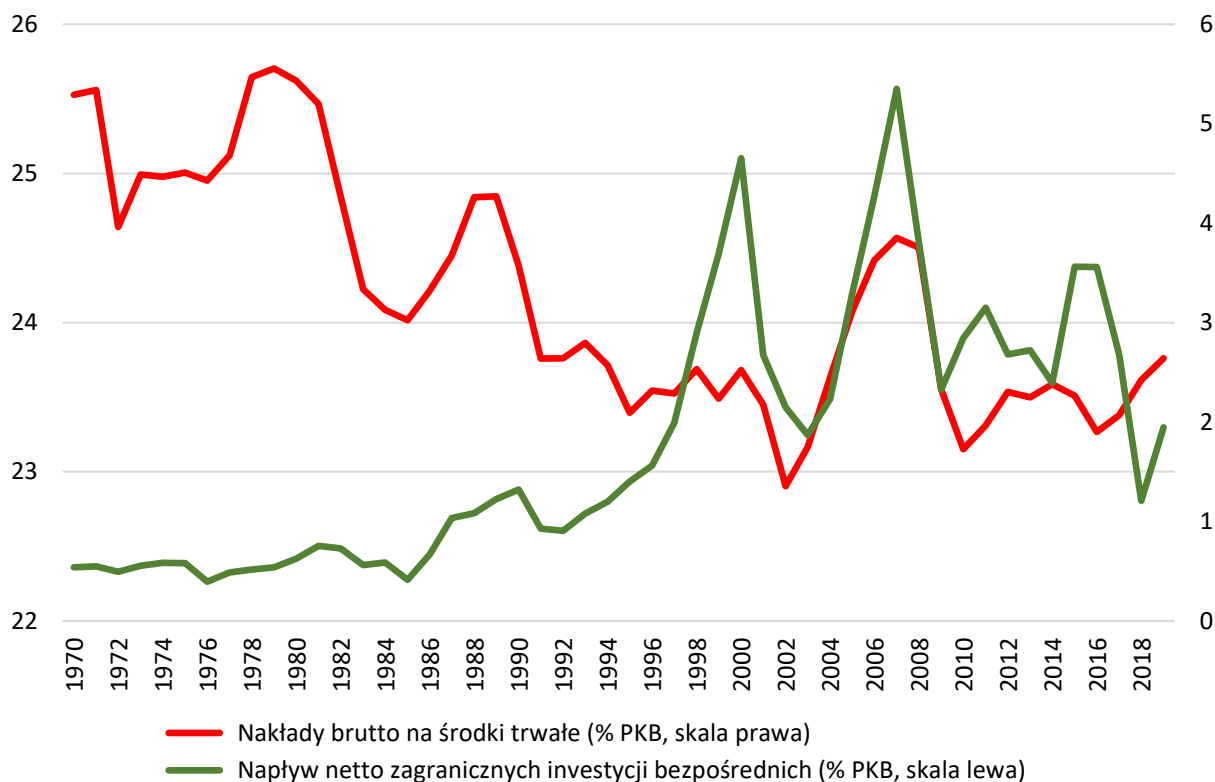
Kraje	Sektor	Udział w wartości dodanej (%, na podstawie wartości w USD z 2010 roku)			Produktywność (wartość dodana na 1 zatrudnionego, kraje wysokiego dochodu = 100)			
		2000	2010	2019	2000	2010	2019	2000=100
Wysokiego dochodu	R	1,6	1,4	1,3	100	100	100	174
	P	28,0	25,3	24,8	100	100	100	123
	U	70,4	73,3	73,8	100	100	100	109
Średnio wysokiego dochodu	R	9,6	7,3	6,4	7	9	12	310
	P	37,6	39,2	38,9	16	20	29	221
	U	52,8	53,5	54,7	14	18	21	169
Średnio niskiego dochodu	R	19,3	16,3	14,8	5	5	5	209
	P	36,7	34,9	31,9	10	10	10	120
	U	44,0	48,8	53,3	6	8	10	169
Niskiego dochodu	R	32,4	25,8	24,6	2	2	2	132
	P	29,4	29,9	29,2	6	6	5	103
	U	38,2	44,3	46,2	3	4	3	118

R — rolnictwo, rybołówstwo i leśnictwo, P — przemysł (z budownictwem), S — usługi

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego, <https://data.world-bank.org/indicator>; International Labour Organization, <https://ilostat.ilo.org/> (dostęp: 25.06.2021).

Podobne zmiany można zaobserwować, jeśli chodzi o strukturę wartości dodanej (por. tab. 1.4). W ostatnich dwóch dekadach w krajach wysokiego dochodu nieznacznie zwiększył się udział sektora usług w wartości dodanej (kosztem przemysłu), zbliżając się do 75 procent.

W krajach średniego dochodu istotnie wzrósł udział przemysłu w wartości dodanej, osiągając poziom prawie 40 procent w krajach średnio wysokiego dochodu. Udział usług w wartości dodanej zwiększył się przede wszystkim w krajach średnio niskiego dochodu — o prawie 10 punktów procentowych. Podobne tendencje można także zaobserwować w krajach niskiego dochodu, tj. malejący, choć nadal największy spośród wszystkich grup krajów udział rolnictwa, rybołówstwa i leśnictwa, utrzymujący się na poziomie niespełna 30 procent udział przemysłu, a także zwiększający się dość szybko udział usług w wartości dodanej.



Rys. 1.6. Nakłady brutto na środki trwałe i napływ netto zagranicznych inwestycji bezpośrednich w latach 1970–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/> (dostęp: 25.06.2021).

Znacznie trwalsze tendencje można dostrzec w zakresie produktywności mierzonej jako wartość dodana przypadająca na 1 zatrudnionego. W analizowanym okresie wskaźnik ten uległ poprawie w przemyśle krajów średnio wysokiego dochodu, co można interpretować jako efekt stopniowego doganiania krajów wysokiego dochodu przez część krajów nowo uprzemysłowionych. Mimo to produktywność w przemyśle krajów średnio wysokiego dochodu stanowiła w 2019 roku zaledwie 30% produktywności w tym sektorze w krajach wysokiego dochodu. Jeśli jednak spojrzeć na dynamikę zmian w latach 2000–2019, w krajach wysokiego dochodu największy wzrost produktywności wystąpił w sektorze rolnym (o 75%), a najmniejszy — w

usługach. W pozostałych grupach krajów, w szczególności zaś — w krajach średniego dochodu, wzrost produktywności odnotowano we wszystkich sektorach, i to w stopniu znacznie przewyższającym kraje wysokiego dochodu. Może to jednak wynikać z efektu bazy, ponieważ jak wspomniano nominalne produktywności we wszystkich sektorach krajów wysokiego dochodu są wielokrotnie wyższe niż w pozostałych grupach.

Zaprezentowane powyżej tendencje wiążą się w dużym stopniu ze zmianami aktywności inwestycyjnej, co przedstawiono na rysunku 1.6. Z powodu niedostępności danych nie było możliwe ukazanie ich w odniesieniu do grup krajów, jednak nawet dane zagregowane dla całego świata dostarczają wartościowych spostrzeżeń. Zastanawiający jest przede wszystkim wyraźnie malejący trend nakładów brutto na środki trwałe w relacji do PKB, chociaż w ujęciu nominalnym wyniósł on zaledwie kilka punktów procentowych w całym badanym okresie. Z kolei w ciągu trzech ostatnich dekad istotnie zwiększył się napływ zagranicznych inwestycji bezpośrednich w skali świata, który byłby zapewne jeszcze większy, gdyby nie wyhamowanie tego rodzaju inwestycji spowodowane ostatnimi kryzysami gospodarczymi. Zaprezentowane tendencje można zatem powiązać z dokonującą się w ostatnich dekadach globalną relokacją kapitału dokonywaną przez korporacje transnarodowe, które wykorzystywały zagraniczne inwestycje bezpośrednie do pogłębiania stopnia umiędzynarodowienia działalności, a w ich rezultacie — do maksymalizowania wartości dodanej w każdym kolejnym ogniwie łańcucha wartości [Zorska, 2007, s. 172–269; Rosińska-Bukowska, 2009, s. 176–222].

Oprócz wymienionych zjawisk towarzyszących kształtowaniu się współczesnego etapu międzynarodowego podziału pracy, do innych nie mniej ważnych należy zaliczyć:

- odbudowę przemysłu w ramach procesu reindustrializacji, co jest szczególnie widoczne w krajach wysokiego dochodu w branżach zaawansowanych technologii związanych m.in. z czwartą rewolucją przemysłową, przy czym w związku z postępującą robotyzacją i automatyzacją procesów wytwórczych niekoniecznie jej skutkiem musi być tworzenie nowych miejsc pracy (z wyjątkiem wzrostu zatrudnienia pracowników o wysokich kwalifikacjach);
- przemiany jakościowe zachodzące na rynkach usług związane z postępem naukowo technicznym — coraz większe możliwości świadczenia usług na odległość na rynkach elektronicznych, rozwój innowacji usługowych, na przykład tzw. fintechów czy upowszechnianie się technologii blockchain nie tylko w związku z rozwojem rynku kryptowalut, ale również możliwością jej zaimplementowania w wielu usługach, na przykład świadczonych przez administrację publiczną;
- wyraźne wyhamowanie procesów integracyjnych w skali globalnej, na co koronnym dowodem był brexit oraz problemy wewnętrzne Unii Europejskiej; co więcej, szereg nowych

inicjatyw integracyjnych, takich jak Transatlantyckie Partnerstwo w dziedzinie Handlu i Inwestycji (TTIP) czy Partnerstwo Transpacyficzne (TPP), musi mierzyć się obecnie z wieloma problemami natury gospodarczo-politycznej, z których największe kontrowersje budzi wyjątkowy status korporacji transnarodowych, np. proponowany w ramach porozumienia TTIP mechanizm rozstrzygania sporów na linii inwestor-państwo (ISDS) [Wellhausen, 2016];

- nowe zjawiska związane z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa danych i informacji, ochroną prywatności i informacji wrażliwych, jak również przestrzeganiem praw własności intelektualnej, chociaż z drugiej strony rozwój Internetu oraz nowe możliwości współpracy sieciowej pozwoliły na upowszechnienie się nowych modeli innowacyjności, jak na przykład *open innovation* czy *reverse innovation*, w których bezwzględna ochrona własności intelektualnej nie jest najważniejsza [Chesbrough, 2006; Lindegaard, 2010; Bingham, Spradlin, 2011; Govindarajan, Trimble, 2012];
- upowszechnianie się technologii telekomunikacyjno-informatycznych prowadzące do jakościowych zmian w systemach zarządzania nie tylko korporacjami transnarodowymi, ale również mniejszymi przedsiębiorstwami, organizacjami i instytucjami; dzięki temu zwiększa się efektywność realizowanych procesów biznesowych, zacieśniają się kontakty z dostawcami, odbiorcami i klientami w międzynarodowych łańcuchach dostaw, poprawie ulega obieg informacji w przedsiębiorstwie, zwiększają się możliwości nieskrępowanej wymiany informacji między różnymi interesariuszami oraz gromadzenia danych wykorzystywanych w różnych obszarach prowadzonej działalności;
- większe możliwości intensyfikacji produkcji potokowej za sprawą automatyzacji i robotyzacji procesów wytwórczych, przy czym pojawiają się również możliwości produkcji dóbr zindywidualizowanych (na żądanie) w ramach koncepcji inteligentnej fabryki (*smart factory*);
- rosnącą presję na samodoskonalenie oraz uczenie ustawiczne w związku z szybkimi zmianami zachodzącymi na rynku pracy, w szczególności — zwiększającym się zapotrzebowaniem na wykwalifikowane kadry sprawnie posługujące się rozwiązaniami i narzędziami cyfrowymi; może to skutkować z jednej strony większą mobilnością pracowników (bądź przeciwnie — upowszechnianiem się modeli nauki i pracy zdalnej, tak charakterystycznych dla okresu pandemii COVID-19), z drugiej zaś prowadzić do wykluczenia z rynku pracy pracowników o niższych kwalifikacjach, wykonujących proste zadania, powiększania się

prekariatu czy nadużywania elastycznych form zatrudnienia niezapewniających stabilności ekonomicznej i społecznej;

- zacieśnianie się powiązań kooperacyjnych i współpracy międzynarodowej (zarówno w sferze realnej, jak i cyfrowej), przy czym największy udział w opracowywaniu nowoczesnych produktów i usług nadal mają wiodące koncerny międzynarodowe prowadzące prace badawczo-rozwojowe i komercjalizacyjne we własnym zakresie bądź pozyskujące innowacyjne projekty w drodze fuzji lub przejęć;

Tabela 1.5. Struktura nakładów brutto na B+R według sektora i rodzaju prac B+R w 2018 roku

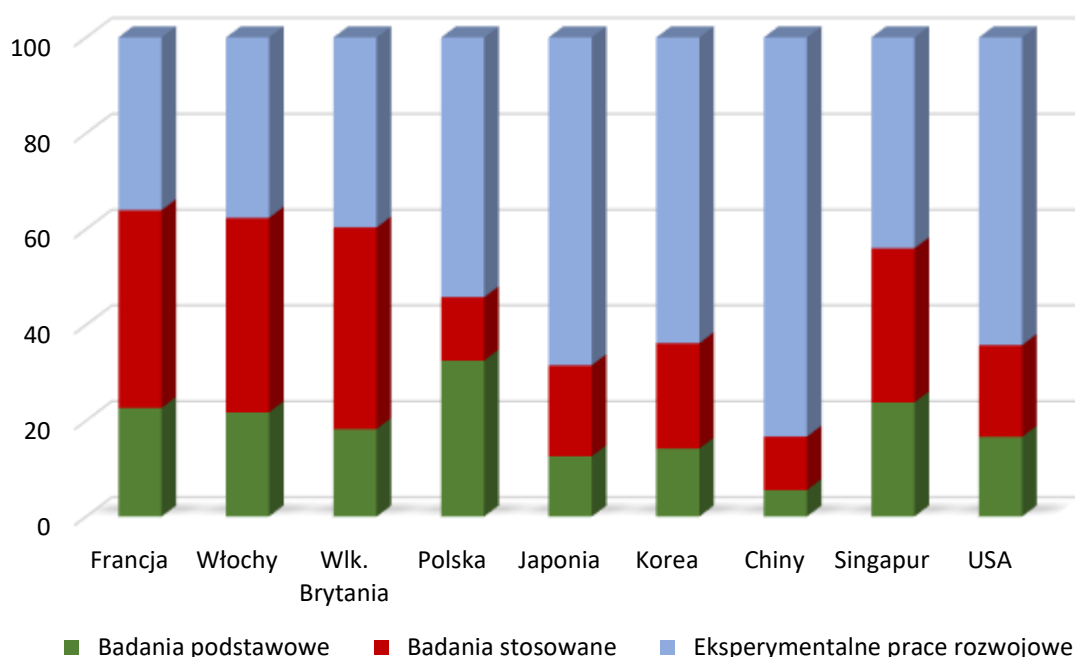
Wyszczególnienie		Francja	Niemcy	Włochy	Wlk. Brytania	Polska	Japonia	Korea Płd.	Chiny	Singapur	USA
GII 2020		12.	9.	28.	4.	38.	16.	10.	14.	8.	3.
Ogółem	Pr	65,5	68,9	63,3	67,6	66,1	79,4	80,3	77,4	60,7	73,4
	Pub	12,5	13,5	12,4	6,6	1,9	7,8	10,1	15,2	11,5	9,9
	U	20,5	17,6	22,8	23,6	31,7	11,6	8,2	7,4	27,7	12,3
	NP	1,6	0,0	1,5	2,2	0,3	1,3	1,4	0,0	0,0	4,4
Badania podstawowe	Pr	21,2	·	23,1	36,0	22,4	49,3	59,9	3,1	46,0	28,9
	Pub	15,7	·	15,2	15,1	2,9	13,7	18,3	42,8	1,9	11,1
	U	60,5	·	58,9	42,9	74,4	34,8	20,8	54,1	52,1	46,5
	NP	2,6	·	2,8	5,9	0,3	2,2	1,1	0,0	0,0	13,6
Badania stosowane	Pr	66,3	·	59,0	63,0	64,5	68,9	74,1	26,4	58,4	57,3
	Pub	18,2	·	20,1	6,5	2,2	13,2	12,4	41,1	9,2	17,4
	U	13,6	·	19,0	29,2	32,5	15,5	12,2	32,5	32,4	18,0
	NP	1,9	·	1,9	1,3	0,9	2,4	1,2	0,0	0,0	7,4
Eksperymentalne prace rozwojowe	Pr	92,4	·	91,0	86,9	92,7	93,3	87,0	89,2	70,5	90,0
	Pub	3,8	·	2,5	2,8	1,3	4,9	7,4	9,9	18,4	7,1
	U	3,2	·	6,2	8,7	5,8	1,2	4,0	1,0	11,1	1,8
	NP	0,6	·	0,3	1,5	0,1	0,6	1,5	0,0	0,0	1,1

Pr — przedsiębiorstwa, Pub — sektor publiczny, U — uczelnie wyższe, NP — badawcze organizacje non-profit; GII 2020 — pozycja danego kraju w rankingu Global Innovation Index 2020.

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie danych OECD, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD_TORD# (dostęp: 20.06.2021).

- rosnące nakłady na prace badawczo-rozwojowe (B+R) w krajach wysokiego dochodu, w szczególności zaś — w szybko rozwijających się krajach średnio wysokiego dochodu; według danych Banku Światowego, w latach 2000–2018 tego rodzaju wydatki zwiększyły się we wspomnianych grupach odpowiednio o 12% (z 2,33 do 2,60 procent PKB) i aż o 164% (z 0,68 do 1,80 procent PKB) [World Bank, 2021c]; z kolei zaprezentowane w tabeli 1.5 oraz na rysunku 1.7 dane wskazują, że sektor prywatny angażuje się przede wszystkim w badania stosowane oraz eksperymentalne prace rozwojowe, przy czym jest to szczególnie widoczne w krajach azjatyckich i Stanach Zjednoczonych, natomiast w krajach europejskich

większe jest zaangażowanie sektora publicznego i uczelni wyższych w badania podstawowe (większy udział sektora prywatnego w pracach B+R ma z reguły przełożenie na wyższą pozycję danej gospodarki w globalnym rankingu innowacyjności); należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że sektor publiczny i uczelnie wyższe ponoszą jednocześnie większe ryzyko związane z dużym odsetkiem niepowodzeń w przypadku badań podstawowych, natomiast sektor prywatny, a zwłaszcza korporacje transnarodowe — „prywatyzują korzyści” z tytułu komercjalizacji wiedzy [Mazzucato, 2015], co było szczególnie widoczne w roku 2020 w związku z badaniami i produkcją szczepionek na COVID-19;



Rys. 1.7. Udział trzech rodzajów prac B+R w wybranych krajach w 2018 roku

Źródło: jak pod tabelą 1.5.

- pogłębiającą się specjalizację technologiczną (*technology-based specialization*) związaną z wydłużaniem się globalnych łańcuchów dostaw i wartości dodanej [Lee, 2013], przy czym największe korzyści z tego tytułu osiągają przede wszystkim gospodarki przodujące w dziedzinach opartych na wysoko zaawansowanej wiedzy, takich jak m.in. informatyka, telekomunikacja, elektronika, fizyka kwantowa, biotechnologia czy farmacja.

Podsumowując przedstawioną charakterystykę współczesnego etapu międzynarodowego podziału pracy, należy jeszcze raz podkreślić coraz większe tempo zachodzących obecnie zmian. Co więcej, oprócz zjawisk pozytywnych kształtowaniu się specjalizacji międzynarodowej towarzyszy szereg niepokojących zjawisk negatywnych. Należy do nich zaliczyć m.in. nieprzewidywalne i destabilizujące światową gospodarkę przepływy inwestycji portfelowych o

charakterze spekulacyjnym, coraz częstsze kryzysy (w ostatnich dekadach — finansowy, migracyjny czy pandemiczny) o ponadregionalnym lub wręcz globalnym charakterze, pogłębiające się nierównowagi różnego rodzaju (społeczne, ekonomiczne, energetyczne, technologiczne, cyfrowe itp.), jak również coraz bardziej widoczne konsekwencje zmian klimatycznych w erze antropocenu. Jakkolwiek trudno na razie przewidywać, czy postęp naukowo-techniczny umożliwi ludzkości znalezienie w najbliższej przyszłości rozwiązań najbardziej palących problemów, można postawić tezę, że jedną z dróg mogących prowadzić do tego celu może być upowszechnianie się innowacji towarzyszących czwartej rewolucji przemysłowej.

1.4. Gospodarka 4.0 jako konsekwencja czwartej rewolucji przemysłowej

Według K. Schwaba, założyciela i prezesa Światowego Forum Ekonomicznego, termin „czwarta rewolucja przemysłowa” (*Industry 4.0* lub *4IR*) pojawił się po raz pierwszy na Targach w Hannoverze w 2011 roku. Zdaniem tego autora „stwarzając warunki do funkcjonowania *inteligentnych fabryk*, czwarta rewolucja przemysłowa kreuje świat, w którym wirtualne i fizyczne systemy produkcji współpracują ze sobą globalnie w sposób elastyczny, co umożliwia pełne dostosowanie produktów do życzeń klienta i tworzenie modeli operacyjnych” [2018, s. 23–24]. Oznacza to tym samym, że współpraca inteligentnych maszyn i systemów będzie prowadzić do fuzji i uzupełniania się różnych technologii i obszarów nauki, wywołując różnorodne interakcje w sferach fizycznych, cyfrowych i biologicznych, w odniesieniu do których K. Schwab używa również określenia „megatrendy”.

Istota czwartej rewolucji przemysłowej została także dość obszernie przedstawiona w raporcie opracowanym na zlecenie niemieckiej inicjatywy *Platform Industrie 4.0*. Według jego autorów „w przyszłości przedsiębiorstwa będą tworzyć globalne sieci obejmujące maszyny, systemy magazynowe i urządzenia produkcyjne w postaci systemów cyber-fizycznych. W środowisku produkcyjnym takie systemy obejmą inteligentne maszyny, systemy przechowywania oraz urządzenia produkcyjne zdolne do autonomicznej wymiany informacji, inicjowania działań oraz niezależnego sterowania wzajemnego” [Kagermann i in., 2013, s. 5; Cellary, 2019]. Można zatem zauważyć, że bezpośrednią konsekwencją czwartej rewolucji przemysłowej będzie rozwój współpracy „maszyna-maszyna” bez angażowania człowieka, który początkowo będzie w takich systemach pełnił przede wszystkim funkcję kontrolną i pomocniczą, a wraz z rozwojem komplementarnych względem siebie technologii cyfrowych jego rola ulegnie dalszej

marginalizacji. W rezultacie przyszłe systemy produkcyjne będą zapewne w pełni zautomatyzowane i nadzorowane przez algorytmy sztucznej inteligencji (SI)³.



Rys. 1.8. Zalety modelu produkcji zgodnej z koncepcją 4IR

Źródło: [Piątek, 2017].

Na podstawie informacji dostępnych w portalach branżowych, takich jak na przykład *Industry 4.0 – Portal Nowoczesnego Przemysłu* czy *Platforma Przemysłu Przyszłości*, do najważniejszych cech charakterystycznych oraz korzyści płynących z rozwoju technologii związanych z czwartą rewolucją przemysłową (por. rys. 1.8) można zaliczyć:

- unifikację świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu i technologii informacyjno-komunikacyjnych;
- reorganizację systemu funkcjonowania przedsiębiorstw przyszłości zgodnie z koncepcją inteligentnej fabryki (*smart factory*), obejmującą cały łańcuch wartości: od złożenia zamówienia i dostarczenia komponentów na potrzeby bieżącej produkcji, aż do wysyłki towaru do klientów i świadczenia usług posprzedażowych;
- większą indywidualizację wyrobów, a także możliwość oferowania jednorazowych i niepowtarzalnych serii produkcyjnych (elastyczność i zwinność), co przekłada się na lepszą obsługę klienta i lepsze dopasowanie asortymentu do jego potrzeb;
- większe oszczędności surowców, energii i czasu, a w konsekwencji — zmniejszenie kosztów, minimalizacja strat, wyeliminowanie wąskich gardeł i przestojów itp.;
- możliwość realizowania procesów wytwórczych zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju;

³ Należy zaznaczyć, że zdaniem niektórych autorów Przemysł 4.0 nie ma na celu tworzenia fabryk, w których ludzie zostają zastąpieni przez roboty. Za sprawą czwartej rewolucji przemysłowej fabryki staną się bowiem lepszym miejscem pracy, a dzięki nowym rozwiązaniom pracownicy otrzymają znacznie większe wsparcie niż do tej pory [Piątek 2017; Bendkowski 2017, s. 25–29].

- znaczną poprawę wydajności (przy zapewnieniu wysokiej jakości) dzięki możliwości szybkiej zmiany wielkości partii produkowanych wyrobów, zastosowaniu automatycznych procesów monitorowania i raportowania, jak również usprawnieniu procesu wprowadzenia nowych produktów oraz podejmowania decyzji biznesowych;
- zwiększenie stopnia dyfuzji wiedzy, informacji i danych zarówno w ramach przedsiębiorstwa, jak i w środowisku obejmującym różnych interesariuszy (m.in. dostawców, odbiorców, klientów);
- intensyfikację sieciowej wymiany informacji między ludźmi, maszynami i systemami IT;
- rozwój rozwiązań typu „maszyna-maszyna” czy „system-system” oraz ograniczenie, a następnie wyeliminowanie interwencji człowieka;
- stymulowanie procesów innowacyjnych za sprawą często zautomatyzowanego gromadzenia wiedzy na temat procesu produkcyjnego, łańcuchów dostaw i dystrybucji, wydajności biznesowej, a także samych produktów;
- możliwość realizowania rozproszonej produkcji na mniejszą skalę przez prosumentów, czego współcześnie przykładem jest branża fotowoltaiczna.



Rys. 1.9. Ekosystemy innowacji i nowych technologii w ramach koncepcji 4IR

Źródło: [Piątek, 2017].

Z oczywistych względów przedstawiona powyżej ogólna koncepcja Przemysłu 4.0 znajduje odzwierciedlenie i jest już urzeczywistniana w sektorze produkcyjnym, jednak leżące u jej podstaw technologie, zwłaszcza ICT, oraz różnego rodzaju innowacje mogą być wykorzystywane w znacznie szerszym zakresie. Jak można zauważyć na rysunku 1.9, koncepcja inteligentnej fabryki jest tylko jednym z wielu możliwych ekosystemów bazujących na nowoczesnych

technologiach telekomunikacyjno-informatycznych. Ekosystemy te są ze sobą powiązane i mogą obejmować inteligentne sieci energetyczne (*smart grid*), wspierać rozwój inteligentnego budownictwa (*smart building*), a także umożliwiać świadczenie nowoczesnych usług, na przykład medycznych czy transportowych. W związku z tym rozwiązania techniczne, które jeszcze dekadę temu były kojarzone głównie z Przemysłem 4.0, stają się dostępne dla znacznie szerszego grona podmiotów — przedsiębiorstw produkcyjnych i firm usługowych różnej wielkości, instytucji i organizacji, podmiotów administracji państwowej, a w szczególności indywidualnych konsumentów, usługobiorców i użytkowników.

Tabela 1.6. Rewolucje techniczne w rolnictwie

Rolnictwo 1.0	Rolnictwo 2.0	Rolnictwo 3.0	Rolnictwo 4.0
koniec XIX – pierwsza połowa XX wieku	lata 50. i 60. XX wieku	koniec XX wieku	początek XIX wieku
• mechanizacja rolnictwa (rewolucja agrarna) • wprowadzenie traktora i innych maszyn ułatwiło pracę w gospodarstwie • możliwość uzyskiwania wyższych plonów i zwiększania produkcji żywności • poprawa warunków życia i towarzyszące im zmiany społeczno-gospodarcze	• Zielona Rewolucja związana z hodowlą nowych, wydajniejszych ras zwierząt, modyfikacją istniejących upraw oraz wprowadzeniem nowych technik agrarnych • powstanie odmian roślin uprawnych odporniejszych na choroby i zapewniających wyższe plony • głównym celem było ograniczenie głodu na świecie	• rolnictwo precyzyjne dzięki możliwości śledzenia pozycji maszyn rolniczych z wykorzystaniem systemu GPS oraz zdjęć lotniczych i satelitarnych • produkcja wielkoobszarowa bazująca na dokładnych prognozach pogody, precyzyjnym dawkowaniu nawozów oraz pomiarach stanu gleby, nawodnienia i kondycji roślin • automatyzacja agrokultury umożliwiła gromadzenie i przetwarzanie dużej ilości danych	• cyfryzacja rolnictwa — komunikacja człowieka z maszyną • urządzenia, maszyny rolnicze i różnego rodzaju czujniki są podłączone do Internetu, co pozwala na bieżący monitoring prac polowych • uzyskane dane są przetwarzane przez dedykowane oprogramowanie, które automatycznie dobiera najlepsze rozwiązanie dla danego fragmentu pola • wykorzystywanie m.in. dronów, Internetu rzeczy (IoT) oraz specjalistycznych systemów IT bazujących na Big Data i SI

Zródło: opracowanie własne.

W innym ujęciu, nowe wynalazki techniczne, systemy IT oraz nowoczesne usługi bazujące na rozwiązaniach teleinformatycznych znajdują również zastosowanie także w pozostałych dwóch sektorach gospodarki, a nie tylko w przemyśle. W przypadku rolnictwa stosowane jest coraz częściej określenie „smart farming”, a przez analogię — Rolnictwo 4.0 (por. tab. 1.6). W ramach takiego inteligentnego rolnictwa wykorzystywane są inteligentne maszyny i urządzenia (np. autonomiczne kombajny i maszyny rolnicze), które dzięki stałemu podłączeniu do Internetu mogą być zarządzane w prosty sposób, tak aby zwiększyć efektywność przy jednoczesnym obniżeniu kosztów w gospodarstwie. Podobnie jak w inteligentnej fabryce

przyszłości, także na inteligentnej farmie do gromadzenia danych wykorzystywane są różne czujniki, a zintegrowane i elastycznie działające systemy sprawują bieżący nadzór nad produkcją rolną. Zadaniem człowieka jest przede wszystkim nadzorowanie realizowanych procesów oraz wprowadzanie ewentualnych korekt bądź reagowanie na sytuacje awaryjne. Wraz z upływem czasu także w tym obszarze spodziewać się jednak można coraz większej autonomiczności systemów i minimalizowania roli człowieka⁴.

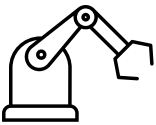
Upowszechnianie się rozwiązań z zakresu inteligentnego rolnictwa skutkuje szeregiem korzyści, takich jak między innymi:

- a) inteligentne nawadnianie, czyli efektywne i oszczędne zarządzanie wodą wykorzystywaną w systemach irygacyjnych;
- b) monitorowanie pogody i klimatu, w szczególności pod kątem coraz częstszych ekstremalnych zjawisk atmosferycznych, a w konsekwencji — minimalizowanie potencjalnych strat;
- c) zdalne monitorowanie aktywności szkodników w celu ochrony upraw (gromadzenie danych na temat ich aktywności, lokalizacji i wzorców zachowań)
- d) mapowanie obrazów z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej i inteligentnych dronów;
- e) zwiększenie plonów dzięki proaktywnej identyfikacji problemów i ich szybkiemu rozwiązywaniu, co skutkuje zwiększeniem plonów;
- f) możliwość automatyzacji produkcji zwierzęcej przy jednoczesnej poprawie dobrostanu zwierząt hodowlanych;
- g) automatyzacja i robotyzacja prac polowych i leśnych.

Upowszechnianie i szybkie wdrażanie rozwiązań z zakresu Rolnictwa 4.0 jest szczególnie istotne z punktu widzenia kryzysu klimatycznego. Dzięki działaniom w tym obszarze możliwe jest minimalizowanie skutków globalnego ocieplenia, zmniejszanie ilości zanieczyszczeń, lepsze gospodarowanie kurczącymi się zasobami wody, przeciwdziałanie procesom erozji gleby i jej przenawożenia, stopniowe odchodzenie od wielkoobszarowych upraw monokulturowych w kierunku rozwiązań wspierających bioróżnorodność. Ich skutkiem może być zwiększenie produkcji rolnej realizowanej zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Należy jednak zaznaczyć, że jak na razie przedstawione rozwiązania są dostępne — i to raczej w niepełnym zakresie — w krajach wyżej rozwiniętych, natomiast kraje ubogie specjalizujące się w produkcji rolnej są zbyt zacofane technologicznie i nie dysponują środkami finansowymi na inwestycje w tej dziedzinie.

⁴ <https://tygodnik.interia.pl/news-utopia-czy-dystopia-o-przyszlosci-rolnictwa,nId,5445969> (dostęp: 20.08.2021).

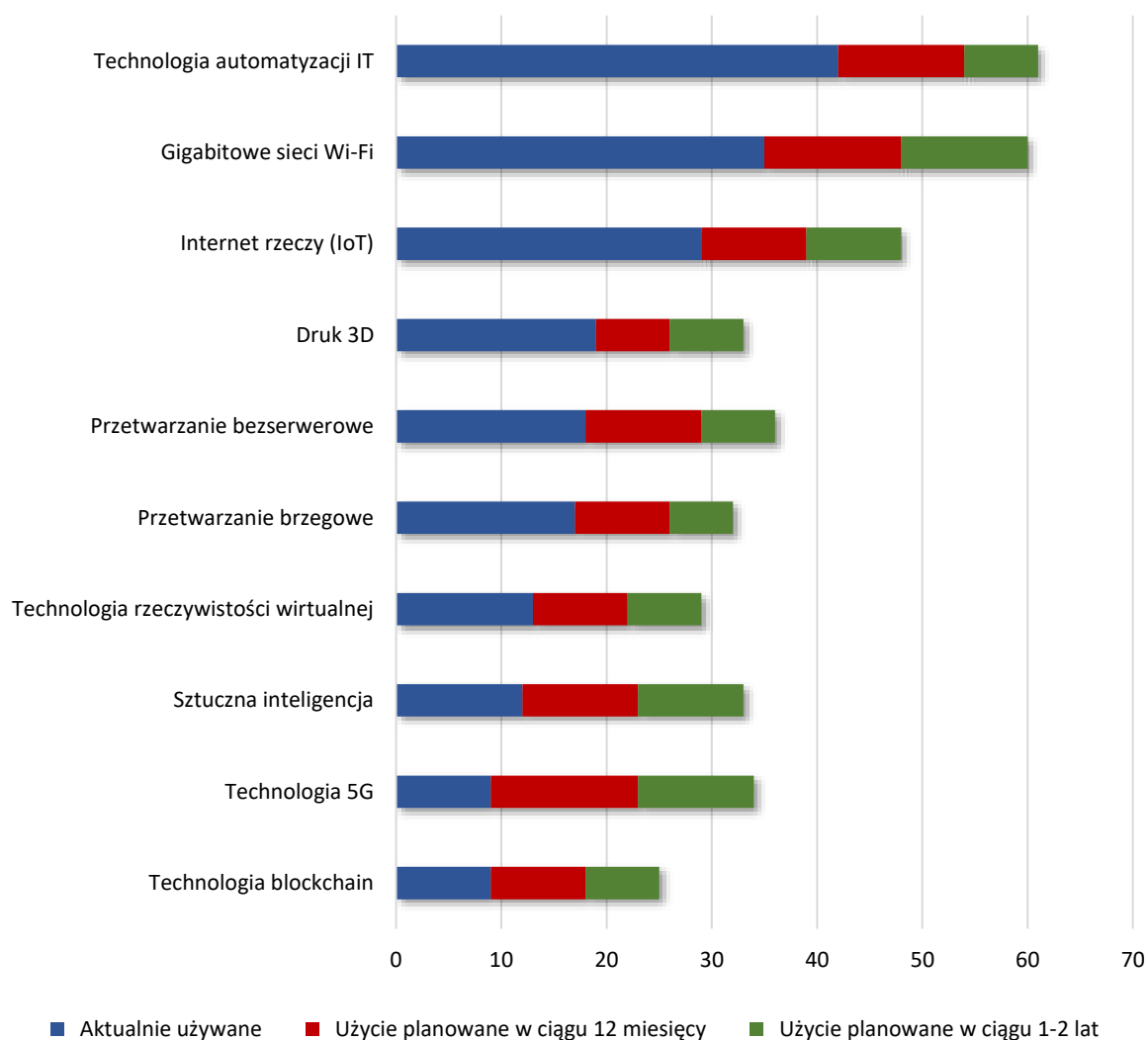
Tabela 1.7. Główne megatrendy w Gospodarcie 4.0

Megatrendy fizyczne	
	➤ pojazdy autonomiczne ➤ drony ➤ druk 3D ➤ zaawansowana robotyzacja ➤ nowe materiały
Megatrendy cyfrowe	
	➤ Internet rzeczy (IoT) ➤ blockchain ➤ sztuczna inteligencja (SI) ➤ wirtualna/rozszerzona rzeczywistość ➤ Big Data ➤ przetwarzanie w chmurze ➤ gospodarka współdzielenia
Megatrendy biologiczne	
	➤ sekwencjonowanie genomu ➤ biologia syntetyczna

Źródło: opracowanie i rozwinięcie własne na podstawie [Schwab, 2018, s. 31–42].

W świetle powyższych rozważań należy się zastanowić, czy podobne prawidłowości i procesy występują także w sektorze usług. Jakkolwiek efekty postępu naukowo-technicznego były najwcześniej widoczne w sferze produkcji przemysłowej, a następnie także w rolnictwie, zmiany technologiczne związane z rozwojem Internetu i technologii ICT nie ominęły trzeciego sektora. Można zatem powiedzieć, że współcześnie rozwijają się również Usługi 4.0, a potencjalne zastosowania wydają się być nieograniczone. Przykładowo, rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji i przetwarzania olbrzymich ilości danych są coraz częściej spotykane w usługach edukacyjnych, finansowych, doradczych, medycznych i rozrywkowych. Drony zapewniają większą terminowość dostaw i stanowią uzupełnienie tradycyjnych usług kurierskich. Trwają intensywne prace badawczo-rozwojowe nad upowszechnieniem rozwiązań z zakresu inteligentnego transportu autonomicznego — samochodowego, morskiego, lotniczego czy kolejowego, co z kolei doskonale wpisuje się w koncepcję inteligentnych miast (transport publiczny). Co więcej, dzięki rozwojowi telekomunikacji (technologia 5G i 6G) pojawiają się nowe zastosowania Internetu rzeczy w sferze usług, a możliwości ich automatyzacji i robotyzacji stanowią odpowiedź na palące wyzwania współczesności, m.in. starzenie się społeczeństw (robotyczna opieka nad osobami niepełnosprawnymi, starszymi i samotnymi) czy świadczenie

usług gastronomicznych i hotelarskich w czasach postpandemicznych. Potwierdzeniem tych przemian jest na przykład pojawienie się osobnego terminu — Internet usług (Internet of Services, IoS) [Kagermann i in., 2013, s. 19–39; Solano i in., 2013, s. 283–325], czy też upowszechnianie się modelu XaaS (*anything as a service*), w którym produkty cyfrowe, oprogramowanie, aplikacje i narzędzia IT są udostępniane jako subskrybowana usługa z wykorzystaniem przetwarzania w chmurze (*cloud computing*).



Rys. 1.10. Bieżące i prognozowane trendy wprowadzania technologii informatycznych w organizacjach w Europie i Ameryce Płn. w 2020 roku (procent wskazań)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Spiceworks Ziff Davis, 2020].

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 1.10 można zauważyć, że w 2020 roku najpowszechniej wdrażanymi technologiami IT w organizacjach europejskich i północno-amerykańskich były technologie związane z automatyzacją, szybkimi sieciami bezprzewodowymi oraz Internetem rzeczy. Te trzy obszary zainteresowań dominują także we wskazaniach

dotyczących najbliższej przyszłości. Pozostałe technologie może są aktualnie mniej popularne, jednak także w ich przypadku wyraźnie widoczne jest rosnące zainteresowanie ze strony respondentów. Należy jednak pamiętać, że zaprezentowane trendy nie uwzględniają najbardziej perspektywicznego rynku azjatyckiego, jak również konsekwencji trwającej pandemii COVID-19.

Ze względu na charakter niniejszej pracy oraz ograniczoną dostępność szczegółowych informacji w Internecie oraz w literaturze przedmiotu, w dalszej części rozdziału krótko omówione zostaną technologie, które wydają się najbardziej uniwersalne z perspektywy rozwoju Gospodarki 4.0. Należy zaznaczyć, że znaczna część z tych rozwiązań charakteryzuje się dużą wzajemną komplementarnością, np. zaliczone do megatrendów cyfrowych (por. tab. 1.7), jak również znajduje różnorodne zastosowania we wszystkich sektorach zaliczanych do Gospodarki 4.0.

1.4.1. Druk przestrzenny (3D)

Druk 3D to proces przyrostowego wytwarzania obiektów fizycznych na podstawie modelu cyfrowego. Pierwsza metoda drukowania 3D została opracowana już w połowie lat 80. XX wieku (technologia stereolitograficzna, SLA) i polegała na utwardzaniu wiązką laserową żywicy światłoutwardzalnej, dzięki czemu powstawał obiekt przestrzenny. Drukowanie przestrzenne to zatem metoda wytwórcza polegająca na nakładaniu materiału budulcowego warstwa po warstwie i jego selektywnym spajaniu, stanowiąc tym samym całkowite przeciwieństwo stosowanej dotychczas techniki ubytkowej (subtraktywnej), gdzie z bryły materiału jest usuwany narzędziami skrawającymi jego naddatek, tworząc w ten sposób docelowy model (czyli np. frezowanie CNC) [Ślusarczyk, 2019].

W ostatnich kilkunastu latach opracowano co najmniej kilkanaście metod drukowania 3D, które poza oczywistymi szczegółami technologicznymi różnią się materiałami, z których możliwe jest tworzenie wydruków trójwymiarowych. Oprócz wspomnianych żywic, materiałami wykorzystywanymi w drukarkach przestrzennych mogą być tworzywa sztuczne (termoplasty), fotopolimery, sproszkowane metale lub gips. Takie rozwiązania jak drukowanie tkanek, domów z betonu czy żywności nie są zazwyczaj zaliczane do typowych zastosowań druku przestrzennego, a jedynie traktowane jako zbliżone do drukowania 3D metody nakładania danego materiału [Barnatt, 2013, s. 26–96].

Ze względu na swoje ewidentne zalety, takie jak krótki czas i niski koszt wykonania modelu cyfrowego, możliwość szybkiego wprowadzania zmian i personalizacji projektu, technologia druku 3D upowszechniła się zwłaszcza przy opracowywaniu prototypów części do

maszyn i urządzeń (w szczególności w branży motoryzacyjnej, lotniczej, metalowej) lub nowych wzorów produktów, np. obuwia. Co więcej, wydruki przestrzenne mogą mieć bardzo skomplikowane kształty geometryczne, których nie można uzyskać za pomocą innych metod wytwórczych. To sprawiło, że druk 3D pozwolił na wytwarzanie małych serii produktów czy wręcz pojedynczych, spersonalizowanych przedmiotów, takich jak biżuteria. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na specyfikę produkcji przyrostowej (addytywnej) jakość wydruków przestrzennych jest gorsza niż uzyskiwana przy formowaniu wtryskowym, odlewaniu czy frezowaniu CNC. W związku z tym wydruki przestrzenne muszą być dodatkowo poddane obróbce wykańczającej, np. szlifowaniu czy polerowaniu.

Na podstawie dotychczasowej historii rozwoju druku 3D można jednak postawić tezę, że bez tej przełomowej innowacji trudno wyobrazić sobie czwartą rewolucję przemysłową. Mimo pewnych ułomności technologia ta znajduje kolejne zastosowania, w szczególności tam, gdzie konieczna jest znaczna personalizacja produktu finalnego, np. w przypadku tworzenia implantów medycznych czy protez. Druk przestrzenny stworzył również nowe możliwości, stanowiąc niekiedy dopełnienie nowoczesnych usług cyfrowych, czego przykładem jest możliwość drukowania postaci z gier komputerowych (czyli materializowania przedmiotów cyfrowych). Ta technologia wpisuje się również doskonale w koncepcję prosumenta, ponieważ pozwala indywidualnym twórcom wytwarzać małe serie wysoce niestandardowych produktów. Z kolei w świetle założeń gospodarki okrężnej (*circular economy*) i paradygmatu zrównoważonego rozwoju druk 3D pozwala z jednej strony ograniczyć straty materiałowe w porównaniu z tradycyjną produkcją masową, umożliwiając jednocześnie wytwarzanie produktów wyłącznie na podstawie modelu cyfrowego [Barnatt, 2013, s. 152–191]. Tym samym możliwe jest drukowanie części zamiennych, które nie są już dostępne na rynku, co z kolei może pomóc w ograniczeniu zbyt szybkiego pozbywania się produktów wyłącznie z powodu drobnej usterki (czyli w zwalczaniu dość powszechnej praktyki producentów zwanej planowanym postarzeniem produktów).

Na zakończenie tego podrozdziału warto jeszcze wspomnieć o rozwinięciu drukowania przyrostowego, jakim jest druk 4D. To zaproponowane w 2013 roku rozwiązanie różni się od tradycyjnych wydruków przestrzennych wprowadzeniem dodatkowego parametru, jakim jest czas. Wydruki takie mogą zmieniać się pod wpływem światła, ciepła, ciśnienia i innych czynników, jak np. wilgoci albo obecności w pobliżu konkretnego związku chemicznego. Dzięki możliwości zmiany kształtu wydrukowanego przedmiotu w czasie można opracowywać na przykład tzw. miękkie roboty, których zachowanie da się w pewnym stopniu zaprogramować. W niedalekiej przyszłości druk 4D może okazać się narzędziem do tworzenia bardziej

inteligentnych i wszechstronnych maszyn, które będą mniej podatne na awarie, bardziej energooszczędne i wydajniejsze obliczeniowo. Znajdą one szerokie zastosowanie m.in. w medycynie, pozwalając na dostarczanie leków w precyzyjnie określone miejsca w organizmie, jak również zrewolucjonizują inne branże, takie jak np. przemysł odzieżowy, gdyż pod wpływem wilgotności czy rodzaju podłoża produkowane w tej technologii ubrania i obuwie dostosują się do kształtu ciała oraz do otoczenia [Skrzek, Tomczyk, 2020].

1.4.2. Big Data i sztuczna inteligencja

Zgodnie z definicją Parlamentu Europejskiego pojęcie „Big Data” odnosi się do wielkich i złożonych zbiorów danych, pozyskiwanych z różnych źródeł, gromadzonych w czasie zbliżonym do rzeczywistego oraz przetwarzanych (analizowanych) coraz częściej z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji w celu uzyskania informacji pochodnych oraz nowej wiedzy [Parlament Europejski, 2021]. Takie zbiory danych charakteryzują się ponadto dużą objętością, różnorodnością, złożonością i zmiennością, dlatego pozyskiwanie z nich wiedzy wymaga innowacyjnych metod i technologii [Franczyk i in., 2014, s. 142–143].

Dane gromadzone w tak olbrzymich zbiorach mogą być tworzone — w sposób świadomy i nieświadomy — przez ludzi, na przykład podczas używania urządzeń przenośnych i aplikacji mobilnych, korzystania z Internetu, prowadzenia aktywności w mediach społecznościowych, zawierania transakcji w handlu elektronicznym itd., a także przez różne organizacje i instytucje (dane finansowo-księgowe, dokumentacja medyczna itp.). Co więcej, współcześnie samo używanie smartfonów z transferem danych i włączonym modułem GPS pozwala na pozyskiwanie danych geolokalizacyjnych, na podstawie których można wyznaczać wzorce zachowań użytkowników oraz odpowiednio profilować przekaz marketingowo-promocyjny.

Drugim cennym źródłem Big Data mogą być maszyny i urządzenia, przy czym gromadzenie takich danych odbywa się autonomicznie i automatycznie za pomocą różnych czujników. Do takich komunikujących się ze sobą obiektów można zaliczyć m.in. autonomiczne pojazdy, drony, roboty przemysłowe w inteligentnych fabrykach, inteligentne budynki, inteligentną infrastrukturę (np. liczniki energii elektrycznej), satelity GPS i satelity pogodowe. Ze względu na fakt, że ilość danych generowanych przez ludzi i maszyny będzie rosła w postępie geometrycznym (Komisja Europejska przewiduje, że do 2025 roku całkowita ilość danych na świecie wzrośnie o 530% w porównaniu z 2018 rokiem [Parlament Europejski, 2021]), niezbędne są coraz większe inwestycje w rozbudowę infrastruktury przewodowej, światłowodowej i bezprzewodowej (technologia 5G, a niebawem także 6G). Do innych wyzwań stojących przed Big Data należy zaliczyć konieczność dalszego obniżania kosztów przechowywania

danych oraz związanych z zapewnieniem ich bezpieczeństwa i poufności, opracowanie wydajniejszych metod transformacji danych pochodzących z różnych źródeł czy wspomniane wcześniej szersze korzystanie z algorytmów sztucznej inteligencji oraz metod uczenia maszynowego.

Jak można zatem zauważyć, duże zbiory danych pozyskiwane z różnych źródeł w czasie rzeczywistym stanowią swoisty surowiec coraz powszechniej wykorzystywany w ramach Gospodarki 4.0. Umożliwiająca jego przetwarzanie sztuczna inteligencja (SI) oznacza zdolność maszyn do wykazywania ludzkich umiejętności, takich jak rozumowanie, uczenie się, planowanie i kreatywność. Dzięki takim umiejętnościom zbliżonym do ludzkich SI umożliwia systemom technicznym postrzeganie swojego otoczenia, radzenie sobie z tym, co postrzegają oraz rozwiązywanie problemów, zmierzając do osiągnięcia określonego celu [Barrat, 2015, s. 35–77]. Co więcej, systemy SI są w stanie do pewnego stopnia dostosować swoje zachowanie, analizując skutki wcześniejszych działań i działając autonomicznie [Parlament Europejski, 2020].

Jako centralny element cyfrowej transformacji społeczeństwa algorytmy sztucznej inteligencji są współcześnie i będą w przyszłości powszechnie wykorzystywane we wszystkich sektorach gospodarki, a zatem w przemyśle, rolnictwie i usługach. W dwóch pierwszych SI przyjmuje postać „ucieleśnioną”, co oznacza, że jej algorytmy są implementowane w robotach, dronach, autonomicznych pojazdach czy elementach składowych Internetu rzeczy. Z kolei w usługach sztuczna inteligencja jest wykorzystywana na przykład w wirtualnych asystentach (botach), przeglądarkach i wyszukiwarkach internetowych, oprogramowaniu do analizy obrazu i dźwięku, programach do tłumaczenia maszynowego czy w systemach diagnostyki medycznej, jak również w systemach z zakresu cyberbezpieczeństwa czy zwalczania dezinformacji.

Reasumując, dalszy rozwój i upowszechnianie rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji może przynieść szereg wymiernych korzyści dla różnych interesariuszy. Dzięki SI osoby fizyczne mogą mieć zapewnioną lepszą opiekę zdrowotną, jak również korzystać z dostosowanych do własnych potrzeb, tańszych i trwalszych produktów i usług. Sztuczna inteligencja stwarza także niezaprzeczalne i wyjątkowe szanse, jeśli chodzi o usługi edukacyjne czy technologiczną transformację rynku pracy. Przedsiębiorstwa działające w rolnictwie, przemyśle czy usługach mogą szybciej opracowywać nowe produkty i usługi, poprawiać wydajność i jakość produkcji, jak również minimalizować swój ślad węglowy, oszczędzać zasoby czy też skuteczniej reagować na wyzwania związane ze zmianami klimatu. Jeśli chodzi natomiast o sektor publiczny, wdrażanie rozwiązań SI zapewni łatwiejszy i tańszy dostęp do usług publicznych, takich jak np. edukacja, transport publiczny, bezpieczeństwo czy gospodarowanie odpadami.

Technologia ta może także przyspieszyć przejście w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, a w dalszej perspektywie — umożliwić szybsze osiągnięcie globalnych i regionalnych celów transformacji klimatycznej, na przykład w ramach Europejskiego Zielonego Ładu.

1.4.3. Internet rzeczy

Internet rzeczy (Internet of Things, IoT) to system obiektów fizycznych wyposażonych w czujniki elektroniczne (w tym także w znaczniki RIFD), odpowiednie oprogramowanie i inne technologie, które automatycznie, tj. bez ingerencji człowieka, mogą komunikować się ze sobą i wymieniać się danymi za pośrednictwem sieci teleinformatycznych [Schoder, 2018, s. 3–50]. Jest to zatem swoisty ekosystem obejmujący przedmioty (urządzenia), komunikujące się ze sobą bez udziału człowieka, chociaż człowiek może być również źródłem danych wykorzystywanych i wymienianych w ramach IoT.

Należy zaznaczyć, że koncepcja Internetu rzeczy powstała pod koniec XX wieku w celu opisanego systemu, w którym świat materialny komunikuje się z komputerami (wymienia dane) za pomocą wszechobecnych sensorów (czujników). Dekadę później, gdy liczba inteligentnych urządzeń podłączonych do Internetu przekroczyła liczbę mieszkańców globu, pojawił się także termin „Internet wszechrzeczy” (Internet of Everything), który oznacza system obejmujący nie tylko przedmioty, ale także procesy, dane, ludzi, a nawet zwierzęta czy zjawiska atmosferyczne — wszystko, co może zostać potraktowane jako zmienna [Interactive Advertising Bureau, 2016, s. 8].

Do najważniejszych uwarunkowań rozwoju i upowszechniania się Internetu rzeczy należy zatem zaliczyć:

- a) istnienie urządzeń wyposażonych w czujniki (np. temperatury, drgań, wilgotności, ruchu, parametrów życiowych człowieka itd.), które będą w stanie gromadzić dane i przekazywać je dalej; takimi przedmiotami mogą być inteligentne urządzenia, takie jak smartfony czy akcesoria noszone przez użytkownika (*wearables*), ale również sprzęt AGD, smart TV lub systemy pokładowe w pojazdach;
- b) istnienie urządzeń mogących odbierać przesyłane sygnały, przetwarzać je i wywoływać określone reakcje, takich jak np. smartfony, elementy wyposażenia inteligentnych budynków, sygnalizacja świetlna itp.
- c) medium komunikacyjne o odpowiedniej przepustowości i wysokiej jakości transmisji, np. łączność Wi-Fi, Bluetooth, NFC, a w komunikacji na większe odległości — sieć komórkowa 5G czy szkieletowa sieć światłowodowa.



Rys. 1.11. Globalny ekosystem Internetu rzeczy

Źródło: ZIGURAT, Global Institute of Technology, <https://www.e-zigurat.com/innovation-school/blog/what-do-the-next-five-years-hold-for-the-iot/> (dostęp. 21.07.2021).

Przedstawiony schematycznie na rysunku 1.11 ekosystem IoT obejmuje zatem miliardy inteligentnych urządzeń, przy czym ich działanie opiera się na szeregu typowych rozwiązań charakterystycznych dla Gospodarki 4.0. Przede wszystkim komunikacja w ramach IoT wiąże się z transferem olbrzymich ilości danych z wykorzystaniem nowoczesnych sieci bezprzewodowych oraz przetwarzania w chmurze (*cloud computing*). Działanie inteligentnych przedmiotów, maszyn i urządzeń będzie ponadto w coraz większym zakresie nadzorowane i zarządzane przez algorytmy sztucznej inteligencji, dzięki czemu zbędna stanie się ingerencja ze strony użytkownika. Ważnym elementem Internetu rzeczy będą niewątpliwie autonomiczne pojazdy, które będą mogły wykonywać powierzone zadania w ramach inteligentnych systemów transportowych, a w szerszym kontekście — urzeczywistniać koncepcję inteligentnych miast (*smart city*). To samo dotyczy robotów przemysłowych funkcjonujących automatycznie w inteligentnych fabrykach, czy dronów realizujących autonomicznie np. usługi kurierskie. Można również wyobrazić sobie sytuację, gdy inteligentne urządzenia IoT będą wysyłały polecenia do drukarek 3D w celu zapewnienia sobie dostaw części zamiennych lub materiałów eksploatacyjnych.

Jakkolwiek współcześnie trudno powiedzieć, w jakim kierunku będzie zmierzać rozwój Internetu rzeczy w niedalekiej przyszłości, istnieje już bardzo wiele jego zastosowań w przemyśle, rolnictwie czy usługach. Co więcej, rozwiązania dostępne w ramach IoT mogą przyczynić się do złagodzenia wielu współczesnych problemów, na przykład związanych ze starzeniem się społeczeństw. Pomimo niezaprzeczalnych korzyści, jakie Internet rzeczy oferuje

konsumantom, firmom, instytucjom czy administracji publicznej, można także dostrzec pewne związane z nim zagrożenia. Olbrzymie i z upływem czasu coraz większe ilości danych będą przekazywane praktycznie poza kontrolą człowieka, co budzi wątpliwości związane z bezpieczeństwem danych czy zapewnieniem prywatności. Jak bowiem wspomniano, gromadzenie i przesyłanie danych będzie odbywać się bez udziału człowieka, zatem nie będzie on miał często wpływu na to, kto będzie miał dostęp do danych osobowych czy wrażliwych. Będzie to stanowiło niewątpliwie wielkie wyzwanie zarówno od strony technicznej, jak również instytucjonalnej i prawnej.

Co więcej, na obecnym, stosunkowo wczesnym etapie rozwoju ekosystemów IoT relatywnie niska jest świadomość społeczna związanych z tym procesem przemian technologicznych. Dowodem na to mogą być obserwowane w wielu krajach protesty, czy wręcz akty wandalizmu dotyczące infrastrukturę telekomunikacyjną 5G. Oznacza to, że kolejną przeszkodą do pokonania w niedalekiej przyszłości będzie bariera edukacyjna. Biorąc pod uwagę skalę dezinformacji, erozję wiarygodności mediów czy powszechne kwestionowanie wiedzy eksperckiej, zadanie to może być bardzo trudne.

Warto również zaznaczyć, że rozwiązania dostępne w ramach Internetu rzeczy mogą naruszyć dotychczasowe status quo i istotnie zmienić wzajemne relacje między biznesem, państwem a konsumentem-obywatelem. Z punktu widzenia wyników finansowych dla firm świadczących usługi bazujące na IoT czy dostawców rozwiązań technicznych najkorzystniejsza byłaby jak najszybsza absorpcja tych rozwiązań i ich szybkie upowszechnienie się w skali globalnej. Jednak dzięki temu, że powiązane elementy Internetu rzeczy będą funkcjonowały automatycznie, może to skutkować bardziej efektywnym i oszczędnym gospodarowaniem kurczącymi się zasobami w skali globalnej. Innymi słowy, w świecie zdominowanym przez Internet rzeczy znacznie trudniej będzie stymulować nieuzasadniony realnymi potrzebami, nadmierny konsumpcjonizm. Z punktu widzenia dostawców towarów i usług może to być istotne wyzwanie dla ich dotychczasowych modeli biznesowych, jednak dla konsumentów, a zwłaszcza dla środowiska naturalnego będzie to ewidentna korzyść.

1.4.4. Robotyzacja i automatyzacja

W porównaniu do wcześniej wymienionych zjawisk charakteryzujących Gospodarkę 4.0, robotyzacja i automatyzacja to procesy stanowiące rozwinięcie zdobyczy wcześniejszych rewolucji przemysłowych. Tak jak wcześniejsza mechanizacja produkcji przemysłowej i rolniej pozwoliła zwiększyć wydajność pracowników dzięki zastosowaniu maszyn parowych i elektrycznych, tak robotyzacja oznacza zastępowanie pracy człowieka pracą robotów, czyli maszyn

realizujących wyspecjalizowane zadania pod kontrolą systemu komputerowego, a coraz częściej — z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Innymi słowy, robotyzacja to proces wyręczania człowieka w wykonywaniu nużących, powtarzalnych czynności przez inteligentne maszyny [Sheridan, 2016].

Ze zrozumiałych względów robotyzacja upowszechniła się przede wszystkim w środowisku przemysłowym, nie tylko uwalniając pracownika od powtarzalnych czynności, ale również zastępując go w środowiskach niebezpiecznych, stwarzających zagrożenie dla zdrowia i życia. Roboty przemysłowe są współcześnie nieodzownym wyposażeniem nowoczesnych linii produkcyjnych, jednak szybki postęp techniczny w dziedzinie robotyki i automatyki umożliwił wprowadzenie na rynek nowych rozwiązań. Jedną z takich innowacji w robotyce są koboty (ang. cobots, collaborative robots), czyli roboty przystosowane do współpracy z człowiekiem [Lambrechts i in., 2021]. W przeciwieństwie do standardowych robotów przemysłowych roboty współpracujące mogą pracować z ludźmi na jednej przestrzeni bez obaw o bezpieczeństwo (na co pozwalają im m.in. wbudowane czujniki i zabezpieczenia), w związku z czym nie wymagają stosowania specjalnych barier odgradzających je od człowieka. Innymi cechami wyróżniającymi koboty jest pełna mobilność i modułowość, znacznie mniejsza waga w porównaniu ze standardowymi robotami przemysłowymi, a także duża kompatybilność, elastyczność i prostota obsługi, dzięki czemu pracownik produkcyjny może bardzo szybko przeprowadzić wymianę narzędzi i dostosować kobota do wykonywania innej operacji produkcyjnej.

Zdobywającymi coraz większą popularność i mającymi różnorodne zastosowania rozwiązaniami z dziedziny robotyki są również roboty usługowe. Ze względu na wysoki stopień elastyczności i mobilności są one zbliżone do robotów współpracujących, lecz mogą charakteryzować się większą autonomicznością. Dzięki zastosowaniu technologii wizyjnej 3D i sztucznej inteligencji mogą być wykorzystywane poza środowiskiem produkcyjnym, na przykład w rolnictwie, logistyce czy budownictwie. Co więcej, humanoidalne roboty usługowe będą zapewne coraz częściej wykorzystywane w handlu detalicznym (inteligentne sklepy bezobsługowe), edukacji, hotelarstwie czy opiece zdrowotnej. Można przypuszczać, że obecna pandemia COVID-19 jeszcze bardziej przyspieszy tę transformację i upowszechnianie się robotów usługowych w niedalekiej przyszłości.

Innymi rozwiązaniem z pogranicza robotyki i informatyki są boty — specjalistyczne programy wykonujące pewne czynności w zastępstwie człowieka. Do najczęściej spotykanych należą boty indeksujące treści dostępne w Internecie (zwane również robotami internetowymi) czy boty społecznościowe naśladujące zachowania użytkowników mediów społecznościowych. Pierwsze z nich wykonują czynności stricte techniczne, tj. ściśle współpracują z

wyszukiwarkami internetowymi, natomiast drugie służą do szybkiego rozpowszechniania informacji, nie tylko wiarygodnych i przydatnych dla użytkowników mediów społecznościowych, ale niestety również fake newsów. Przykładem komercyjnego wykorzystania botów są natomiast automatyczni asystenci obsługujący klientów online, na przykład w bankach czy sklepach internetowych. Ze względu na ich podstawową cechę, jaką jest zautomatyzowane naśladowanie ludzkiego zachowania bazujące na uczeniu maszynowym, typowy użytkownik bankowości elektronicznej czy e-commerce nie jest w stanie odróżnić, czy komunikuje się z żywym pracownikiem, czy z programem. Automatyczni asystenci są zatem przykładem „niematerialnych” robotów, które — analogicznie do swoich przemysłowych odpowiedników — zastępują żywego pracownika, jednak potrafią do złudzenia naśladować jego zachowanie.

Na zakończenie niniejszego rozdziału należy jeszcze raz podkreślić, że wymienione innowacje charakterystyczne dla czwartej rewolucji przemysłowej i Gospodarki 4.0 są względem siebie komplementarne. Ze względu na charakter niniejszej pracy nie jest możliwe wyczerpujące opisanie wszystkich ich aspektów, tym bardziej, że podlegają one dalszemu unowocześnianiu. Niewymienione w osobnych podrozdziałach pojazdy autonomiczne i drony są również pod pewnym względem urzeczywistnieniem osiągnięć współczesnej robotyki. Pojazdy autonomiczne przyszłości będą w pewnym sensie robotami wykonującymi usługi transportowe w ekosystemie Internetu rzeczy, wyręczającymi człowieka w męczącej i często monotonnej czynności kierowania pojazdami. Dzięki sztucznej inteligencji bazującej na Big Data autonomiczne pojazdy będą ponadto popełniały mniej błędów, co przełoży się na wyższy poziom bezpieczeństwa przewożonych osób, towarów, a także środowiska naturalnego. Z kolei drony, które obecnie kojarzą się z bezzałogowymi pojazdami latającym sterowanymi przez operatora, dzięki SI przekształcą się w latające roboty usługowe mogące wykonywać swoje zadania w sposób autonomiczny lub zespołowy. W pierwszym przypadku mogą to być np. zrobotyzowane usługi kurierskie, natomiast w drugim — między innymi operacje agrotechniczne w ramach Rolnictwa 4.0 (np. zapyłanie upraw przez roje współpracujących ze sobą dronów-owadów).

2. Perspektywy rozwoju wybranych elementów Gospodarki 4.0

Aby możliwa była transformacja w kierunku modelu Gospodarki 4.0, a tym samym w miarę pełne wykorzystanie szans związanych z trwającą czwartą rewolucją przemysłową, konieczne jest dysponowanie odpowiednią infrastrukturą oraz kompetencjami cyfrowymi. Na podstawie analizy trzech syntetycznych indeksów publikowanych przez instytucje międzynarodowe, tj. indeksu rozwoju technologii informacyjno-komunikacyjnych (IDI), indeksu gotowości sieciowej (NRI) oraz indeksu gotowości cyfrowej (DRI), można zauważyć, że najlepiej przygotowane do wdrażania modelu Gospodarki 4.0 są kraje wysokiego dochodu, czego oczywiście można było się spodziewać. Należy jednak zaznaczyć, że dysproporcje między krajami wysokiego dochodu a niektórymi krajami średnio-wysokiego dochodu są już stosunkowo niewielkie (por. tab. 2.1). Przykładowo, w rankingu IDI 2017 wysoko uplasowały się Białoruś i Rosja (odpowiednio na 32. i 45. miejscu na 176 sklasyfikowanych krajów), wyprzedzając nawet niektóre kraje Unii Europejskiej — Słowację, Polskę, Węgry i Włochy. Z kolei w pierwszej pięćdziesiątce rankingu NRI 2020 sklasyfikowane zostały Malezja, Chiny, Bułgaria, Rosja i Rumunia, a rankingu DRI 2019 — Malezja, Gruzja, Bułgaria, Rosja, Mauritius, Kostaryka i Kazachstan.

Tabela 2.1. Wybrane wskaźniki rozwoju cyfrowego

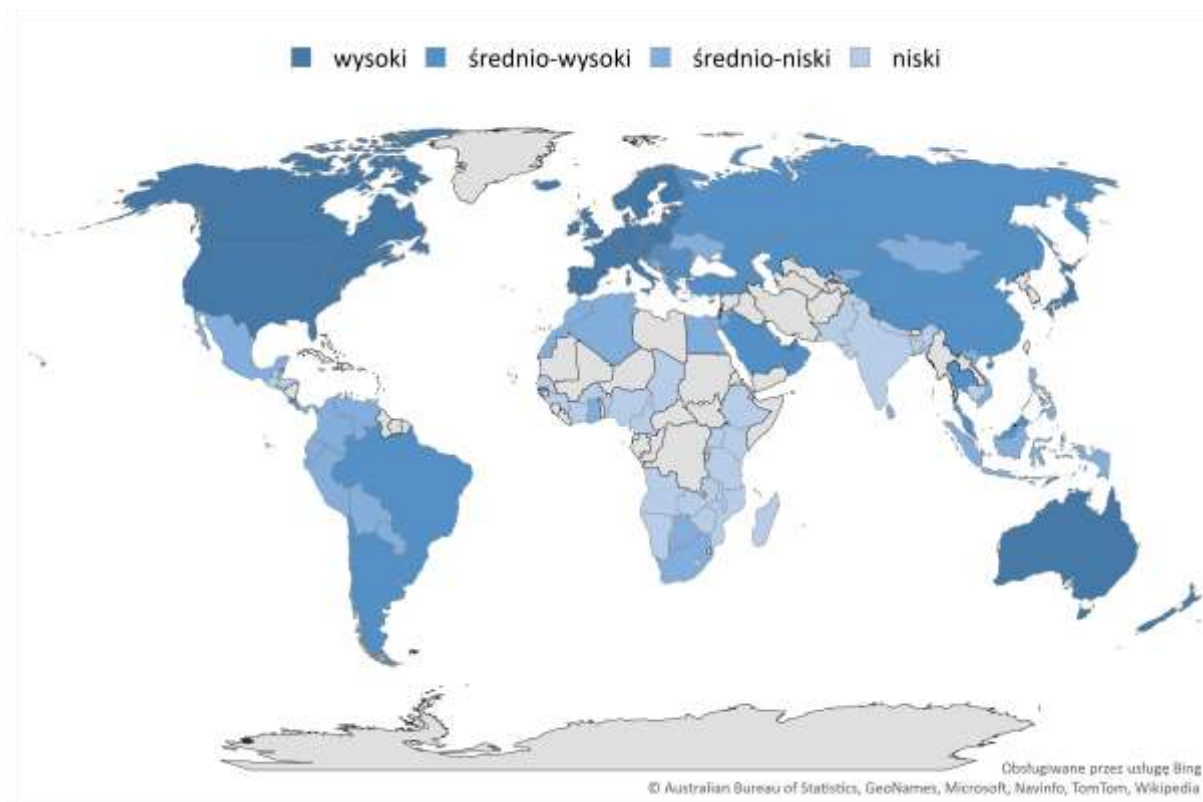
Kraje	IDI 2017		NRI 2020		DRI 2019	
	n	mediana	n	mediana	n	mediana
wysokiego dochodu	56	7,77	47	69,81	45	16,25
średnio-wysokiego dochodu	50	5,47	37	48,28	38	12,59
średnio-niskiego dochodu	50	3,21	36	36,81	41	9,27
niskiego dochodu	20	1,84	14	25,51	17	6,31

IDI — ICT Development Index, NRI — Network Readiness Index, DRI — Digital Readiness Index

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie [ITU, 2017, s. 31; Dutta, Lanvin, 2020, s. 31–35; Cisco Systems, 2019].

W celu wyliczenia syntetycznego wskaźnika gotowości na Gospodarkę 4.0 wyniki uzyskane przez poszczególne kraje w wymienionych trzech rankingach zostały poddane normalizacji, a następnie na tej podstawie obliczono średnią arytmetyczną. Cztery grupy krajów odpowiadające kolejnym kwartylom przedstawiono na rysunku 2.1⁵.

⁵ Ze względu na różną liczbę krajów uwzględnionych w analizowanych rankingach przyjęto, że bazujący na średnich arytmetycznych z wartości znormalizowanych ranking gotowości na Gospodarkę 4.0 będzie obejmować wyłącznie te kraje, które zostały ujęte we wszystkich trzech rankingach, tj. ICI, NRI i DRI. W rezultacie stworzony ranking syntetyczny obejmuje tylko 124 kraje.



Rys. 2.1. Podział krajów pod względem stopnia gotowości na Gospodarkę 4.0

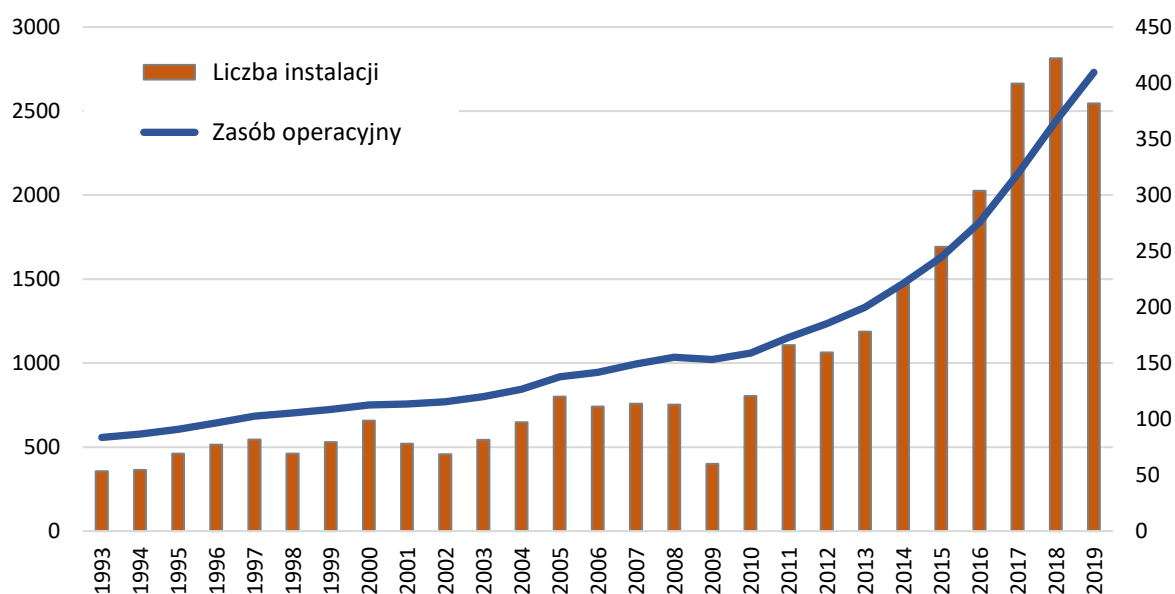
Źródło: jak pod tabelą 2.1.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 2.1 można zauważyć, że najlepiej przygotowane na wdrożenie Gospodarki 4.0 są kraje wysokiego dochodu (zwane również wysoko rozwiniętymi), tj. USA, Kanada, większość krajów członkowskich Unii Europejskiej, Wielka Brytania, Japonia, Australia i Nowa Zelandia. Dość dobrze wyglądają pod tym względem również niektóre kraje Azji i Ameryki Południowej, w szczególności Malezja, Urugwaj, Chile, Chiny i Argentyna. W najgorszej sytuacji znajdują się natomiast kraje afrykańskie, a także Indie, co biorąc pod uwagę wysoką pozycję tego kraju w światowym eksporcie usług IT, można uznać za dużą niespodziankę (gospodarka indyjska została sklasyfikowana dopiero na 97. miejscu).

Można zatem postawić tezę, że potencjalne korzyści z rozwoju Gospodarki 4.0 będą w największym stopniu dostępne przede wszystkim dla krajów bogatej Północy. Z kolei słabo rozwinięta infrastruktura, niski poziom kompetencji cyfrowych uniemożliwiający absorpcję wiedzy i wdrażanie nowoczesnych rozwiązań, ale również niski poziom rozwoju społeczno-gospodarczego spowodują, że prawdopodobnie jeszcze bardziej powiększy się luka cyfrowa między wspomnianą czołówką na krajami biednego Południa.

2.1. Międzynarodowy rynek robotów przemysłowych i usługowych

Według definicji wprowadzonej w 1979 roku przez Robotics Industries Association robot to „programowalny, wielofunkcyjny manipulator zaprojektowany do przenoszenia materiałów, części, narzędzi lub specjalizowanych urządzeń poprzez różne programowalne ruchy, w celu realizacji różnorodnych zadań”⁶. Roboty działają w określonym środowisku (systemie robotycznym), a ich autonomiczność polega na zdolności do wykonywania zadanych czynności bez interwencji człowieka. Oprócz tak rozumianych robotów przemysłowych dynamicznie rozwijają się również roboty usługowe, które wykonują użyteczne dla człowieka zadania inne niż w zastosowaniach przemysłowych. W tej grupie wyróżnia się roboty usługowe do zastosowań prywatnych oraz profesjonalnych, przy czym pierwsze są używane do wykonywania zadań niekomercyjnych zleconych przez laików (np. roboty sprzątające czy koszące), natomiast drugie — do wykonywania zadań komercyjnych pod nadzorem odpowiednio przeszkolonego operatora (m.in. roboty sprzątające miejsca publiczne, roboty gaśnicze czy roboty chirurgiczne w szpitalach) [Müller i in., 2020, s. 15]. Taki właśnie podział będzie stosowany w trakcie analiz prowadzonych w dalszej części niniejszego podrozdziału.



Rys. 2.2. Globalna liczba instalacji (skala prawa) i zasób operacyjny⁷ (skala lewa) robotów przemysłowych w latach 1993–2019 (w tys. szt.)

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Robotics, <https://my.worldrobotics.org/index.php?module=Report&action=overview> (dostęp: 15.07.2021).

⁶ <https://robotyka.pl/1-2-2-rozwoj-robotyki/> (dostęp: 16.07.2021).

⁷ Określenie „instalacja” odnosi się do faktycznej instalacji robota w siedzibie (zakładzie) klienta, natomiast „zasób operacyjny” to liczba aktualnie wdrożonych (eksploatowanych) robotów [Müller i Kutzbach 2020, s. 22].

Dane zaprezentowane na rysunku 2.2 jednoznacznie wskazują, że w ostatnich trzech dekadach wykorzystanie robotów w światowym przemyśle znacząco wzrosło. Jakkolwiek w latach 90. XX wieku oraz w pierwszej dekadzie XXI stulecia średnioroczna dynamika wzrostu zasobu operacyjnego kształtowała się na poziomie 6–7 procent, to w rezultacie ogólnoświatowego kryzysu gospodarczego liczba instalacji uległa gwałtownemu obniżeniu, osiągając w roku 2009 poziom zbliżony do tego z początku lat 90. XX wieku. Późniejsze ożywienie gospodarcze przełożyło się jednak na szybkie zwiększanie się zasobu operacyjnego robotów przemysłowych — w ciągu zaledwie dekady wzrósł on prawie trzykrotnie, zbliżając się do poziomu 3 mln jednostek w skali globalnej.

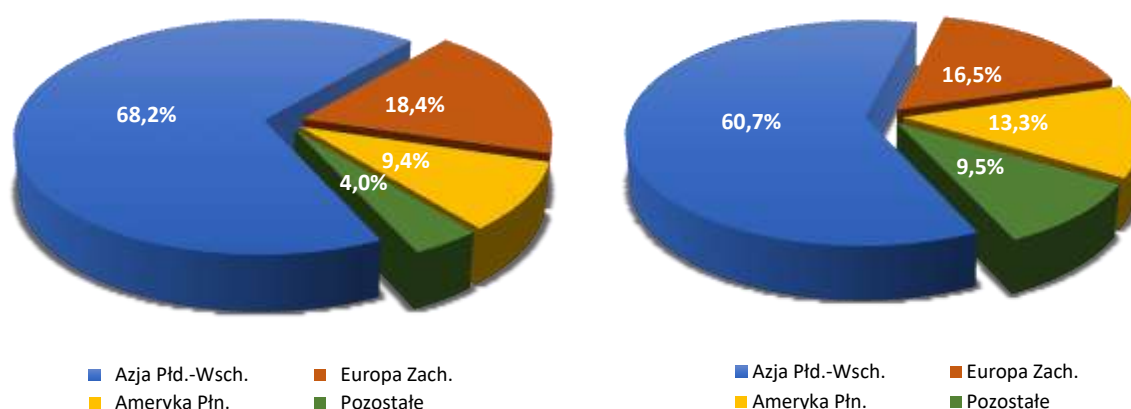
Tabela 2.2. Kraje o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych (w szt.)

1995			2005			2019		
Kraje	Zasób	%	Kraje	Zasób	%	Kraje	Zasób	%
Japonia	387290	64,0	Japonia	373481	40,7	Chiny	782725	28,7
USA	56945	9,4	USA	139984	15,3	Japonia	354878	13,0
Niemcy	51375	8,5	Niemcy	126294	13,8	Korea Płd.	324049	11,9
Włochy	22963	3,8	Korea Płd.	61576	6,7	USA	299674	11,0
Korea Płd.	18150	3,0	Włochy	56198	6,1	Niemcy	223387	8,2
Francja	13274	2,2	Francja	30236	3,3	Włochy	74420	2,7
Rosja	10000	1,7	Hiszpania	24141	2,6	Tajwan	71825	2,6
Wlk. Brytania	8313	1,4	Tajwan	15464	1,7	Francja	42054	1,5
Hiszpania	4912	0,8	Wlk. Brytania	14948	1,6	Meksyk	37275	1,4
Szwecja	4458	0,7	Chiny	11557	1,3	Hiszpania	36916	1,4
Pozostałe	27320	4,5	Pozostałe	63995	7,0	Pozostałe	483458	17,7
Świat	605000	100,0	Świat	917874	100,0	Świat	2730661	100,0

Źródło: jak pod rysunkiem 2.2.

Jeśli chodzi o awangardę światowej rewolucji robotycznej, to w ostatnim trzydziestoleciu zaszły w tym obszarze diametralne zmiany (por. tab. 2.2). W połowie lat 90. XX wieku niekwestionowanym liderem była Japonia, na którą przypadało prawie 2/3 światowego zasobu operacyjnego robotów przemysłowych. Co więcej, pierwsza piątka krajów, tj. Japonia, USA, Niemcy, Włochy i Korea Południowa, miała łącznie prawie 90-procentowy udział w światowym zasobie operacyjnym. Po upływie dekady przewaga Japonii znacznie się zmniejszyła — po części za sprawą zwiększających się instalacji robotów przemysłowych w USA i Europie Zachodniej, ale również w nowo uprzemysłowionych gospodarkach azjatyckich, tj. w Korei Południowej, na Tajwanie i w Chinach. Nadal jednak łączny udział tych ostatnich nie przekraczał 10% globalnego zasobu operacyjnego.

Po upływie kolejnej dekady nastąpiła detronizacja dotychczasowego lidera, gdyż na czoło wysunęły się Chiny, w których w roku 2019 zainstalowanych było prawie 800 tys. robotów przemysłowych. Należy również podkreślić, że na pierwszą piątkę przypadało ogółem nieco ponad 70% (czyli o prawie 20 punktów procentowych mniej niż na początku analizowanego okresu), natomiast na kraje spoza pierwszej dziesiątki — już prawie 18% światowego zasobu operacyjnego. Oznacza to, że rewolucja robotyczna zaczęła obejmować coraz większą grupę krajów.



Rys. 2.3. Regiony o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych w roku 1995 (wykres lewy) i 2019 (wykres prawy)

Źródło: jak pod rysunkiem 2.2.

Tendencje te znajdują również potwierdzenie w danych zaprezentowanych na rysunku 2.3. Na przestrzeni ostatniego ćwierćwiecza rozwój robotyki przemysłowej dokonywał się przede wszystkim w trzech regionach, tj. w Azji Południowo-Wschodniej, w Europie Zachodniej oraz w Ameryce Północnej (zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych). Trzeba jednak jeszcze raz podkreślić, że w tym okresie istotnie wzrósł udział pozostałych krajów (z 4 do 9,5 procent).

W latach 1995–2019 nie uległa natomiast większym zmianom struktura branż, w których zastosowanie znajdują roboty przemysłowe. Jak można zauważyć w tabeli 2.3, w analizowanym okresie ponad 80% zasobu operacyjnego przypadało na przemysł wytwórczy, którego udział jeszcze się nieznacznie zwiększył (o około 2 punkty procentowe). Z kolei w ujęciu nominalnym największą dynamiką w ostatnich dwóch dekadach charakteryzowała się branża wydobywcza, przy czym w dużej mierze był to raczej efekt niskiej bazy (w roku 2000 było w niej zainstalowanych zaledwie 40, a w roku 2019 — 840 robotów). Biorąc pod uwagę fakt, że branża ta charakteryzuje się wysokim stopniem zagrożenia dla zdrowia i życia pracowników, stosunkowo niewielki zasób operacyjny może wskazywać, że jak na razie — zapewne ze

względów finansowych i technologicznych — trudne jest zrobotyzowanie większości wykonywanych w niej operacji.

Znacznie niższą, lecz mimo wszystko wysoką dynamikę odnotował sektor związany z rolnictwem, rybołówstwem i leśnictwem. Prawie 3000 zainstalowanych i eksploatowanych w nim robotów w 2019 roku nie jest zapewne zadowalającym wynikiem na tle dotychczasowych dokonań w przemyśle wytwórczym (4-krotny wzrost zasobu operacyjnego), należy jednak zaznaczyć, że dokonującej się transformacji w kierunku Rolnictwa 4.0 nie będą raczej świadczyły zmiany zasobu operacyjnego robotów przemysłowych, lecz ewentualnie rosnący zasób robotów usługowych, np. wykorzystywanych w usługach agrotechnicznych, geodezyjnych, związanych z nawadnianiem czy nawożeniem pól. Niestety, dane publikowane przez Międzynarodową Federację Robotyki nie pozwalają na kompleksową ocenę stopnia wykorzystania robotów usługowych w rolnictwie oraz branżach pokrewnych.

Tabela 2.3. Zasób operacyjny robotów przemysłowych wg wybranych branż w latach 1995–2019 (w szt.)

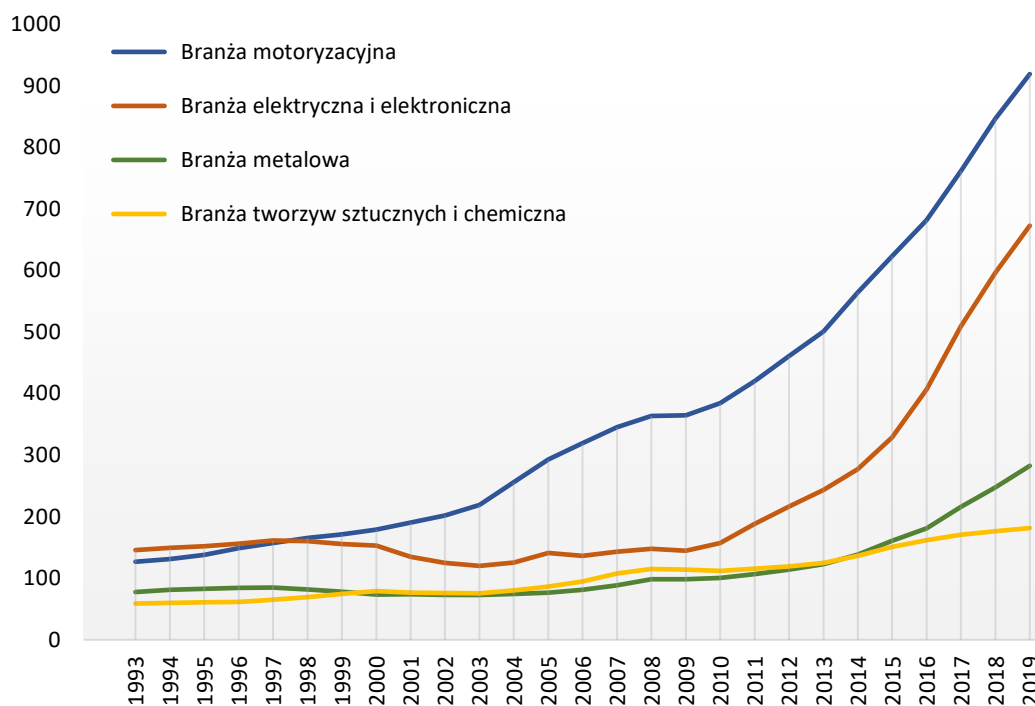
Wyszczególnienie	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2000= 100	1995	2019
								%	
Rolnictwo, rybołówstwo i leśnictwo	179	469	586	589	1216	2937	626	0,03	0,11
Branża wydobywcza	0	40	118	191	316	840	2100	0,00	0,03
Przemysł wytwórczy	493588	569187	690073	837230	1393646	2282053	401	81,58	83,57
Budownictwo	8	815	960	1629	2436	2809	345	0,00	0,10
Edukacja i R+D	175	4266	5238	4121	6175	13625	319	0,03	0,50
Ogółem	605000	750729	917874	1059162	1631650	2730661	364	100,00	100,00

Źródło: jak pod rysunkiem 2.2.

W przypadku przemysłu wytwórczego na czoło wysunęły się zwłaszcza cztery branże zaprezentowane na rysunku 2.4. Zdecydowanie największy zasób operacyjny robotów przemysłowych przypadał na branżę motoryzacyjną — w latach 1993–2019 liczba zainstalowanych i eksploatowanych robotów wzrosła w niej globalnie do poziomu prawie miliona jednostek. Około 43 procent z nich znalazło zastosowanie przy produkcji pojazdów silnikowych, silników i karoserii samochodowych, a zbliżony odsetek — przy produkcji części samochodowych.

Podobna dynamika charakteryzowała branżę urządzeń elektrycznych i elektronicznych, w której zasób operacyjny zbliżył się w 2019 roku do poziomu prawie 700 tys. jednostek, z czego najwięcej, bo prawie 125 tys. jednostek, przypadało na produkcję sprzętu teleinformatycznego. Jeśli chodzi natomiast o pozostałe liczące się branże, tj. metalową oraz produkcji tworzyw sztucznych/chemiczną, wzrost w badanym okresie nie był już tak imponujący. Należy

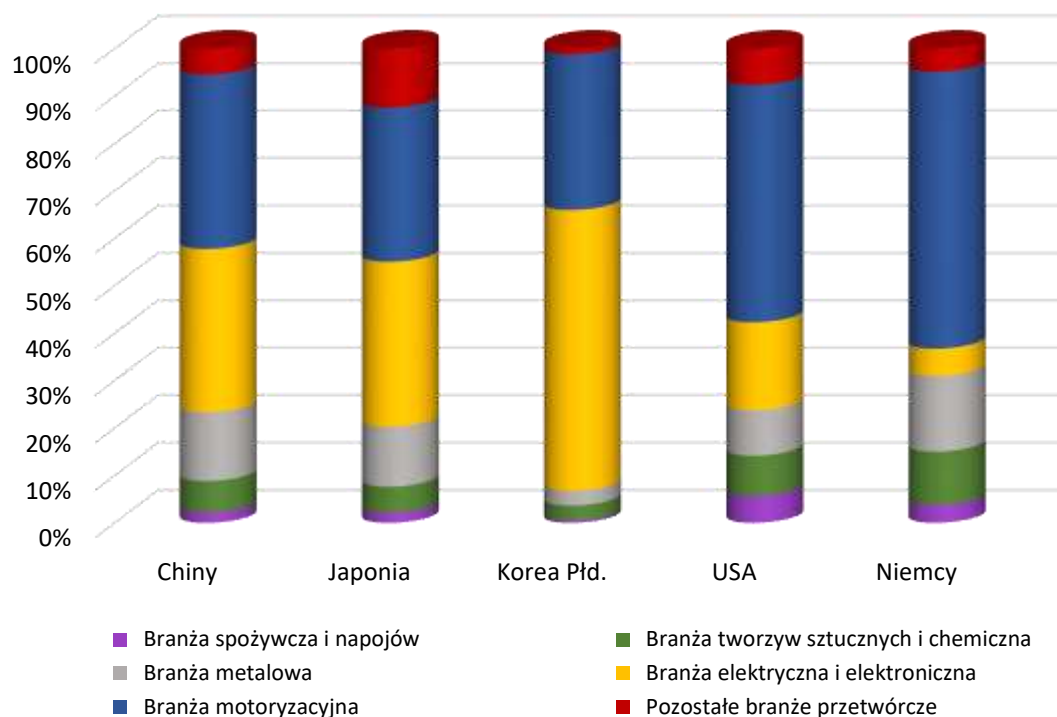
jednak dodać, że w pierwszej z nich na produkcję wyrobów z metali oraz maszyn przemysłowych przypadało łącznie ponad 2/3 zasobu operacyjnego, natomiast w drugiej największy, ponad 80-procentowy udział w zasobie operacyjnym miała produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych.



Rys. 2.4. Globalne branże o największej dynamice zasobu operacyjnego robotów przemysłowych w latach 1993–2019 (w tys. szt.)

Źródło: jak pod rysunkiem 2.2.

Jak można było przypuszczać, branża motoryzacyjna oraz branża urządzeń elektrycznych i elektronicznych mają największy udział w zasobie operacyjnym robotów przemysłowych w krajach zaliczanych do światowej czołówki w dziedzinie robotyki w 2019 roku, występują jednak między nimi dość wyraźne różnice (por. rys. 2.5). Branża motoryzacyjna ma zdecydowanie największy udział w Stanach Zjednoczonych i Niemczech, natomiast branża urządzeń elektrycznych i elektronicznych — w krajach azjatyckich. Co ciekawe, w przypadku Chin i Japonii struktura branżowa jest bardzo podobna, natomiast w Korei Południowej udział branży urządzeń elektrycznych i elektronicznych jest zdecydowanie największy — przypada na nią prawie 60% zasobu operacyjnego robotów przemysłowych zainstalowanych i eksploatowanych w przemyśle wytwórczym tego kraju.



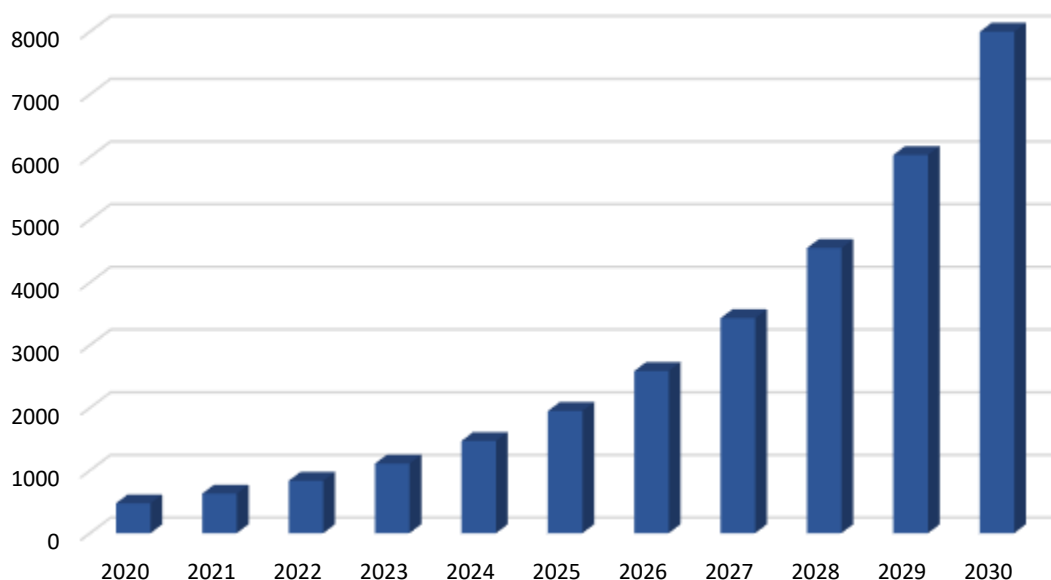
Rys. 2.5. Pięć krajów o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych w 2019 roku wg branż

Źródło: jak pod rysunkiem 2.2.

Według danych Międzynarodowej Federacji Robotyki globalne obroty na międzynarodowym rynku robotów przemysłowych sukcesywnie rosły od 2003 roku, z wyjątkiem roku 2009, kiedy to z powodu światowego spowolnienia gospodarczego sprzedaż w ujęciu pieniężnym spadła aż o 36%. Również w roku 2019 obroty na tym rynku zmniejszyły się o 17% do niespełna 14 mld USD, przy czym było to spowodowane — podobnie jak w przypadku robotów usługowych — spadkiem średnich cen jednostkowych w ostatnich latach. Biorąc jednak pod uwagę, że inwestycjom w roboty przemysłowe towarzyszą koszty oprogramowania, urządzeń peryferyjnych oraz obsługi technicznej, rzeczywista wartość systemów robotycznych może być trzykrotnie wyższa. Z tego względu wartość światowego rynku robotów przemysłowych w 2019 roku była szacowana na około 42 mld USD [Müller, Kutzbach, 2020, s. 49].

Warto dodać, że stosunkowo nowym segmentem rynku robotów przemysłowych są wspomniane wcześniej roboty towarzyszące — koboty. W roku 2019 na całym świecie zainstalowano ponad 18 tys. nowych robotów towarzyszących (wzrost o 18 procent), co stanowiło jednak zaledwie 4,8% wszystkich zainstalowanych w tym roku, ponad 373 tys. robotów przemysłowych. Należy jednak zaznaczyć, że w roku 2017, kiedy to zaczęto gromadzić dane

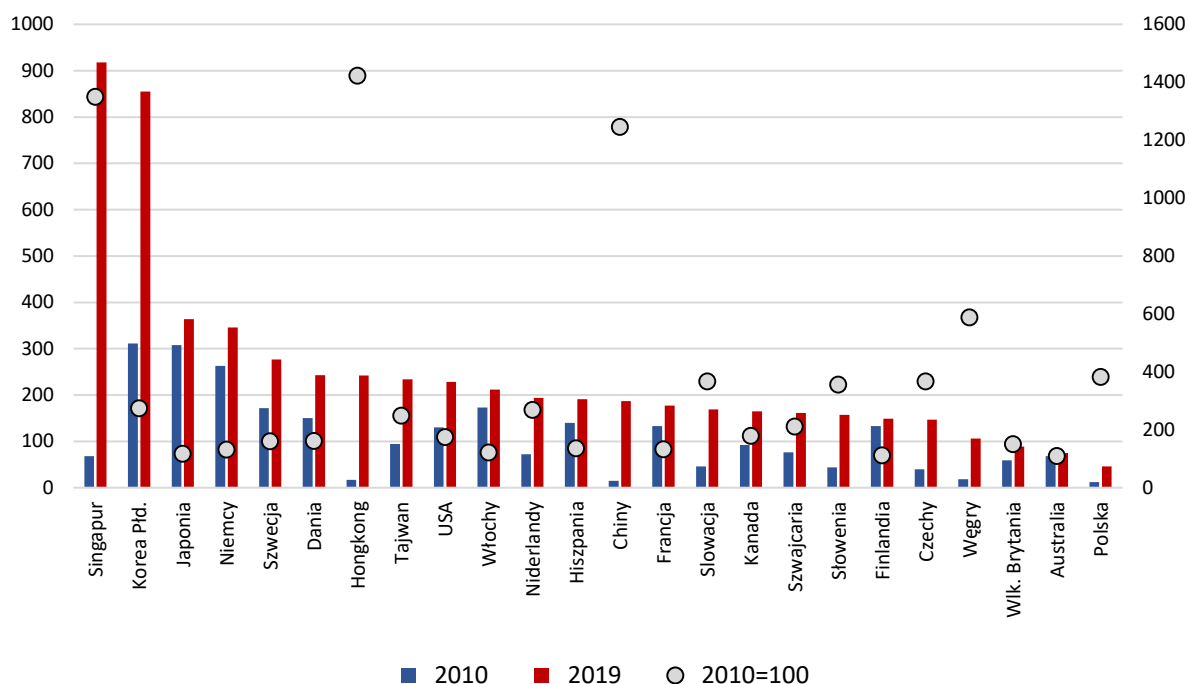
dotyczące segmentu kobotów, ich udział w rynku wynosił zaledwie 2,8%, zatem w ciągu trzech lat zwiększył się prawie dwukrotnie [Müller, Kutzbach, 2020, s. 52].



Rys. 2.6. Prognozowany rozwój rynku robotów towarzyszących w latach 2020–2030
(w mln USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych Statista, <https://www.statista.com/statistics/1239304/size-of-the-collaborative-robot-cobot-market/> (dostęp: 10.08.2021).

Z prognoz dotyczących rozwoju globalnego rynku robotów towarzyszących w najbliższej dekadzie (rys. 2.6) wynika, że w analizowanym okresie skumulowana roczna stopa wzrostu tego rynku może wynieść nawet 33%. W rezultacie jego wielkość może zwiększyć się ponad 16-krotnie — z niespełna 0,5 mld USD w 2020 roku do 8 mld w 2030 roku. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że prognozy obarczone są zawsze pewnym błędem, a ponadto nieznany jest jak na razie wpływ pandemii COVID-19 na międzynarodowy rynek robotów, a tym samym — na wielkość międzynarodowego rynku robotów towarzyszących. Wydaje się jednak, że wspomniane wcześniej dane Międzynarodowej Federacji Robotyki mogą potwierdzać dalszy rozwój tego rynku, przy czym ponownie czynnikiem utrudniającym dokładniejsze szacunki mogą być potencjalne zmiany cen tych robotów, tj. stopniowe obniżanie się ich cen wraz z rozwojem technologii i upowszechnianiem się tego rodzaju produktów w coraz to nowszych zastosowaniach.



Rys. 2.7. Liczba wielozadaniowych robotów przemysłowych przypadająca na 10000 zatrudnionych w przemyśle wytwórczym w wybranych krajach (skala lewa) i zmiana w latach 2010-2019 (skala prawa)

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie [Müller, Kutzbach, 2020, s. 58].

Roboty przemysłowe odgrywają zatem coraz większą rolę w przemyśle wytwórczym, co znajduje potwierdzenie na rysunku 2.6. W ostatniej dekadzie największy wzrost liczby wielozadaniowych robotów przemysłowych przypadających na 10000 zatrudnionych w przemyśle wytwórczym miał miejsce w krajach azjatyckich, w szczególności w Hongkongu, Singapurze i Chinach (we wszystkich ponad 12-krotny). W rezultacie w roku 2019 w Singapurze i Korei Południowej zainstalowanych było odpowiednio 918 i 855 robotów przemysłowych na 10000 zatrudnionych w przemyśle wytwórczym. W pozostałych liczących się pod tym względem krajach wartość tego wskaźnika kształtowała się na poziomie 150–250 jednostek (wyjątek stanowiły Japonia i Niemcy). Mimo prawie 4-krotnego wzrostu Polska znacząco odbiegała pod tym względem nie tylko od światowej czołówki, ale również do większości krajów Europy Środkowo-Wschodniej. Wynikało to przede wszystkim z dużego nasycenia robotami przemysłowymi zwłaszcza branży motoryzacyjnej w większości wymienionych krajów z wyjątkiem Polski.

Tabela 2.4. Porównanie zastosowań robotów usługowych w roku 2010 i 2020

Wyszczególnienie	Sprzedaż		Obroty		Śr. cena jedn.	
	szt.	%	mln USD	%	tys. USD	2010= 100
2010						
Zastosowania profesjonalne						
Roboty do prac w terenie	4198	30,6	744,0	23,6	177,2	100
Profesjonalne usługi czyszczenia	240	1,7	4,7	0,1	19,6	100
Roboty inspekcyjne i konserwacyjne	186	1,4	10,1	0,3	54,3	100
Budownictwo i prace rozbiórkowe	406	3,0	27,9	0,9	68,6	100
Roboty logistyczne	906	6,6	107,1	3,4	118,3	100
Roboty medyczne	932	6,8	1360,9	43,1	1460,2	100
Ratownictwo i bezpieczeństwo	150	1,1	48,4	1,5	322,9	100
Zastosowania wojskowe	6125	44,6	696,0	22,0	113,6	100
Systemy podwodne	174	1,3	149,9	4,7	861,5	100
Platformy mobilne ogólnego użytku	379	2,8	4,7	0,1	12,3	100
Usługi publiczne, hotelarstwo, rozrywka itd.	29	0,2	3,9	0,1	135,4	100
Inne	16	0,1	0,6	0,0	35,5	100
Ogółem	13741	100,0	3158,2	100,0	–	–
Zastosowania osobiste/domowe						
Prace domowe	1444806	65,7	368,6	68,5	0,3	100
Rozrywka i edukacja	753285	34,3	159,1	29,6	0,2	100
Pomoc osobom niepełnosprawnym	46	0,0	0,6	0,1	12,3	100
Transport osobisty	3	0,0	0,4	0,1	138,0	100
Bezpieczeństwo i nadzór w domu	400	0,0	9,2	1,7	23,0	100
Ogółem	2198540	100,0	537,8	100,0	–	–
2020						
Zastosowania profesjonalne						
Roboty do prac w terenie	11728	4,9	1439,8	10,4	122,8	69
Profesjonalne usługi czyszczenia	19195	8,0	295,1	2,1	15,4	79
Roboty inspekcyjne i konserwacyjne	18183	7,6	266,6	1,9	14,7	27
Budownictwo i prace rozbiórkowe	1405	0,6	109,8	0,8	78,1	114
Roboty logistyczne	114150	47,5	2606,1	18,8	22,8	19
Roboty medyczne	11940	5,0	6649,0	47,9	556,9	38
Zastosowania wojskowe	21528	9,0	1983,7	14,3	92,1	81
Systemy podwodne	1660	0,7	104,3	0,8	62,9	7
Egzoszkielety z własnym zasilaniem	11239	4,7	100,5	0,7	8,9	–
Platformy mobilne ogólnego użytku	697	0,3	18,3	0,1	26,2	213
Usługi publiczne, hotelarstwo, rozrywka itd.	28130	11,7	291,0	2,1	10,3	8
Inne	255	0,1	25,4	0,2	99,6	281
Ogółem	240110	100,0	13889,5	100,0	–	–
Zastosowania osobiste/domowe						
Prace domowe	21641553	81,0	4971,4	76,6	0,2	90
Rozrywka i edukacja	5071987	19,0	1404,7	21,7	0,3	131

Pomoc osobom niepełnosprawnym i starszym	16855	0,1	110,6	1,7	6,6	54
Ogółem	26730395	100,0	6486,7	100,0	–	–

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie [Hägele, 2010, s. 8–9; Müller i in., 2020, s. 23–29].

W tabeli 2.4 porównano z kolei globalne zastosowania robotów usługowych w latach 2010 i 2020, z podziałem na usługi profesjonalne oraz prywatne/domowe. W roku 2010 pod względem wielkości sprzedaży największe znaczenie miały roboty wojskowe oraz wykorzystywane do prac w terenie, przy czym oznacza to nie tylko wykonywanie pewnych czynności w rolnictwie, ale również między innymi w górnictwie. Z kolei pod względem wielkości obrotów największy udział miały roboty medyczne (ponad 43%), a dopiero w dalszej kolejności roboty do prac w terenie oraz roboty do zastosowań wojskowych. Jeśli chodzi natomiast o zastosowania osobiste/prywatne, największy udział zarówno pod względem rocznej wielkości sprzedaży, jak i obrotów miały roboty wykonujące zadania w domu (towarzyszące, sprzątające, koszące trawniki czy czyszczące baseny). Roboty wykorzystywane do świadczenia usług edukacyjnych i rozrywkowych miały znacznie mniejszy udział, choć ich liczba sięgająca ponad 750 tys. sztuk sprzedanych tylko w 2010 roku jest równie imponująca.

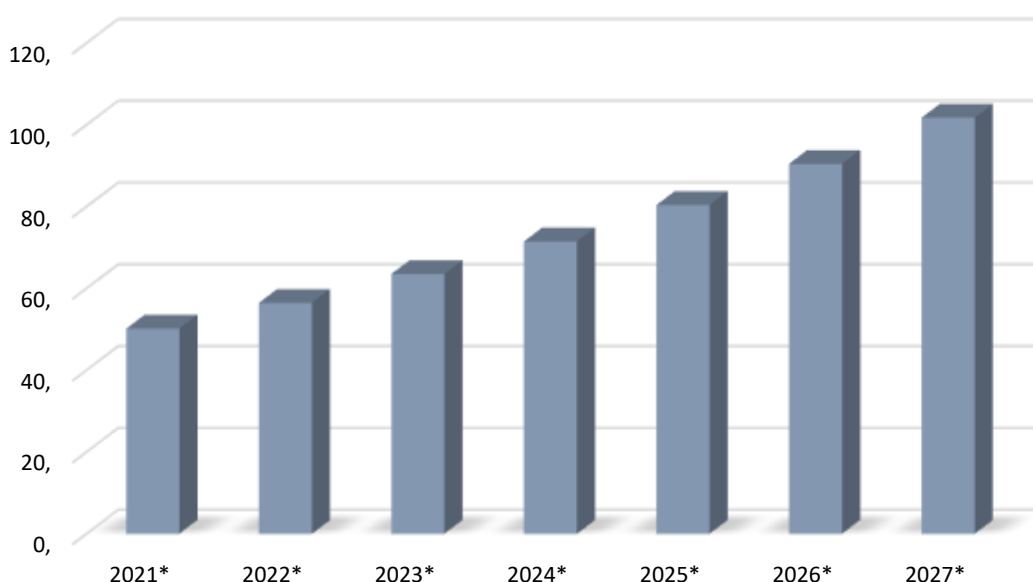
Sytuacja uległa diametralnej zmianie po upływie kolejnej dekady. W zastosowaniach profesjonalnych na czoło wysunęły się roboty znajdujące zastosowanie w logistyce, w szczególności w operacjach magazynowych, jak również roboty medyczne. Udział pierwszej grupy w sprzedaży rocznej wyniósł prawie 50%, natomiast druga miała podobny udział pod względem wielkości obrotów wyrażonych w USD. Dość wyraźny spadek znaczenia odnotowały roboty wykorzystywane w wojskowości, ale jednocześnie pojawiła się nowa kategoria — egzoszkielety z własnym zasilaniem [Patrzyłas, 2020]⁸. W zastosowaniach osobistych zwiększyła się przewaga grupy robotów domowych, których sprzedaż w 2020 roku wyraźnie przekroczyła 21 mln sztuk, a więc wzrosła prawie 15-krotnie w porównaniu z rokiem 2010.

W ostatnich dwóch kolumnach omawianej tabeli wyliczono średnie ceny jednostkowe robotów używanych do celów profesjonalnych i prywatnych. Jak widać, w ciągu dekady usługowe roboty profesjonalne znacznie potaniały, w największym stopniu — roboty do prac podwodnych, roboty używane do świadczenia usług publicznych, w rozrywce i hotelarstwie, jak również roboty wykorzystywane w logistyce. Średnie ceny wzrosły w przypadku robotów wykorzystywanych w budownictwie oraz przy pracach rozbiórkowych, a ponad dwukrotnie podrożały platformy mobilne ogólnego użytku. W zastosowaniach prywatnych 30-procentowy wzrost cen średnich miał miejsce w grupie robotów używanych do rozrywki i edukacji, co

⁸ W latach 2017–2025 prognozowana wielkość globalnego rynku egzoszkieleatów wzrośnie z 528 mln USD do 8,3 mld USD; <https://www.statista.com/statistics/888936/global-exoskeleton-market/> (dostęp: 10.08.2021).

mogło być związane z rozbudowywaniem tych urządzeń o nowe funkcje, np. rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji oraz rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej (VR/AR).

W roku 2019 najwięcej profesjonalnych robotów usługowych (ok. 55% globalnej podaży) pochodziło z Europy, przy czym były to przede wszystkim roboty wykorzystywane w logistyce. Z Ameryki Północnej pochodziła 1/3 dostaw, natomiast z Azji i Australii — nieco ponad 11%. Z kolei roboty usługowe do zastosowań osobistych/domowych pochodziły w zdecydowanej większości z Ameryki Północnej (ok. 65% dostaw), a zdecydowana większość z nich służyła do wykonywania prac domowych (sprzątanie, koszenie trawników, czyszczenie basenów). Kolejne 25% robotów pochodziło z Azji, a 10% — z Europy, jednak w tym przypadku były to roboty wykorzystywane zarówno do prac domowych, jak również roboty zapewniające rozrywkę [Müller i in., 2020, s. 30–32].



Rys. 2.8. Wielkość globalnego rynku robotów przemysłowych w latach 2021–2027
(w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych Statista, <https://www.statista.com/statistics/728530/industrial-robot-market-size-worldwide/> (dostęp: 10.08.2021).

W latach 2021–2027 prognozowane jest podwojenie wielkości globalnego rynku robotów przemysłowych (por. rys. 2.8), choć trudno na razie przewidzieć, jaki wpływ na rozwój tego rynku będzie mieć pandemia COVID-19. Jakkolwiek prognozy dotyczące perspektyw rozwoju globalnego rynku robotów usługowych są trudno dostępne, na podstawie dotychczas zgromadzonych danych można przypuszczać, że będzie się on również dynamicznie rozwijać. W przypadku robotów przemysłowych głównym czynnikiem zachęcającym przedsiębiorstwa produkcyjne do inwestowania w systemy robotyczne są potencjalnie duże oszczędności.

Instalowanie robotów na liniach produkcyjnych umożliwia zwiększenie produktywności dzięki wydłużeniu czasu pracy oraz zminimalizowaniu przestojów, a relatywnie niski koszt posiadania przekłada się na szybszy zwrot z inwestycji. Roboty pozwalają także na usprawnienie procesów technologicznych oraz lepsze wykorzystanie przestrzeni roboczej. Kolejną niezaprzeczalną korzyścią jest zwiększenie bezpieczeństwa w miejscu pracy, ponieważ roboty mogą zastępować ludzi w wykonywaniu powtarzalnych operacji w środowiskach niebezpiecznych, a w konsekwencji istotnie zmniejsza się liczba wypadków przy pracy i spowodowana nimi absencja pracowników. Nowoczesne roboty wyposażone w systemy wizyjne i moduły komunikacyjne mogą efektywnie współpracować z pracownikami, którzy mogą dzięki temu bardziej skoncentrować się na wykonywaniu bardziej skomplikowanych zadań i innowacyjności, poświęcając mniej czasu na pracę ręczną czy pasywny nadzór nad pracą maszyn [Association for Advancing Automation, 2016]. Tym samym możliwe jest stopniowe urzeczywistnianie koncepcji inteligentnej fabryki, w której zdecydowana większość operacji wytwórczych jest realizowana przez automaty [Hetmańczyk, 2020].

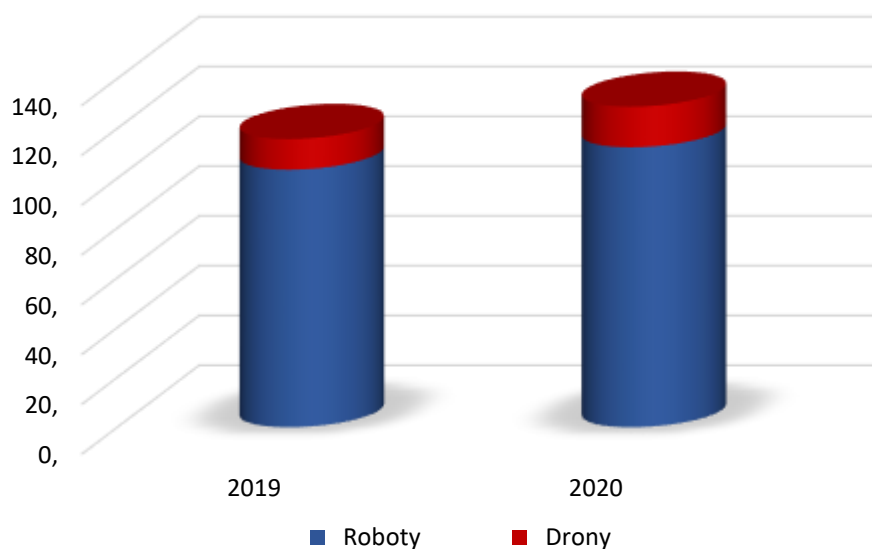
Prawdopodobny rozwój globalnego rynku robotów usługowych również wynika z szeregu potencjalnych korzyści dla różnych grup interesariuszy. Tego rodzaju roboty znacząco usprawniają świadczenie niektórych usług B2B czy B2C, takich jak na przykład transportowe czy logistyczne. Z kolei roboty medyczne i egzoszkielety umożliwiają zapewnienie opieki medycznej na wysokim poziomie, a także pomoc osobom niepełnosprawnym lub w podeszłym wieku. Roboty usługowe pomagają również świadczyć lepsze jakościowo usługi publiczne, a w przypadku konsumentów indywidualnych — zapewniają bardziej wyrafinowaną rozrywkę, edukację oraz doskonale wpisują się w koncepcję inteligentnego budownictwa.

Według Międzynarodowej Federacji Robotyki osiągnięcia z dziedziny robotyki i automatyki pozwolą szybciej zwalczyć negatywne skutki pandemii COVID-19 oraz umożliwią wielu krajom szybszy powrót na ścieżkę wzrostu gospodarczego. Należy dodać, że inwestycje w roboty przemysłowe i usługowe są uzasadnione również z tego względu, że globalne kryzysy podobne do obecnej pandemii mogą się pojawiać w przyszłości. W krótkiej perspektywie producenci i dostawcy robotów będą zmuszeni do ponownej oceny globalnego zapotrzebowania na swoje produkty, szukania nowych zastosowań oraz opracowania rozwiązań dostosowanych do „nowej normalności” (np. w ramach wspierania postpandemicznej transformacji branży motoryzacyjnej w kierunku transportu zeroemisyjnego). W średnim okresie pandemia może okazać się czynnikiem przyspieszającym digitalizację i modernizację wielu sfer produkcji i usług, wraz z reorganizacją globalnych łańcuchów dostaw oraz zmieniającym się popytem. Natomiast długookresowe perspektywy rozwoju systemów robotycznych rysują się bardzo

optymistycznie, co związane będzie z rozwojem koncepcji Gospodarki 4.0. Szybki postęp naukowo-techniczny w dziedzinie robotyki i automatyki przełoży się na nowe zastosowania i rozwój nowych segmentów rynku, co będzie wynikało z takich trendów jak współpraca „maszyna-człowiek”, responsywne efekторы końcowe, łatwiejsza integracja „plug-and-play”, prostsze programowanie z wykorzystaniem komend głosowych czy uczenia maszynowego, samodzielna optymalizacja pracy robotów, a nawet rozwój rynku dzierżawy robotów (Raas — Robot-as-a-Service) [Müller, Kutzbach, 2020, s. 536–548].

2.2. Międzynarodowy rynek dronów

Bezzałogowe statki powietrzne (ang. unmanned aerial vehicles, UAV), zwane potocznie dronami, to pojazdy powietrzne sterowane przez operatora lub wykonujące loty autonomiczne. Drony autonomiczne, które wykonują powierzone zadania pod nadzorem specjalnego oprogramowania lub sztucznej inteligencji, można zatem uznać za podgrupę urządzeń (systemów) robotycznych. Porównując jednak te dwie kategorie, należy zauważyć, że globalny rynek dronów jest współcześnie znacznie mniejszy niż rynek robotów, co znajduje odzwierciedlenie na rysunku 2.9. Prognozy z 2019 roku wskazują bowiem, że globalne wydatki na drony stanowią zaledwie 1/10 światowych wydatków na obydwie grupy tych urządzeń.

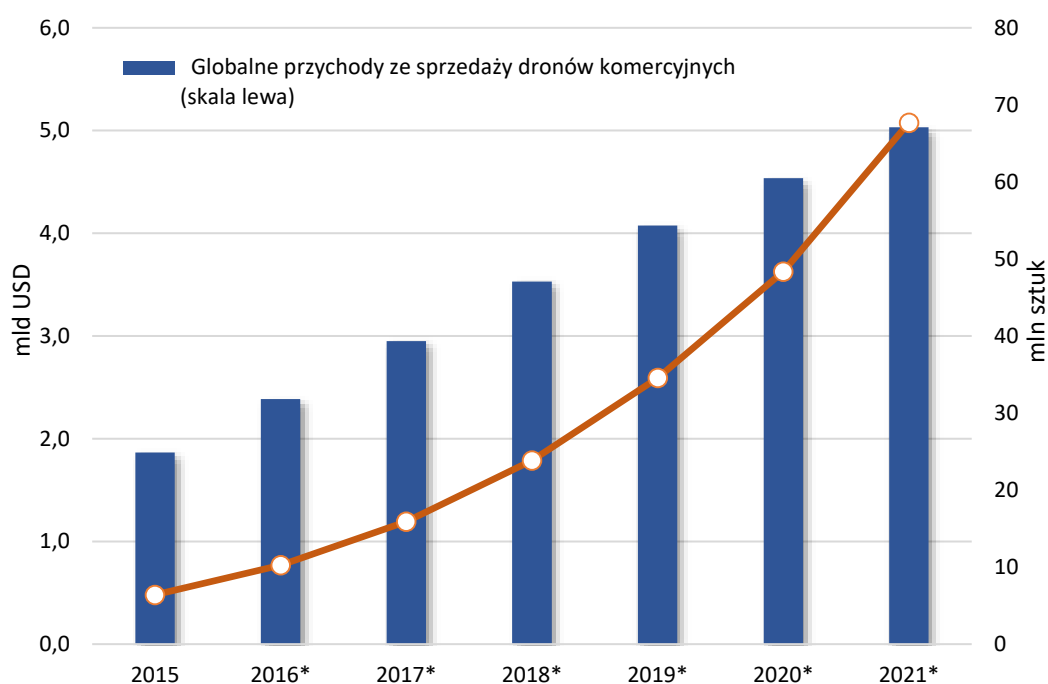


Rys. 2.9. Prognozowane globalne wydatki na roboty i drony w latach 2019–2020
(w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [IDC, 2020a].

Warto również wspomnieć, że historia dronów sięga początków lat 20. XX wieku, kiedy to powstały pierwsze tego rodzaju konstrukcje. Pierwszy kwadrokopter, tzw. żyroplan Brégueta-Richeta, opracowano już w 1907 roku, jednak po wzbiciu się w powietrze jego lot był

bardzo niestabilny i nie trwał zbyt długo [Shosa, 2015]. W ciągu kolejnych ponad 100 lat rozwoju powstało bardzo wiele konstrukcji dronów, przy czym oprócz typowych pojazdów latających (wirnikowych i skrzydlatych) do dronów zalicza się również bezzałogowe pojazdy lądowe (kołowe i gąsiennicowe) oraz podwodne. Tak duża różnorodność dronów przełożyła się na wiele ich zastosowań, spośród których trzeba wymienić m.in. wojskowe (drony bojowe), inspekcyjne, transportowe i kurierskie, kartograficzne i geodezyjne, ratownicze czy pożarnicze, przy czym szacunkowa wartość całego rynku dronów konsumenckich, komercyjnych i wojskowych wyniosła w 2020 roku około 100 mld USD. Należy jednak zaznaczyć, że pod koniec drugiej dekady XXI wieku największy udział w globalnym rynku UAV miały drony wojskowe⁹ (70%), natomiast na drony konsumenckie (osobiste) oraz komercyjne przypadało odpowiednio 17 i 13 procent [Goldman Sachs, 2016]. Według firmy Gartner, mimo dotychczasowej dominacji dronów osobistych na rynku światowym (w 2016 roku przypadało na nie aż 94% wszystkich sprzedanych jednostek), pod względem przychodów ze sprzedaży miały one zaledwie 40-procentowy udział w rynku. Z kolei drony komercyjne stanowiły zaledwie 6% rynku, lecz ze względu na znacznie wyższe ceny jednostkowe (ok. 100 tys. USD za sztukę) przewidywano, że ich udział w przychodach branży sięgnie nawet 60 procent [Castellano, 2017].



Rys. 2.10. Prognozowany rozwój rynku dronów komercyjnych w latach 2015–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Tractica, 2016].

⁹ Więcej informacji na temat najbardziej zaawansowanego technicznie rynku dronów bojowych, zob. np. [Arnett 2015; Bergen i in. 2020].

Na podstawie danych zaprezentowanych na rysunku 2.10 oraz w tabeli 2.5 można zatem przyjąć, że analogicznie jak w przypadku międzynarodowego rynku robotów przemysłowych i usługowych, również perspektywy rozwoju rynku dronów komercyjnych rysują się bardzo obiecująco. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że prognozowane przychody i wielkości dostaw przedstawione na rysunku 2.10 zostały już zweryfikowane, a między danymi pochodzącymi z innych źródeł i badań rynkowych występują dość istotne różnice. Wynikać to może z odmiennej metodologii, jak również z tego, że gromadzeniem danych dotyczących rynku dronów zajmują się najczęściej prywatne instytucje badawcze, takie jak np. International Data Corporation, które bazują często na badaniach ankietowych.

Tabela 2.5. Rozwój rynku dronów komercyjnych w latach 2016–2025

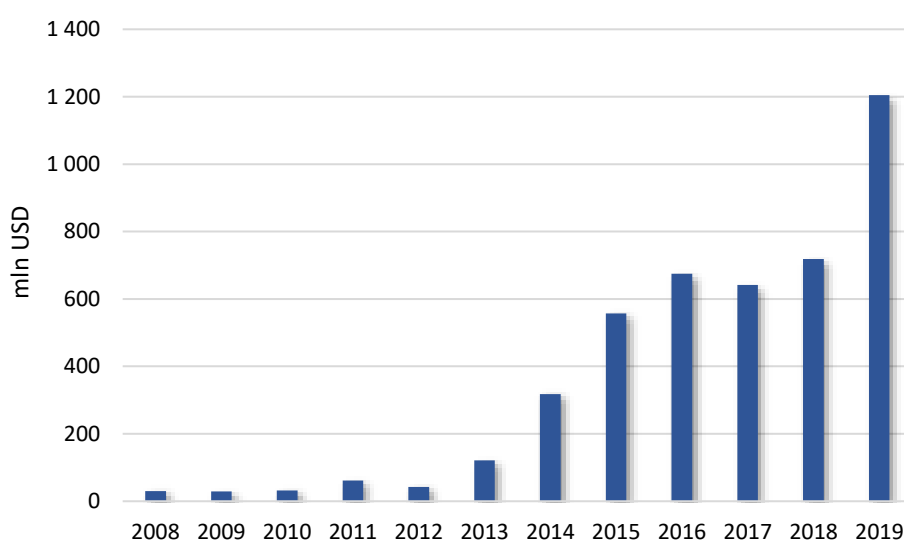
Region	2016	2017	2018	2019	2020*	2021*	2022*	2023*	2024*	2025*	2020=100
Prognozowane dostawy dronów komercyjnych (mln sztuk)											
Ameryka Północna	48,1	67,9	102,3	158,2	249,0	379,5	522,6	683,6	807,2	897,4	360
Azja	28,8	42,3	66,3	106,5	174,5	276,9	397,4	542,3	668,6	776,9	445
Europa	24,3	35,6	55,7	89,3	145,9	231,1	331,0	450,6	554,4	642,9	441
Ameryka Łacińska	5,9	9,1	14,9	25,1	42,8	70,7	105,4	148,9	189,9	227,7	532
Bliski Wschód	2,5	4,1	7,1	12,5	22,2	37,9	58,0	84,0	109,5	133,9	603
Świat	109,6	158,9	246,3	391,6	634,4	996,1	1414,4	1909,4	2329,5	2678,9	422
Prognozowane przychody ze sprzedaży dronów komercyjnych (mld USD)											
Ameryka Północna	0,26	0,34	0,46	0,64	0,93	1,38	1,97	2,72	3,50	4,24	456
Azja i Oceania	0,15	0,21	0,30	0,43	0,65	1,00	1,50	2,15	2,90	3,67	563
Europa	0,13	0,18	0,25	0,36	0,54	0,84	1,25	1,79	2,41	3,04	557
Ameryka Łacińska	0,03	0,05	0,07	0,10	0,16	0,26	0,40	0,59	0,82	1,08	673
Bliski Wschód i Afryka	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,14	0,22	0,33	0,48	0,63	763
Świat	0,59	0,79	1,11	1,59	2,37	3,61	5,33	7,58	10,11	12,65	534

* Prognoza

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie [Tractica, 2019].

Wspomniane różnice widoczne są nawet w danych pochodzących z tej samej firmy badawczej (por. rys. 2.10 i tab. 2.5). Nie zmienia to jednak faktu, że tendencja wzrostowa jest w obydwu przypadkach wyraźnie widoczna. Według badań firmy Tractica z 2019 roku globalne dostawy dronów komercyjnych mogą zwiększyć się w najbliższym pięcioleciu ponad czterokrotnie, a przychody z ich sprzedaży — przeszło pięciokrotnie. Jeśli chodzi natomiast o strukturę geograficzną, to w analizowanym okresie nie powinna ona ulec większym zmianom, a największy udział w rynku będą mieć nadal trzy regiony — Ameryka Północna, Azja i Europa, przy czym dotyczy to zarówno strony podażowej, jak i popytowej.

Rozwój międzynarodowego rynku bezzałogowych statków powietrznych w ostatnich latach jest bezpośrednią konsekwencją inwestycji dokonanych w tej branży, co w połączeniu z szybkim postępem naukowo-technicznym w tej dziedzinie skutkowało pojawianiem się coraz to nowszych rodzajów dronów i ich kolejnych obszarów zastosowań. Globalne inwestycje w branżę dronów komercyjnych przyspieszyły zwłaszcza w drugiej dekadzie obecnego stulecia — w latach 2013–2019 zwiększyły się przeszło 10-krotnie, osiągając poziom 1,3 mld USD (por. rys. 11.2). Niedostępność zweryfikowanych danych utrudnia oszacowanie skali inwestycji w branżę dronów konsumenckich czy wojskowych, jednak dotychczasowe tempo wzrostu tych sektorów wskazuje, że również w nich inwestycje muszą być coraz większe.

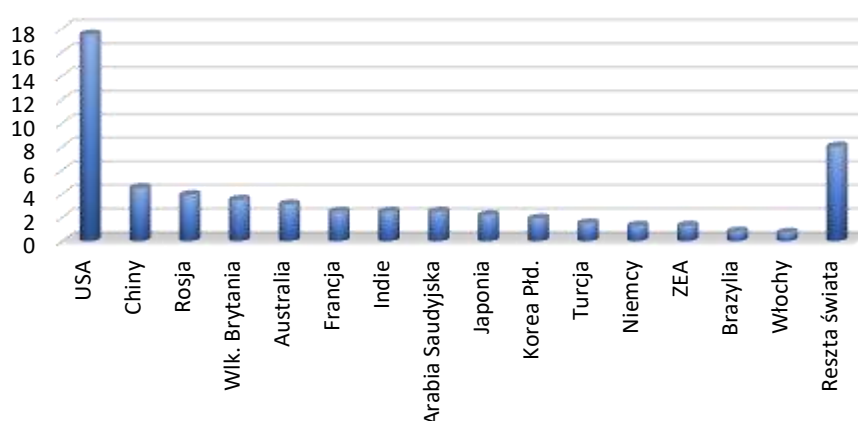


Rys. 2.11. Globalne inwestycje w branżę dronów komercyjnych w latach 2008–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Boedecker, 2020].

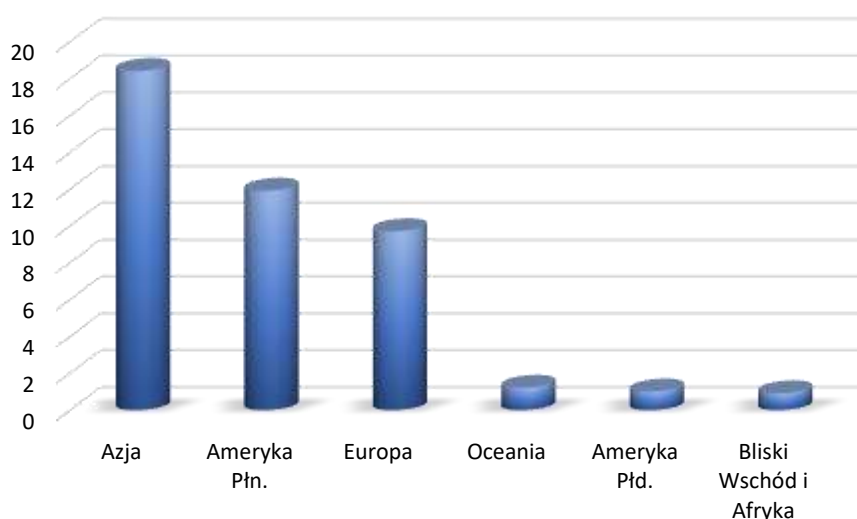
Jak dotychczas największe przychody ze sprzedaży oraz wielkości dostaw dronów komercyjnych przypadają na trzy regiony, tj. Amerykę Północną, Azję i Europę, jednak w najbliższych latach obraz ten może ulec zmianie. Według wspomnianych prognoz Goldman Sachs w latach 2017–2021 Stany Zjednoczone poniosą największe, sięgające około 17 mld USD wydatki na drony komercyjne (por. rys. 2.12). W pozostałych krajach zaliczanych do czołówki światowej nie przekroczą one 4 mld USD, przy czym w tej grupie, oprócz krajów wysoko rozwiniętych, dość licznie reprezentowane są nowo uprzemysłowione kraje średniego dochodu (Rosja, Indie, Turcja i Brazylia). Co więcej, szacuje się, że w najbliższych latach największy udział w międzynarodowym rynku dronów komercyjnych zdobędą Chiny i Japonia, a na trzecie miejsce mogą awansować Indie [Drone Industry Insights, 2020].

Prognozy te znajdują potwierdzenie w danych zaprezentowanych na rysunku 2.13. Jak można zauważyć, w 2024 właśnie rynek azjatycki może odnotowywać największe obroty, natomiast na kolejnych miejscach znajdą się rynki amerykański i europejski. Mimo że trwająca pandemia COVID-19 może podważyć sprawdzalność wspomnianych prognoz, wydaje się jednak, że proces stopniowego dostosowywania się gospodarki światowej do warunków tzw. „nowej normalności” powinien raczej stymulować rozwój międzynarodowego rynku dronów. Wynika to między innymi z nowych realiów funkcjonowania wielu podmiotów w reżimie sanitarnym, co powinno się raczej przekładać się na rosnące zapotrzebowanie np. na drony inspekcyjne czy kurierskie (dostawcze).



Rys. 2.12. Globalne wydatki na drony komercyjne w wybranych krajach w latach 2017–2021 (w mld USD)

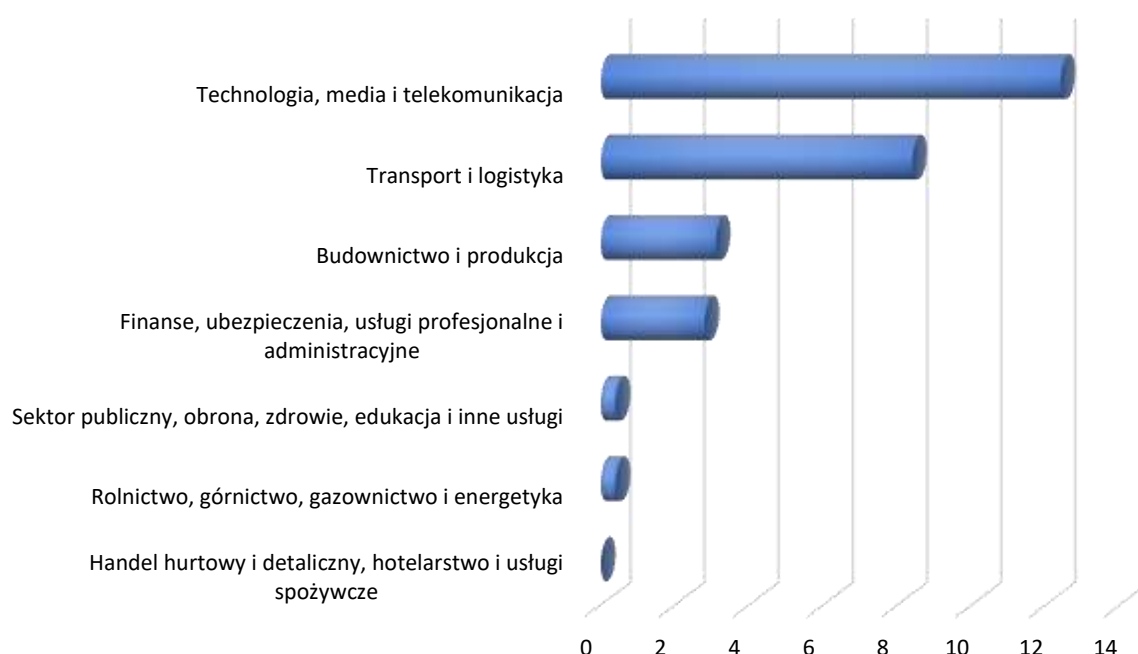
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Goldman Sachs, 2016].



Rys. 2.13. Prognozowana wielkość globalnego rynku dronów komercyjnych w 2024 roku wg regionów (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Schroth, 2019].

Omówione tendencje znajdują także potwierdzenie w danych dotyczących potencjalnych zmian produktywności wieloczynnikowej wynikających z komercyjnych zastosowań dronów. Jakkolwiek zaprezentowane na rysunku 2.14 wyniki badań dotyczą rynku brytyjskiego, można założyć, że zbliżone tendencje powinny występować także w innych krajach wysoko rozwiniętych. Przewiduje się zatem, że największe zmiany produktywności wieloczynnikowej wystąpią w 2030 roku w branży związanej z nowymi technologiami, mediami i telekomunikacją, a tylko nieznacznie mniejsze — w transporcie i logistyce. Z kolei w handlu hurtowym i detalicznym, hotelarstwie i usługach spożywczych nie przewiduje się zmiany produktywności, co może wskazywać, że jak na razie utrudnione jest zastosowanie dronów w tych sferach.



Rys. 2.14. Potencjalne zmiany produktywności wieloczynnikowej wynikające z komercyjnych zastosowań dronów w Wielkiej Brytanii w 2030 roku (w proc.)

Źródło: [PwC, 2018, s. 11].

Jednocześnie trudno rozstrzygnąć, czy niewielka zmiana produktywności wieloczynnikowej w rolnictwie w 2030 roku jest specyficzna dla rynku brytyjskiego, czy może stanowić trend globalny. Według prognoz amerykańskiej firmy badawczej MarketsandMarkets w latach 2019–2024 globalny rynek dronów wykorzystywanych w inteligentnym rolnictwie wzrośnie czterokrotnie, osiągając wartość prawie 5 mld USD¹⁰, co mogłoby sugerować, że rozwijające się rolnictwo 4.0 będzie obiecującym obszarem zastosowań dronów. Jednym z takich

¹⁰ <https://www.statista.com/statistics/729533/forecasted-market-size-of-drones-in-smart-agriculture-worldwide/> (dostęp: 10.08.2021).

perspektywicznych zastosowań dronów autonomicznych są robotyczne pszczoły (robobees), nad którymi pracują aktualnie naukowcy z Uniwersytetu Harvarda¹¹. Mimo że takie rozwiązania znajdują się na razie w fazie prac laboratoryjnych, można jednak sobie wyobrazić, że w niedalekiej przyszłości roje takich urządzeń sterowane przez sztuczną inteligencję będą zajmować się m.in. zapylaniem pól uprawnych bądź precyzyjnym nawożeniem lub ochroną roślin.

Na podstawie dotychczasowych rozważań zaprezentowanych w niniejszej części główne tendencje na międzynarodowym rynku dronów przedstawiają się zatem następująco [Castellano, 2017; Drone Industry Insights, 2020]:

- wszystkie dotychczasowe prognozy jednoznacznie wskazują, że rynek bezzałogowych statków powietrznych (UAV) będzie się nadal dynamicznie rozwijał, czego raczej nie powinna zakłócić obecna sytuacja pandemiczna;
- Azja, Ameryka Północna i Europa będą nadal największymi rynkami produkcji i dostaw dronów komercyjnych, przy czym zarysowuje się pod tym względem rosnąca przewaga krajów azjatyckich;
- większość inwestycji dotyczących rynku dronów skoncentrowana jest obecnie w Chinach, Izraelu i USA, a o jego potencjale rozwojowym świadczy także rosnąca liczba start-upów oraz zainteresowanie ze strony funduszy *venture capital*;
- pod względem wielkości dostaw najważniejsze są kolejno drony osobiste (konsumenckie), komercyjne i wojskowe, natomiast pod względem generowanych obrotów — drony wojskowe, komercyjne i osobiste (m.in. z powodu różnic w cenach jednostkowych, oferowanych funkcji oraz stopnia zaawansowania technicznego);
- poza rosnącymi obrotami z tytułu dostaw samych urządzeń, zyskującym na znaczeniu źródłami przychodów będą w coraz większym zakresie usługi o wartości dodanej związane z bieżącą obsługą i konserwacją dronów, jak również zarządzaniem generowanymi przez nie strumieniami danych;
- do najbardziej perspektywicznych komercyjnych zastosowań dronów zalicza się mapowanie 3D, dostawy przesyłek bezpośrednio do odbiorcy (np. rozwiązania testowane obecnie przez firmę Amazon), inspekcje (np. masztów telekomunikacyjnych, budynków, paneli fotowoltaicznych, sieci energetycznych czy rurociągów) oraz szerokopasmowa transmisja danych.

Do najważniejszych przyszłych trendów na globalnym rynku dronów należy zaliczyć coraz częstsze fuzje i przejęcia skutkujące konsolidacją, rosnące koszty ubezpieczeń ponoszone przez operatorów, rozwój dronów autonomicznych sterowanych przez algorytmy sztucznej

¹¹ <https://www.seas.harvard.edu/news/2015/10/dive-robobee> (dostęp: 10.08.2021).

inteligencji oraz inteligentnych rojów współpracujących ze sobą dronów. Należy także przypuszczać, że kolejne linie rozwojowe dronów będą także istotnym elementem środowiska Internetu rzeczy.

2.3. Globalny ekosystem Internetu rzeczy

Międzynarodowy rynek Internetu rzeczy (IoT) obejmuje nie tylko wspomniane wcześniej komunikujące się ze sobą urządzenia, ale także dodatkowe elementy, które w praktyce tworzą rozbudowany ekosystem IoT. Oznacza to, że w kontekście Internetu rzeczy należy raczej mówić o wielu komplementarnych rynkach inteligentnych urządzeń, czujników, specjalistycznego oprogramowania oraz dedykowanych usług. Należy również dodać, że jakkolwiek globalny ekosystem IoT rozwija się zaledwie od przeszło dwóch dekad, to idea połączonych i komunikujących się ze sobą urządzeń pojawiła się już w latach 70. XX wieku, tj. w początkowym okresie rozwoju Internetu [Gershenfeld, 2000]. Właśnie dzięki Internetowi, rozwojowi komunikacji bezprzewodowej oraz przetwarzaniu danych w chmurze możliwa była późniejsza komunikacja M2M — pomiędzy maszynami, za pośrednictwem sieci oraz bez interakcji człowieka. Kolejnym etapem rozwoju ekosystemu IoT będzie globalna sieć czujników obejmująca miliardy inteligentnych urządzeń gromadzących dane i udostępniających je między sobą.

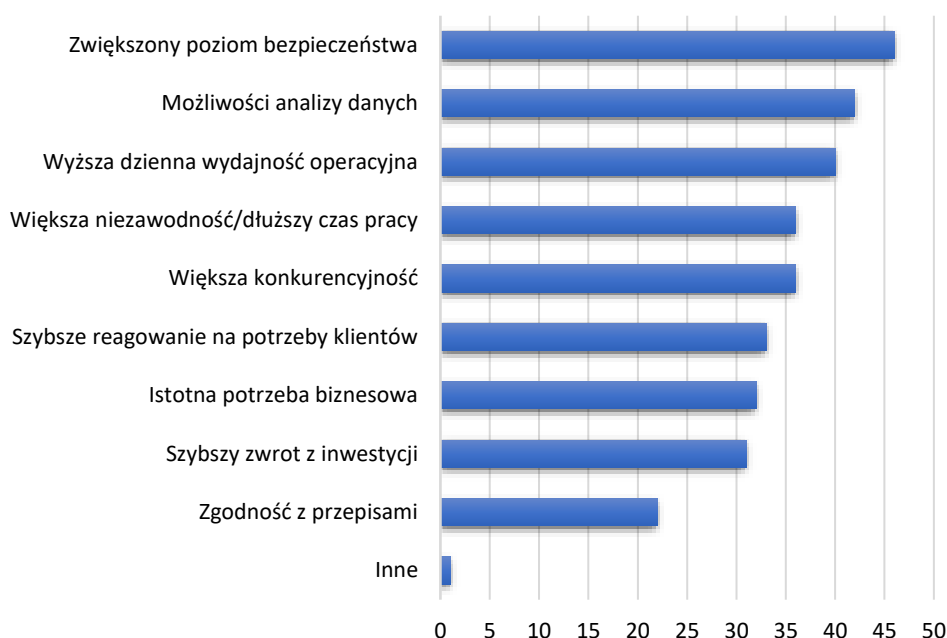
Według prognoz IDC w 2020 roku największy udział w globalnych wydatkach na IoT miały czujniki/moduły (ponad 28%), a następnie kolejno usługi bieżące (21%), usługi IT i instalacyjne (14%) oraz oprogramowanie aplikacyjne (ok. 12%)¹². Jak można zatem zauważyć, czujniki i moduły komunikacyjne stanowią faktycznie istotny, aczkolwiek nie jedyny segment tego rynku, przy czym szacunki MarketWatch wskazują, że w latach 2019–2025 wielkość globalnego rynku czujników IoT wzrośnie prawie czterokrotnie, z niespełna 12 do ponad 42 mld USD¹³. Z kolei największy udział w globalnych wydatkach na IoT w 2021 roku będą mieć rozwiązania IoT dla przedsiębiorstw (bez sektora przemysłowego) — 76 procent, przemysłowy IoT — 15 procent, a konsumencki IoT — zaledwie 9 procent [Stiehler i in., 2020, s. 5]. Jakkolwiek nie są dostępne bardziej szczegółowe dane, można przypuszczać, że w ramach rozwiązań dla przedsiębiorstw uwzględniono segment rolniczego Internetu rzeczy.

Olbrzymie ilości danych, jakie będą w niedalekiej przyszłości transferowane między miliardami urządzeń w globalnym ekosystemie IoT, a także fakt, że komunikacja ta będzie odbywać się bez nadzoru człowieka, budzą uzasadnione obawy o bezpieczeństwo. Według

¹² <https://www.statista.com/statistics/764061/iot-market-share-by-sub-sector-worldwide/> (dostęp: 10.08.2021).

¹³ <https://www.statista.com/statistics/993778/worldwide-internet-of-things-sensors-market-size/> (dostęp: 10.08.2021).

szacunków IDC w latach 2019–2025 wolumen danych przekazywanych między urządzeniami IoT zwiększy się prawie 6-krotnie, z 13 do prawie 80 zettabajtów [MacGillivray, Reinsel, 2020]. Nie powinien zatem stanowić zaskoczenia fakt, że pod koniec 2019 roku do największych globalnych zagrożeń bezpieczeństwa zaliczano ataki na urządzenia IoT mogące negatywnie wpłynąć na operacje krytyczne, brak wykwalifikowanego personelu do wdrażania zabezpieczeń IoT oraz konieczność zapewnienia ochrony danych wrażliwych (każdą z tych obaw wskazało ponad 30% respondentów). Na kolejnych miejscach znalazły się m.in. utrata lub kradzież urządzeń IoT, naruszenia prywatności czy brak standardów branżowych dotyczących zabezpieczeń urządzeń IoT [Thales, 2020, s. 26]. Bezpieczeństwo danych, w szczególności informacji wrażliwych dotyczących użytkowników i firm, będzie niewątpliwie jednym z największych wyzwań w dalszym rozwoju Internetu rzeczy.

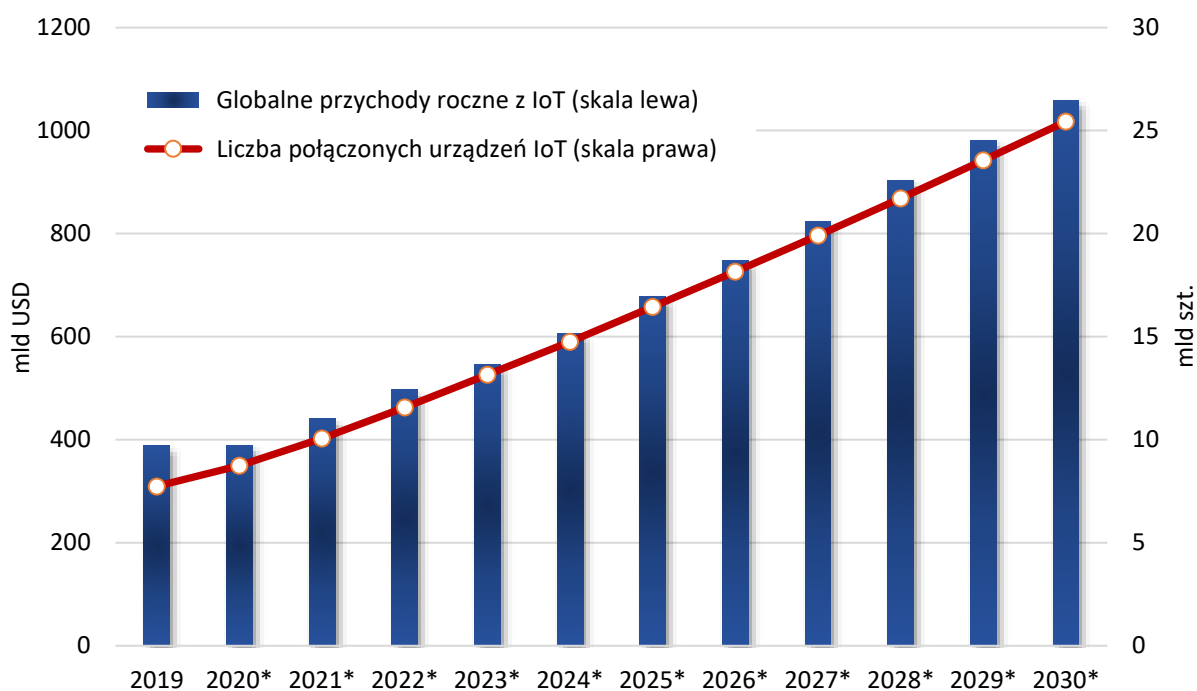


Rys. 2.15. Główne czynniki wzrostu wydatków na Internet rzeczy w 2019 roku (w proc.)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych 451 Research, <https://451research.com/services/customer-insight/voice-of-the-enterprise> (dostęp: 14.07.2021).

Z drugiej strony, podmioty zajmujące się rozwojem ekosystemu IoT spodziewają się także poprawy poziomu bezpieczeństwa, na co wskazuje ponad 45% wskazań (por. rys. 2.15). Jakkolwiek oczekiwania dotyczące m.in. możliwości analizy danych, większej wydajności czy niezawodności oraz szybszego reagowania na potrzeby klientów wydają się uzasadnione, to poprawa bezpieczeństwa może wydawać się kontrowersyjna, zwłaszcza w świetle powyższych rozważań. Pozorna sprzeczność „większe bezpieczeństwo — większe zagrożenia dla bezpieczeństwa” może wynikać z tego, że autonomiczna komunikacja M2M pozwala na ograniczenie

negatywnego wpływu człowieka (użytkownika) na kwestie bezpieczeństwa, gdyż powszechnie wiadomo, że to właśnie człowiek i jego przyzwyczajenia stanowią najsłabsze ogniwo w systemach bezpieczeństwa cybernetycznego. Z kolei rozległa struktura ekosystemu IoT, potencjalne luki w zabezpieczeniach oraz opóźnienia w ich usuwaniu czy ryzyko fizycznych uszkodzeń sprzętu bądź ich kradzieży są niewątpliwie czynnikami utrudniającymi zapewnienie bezpieczeństwa danych nie tylko w skali globalnej, ale nawet lokalnej.

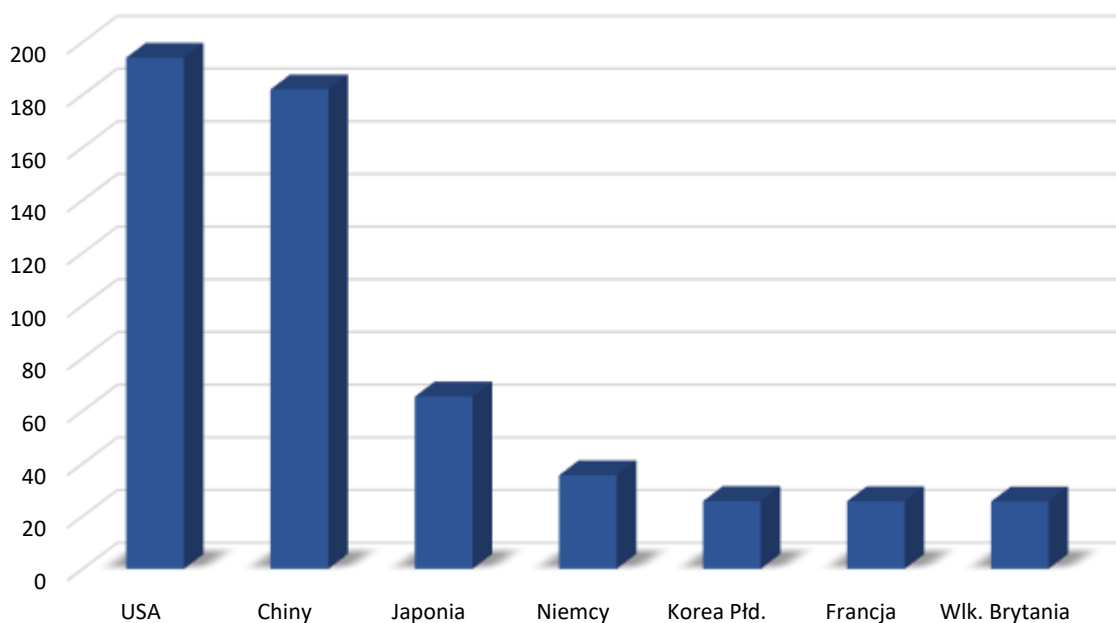


Rys. 2.16. Internet rzeczy — globalne przychody roczne i liczba połączonych urządzeń w latach 2019–2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Transforma Insights, <https://www.statista.com/statistics/1194709/iot-revenue-worldwide/>, <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/> (dostęp: 05.08.2021).

Na rysunku 2.16 przedstawiono perspektywę rozwoju ekosystemu IoT w najbliższym dziesięcioleciu, zarówno jeśli chodzi o wielkość globalnych przychodów, jak i liczbę połączonych ze sobą urządzeń. Zgodnie z tymi prognozami, w latach 2019–2030 globalne przychody związane z rozwojem IoT wzrosną prawie trzykrotnie, osiągając pod koniec bieżącej dekady poziom przeszło 1 bln USD rocznie. Liczba połączonych urządzeń inteligentnych może zwiększyć się w podobnym stopniu — z niespełna 8 do ponad 25 mld. Oznacza to jednocześnie rosnące wymagania co do przepustowości sieci teleinformatycznych, w związku z czym zrealizować są prowadzone obecnie inwestycje zmierzające do upowszechnienia dostępu do

szerokopasmowego internetu, a w szczególności — rozwoju sieci 5G [GSMA 2019, s. 7–20; Hoffmann 2019; Kenworthy 2019].



Rys. 2.17. Kraje o największych wydatkach na Internet rzeczy w 2019 roku (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IDC, <https://www.statista.com/statistics/1118256/iot-spending-worldwide-by-country/> (dostęp: 05.08.2021).

Podobnie jak w przypadku rynku systemów robotycznych i dronów, w 2019 roku największe wydatki na Internet rzeczy poniosły Stany Zjednoczone i Chiny, odpowiednio 194 i 182 mld USD (por. rys. 2.17). Na dalszych miejscach znalazły się Japonia, Korea Południowa oraz wysoko rozwinięte i innowacyjne gospodarki europejskie, tj. Niemcy, Francja i Wielka Brytania.

Dane przedstawione na rysunku 2.17 znajdują częściowe potwierdzenie w tabeli 2.6, przy czym dość wyraźne różnice (zwłaszcza jeśli chodzi o szacunki przychodów) wynikają najprawdopodobniej z odmiennej metodologii badawczej. Nie zmienia to jednak faktu, że w najbliższej dekadzie prognozowany jest dalszy wzrost liczby urządzeń IoT zwłaszcza na trzech dominujących rynkach geograficznych — w Chinach, Europie i Ameryce Północnej (aktualnie mają one łączny udział wynoszący ok. 80%, który w ciągu dekady może spaść do nieco ponad 70%). Przekłada się to jednocześnie na zbliżony łączny udział wymienionych regionów w globalnych przychodach. Biorąc jednak pod uwagę wszystkie dziesięć najważniejszych regionów, można zauważyć, że największa dynamika liczby inteligentnych urządzeń oraz przychodów związanych z IoT charakteryzuje kraje azjatyckie. To oznacza, że najprawdopodobniej pod koniec dekady to właśnie Azja Wschodnia (za sprawą Chin, Japonii i Korei Południowej) będzie

największym rynkiem Internetu rzeczy. Mimo wysokiej dynamiki takie kraje i regiony jak Indie, Rosja, Azja Środkowa i Południowa czy Bliski Wschód nadal nie będą odgrywały większej roli, w związku z czym ich dystans względem wspomnianej czołówki zmniejszy się najwyżej nieznacznie.

Tabela 2.6. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 najważniejszych regionach

Region/kraj	2019		2030*		2019 =100	Region/kraj	2019		2030*		2019 =100
	mln szt.	%	mln szt.	%			mld USD	%	mld USD	%	
Świat	7741	100,0	25445	100,0	329	Świat	388,1	100,0	1058,2	100,0	273
Chiny	2753	35,6	7654	30,1	278	Chiny	173,0	44,6	328,3	31,0	190
Europa	1684	21,8	5598	22,0	332	Ameryka Płn.	73,3	18,9	239,1	22,6	326
Ameryka Płn.	1624	21,0	5382	21,2	331	Europa	68,2	17,6	217,2	20,5	318
Japonia	452	5,8	1460	5,7	323	Japonia	24,9	6,4	67,3	6,4	270
Ameryka Łac.	333	4,3	1371	5,4	412	Ameryka Łac.	13,0	3,3	50,0	4,7	385
Azja Płd.-Wsch.	147	1,9	798	3,1	544	Indie i Azja Płd.	4,3	1,1	31,0	2,9	721
Indie i Azja Płd.	113	1,5	785	3,1	694	Azja Płd.-Wsch.	5,7	1,5	30,7	2,9	539
Bliski Wschód i Afryka Płn.	136	1,8	624	2,5	460	Korea Płd.	9,6	2,5	23,9	2,3	249
Rosja i Azja Środkowa	150	1,9	611	2,4	408	Bliski Wschód i Afryka Płn.	4,6	1,2	22,8	2,2	496
Korea Płd.	221	2,9	574	2,3	260	Rosja i Azja Środkowa	5,2	1,3	21,8	2,1	419
Razem 1-10	7612	98,3	24859	97,7	327	Razem 1-10	381,8	98,4	1032,1	97,5	270

* Prognoza

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie danych Transforma Insights, <https://www.statista.com/statistics/1194677/iot-connected-devices-regionally/>, <https://www.statista.com/statistics/1194715/iot-annual-revenue-regionally/> (dostęp: 05.08.2021).

Jeśli chodzi natomiast o najważniejsze sektory z punktu widzenia rozwoju IoT w najbliższej dekadzie (por. tab. 2.7), zdecydowanie największy rozwój jest prognozowany w przypadku konsumenckich urządzeń IoT — w badanym okresie udział tego sektora wyniesie ponad 60% (liczba inteligentnych urządzeń) oraz 45% (przychody). Na kolejnych miejscach, z już znacznie mniejszymi udziałami, znajdą się sektor publiczny oraz sektor związany z dostawami mediów. Warto podkreślić, że w analizowanej dekadzie liczba inteligentnych urządzeń w rolnictwie, rybołówstwie i leśnictwie może wzrosnąć nawet 20-krotnie, natomiast w finansach i ubezpieczeniach — przeszło 5-krotnie. Tak duża dynamika może wiązać się po części z rozwojem inteligentnego rolnictwa (rolniczy IoT) oraz usług (Internet of Services — IoS). Z kolei przyczynami największej dynamiki przychodów w opiece zdrowotnej i społecznej mogą być tendencje demograficzne (starzenie się społeczeństw) oraz możliwości, jakie w tej dziedzinie

stwarza Internet rzeczy i Internet usług (telemedycyna, zdalny nadzór nad pacjentami, monitorowanie stanu zdrowia z wykorzystaniem czujników medycznych itp.).

Tabela 2.7. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 najważniejszych sektorach

Sektor	2019		2030*		2019 =100	Sektor	2019		2030*		2019 =100
	mln szt.	%	mln szt.	%			mld USD	%	mld USD	%	
Świat	7741	100,0	25445	100,0	329	Świat	388,1	100,0	1058,2	100,0	273
Konsumenci	4759	61,5	15909	62,5	334	Konsumenci	124,4	32,1	476,1	45,0	383
Dostawy prądu i gazu, ciepłownictwo i klimatyzacja	893	11,5	2658	10,4	298	Sektor publiczny	91,4	23,6	113,5	10,7	124
Sektor publiczny	366	4,7	843	3,3	230	Dostawy prądu i gazu, ciepłownictwo i klimatyzacja	48,4	12,5	78,9	7,5	163
Zaopatrzenie w wodę i odbiór ścieków	154	2,0	698	2,7	452	Transport i magazynowanie	21,5	5,5	56,1	5,3	261
Transport i magazynowanie	183	2,4	395	1,6	216	Handel detaliczny i hurtowy	26,1	6,7	45,3	4,3	174
Rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo	14	0,2	299	1,2	2087	Opieka zdrowotna i społeczna	5,1	1,3	30,4	2,9	596
Handel detaliczny i hurtowy	136	1,8	273	1,1	200	Administracja	7,1	1,8	29,1	2,7	410
Produkcja	98	1,3	228	0,9	233	Finanse i ubezpieczenia	6,3	1,6	22,4	2,1	356
Finanse i ubezpieczenia	41	0,5	219	0,9	535	Produkcja	4,9	1,3	17,7	1,7	361
Administracja	77	1,0	204	0,8	264	Zaopatrzenie w wodę i odbiór ścieków	4,3	1,1	14,8	1,4	344
Razem 1-10	6722	86,8	21725	85,4	323	Razem 1-10	339,5	87,5	884,3	83,6	260

* Prognoza

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie danych Transforma Insights, <https://www.statista.com/statistics/1194682/iot-connected-devices-vertically/>, <https://www.statista.com/statistics/1183471/iot-revenue-worldwide-by-vertical/> (dostęp: 05.08.2021).

Interesujące tendencje mogą również dotyczyć najważniejszych zastosowań Internetu rzeczy w najbliższej dekadzie. Choć największy, ponad 30-procentowy udział w globalnej liczbie połączonych urządzeń będą nadal mieć konsumenckie urządzenia internetowe i multimedialne, na kolejnych miejscach znalazły się technologie związane z rozwojem inteligentnych fabryk (Smart Grid) oraz autonomicznego transportu (por. tab. 2.8). Ponad 15-krotny wzrost liczby inteligentnych urządzeń oświetleniowych może wiązać się z rozwojem inteligentnych miast, bardziej przyjaznych dla środowiska, energooszczędnych i ukierunkowanych na rozwiązywanie problemów związanych ze zmianami klimatu. Potwierdzać to może także duży przyrost liczby urządzeń wykorzystywanych w monitoringu i automatyce, które na poziomie mikro mogą być wykorzystywane np. w inteligentnym budownictwie.

Tabela 2.8. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 głównych zastosowaniach

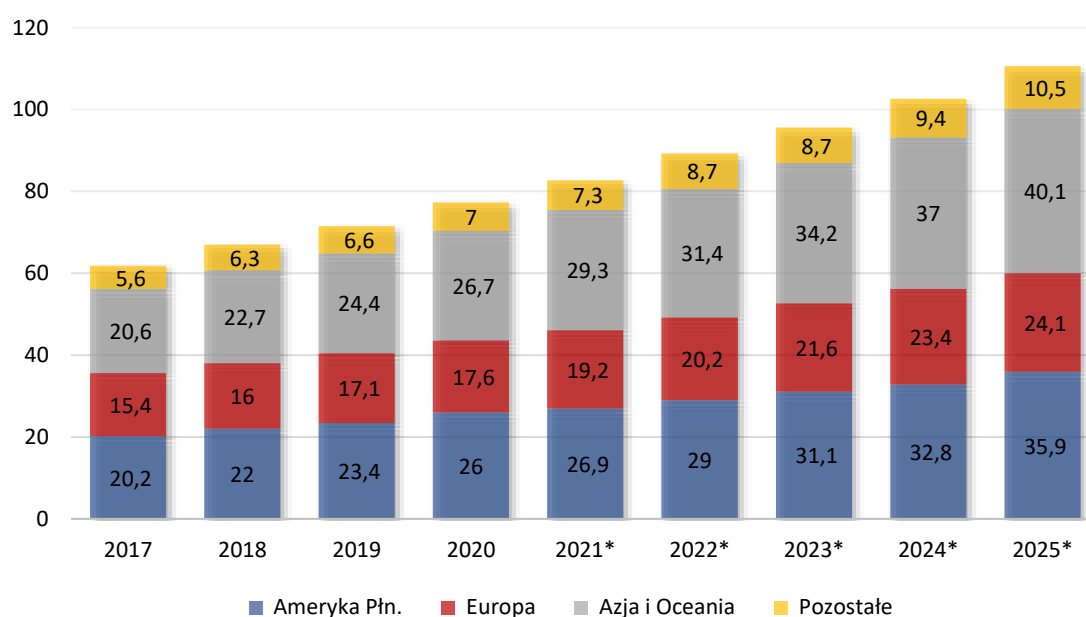
Sektor	2019		2030*		2019 =100	Sektor	2019		2030*		2019 =100
	mln szt.	%	mln szt.	%			mld USD	%	mld USD	%	
Świat	7741	100,0	25445	100,0	329	Świat	388,1	100,0	1058,2	100,0	273
Konsumenckie urządzenia internetowe i multimedialne	2492	32,2	8102	31,8	325	Konsumenckie urządzenia internetowe i multimedialne	68,7	17,7	203,1	19,2	296
Inteligentna sieć elektryczna (Smart Grid)	1045	13,5	3368	13,2	322	Pojazdy połączone z Internetem	46,5	12,0	197,8	18,7	425
Pojazdy połączone z Internetem	355	4,6	1684	6,6	475	Monitoring CCTV	89,4	23,0	107	10,1	120
Oświetlenie	109	1,4	1651	6,5	1511	Inteligentna sieć elektryczna (Smart Grid)	52,6	13,6	98,2	9,3	187
Infrastruktura IT	1226	15,8	1562	6,1	127	Systemy bezpieczeństwa i p-poż.	18,7	4,8	55,8	5,3	298
Śledzenie i monitorowanie składników majątku	278	3,6	1393	5,5	502	Automatyka w budownictwie	10,4	2,7	53,8	5,1	517
Automatyka w budownictwie	261	3,4	1321	5,2	506	Terminale płatnicze	33,3	8,6	52,5	5,0	158
Systemy bezpieczeństwa i p-poż.	249	3,2	1047	4,1	421	Śledzenie i monitorowanie składników majątku	9,2	2,4	37,7	3,6	410
Monitoring CCTV	401	5,2	956	3,8	239	Śledzenie i monitorowanie osób	5,1	1,3	30,8	2,9	604
Sprzęt biurowy	544	7,0	887	3,5	163	Specjalistyczne roboty precyzyjne	5,4	1,4	27,4	2,6	507
Razem 1-10	6959	89,9	21969	86,3	316	Razem 1-10	339,3	87,4	864,1	81,7	255

* Prognoza

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie danych Transforma Insights, <https://www.statista.com/statistics/1194701/iot-connected-devices-use-case/>, <https://www.statista.com/statistics/1194719/iot-revenue-worldwide-use-case/> (dostęp: 05.08.2021).

Prognozy dotyczące przychodów w różnych zastosowaniach IoT wskazują natomiast, że największy udział będą miały przede wszystkim urządzenia konsumenckie, pojazdy autonomiczne połączone z Internetem oraz monitoring CCTV, przy czym w tym ostatnim przypadku szacowany wzrost przychodów wyniesie zaledwie 20%. W rezultacie udział tej grupy spadnie do nieco ponad 10% ogólnych przychodów, co przy znacznie większej dynamice liczby tego typu urządzeń może oznaczać wyraźny spadek ich cen w najbliższej przyszłości. Relatywnie najszybciej rosnące przychody w automatyce wykorzystywanej w budownictwie, śledzeniu i monitorowaniu osób oraz specjalistycznych robotach precyzyjnych mogą natomiast stanowić dowód na komplementarność technologii tworzących Gospodarkę 4.0. Przykładowo rosnące przychody ze sprzedaży urządzeń do śledzenia i monitorowania osób mogą się wiązać z upowszechnianiem systemów sztucznej inteligencji na przykład w działalności marketingowo-

promocyjnej i obsłudze klienta. Z kolei rosnące wydatki na specjalistyczne roboty precyzyjne może sugerować rozwój Rolnictwa 4.0 (zrobotyzowane maszyny rolnicze, robopszczoły, precyzyjne nawadnianie i ochrona roślin) oraz Usług 4.0 (zaawansowane usługi medyczne). Także w obszarze przemysłu 4.0 wspomniana tendencja może oznaczać odejście od zrobotyzowanych stanowisk montażowych wyposażonych w typowe roboty przemysłowe w kierunku robotów towarzyszących komunikujących się bezprzewodowo z pracownikami i między sobą.



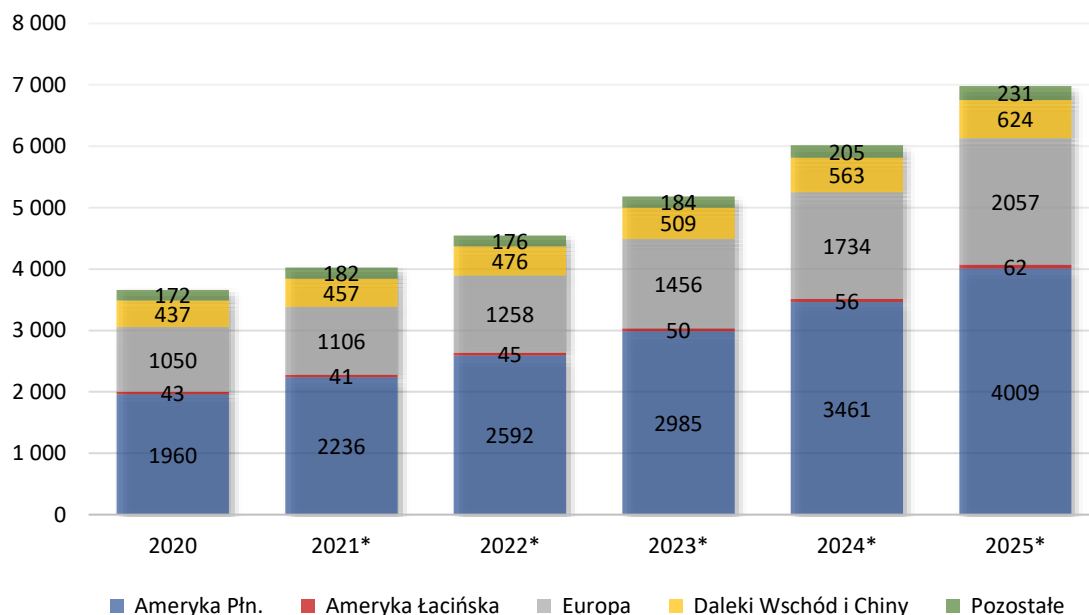
Rys. 2.18. Rynek przemysłowego Internetu rzeczy (Industrial IoT) w latach 2017–2025 wg regionów (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MarketsandMarkets i Statista, <https://www.statista.com/statistics/1102164/global-industrial-internet-of-things-market-size/> (dostęp: 05.08.2021).

Powyższe przypuszczenia znajdują przynajmniej częściowe potwierdzenie na rysunkach 2.18 i 2.19. W latach 2021–2025 przewidywana jest kontynuacja dotychczasowego trendu rozwoju rynku przemysłowego Internetu rzeczy (IIoT), którego wartość w tym okresie może wzrosnąć o kolejną jedną czwartą, przekraczając w połowie dekady poziom 100 mld USD. Niezmienna pozostanie także struktura geograficzna, z utrzymującą się przewagą krajów azjatyckich, zwłaszcza Chin, nad Stanami Zjednoczonymi i krajami Europy Zachodniej.

Globalny rynek IoT związanego z rolnictwem jest znacznie mniejszy, jednak w najbliższej pięcioletce powinien zwiększyć się w podobnym stopniu, jak rynek przemysłowego IoT, osiągając w 2025 roku wartość bliską 7 mld USD. Jednak w przeciwieństwie do przemysłowego Internetu rzeczy jego struktura geograficzna znacznie się różni — ponad połowa przypada na Stany Zjednoczone, na drugim miejscu są kraje europejskie, a dopiero na trzecim — Daleki Wschód i Chiny. Choć trudno jednoznacznie odnieść się do ewentualnych przyczyn,

wyduje się, że może to być związane z wielkoobszarowym charakterem rolnictwa północnoamerykańskiego. W dużych pod względem areału gospodarstwach rolnych jest bowiem znacznie łatwiej wprowadzać rozwiązania z dziedziny Internetu rzeczy. Co więcej, w takich warunkach może to mieć większe uzasadnienie ekonomiczne i finansowe, niż w przypadku znacznie bardziej rozdrobnionego rolnictwa europejskiego czy azjatyckiego.



Rys. 2.19. Rynek rolniczego Internetu rzeczy (IoT in Agriculture) w latach 2020–2025 wg regionów (w mln USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Juniper Research, <https://www.statista.com/statistics/1222825/worldwide-agricultural-industrial-iiot-market-value-by-region/> (dostęp: 05.08.2021).

Potwierdzają to także dane dotyczące rozwoju globalnego rynku rozwiązań Technology-as-a-Service (TaaS) na potrzeby rolnictwa, w ramach którego wykorzystywane są także rozwiązania IoT. W roku 2020 na Amerykę Północną przypadało prawie 47% tego rynku, Europę — niespełna 18%, Azję, Oceanie i Japonię — około 17%, Amerykę Południową — około 7,5%, a na sklasyfikowane oddzielnie Chiny — zaledwie nieco ponad 4%. Szacuje się także, że w najbliższych pięciu latach rynek ten odnotuje prawie 3-krotny wzrost, osiągając w 2025 roku wartość przekraczającą 3 mld USD. Do najważniejszych zaawansowanych rozwiązań TaaS na potrzeby rolnictwa zaliczono systemy związane z wykorzystaniem robotów (Robot-as-a-Service) i dronów (Drone-as-a-Service) [BIS Research, 2021].

Trzeba jednak dodać, że jakkolwiek w dziedzinie rolniczych zastosowań Internetu rzeczy Europa wyraźnie odstaje od Stanów Zjednoczonych, prowadzone są intensywne działania na rzecz zmniejszenia tego dystansu. Według raportu European Telecommunications Network

Operators' Association z 2019 roku liczba aktywnych połączeń między urządzeniami IoT w europejskim rolnictwie zwiększy się w latach 2019–2025 roku prawie 7-krotnie — z 12 do ponad 70 mln [ETNO, 2019, s. 44]. Podobnie jak w wielu wcześniejszych badaniach są to jednakże wyłącznie prognozy rynkowe nieuwzględniające wpływu pandemii COVID-19 na gospodarkę światową. Mimo że negatywne skutki pandemii koronawirusa odczuły w mniejszym lub większym stopniu wszystkie wiodące gospodarki, trudno jak na razie oszacować, jak przełoży się ona na dynamikę i kierunki rozwoju rynku Internetu rzeczy, a w szerszym ujęciu — na technologie tworzące fundamenty Gospodarki 4.0 [Stiehler i in., 2020].

Na tym tle wyjątkowo niekorzystnie przedstawiają się dane dotyczące polskiego rynku urządzeń IoT. Jeśli chodzi o wydatki na rozwiązania IoT, w roku 2020 największe poniesiono w Niemczech, Francji, Wielkiej Brytanii i Włoszech (odpowiednio 35, 25, 25 i 19 mld USD), natomiast kraje Europy Środkowo-Wschodniej wydały na ten cel łącznie zaledwie 12 mld USD¹⁴. Z kolei według danych Eurostatu w 2020 roku aż 76% osób w Polsce nie korzystało z żadnych urządzeń lub systemów IoT (w Unii Europejskiej odsetek ten wynosił 67%). Największe różnice na niekorzyść Polski występowały w przypadku wirtualnych asystentów (11% UE, 2% Polska), termostatów, liczników i oświetlenia (10% UE, 2% Polska), urządzeń typu wearables (19% UE, 13% Polska) oraz samochodów z wbudowaną funkcją łączności bezprzewodowej (6% UE, 1% Polska)¹⁵. Pocieszające jest jednak, że 44 procent Polaków jest zainteresowanych rozwiązaniami IoT do monitorowania i ograniczania zużycia wody lub energii, 39 procent — urządzeniami do monitoringu mieszkań, czujnikami ruchu i dymu, a 35% — urządzeniami do monitoringu zdrowia i aktywności [Duszczyk, 2019].

Zastanawiając się nad przyczynami słabego rozwoju rynku IoT w Polsce, należy zauważyć, że wynika to zapewne z braków edukacyjnych oraz niedostatecznej wiedzy na temat nowoczesnych rozwiązań z zakresu Gospodarki 4.0. Według badań przeprowadzonych na zlecenie Urzędu Komunikacji Elektronicznej w grudniu 2020 roku zaledwie 15% respondentów spotkała się z pojęciem „Internet rzeczy”, a spośród tej grupy największy odsetek respondentów wskazał inteligentne budynki, inteligentne miasta oraz inteligentne systemy pomiarowe za najbardziej przydatne zastosowania IoT. Łatwiejsze zarządzanie domem, możliwość monitorowania stanu zdrowia oraz korzystanie z aplikacji i powiadomień dotyczących zagrożeń to z kolei największe korzyści zapewniane przez Internet rzeczy [UKE, 2020, s. 70–72]. Stoi to w pewnej

¹⁴ <https://www.statista.com/statistics/1115855/internet-of-things-iot-solutions-spending-in-europe-by-country-region/> (dostęp: 10.08.2021). W roku 2014 prognozowano, że w 2020 roku Polska będzie miała zaledwie 2-procentowy udział w europejskim rynku IoT [Compagnucci i in. 2016, s. 37].

¹⁵ https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_IOT_USE__custom_643207/default/table?lang=en (dostęp: 10.08.2021).

sprzeczności z wcześniejszymi badaniami rynku Internetu rzeczy w Polsce, których autorzy wskazywali „ogromny potencjał IoT wynikający z wysokiego stopnia adaptacji oraz dużego popytu, a także konieczność zażegnania obaw i podkreślenia benefitów tego ekosystemu dla potencjalnych użytkowników” [Grodner i in., 2016, s. 30].

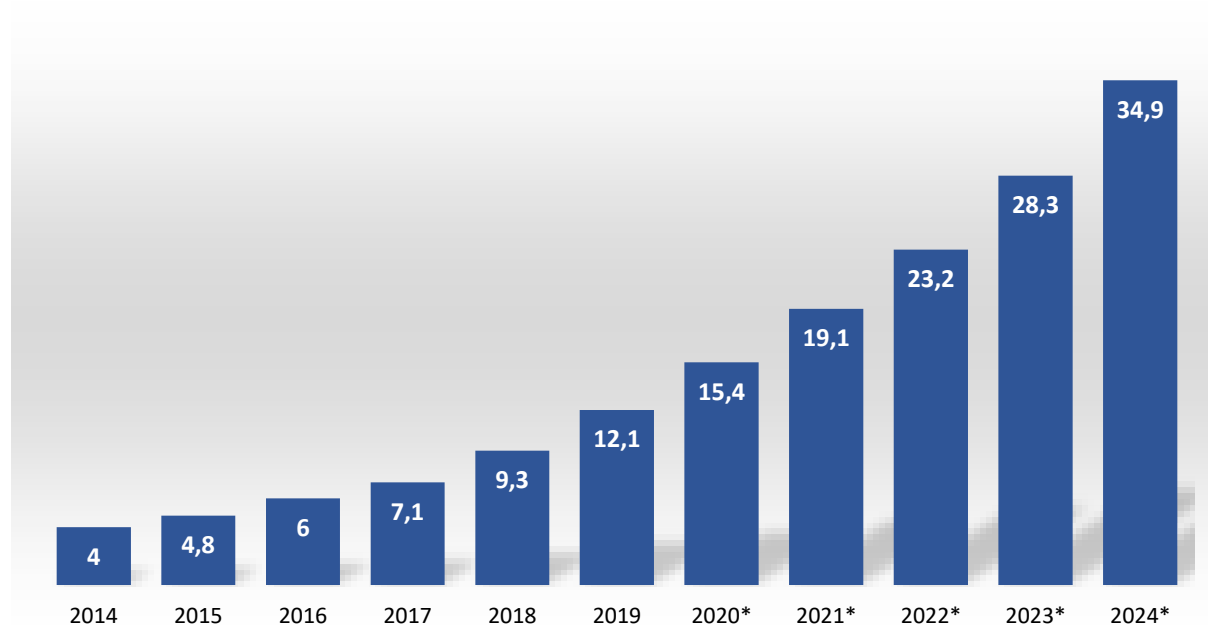
Przedstawione dane dotyczące perspektyw rozwoju globalnego ekosystemu Internetu rzeczy bazują w głównej mierze na prognozach opracowanych przez różne instytucje międzynarodowe. Należy mieć zatem na uwadze, że faktyczne tempo rozwoju tego rynku może być całkowicie odmienne, a pandemia COVID-19 — stanowić istotny punkt zwrotny. Co więcej, rozwój technologii związanych z Gospodarką 4.0 budzi szereg obaw, zarówno wśród zwykłych użytkowników, jak i przedstawicieli kadry kierowniczej firm zaangażowanych we wdrażanie tych rozwiązań. Do najczęściej wymienianych należą obawy o prywatność i bezpieczeństwo danych, wysokie koszty wdrożenia, brak wystarczającej wiedzy o dostępnych rozwiązaniach czy nieodpowiednia infrastruktura¹⁶. Jeśli chodzi natomiast o spodziewane korzyści z Internetu rzeczy dla użytkowników i przedsiębiorstw, to według badań z 2017 roku były to przede wszystkim lepsza jakość życia, lepszy wgląd w informacje biznesowe, możliwość świadczenia nowych usług oraz niższe koszty operacyjne [Canonical, 2017, s. 2]. Biorąc pod uwagę fakt, że Internet rzeczy to ekosystem obejmujący miliardy komunikujących się ze sobą urządzeń, obawy o bezpieczeństwo danych i zapewnienie odpowiedniego poziomu ich prywatności wydają się w pełni uzasadnione. Należy jednak przypuszczać, że ewidentne korzyści z rozwoju IoT dla różnych grup interesariuszy, a co za tym idzie — wizja rosnących przychodów i potencjalnych zysków, będą wystarczającym powodem, aby podmioty wdrażające nowe rozwiązania, m.in. inteligentne urządzenia, czujniki, moduły komunikacyjne, aplikacje, systemy kontroli i nadzoru czy standardy techniczne, zadbały o odpowiedni poziom bezpieczeństwa, a przede wszystkim o jak najszybsze wykrywanie i usuwanie słabych punktów.

2.4. Rynek druku 3D

Podobnie jak w przypadku innych rozwiązań stanowiących fundament Gospodarki 4.0, także druk 3D szybko się upowszechniał i istotnie ewoluował w ostatnich latach. Po pierwsze było to spowodowane rosnącą produkcją tego typu urządzeń oferowanych przez wielu producentów, a za sprawą rosnącej konkurencji — także po coraz przystępniejszych cenach. W rezultacie oprócz drogich drukarek wykorzystywanych w specjalistycznych zastosowaniach profesjonalnych pojawiła się także kategoria małych drukarek 3D do zastosowań domowych. Po drugie postęp naukowo techniczny w dziedzinie druku 3D zaowocował wieloma nowymi

¹⁶ <https://www.statista.com/statistics/690190/iot-adoption-hurdles-and-obstacles/> (dostęp: 06.08.2021).

technikami drukowania przestrzennego i możliwościami drukowania z różnych materiałów, m.in. FDM/FFF (druk 3D z termoplastów), SLA (druk 3D z żywicy światłoutwardzalnej), DLP (druk 3D z żywicy utwardzanej światłem z projektora), PolyJet/MJP (natryskowy druk 3D), CJP (druk 3D z proszku gipsowego), SLS (druk 3D ze sproszkowanych tworzyw sztucznych) czy SLM/EBM (druk 3D ze sproszkowanych metali)¹⁷. W rezultacie drukarki 3D znajdują coraz to nowe zastosowania przy rosnącej liczbie użytkowników, w szczególności biznesowych.



Rys. 2.20. Globalne wydatki na rozwiązania z zakresu druku 3D w latach 2014–2024 (w mld USD)¹⁸

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3D Hubs, 2020, s. 16].

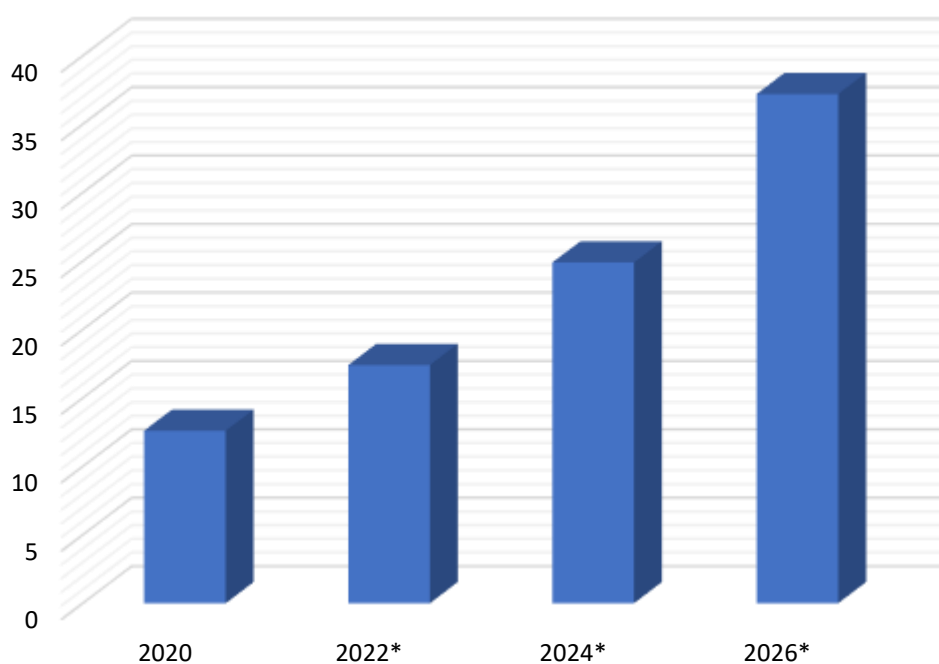
W 2018 roku największy segment światowego rynku druku 3D stanowiły drukarki 3D i oprogramowanie (27%), następnie tradycyjne (offline) usługi związane z drukiem 3D (24%), natomiast na materiały do drukarek 3D oraz druk 3D zlecany online przypadało odpowiednio 15 i 12 procent [3D Hubs, 2019, s. 9]. Według analiz z 2020 roku w latach 2014–2019 globalne przychody na rynku 3D, obejmujące sprzedaż systemów druku 3D, oprogramowania, materiałów i usług, wzrosły ponad 3-krotnie. Co więcej, prognozowano, że w kolejnych pięciu latach rynek ten wzrośnie w podobnym tempie, osiągając w 2024 roku wartość bliską 35 mld USD (por. rys. 2.20).

Należy jednak zaznaczyć, że opublikowane zaledwie rok później dane nie potwierdzały wcześniejszych optymistycznych prognoz, co było zapewne spowodowane wybuchem

¹⁷ <https://centrumdruku3d.pl/jaka-wybrac-technologie-druku-3d/> (dostęp: 15.08.2021).

¹⁸ W dalszej części pracy gwiazdką (*) oznaczono dane pochodzące z prognoz.

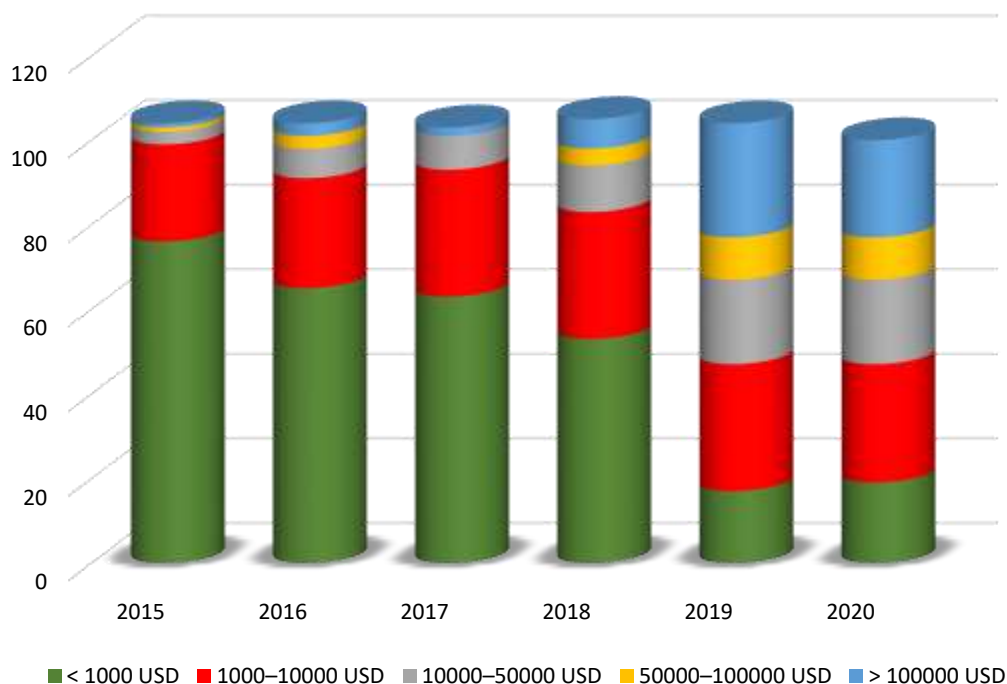
pandemii COVID-19. Według nich wartość światowego rynku produktów i usług związanych z drukiem 3D wyniosła w 2020 roku 12,6 mld USD, a zatem była niższa od spodziewanych o prawie 3 mld USD (por. rys. 2.21). Poziom przychodów prognozowany uprzednio na rok 2024 może zostać osiągnięty dwa lata później. Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia dotyczące pandemii i jej globalnych konsekwencji, można mieć wątpliwości, czy te szacunki nie są nadal zbyt optymistyczne.



Rys. 2.21. Wielkość światowego rynku druku 3D w latach 2020–2026 (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3D Hubs, 2021].

Mimo tego długookresowe pozytywne perspektywy rozwoju rynku produktów i usług związanych z drukiem 3D wydają się niezagrożone, o czym może świadczyć skala inwestycji dokonywanych w tej branży. Tylko w ostatnich sześciu latach znacznie bowiem wzrosły inwestycje na większe kwoty — jeszcze w 2015 roku zdecydowana większość inwestycji nie przekraczała 10 tys. USD, natomiast w 2020 roku przeważały już inwestycje na znacznie wyższe kwoty, w istotnej części przekraczające nawet 100 tys. USD (por. rys. 2.22). Biorąc pod uwagę prawdopodobny spadek cen drukarek 3D bazujących na starszych metodach druku przestrzennego, może to świadczyć o rosnącym zainteresowaniu nowocześniejszymi technologiami druku 3D. Użytkownicy mogą też ponosić coraz większe wydatki na oprogramowanie, np. do tworzenia modeli cyfrowych, nowe materiały lub dodatkowe usługi.



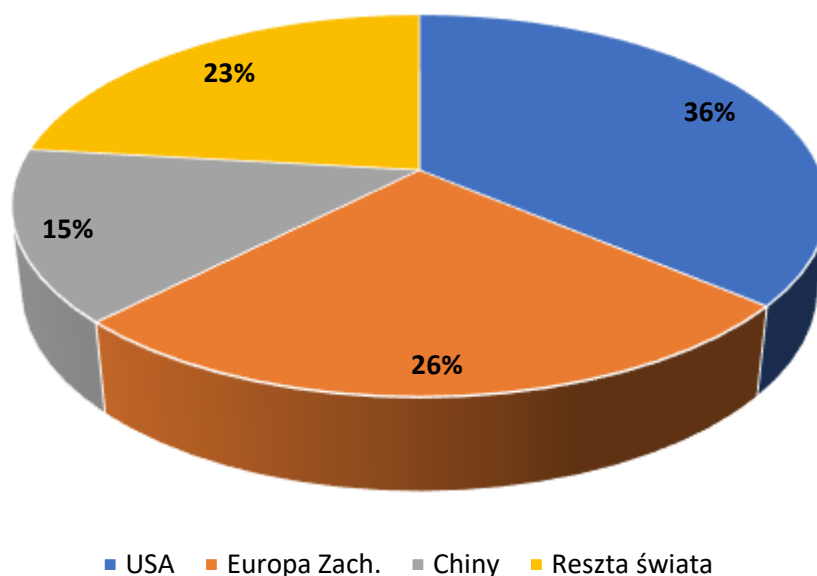
Rys. 2.22. Wielkość inwestycji w rozwiązania z zakresu druku 3D w latach 2015–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Sculpteo, 2021, s. 12].

Na jakościowe zmiany zachodzące w okresie prepandemicznym na światowym rynku druku 3D mogą wskazywać chociażby skumulowane roczne stopy wzrostu (CAGR) dla różnych materiałów używanych w druku przestrzennym. Według prognoz obejmujących lata 2017–2021 najwyższym wskaźnikiem CAGR charakteryzował się druk 3D z wykorzystaniem metali i ich stopów (ponad 30 procent), natomiast w przypadku pozostałych materiałów (tworzywa sztuczne, fotopolimery i ceramika) skumulowane roczne stopy wzrostu miały kształtować się na poziomie około 25 procent [BIS Research, 2017]. Mimo że różnica wynosząca zaledwie pięć punktów procentowych może wydawać się niewielka, szybciej rosnące zainteresowanie drukiem 3D z wykorzystaniem metali wskazuje na coraz powszechniejsze wykorzystanie tej technologii w przemyśle oraz w zastosowaniach profesjonalnych, np. w medycynie.

Pewnym tego potwierdzeniem są dane dotyczące poziomu wiedzy specjalistycznej użytkowników rozwiązań z zakresu druku 3D. Jeśli chodzi o respondentów objętych badaniami w 2018 roku, to 53% użytkowników z sektora dóbr konsumpcyjnych oceniało swoją wiedzę z zakresu druku 3D jako średnią, a 31% — jako ekspercką. Dla porównania, w przypadku sektora dóbr przemysłowych odsetki te wynosiły odpowiednio 35 i 50 procent [Sculpteo, 2018, s. 23–27].

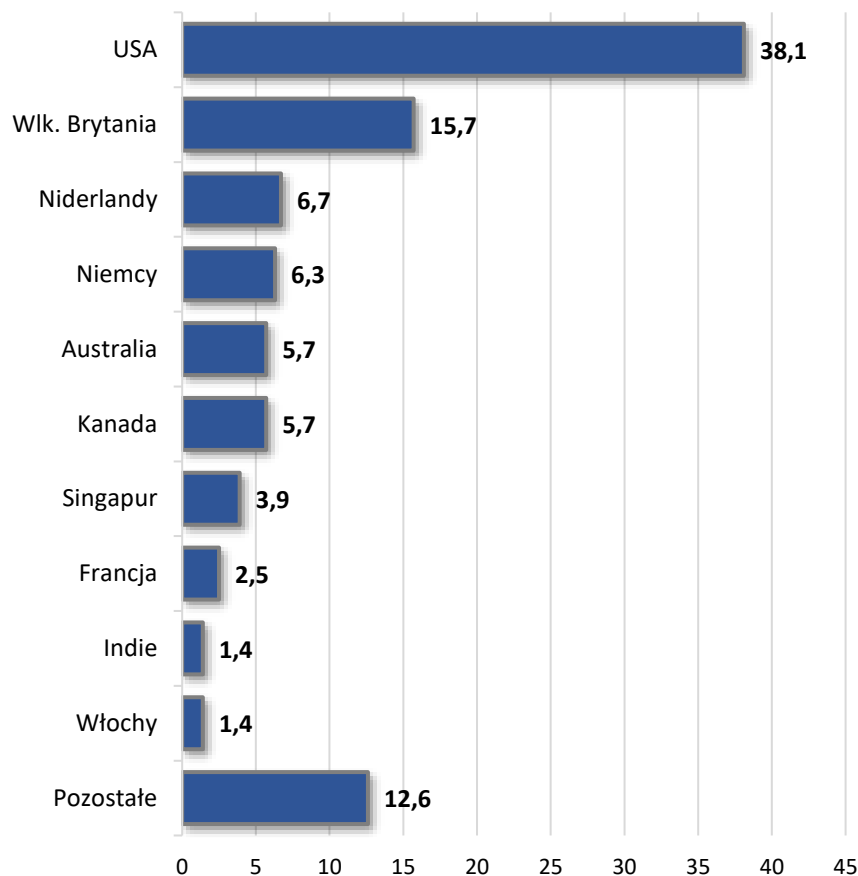
Struktura geograficzna międzynarodowego rynku rozwiązań z zakresu druku przestrzennego jest bardzo podobna do tej, jaką można zaobserwować w innych technologiach tworzących Gospodarkę 4.0. W roku 2019 największy udział w tym rynku mierzony wielkością wydatków na drukarki 3D miały Stany Zjednoczone, następnie Europa Zachodnia oraz Chiny. Na te trzy regiony przypadało łącznie 85% światowego rynku, co odpowiadało łącznym wydatkom na poziomie 10,6 mld USD (por. rys. 2.23).



Rys. 2.23. Prognozowane wydatki na drukarki 3D w 2019 roku wg regionów

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IDC, <https://www.statista.com/statistics/891767/worldwide-3d-printing-spending/> (dostęp: 11.08.2021).

Analogicznie, według badań przeprowadzonych przez platformę 3D Hubs w 2018 roku największy udział w światowym rynku druku 3D miały Stany Zjednoczone, których udział wyniósł ponad 38%. Na drugim miejscu znalazła się Wielka Brytania z ponad dwukrotnie mniejszym udziałem w rynku, a na kolejnych — kraje Europy kontynentalnej (por. rys. 2.24). W porównaniu z danymi przedstawionymi na rysunku 2.23 zastanawiający jest brak Chin oraz wysokie pozycje Australii, Singapuru i Indii. Ponieważ trudno przypuszczać, aby rynek druku 3D uległ tak dużym zmianom w ciągu zaledwie jednego roku, należy sądzić, że wspomniane różnice wynikają z przyjętej metodologii badań. W pierwszym przypadku dotyczyły one światowego rynku drukarek 3D, natomiast w drugim obejmowały prawdopodobnie także oprogramowanie, materiały wykorzystywane w druku przestrzennym i/lub usługi towarzyszące. Bez względu na przyjętą metodologię można jednak stwierdzić, że współczesny rynek druku 3D jest silnie skoncentrowany i zdominowany przez kilka wiodących regionów.



Rys. 2.24. Udział w światowym rynku druku 3D w 2018 roku (w procentach)

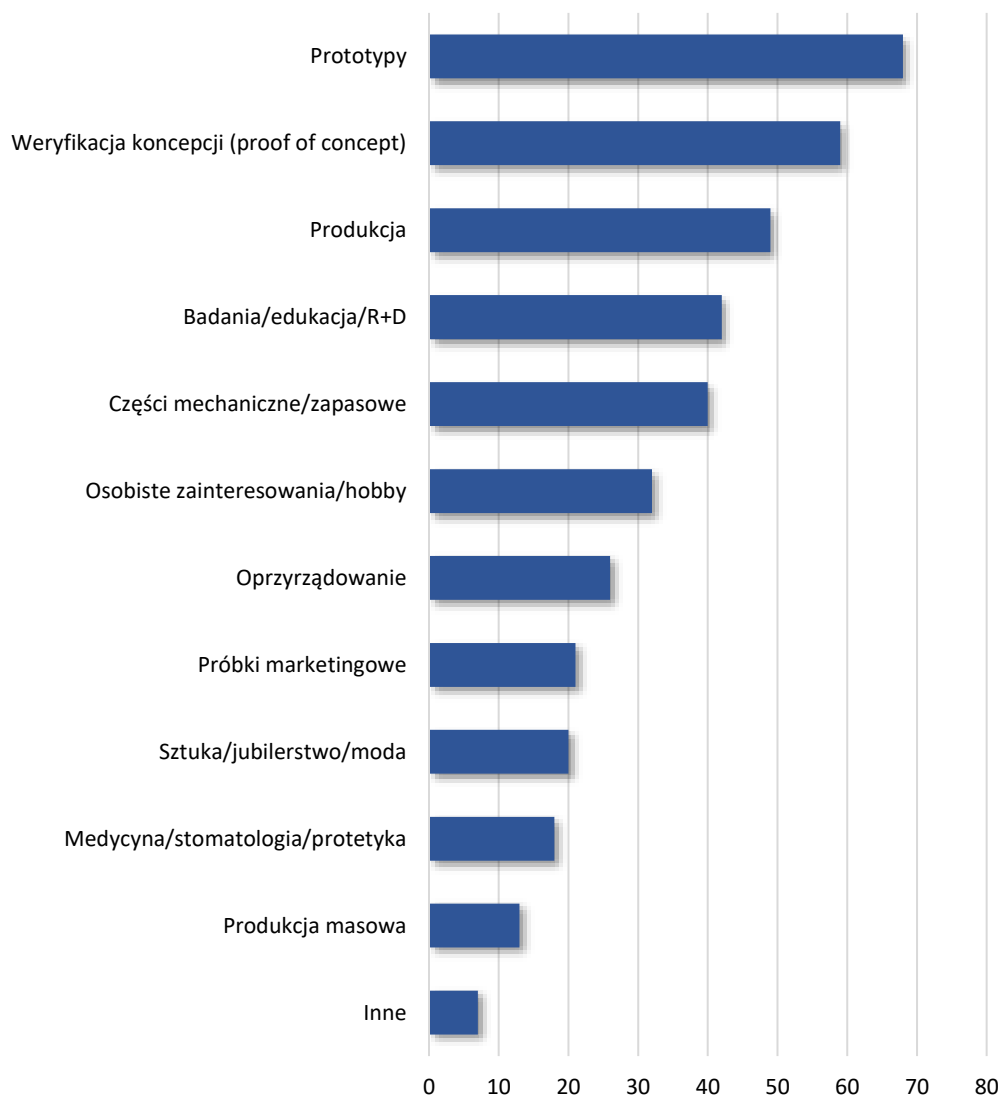
Źródło: opracowanie własne na podstawie [3D Hubs, 2018, s. 10].

W ostatnich latach nie zaszły natomiast diametralne zmiany dotyczące głównych zastosowań druku przestrzennego. Według badań IDC przeprowadzonych w 2016 roku największy udział miało szybkie tworzenie prototypów w branży motoryzacyjnej (ok. 30%), a w dalszej kolejności drukowanie części na potrzeby branży lotniczej i obronnej (ok. 18%), drukowanie osprzętu i komponentów (7,5%) oraz modelowanie i projektowanie w architekturze (ok. 7%)¹⁹. Przeprowadzone rok wcześniej badania dotyczące rynku europejskiego pokazały, że cztery najważniejsze obszary wykorzystania technologii druku 3D to tworzenie prototypów (63%), weryfikacja koncepcji (27%), produkcja (26%) oraz tworzenie próbek marketingowych (12%) [Sculpteo, 2015, s. 10].

Na rysunku 2.25 zaprezentowano dane dotyczące głównych zastosowań druku 3D w 2018 roku. Największa liczba wskazań dotyczyła prototypownia (68%), weryfikacji koncepcji (59%), produkcji (49%) oraz badań, edukacji i prac badawczo-rozwojowych (42%). Jak można zauważyć, w porównaniu z wcześniejszymi badaniami we wszystkich obszarach znacznie

¹⁹ <https://www.eetasia.com/global-3d-printing-spending-to-grow-22-3-by-2020/> (dostęp: 15.08.2021).

wzrosło wykorzystanie technologii druku 3D. Pojawiły się ponadto nowe, wcześniej niewystępujące obszary zastosowań druku przestrzennego, takie jak projekty związane z osobistymi zainteresowaniami/hobby, sztuką, jubilerstwem i modą, a także medycyną, stomatologią i protetyką. Można zatem podsumować, że sektor przemysłowy jest nadal wiodącym obszarem zastosowań druku przestrzennego, jednak rozwój nowych technik druku 3D oraz możliwości drukowania przy użyciu nowych materiałów sprzyjają upowszechnianiu się tych rozwiązań w branżach pozaprzemysłowych oraz wśród użytkowników indywidualnych.

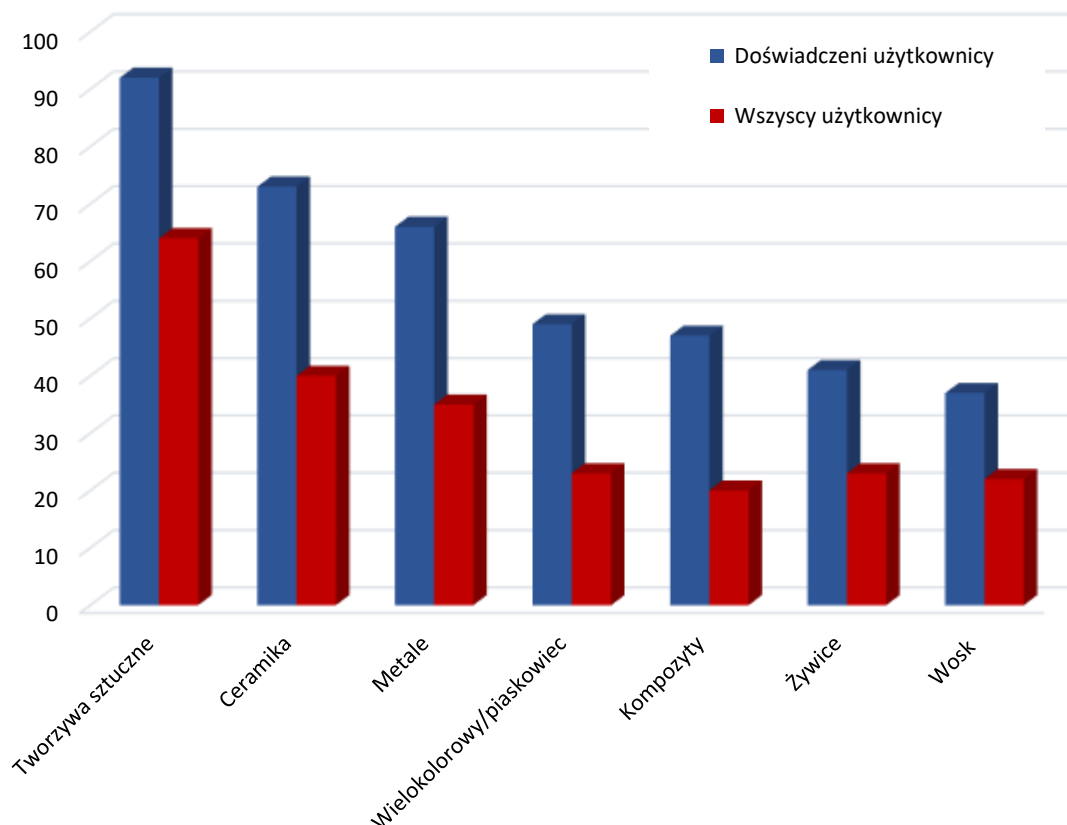


Rys. 2.25. Główne zastosowania druku 3D w 2018 roku (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Sculpteo, 2020, s. 8].

Rosnące znaczenie profesjonalnych zastosowań druku 3D znajduje także pośrednio potwierdzenie na rysunku 2.26. W roku 2020 największe dysproporcje między doświadczonymi użytkownikami a ogółem użytkowników rozwiązań związanych z drukiem przestrzennym

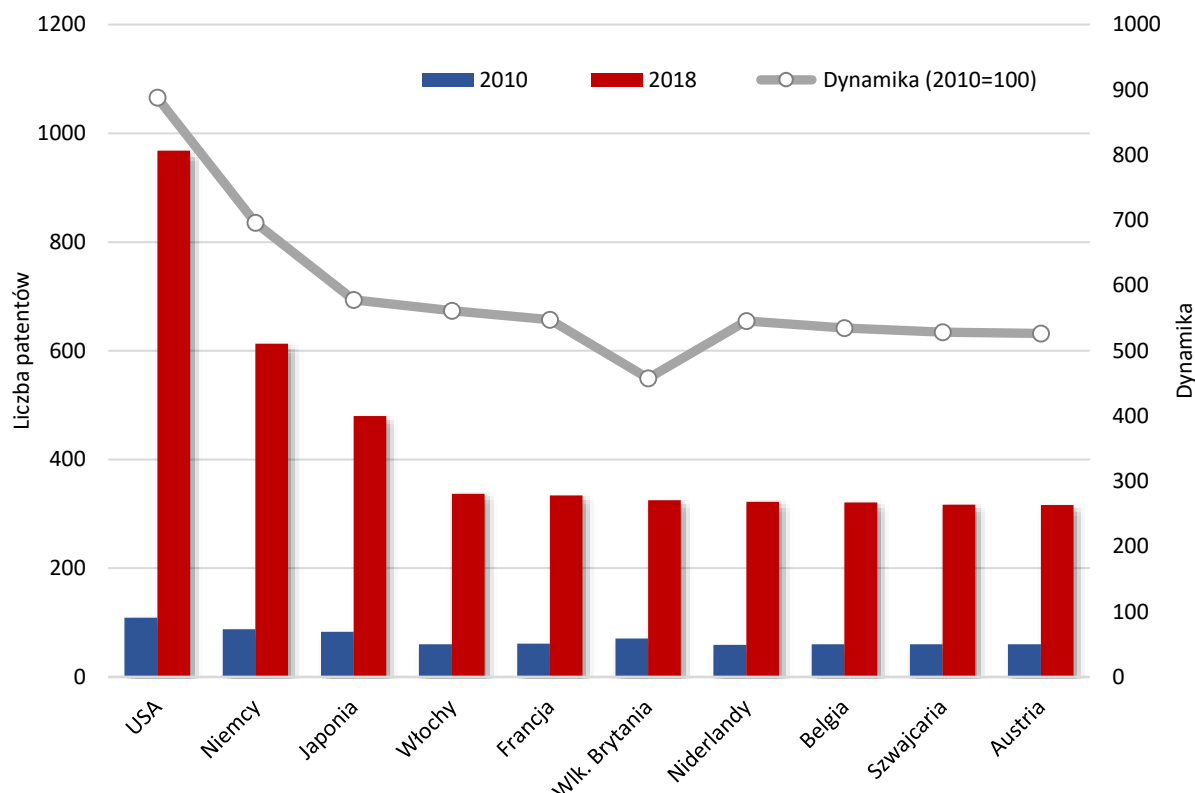
występowały w przypadku materiałów o charakterze profesjonalnym, tj. ceramiki, metali oraz tworzyw sztucznych. Dysproporcje te były mniejsze, gdy tworzywem do przygotowywania wydruków 3D były materiały tradycyjne, tj. żywice i wosk.



Rys. 2.26. Materiały najczęściej wykorzystywane w wydrukach 3D w 2020 roku (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Sculpteo, 2020, s. 17].

Oczywistym jest, że zmiany zachodzące na globalnym rynku druku przestrzennego nie byłyby możliwe bez rozwoju wiedzy z tej dziedziny. Wspominana wcześniej czołówka krajów mających największy udział w światowym rynku druku 3D pokrywa się z czołówką krajów dysponujących największą liczbą opublikowanych patentów z zakresu druku przestrzennego. Na przestrzeni lat 2010–2018 liczba takich patentów zwiększyła się bardzo wyraźnie, w szczególności w Stanach Zjednoczonych (ok. 9-krotnie), Niemczech (ok. 7-krotnie) oraz Japonii (ok. 6-krotnie) (por. rys. 2.27). Jeśli chodzi natomiast o liczbę złożonych wniosków patentowych dotyczących rozwiązań z zakresu druku 3D, to w 2019 roku najwięcej złożyły ich podmioty amerykańskie (ponad 44 tys.), chińskie (niespełna 19 tys.) oraz niemieckie (ponad 10 tys.) [IPlytics, 2019, s. 3].



Rys. 2.27. Całkowita liczba opublikowanych patentów z zakresu druku 3D wg krajów w latach 2010 i 2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie portalu cipher.ai, <https://www.statista.com/statistics/1010198/published-3d-printing-patents-worldwide-by-country/> (dostęp: 12.08.2021).

Warto dodać, że w 2019 roku największymi właścicielami patentów dotyczących druku przestrzennego były korporacje amerykańskie — General Electric, HP, United Technologies Corporation, Boeing, Xerox, 3M, 3D Systems, jak również Uniwersytet Harvarda, Siemens i Stratasys [IPlytics, 2019, s. 2]. Właścicielami największej liczby aktywnych rodzin patentowych z zakresu druku 3D były natomiast takie podmioty jak General Electric, HP, Raytheon Technologies, Chińska Akademia Nauk, Ricoh i Siemens [LexisNexis PatentSight, 2021].

Mimo obaw związanych z wpływem pandemii COVID-19 na współczesną gospodarkę światową można przypuszczać, że podobnie jak w przypadku innych kluczowych technologii związanych z rozwojem Gospodarki 4.0, również międzynarodowy rynek druku 3D co najmniej utrzyma dotychczasowe tempo wzrostu, o czym mogą świadczyć następujące kwestie:

1. Według raportu Grand View Research z 2020 roku wartość globalnego rynku druku przestrzennego w 2019 roku wyniosła prawie 12 mld USD i oczekuje się, że w latach 2020–2027 jego skumulowana roczna stopa wzrostu (CAGR) przekroczy 14 procent²⁰.
2. Światowe dostawy drukarek 3D w 2018 roku wyniosły prawie 1,5 mln sztuk, a według prognoz z 2020 roku osiągną one poziom 8 mln sztuk w 2027 roku²¹. Pamiętać przy tym należy, że jakkolwiek drukarki 3D stanowią istotny segment rynku, to coraz większy udział w wydatkach mają specjalistyczne oprogramowanie, materiały i usługi towarzyszące.
3. Szybki postęp naukowo-techniczny w dziedzinie druku 3D skutkuje pojawianiem się kolejnych technik wytwarzania oraz nowych zastosowań tej technologii, a wśród branż stymulujących rozwój tego rynku należy wymienić ochronę zdrowia, motoryzację, lotnictwo i obronność oraz elektronikę. Co więcej, obserwowane jest stopniowe odchodzenie od wykorzystywania druku 3D do prototypowania na rzecz wytwarzania podzespołów, części czy gotowych produktów, co umożliwia poprawiającą się z roku na rok jakość i precyzja wydruków przestrzennych.
4. W ostatnich latach pojawiły się nowe materiały, które można wykorzystywać do tworzenia wydruków przestrzennych. Ze względu na wysokie koszty (zwłaszcza drukarek przemysłowych i oprogramowania) metale i ich stopy znajdują przede wszystkim zastosowania przemysłowe, natomiast pozostałe materiały są z powodzeniem wykorzystywane na potrzeby indywidualnych użytkowników i małych firm. Szczególnie perspektywnym sektorem jest branża edukacyjna, w której szkoły, instytucje edukacyjne i uczelnie wyższe wykorzystują niewielkie stacjonarne drukarki 3D w celach szkoleniowych i badawczych. Z kolei mniejsze przedsiębiorstwa mogą dywersyfikować działalność, oferując usługi druku 3D na zlecenie oraz inne usługi towarzyszące (np. modelowanie cyfrowe, usługi jubilerskie na podstawie projektów 3D itp.).
5. Do największych barier we wdrażaniu technologii druk 3D zalicza się przede wszystkim wysokie koszty, niezadawalającą jakość drukowanych części, niewystarczające doświadczenie oraz zbyt wąski asortyment materiałów do tworzenia wydruków przestrzennych [Everett, 2021].
6. Najważniejsze korzyści związane z prototypowaniem z wykorzystaniem druku 3D to możliwość szybkiego wprowadzania modyfikacji, niski koszt opracowania działających prototypów oraz duża dostępność, natomiast za zastosowaniem druku przestrzennego w sferze produkcji przemawiają mniejsze ograniczenia projektowe, możliwości produkcji na żądanie, masowej

²⁰ https://www.printedelectronicsnow.com/contents/view_breaking-news/2020-02-10/gvr-global-3d-printing-market-size-was-1158-billion-in-2019/ (dostęp: 15.08.2021).

²¹ Ibidem.

personalizacji (dostosowania produktu do potrzeb klienta) oraz produkcji rozproszonej [3D Hubs, 2020, s. 7].

7. Rynek druku 3D w Polsce odzwierciedla część trendów rynku globalnego, przy czym jak na razie głównym obszarem specjalizacji jest produkcja i dystrybucja drukarek 3D, jak również świadczenie usług druku 3D na żądanie²². Na podstawie danych Eurostatu należy także zaznaczyć, że na polskim rynku znacznie bardziej powszechne (w porównaniu z rynkiem Unii Europejskiej) jest tworzenie prototypów, modeli czy produktów na użytek wewnętrzny, natomiast relatywnie mniejsze jest zaangażowanie w drukowanie produktów na sprzedaż²³.

Reasumując, dalszemu rozwojowi rynku druku 3D towarzyszyć będzie zmiana w kierunku druku wyrobów gotowych o wyższej jakości oraz stopniowy spadek kosztu technologii druku przestrzennego, co pozwoli na jej upowszechnianie się w nowych zastosowaniach. Duże nadzieje związane są również z rozwojem produkcji hybrydowej pozwalającej na integrację druku 3D ze zautomatyzowanymi i zrobotyzowanymi liniami produkcyjnymi [Everett, 2021].

2.5. Rynek rozwiązań SI i Big Data

Biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania, należy stwierdzić, że globalny rynek rozwiązań z dziedziny sztucznej inteligencji (SI) i Big Data jest komplementarny względem większości technologii leżących u podstaw rozwoju Gospodarki 4.0. Wynika to przede wszystkim z faktu, że takie rozwiązania jak Internet rzeczy, inteligentna fabryka czy inteligentne budownictwo wiążą się z tworzeniem, przetwarzaniem, gromadzeniem i przekazywaniem olbrzymich ilości danych.

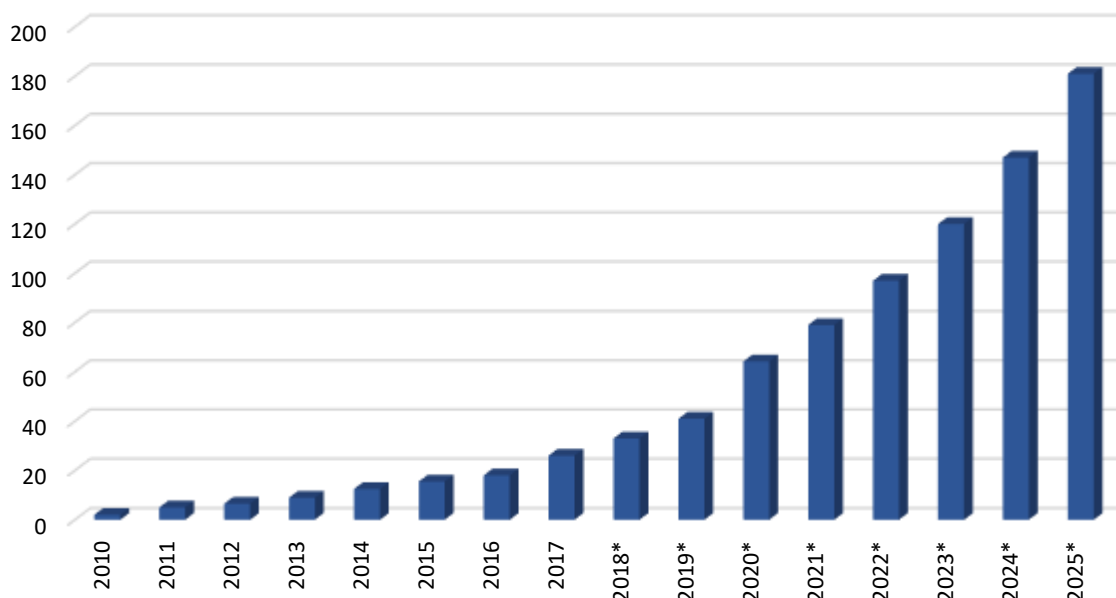
Gwałtowny wzrost ilości danych w globalnej Sieci był szczególnie widoczny w drugiej dekadzie obecnego stulecia. Tylko w latach 2010–2017 wolumen danych zwiększył się prawie 15-krotnie (por. rys. 2.28). W najbliższych pięciu latach prognozowany jest wzrost ilości danych/informacji wytwarzanych, gromadzonych, kopiowanych i zużywanych na całym świecie do poziomu przekraczającego 180 zettabajtów²⁴, czyli dla porównania na jednego mieszkańca Ziemi będzie przypadać około 2,5 TB danych. Należy jednak pamiętać, że sam rozwój Internetu rzeczy może spowodować przyspieszenie procesu tworzenia danych, tym bardziej, że będą w nim uczestniczyły coraz liczniejsze, komunikujące się ze sobą maszyny, czujniki i systemy informatyczne. Co więcej, zmiany spowodowane pandemią COVID-19 również przyczyniły się do większej „produkcji” danych i informacji, na przykład w związku z upowszechnieniem się

²² <https://printelize.com/pl/T/BadanieRynkuDruku3DwPolsce> (dostęp: 12.08.2021).

²³ <https://www.statista.com/statistics/1229268/poland-3d-printing-use-in-companies-by-purpose/> (dostęp: 12.08.2021).

²⁴ W przybliżeniu 1 zettabajt (ZB) to około 1,1 mld terabajtów (TB).

zdalnych form edukacji i pracy, czy większej popularności rozrywek dostępnych za pośrednictwem Internetu (usługi streamingowe, gry sieciowe itp.).



Rys. 2.28. Globalna ilość wytwarzanych, gromadzonych, kopiowanych i zużywanych danych/informacji w latach 2010–2025 (w zettabajtach)

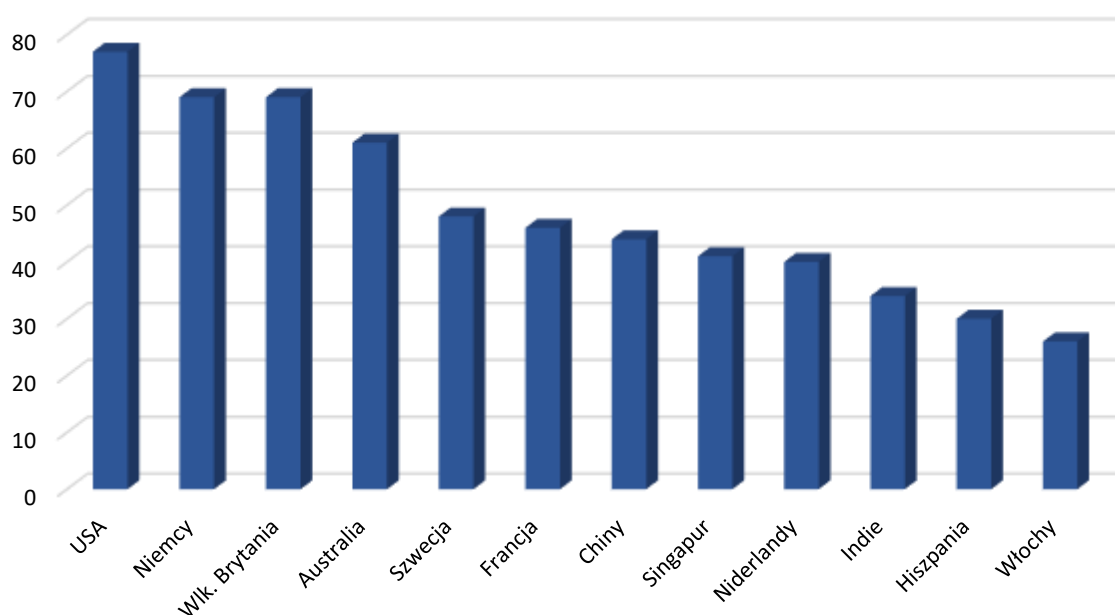
Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/> (dostęp: 15.08.2021).

Należy również zaznaczyć, że rosnący w kolejnych latach wolumen danych będzie wymagał zwiększenia możliwości ich przechowywania. Według szacunków IDC w latach 2020–2025 skumulowana roczna stopa wzrostu liczby zainstalowanych i działających urządzeń do magazynowania danych wyniesie ok. 20 procent. W rezultacie prognozowana pojemność zainstalowanych urządzeń do magazynowania danych osiągnie w 2025 roku ponad 13 zettabajtów²⁵.

Dane cyfrowe, oprócz tego, że stanowią swoiste tworzywo współczesnej gospodarki światowej opartej na wiedzy, są kluczowe z punktu widzenia funkcjonowania nowoczesnych organizacji. Dostęp do nich zapewnia nie tylko większą konkurencyjność w skali globalnej, ale pozwala na podejmowanie trafniejszych decyzji biznesowych. W takich krajach jak Stany Zjednoczone, Niemcy czy Wielka Brytania doniosłe znaczenie danych przy podejmowaniu decyzji w organizacjach dostrzegała w 2020 roku zdecydowana większość respondentów (por. rys. 2.29). Jeśli chodzi o branże, w których jest to szczególnie widoczne, to należy w szczególności wymienić bankowość (65% wskazań), ubezpieczenia (55%), telekomunikację (54%) oraz nauki

²⁵ <https://www.statista.com/statistics/1185900/worldwide-datasphere-storage-capacity-installed-base/> (dostęp: 14.08.2021).

przyrodnicze i opiekę zdrowotną (51%) [Capgemini, 2020b, s. 7]. Należy sądzić, że tak duże znaczenie danych dla procesów podejmowania decyzji w organizacjach działających w tych właśnie branżach wynika w głównej mierze z wysokiego stopnia ich cyfryzacji. Innymi słowy, organizacje działające w dużym zakresie na rynkach elektronicznych muszą gromadzić i przetwarzać wielkie ilości danych, a tym samym dysponować narzędziami ich efektywnej analizy na potrzeby procesów decyzyjnych.



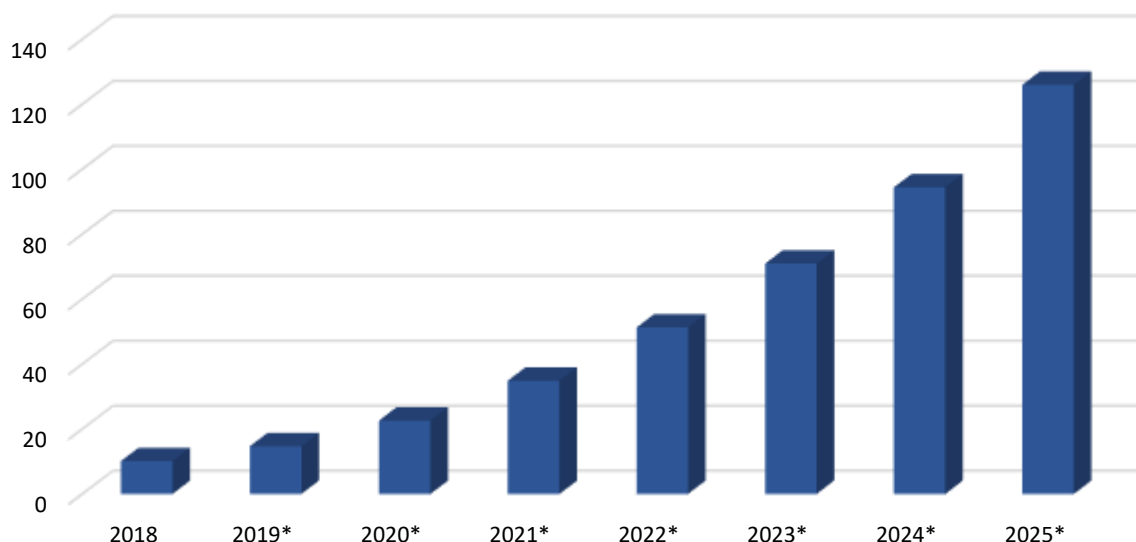
Rys. 2.29. Znaczenie danych przy podejmowaniu decyzji w organizacjach w wybranych krajach w 2020 roku (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Capgemini, 2020b, s. 8].

Z tych właśnie względów coraz większego znaczenia nabierają komercyjne systemy analizy danych bazujące na algorytmach sztucznej inteligencji. W roku 2018 globalne przychody na rynku oprogramowania SI przekroczyły 10 mld USD, lecz w kolejnych latach prognozowany jest bardzo szybki wzrost zapotrzebowania na tego rodzaju rozwiązania. Szacuje się, że do 2025 roku światowy rynek oprogramowania związanego ze sztuczną inteligencją osiągnie wartość 126 mld USD (por. rys. 2.30).

Tendencja ta znajduje odzwierciedlenie w szybko rosnącym rynku platform oprogramowania SI — w 2019 roku zwiększył się on o prawie 30 procent rok do roku, a całkowite przychody osiągnęły poziom prawie 3,5 mld USD. Do największych graczy na tym rynku zalicza się amerykańskie koncerny IBM i Microsoft, z udziałami odpowiednio 8,8 i 5,6 procent. Na kolejnych miejscach znalazły się m.in. takie firmy jak SAS, Google czy Amazon Web Services, a całą pierwszą dziesiątkę tworzą wyłącznie amerykańskie firmy technologiczne

zajmujące się sztuczną inteligencją i Big Data. W coraz większym stopniu zaznaczają też na nim swoją obecność firmy chińskie (iFLYTEK, Tencent, Baidu) [Schubmehl, 2020, s. 4–5].



Rys. 2.30. Globalne przychody na rynku oprogramowania SI w latach 2018–2025
(w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Omdia, <https://omdia.tech.informa.com/topic-pages/artificial-intelligence> (dostęp: 12.08.2021).

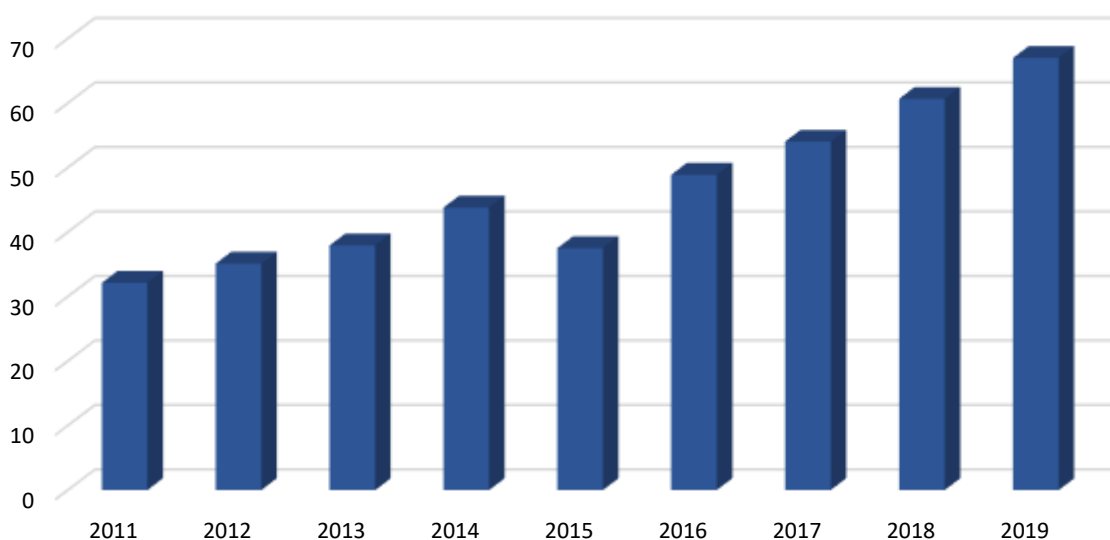
Dynamika, z jaką rozwija się w ostatnich latach globalny rynek związany ze sztuczną inteligencją, a także coraz to nowe podmioty dołączające do wyścigu technologicznego w tej dziedzinie powodują, że szacunki dotyczące jego wielkości znacznie się różnią. Zgodnie z zaprezentowanymi na rysunku 2.30 prognozami firmy Omdia wartość rynku oprogramowania SI wyniosła w 2020 roku nieco ponad 22 mld USD. Z kolei prognozy firm IDC i Statista wskazują, że w tym samym roku wartość tego rynku przekroczyła 280 mld USD, a w 2024 roku osiągnie poziom ponad 550 mld USD²⁶. Co więcej, według tych samych badań w 2020 roku aż 88 procent przychodów generował sektor oprogramowania SI, natomiast na usługi i sprzęt przypadało odpowiednio 7 i 5 procent²⁷.

Podobne rozbieżności dostrzec można w przypadku szacunków dotyczących globalnych przychodów z Big Data i oprogramowania analitycznego. Według IDC w latach 2011–2019 rynek ten wzrósł ponad dwukrotnie, tj. z 32 do 67 mld USD (por. rys. 2.31). Inna firma badawcza, Wikibon Research, prognozowała natomiast, że skumulowana roczna stopa wzrostu globalnego rynku Big Data wyniesie 11 procent w latach 2016–2027, dzięki czemu w tym

²⁶ <https://www.statista.com/statistics/694638/worldwide-cognitive-and-artificial-intelligence-revenues/> (dostęp: 10.08.2021).

²⁷ <https://www.statista.com/statistics/755331/worldwide-spending-on-cognitive-ai-systems-segment-share/> (dostęp: 10.08.2021).

okresie przychody wzrosną z 28 do 103 mld USD. Ponadto 45% tej kwoty przypadać będzie na oprogramowanie, 32% na usługi, a 23% na sprzęt [Albertson, 2018]. Porównując tylko szacowane przychody w 2019 roku, można dostrzec, że różnią się one o prawie 40 procent (67 mld USD wg IDC vs. 49 mld USD wg Wikibon Research).



Rys. 2.31. Globalne przychody z Big Data i oprogramowania analitycznego w latach 2011–2019 (w mld USD)

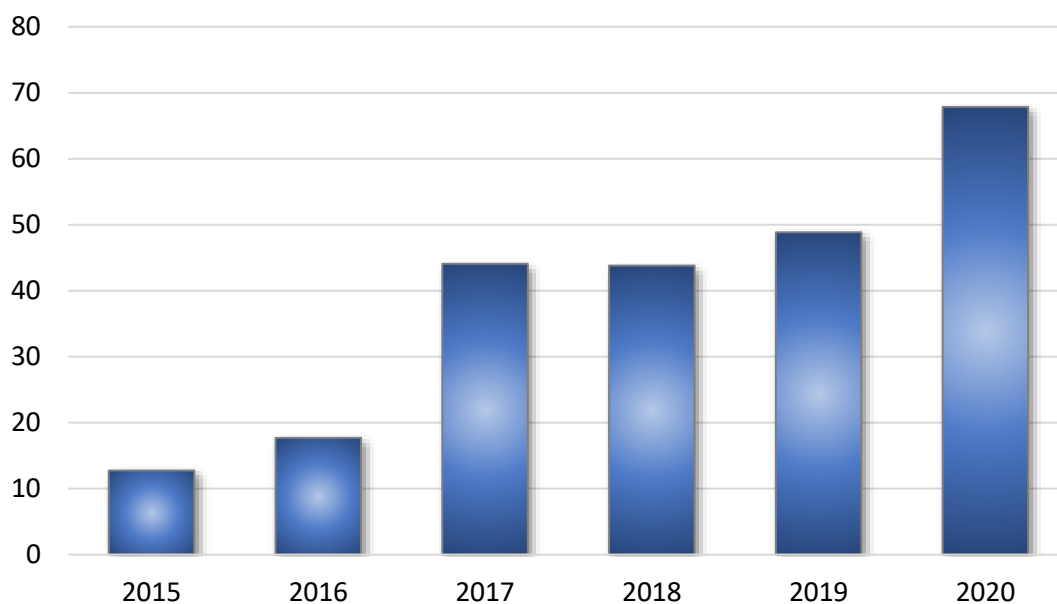
Źródło: opracowanie własne na podstawie [IDC, 2020b, s. 4].

Jeszcze większe tempo wzrostu globalnego rynku analityki Big Data (BDA) prognozuje firma Frost & Sullivan. Według raportu z 2020 roku zapotrzebowanie na rozwiązania z zakresu BDA zwiększy się 4,5-krotnie w ciągu najbliższych 5 lat. W rezultacie tego wykładniczego wzrostu przychody na tym rynku osiągną ponad 68 mld USD w 2025 roku, z niespełna 15 mld USD w roku 2019. Tym samym skumulowana roczna stopa wzrostu może wynieść prawie 30 procent²⁸.

Bez względu na to, jakie są faktyczne przyczyny wspomnianych rozbieżności, należy podkreślić, że każda z przedstawionych wyżej prognoz jednoznacznie wskazuje na szybki wzrost przychodów związanych z oprogramowaniem SI, Big Data i narzędziami analitycznymi w nadchodzących latach. Z tego względu nie stanowią zaskoczenia dane dotyczące globalnych inwestycji korporacyjnych w tym obszarze. Jak można zauważyć na rysunku 2.32, w latach 2015–2020 wzrosły one ponad 4-krotnie, zbliżając się do poziomu 70 mld USD. Co więcej, po roku od wdrożenia rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji większość firm osiągnęła

²⁸ <https://www.frost.com/news/press-releases/global-big-data-analytics-market-to-grow-4-5-times-by-2025-powered-by-data-security-requirements/> (dostęp: 10.08.2021).

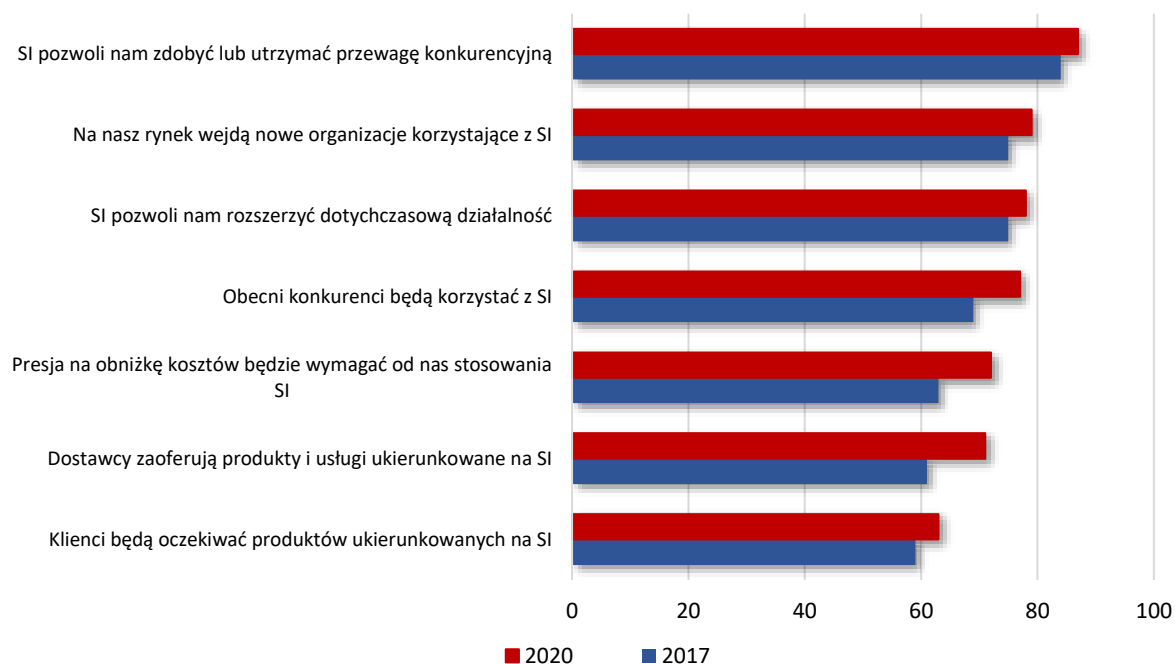
oczekiwane lub wyższe od oczekiwanych stopy zwrotu z inwestycji. Zgodnie z badaniami obejmującymi lata 2015–2019 liczba respondentów wskazujących, że wskaźnik ROI przekroczył oczekiwania, wzrastała w latach 2015–2017, a następnie dość wyraźnie spadła, ustępując wskazaniami, że wartość ROI była zgodna z oczekiwaniami (aż 82% w 2019 roku). Takie wyniki mogą prowadzić do wniosku, że prawdopodobieństwo przekroczenia oczekiwań dotyczących stopy zwrotu z inwestycji jest wyższe w przypadku firm, które wcześniej wdrożyły rozwiązania związane ze sztuczną inteligencją [MIT, 2020, s. 8].



Rys. 2.32. Łączne globalne inwestycje korporacyjne na SI w latach 2015–2020 (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Zhang i in., 2021, s. 93].

Jeśli chodzi o przyczyny, dla których organizacje biznesowe wprowadzały w ostatnich latach rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji, to wśród najczęściej wymienianych w 2020 roku była możliwość zdobycia i utrzymania przewagi konkurencyjnej, presja ze strony pojawiających się na rynku firm korzystających z SI, a także możliwości rozszerzenia działalności za sprawą SI (por. rys. 2.33). W porównaniu z rokiem 2017 liczba wskazań dotyczących tych trzech przyczyn nie zmieniła się znacząco, natomiast wyraźna różnica wystąpiła w przypadku wskazań dotyczących dostawców oferujących produkty i usługi ukierunkowane na SI oraz konieczności wykorzystania rozwiązań SI w związku z presją na obniżkę kosztów. Wyraźnie zatem widać, że z jednej strony firmy muszą wprowadzać rozwiązania bazujące na sztucznej inteligencji z przyczyn wewnętrznych (obniżka kosztów, rozszerzenie działalności), z drugiej natomiast tego rodzaju inwestycje są konieczne ze względu na zmieniające się otoczenie biznesowe (rosnąca konkurencja, oczekiwania ze strony dostawców i klientów).



Rys. 2.33. Przyczyny wprowadzenia rozwiązań SI w firmach (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ransbotham i in., 2020, s. 5].

Na podstawie badań przeprowadzonych przez firmę McKinsey w 2019 roku można zauważyć, że wprowadzenie rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji w znacznym stopniu przełożyło się na obniżenie kosztów działalności, przy jednoczesnym wzroście przychodów (por. tab. 2.9). Zdecydowana większość respondentów wskazała, że dzięki zastosowaniu SI w ich organizacjach koszty operacyjne zmniejszyły się o co najmniej 10 procent, natomiast przychody wzrosły przynajmniej o 5 procent. Spadek kosztów o więcej niż 10 procent odnotowano przede wszystkim w produkcji, zarządzaniu ryzykiem i działalności usługowej. Należy zaznaczyć, że relatywnie najmniejszy wpływ rozwiązań SI na ograniczenie kosztów wystąpił w obszarach rozwoju produktów i usług, strategii i finansów korporacyjnych oraz marketingu i sprzedaży (odpowiednio łącznie 21, 32 i 36 procent wskazań).

Z kolei spowodowany wprowadzeniem rozwiązań z zakresu SI wzrost przychodów o ponad 6% odnotowano w głównej mierze w obszarze marketingu i sprzedaży, strategii i finansów korporacyjnych, rozwoju produktów i usług oraz zarządzania ryzykiem, przy czym warto dodać, że ten pozytywny efekt był ogólnie bardziej widoczny, niż po stronie kosztów. W najmniejszym stopniu zaobserwowano go w obszarach zarządzania kadrami, działalności usługowej oraz rozwoju produktów i usług (odpowiednio 56, 57 i 65 procent wskazań).

Tabela 2.9. Wpływ wprowadzenia rozwiązań SI na koszty i przychody organizacji w 2019 roku (w procentach)

Rodzaj działalności	Spadek kosztów o			Wzrost przychodów o		
	≥ 20%	10–19%	< 10%	≤ 5%	6–10%	> 10%
Marketing i sprzedaż	2	9	25	43	26	10
Strategia i finanse korporacyjne	9	3	20	36	24	13
Zarządzanie łańcuchem dostaw	5	6	44	38	26	8
Produkcja	6	16	28	43	18	10
Ryzyko	4	18	16	33	16	19
Rozwój produktów i usług	2	7	12	30	19	16
Działalność usługowa	4	17	30	25	19	13
Kadry	2	8	33	35	11	10
Średnia dla wszystkich rodzajów działalności	4	11	25	36	20	10

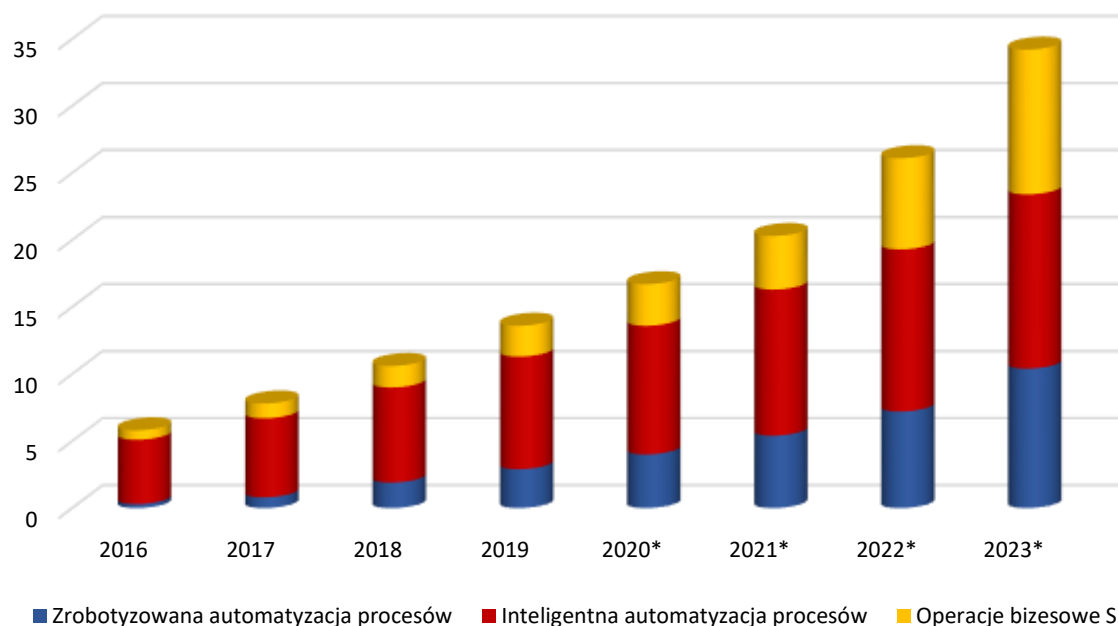
Źródło: opracowanie własne na podstawie [McKinsey, 2020, s. 4].

Tabela 2.10. Globalne zastosowania SI w wybranych branżach w 2020 roku (w procentach)

Branża	Cyber-bezpieczeństwo	Kontrola jakości	Monitowanie i diagnostyka	Obsługa klienta	Personalizacja produktów i usług	Zarządzanie zapasami	Wykrywanie oszustw	Kalkulacja cen	Analiza procesów finansowych	Utrzymanie infrastruktury
Farmaceutyczna i ochrona zdrowia	24	60	42	44	25	31	-	-	-	-
IT i telekomunikacja	52	38	30	48	31	-	38	-	-	-
Dobra konsumpcyjne i handel detaliczny	-	47	-	48	36	47	24	29	-	-
Usługi finansowe	33	-	-	31	33	-	58	-	41	25
Transport i logistyka	31	34	31	32	-	40	29	-	-	-
Przemysł wytwórczy	-	59	32	29	22	44	-	-	-	22

Źródło: opracowanie własne na podstawie [MIT, 2020, s. 10].

Porównując perspektywy rozwoju globalnego rynku rozwiązań bazujących na sztucznej inteligencji, należy zauważyć, że będą one mieć coraz większy udział w wydatkach na korporacyjne systemy automatyzacji. W roku 2016 ponad 80% takich wydatków dotyczyło systemów zrobotyzowanej automatyzacji procesów (RPA), a pod koniec poprzedniej dekady udział tych systemów zmniejszył się o około 20 punktów procentowych. Zgodnie z prognozami przedstawionymi na rysunku 2.34 w najbliższych latach wyraźnie wzrosną wydatki na systemy inteligentnej automatyzacji procesów (IPA) oraz systemy automatyzacji operacji biznesowych bazujące na sztucznej inteligencji. Szacuje się, że w 2023 roku globalne wydatki na ten cel wyniosą około 35 mld USD, a udziały systemów RPA, IPA i opartych na SI będą bardzo zbliżone, z niewielką tylko przewagą systemów RPA.

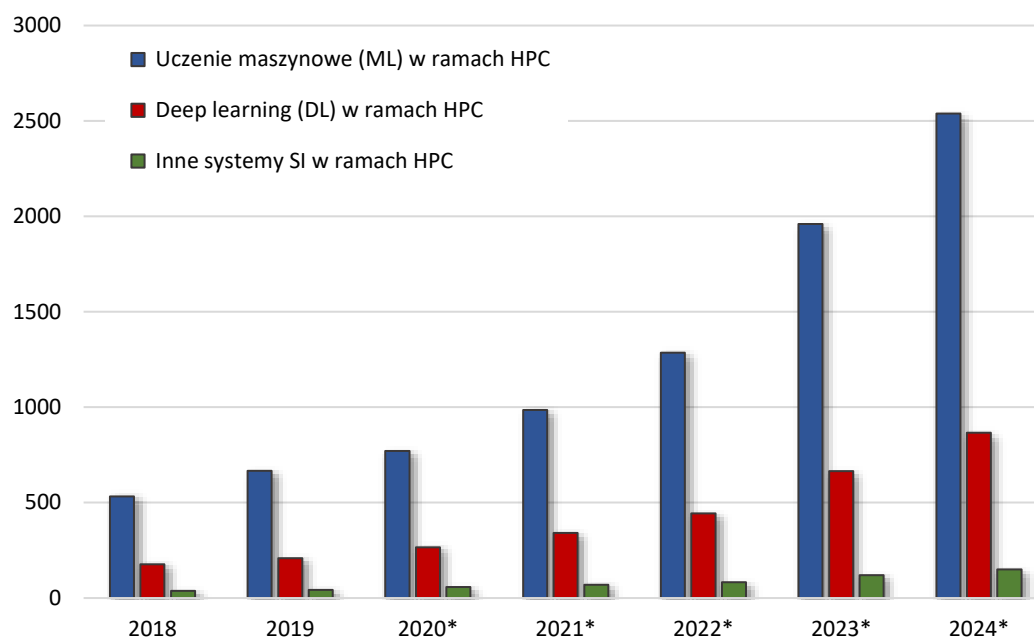


Rys. 2.34. Globalne wydatki na systemy zrobotyzowanej/inteligentnej automatyzacji procesów (RPA/IPA) oraz automatyzacji z wykorzystaniem SI w latach 2016–2023 (w mld USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HFS Research, https://www.horsesforsources.com/white-collar-automation-ai_012420 (dostęp: 14.08.2021).

Kolejnym kierunkiem zmian zachodzących na analizowanym rynku są systemy bazujące na obliczeniach wysokiej wydajności (*high performance computing*, HPC), co jest związane z wykładniczo rosnącym wolumenem danych wymagających przetworzenia. Jakkolwiek na razie przychody z systemów SI bazujących na algorytmach HPC są stosunkowo niewielkie, szacuje się, że ulegnie to zmianie w kolejnych latach. W roku 2019 zdecydowanie największą część przychodów związanych z HPC pochodziła z obszaru uczenia maszynowego (ponad 72%), natomiast na deep learning i pozostałe systemy SI przypadało odpowiednio niespełna 23 i 5 procent (por. rys. 2.35). Według prognoz Hyperion Research struktura ta nie zmieni się znacząco w najbliższych latach, jednak łączne przychody wzrosną w porównaniu z 2019 rokiem prawie czterokrotnie²⁹.

²⁹ Warto dodać, że ważnym obszarem zastosowania sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego jest obsługa klienta. Prognozuje się, że w 2021 roku takie rozwiązania przyczynią się w znacznym stopniu do poprawy doświadczeń zakupowych klientów, zapewnią lepsze interakcje z klientami oraz ułatwią zapobieganie potencjalnym oszustwom [Algorithmia 2020, s. 8].



Rys. 2.35. Globalne przychody z systemów SI bazujących na obliczeniach wysokiej wydajności (HPC) w latach 2018–2024 (w mln USD)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Hyperion Research, 2020, s. 61].

Ze względu na brak wystarczających danych trudno oszacować, jak zmiany na rynku rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji wpłyną na wszystkie trzy sektory Gospodarki 4.0. Na podstawie dotychczasowych rozważań można stwierdzić, że upowszechnianie się sztucznej inteligencji będzie mieć przełomowe znaczenie dla rozwoju Przemysłu 4.0, na przykład z powodu komplementarności względem zastosowań robotyki czy Internetu rzeczy. W obszarze Rolnictwa 4.0 rozwiązania SI znajdują zastosowanie przede wszystkim w produkcji roślinnej na polach (ponad 60%), hodowli zwierząt (niepełna 20%) oraz produkcji roślinnej w pomieszczeniach (około 15%). Według badań przeprowadzonych przez BIS Research w latach 2019–2024 wartość globalnego rynku rolnego bazującego na sztucznej inteligencji wzrośnie ponad trzykrotnie, z niepełna 1,1 do ponad 3,8 mld USD³⁰.

Podsumowując, perspektywy rozwoju globalnego rynku rozwiązań bazujących na sztucznej inteligencji wydają się bardzo optymistyczne, jednak w świetle rozważań zaprezentowanych w niniejszej części należy podkreślić następujące kwestie:

1. Rozwój zastosowań sztucznej inteligencji przyniesie szereg korzyści dla różnych grup interesariuszy, tj. użytkowników (konsumentów), biznesu i sfery publicznej, jednak wiązać się z nim także będzie szereg realnych lub potencjalnych zagrożeń. Z jednej strony sztuczna

³⁰ <https://www.statista.com/statistics/1174399/global-ai-in-agriculture-market-by-farming-type/> (dostęp: 15.08.2021).

inteligencja przyczyni się m.in. do poprawy jakości i dostępności usług publicznych związanych np. z bezpieczeństwem, ochroną zdrowia czy edukacją, zwiększenia wydajności pracy, opracowania nowych produktów i usług lepiej dostosowanych do potrzeb klientów czy przyspieszenia zielonej transformacji gospodarki, z drugiej natomiast uwypukli szereg zagrożeń związanych m.in. z odpowiedzialnością za ewentualne szkody, naruszeniem prywatności i potencjalną inwigilacją, negatywnym wpływem na rynek pracy, kwestie konkurencji czy transparentności decyzji³¹.

2. Podobnie jak w przypadku procesów robotyzacji i automatyzacji, rozwój sztucznej inteligencji będzie miał niebagatelny, ilościowy i jakościowy wpływ na kształt przyszłego rynku pracy. Według badań z maja 2020 roku 54 procent spośród ankietowanych przedstawicieli kadry kierowniczej ds. zatrudnienia wskazywało, że sztuczna inteligencja nie będzie miała wpływu na liczbę miejsc pracy, jednak w najbliższych trzech latach charakter pracy w ich organizacjach ulegnie istotnej zmianie. Z kolei 25 procent respondentów wskazało, że SI spowoduje spadek netto liczby miejsc pracy [Deloitte, 2020, s. 56].

3. W krótkim okresie pandemia COVID-19 może spowodować dalszy wzrost inwestycji w rozwiązania SI w systemach ochrony zdrowia i w branży farmaceutycznej, jak również w przemyśle, np. w branży motoryzacyjnej i montażowej. W przypadku usług finansowych, usług specjalistycznych czy branży zaawansowanych technologii i telekomunikacji pandemia niekoniecznie musi przyczynić się do zwiększenia tego rodzaju inwestycji, ponieważ już przed jej wybuchem były one liderami we wdrażaniu nowych technologii ICT³². Dominujące jest także przekonanie, że rozwój sztucznej inteligencji spowoduje gruntowną transformację całych branż w ciągu najbliższych trzech lat [Ammanath i in., 2020, s. 7], co wynika nie tylko z trwającej pandemii, ale przede wszystkim z wyzwań globalnych stojących przed współczesnymi gospodarkami i społeczeństwami.

4. Pod koniec 2020 roku największą liczbą patentów z dziedziny sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego dysponowały koncerny amerykańskie (IBM, Microsoft, Alphabet i Intel), lecz w porównaniu z 2011 rokiem największy przyrost liczby patentów odnotowały podmioty chińskie — State Grid Corporation of China, Baidu, Tencent, Ping An Insurance i Chińska Akademia Nauk. Poza podmiotami amerykańskimi i chińskimi w czołówce znalazł się jeszcze

³¹ <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20200918STO87404/sztuczna-inteligencja-szanse-i-zagrozenia> (dostęp: 10.08.2021).

³² <https://www.statista.com/statistics/1194472/worldwide-ai-investment-change-coronavirus-by-industry/> (dostęp: 10.08.2021).

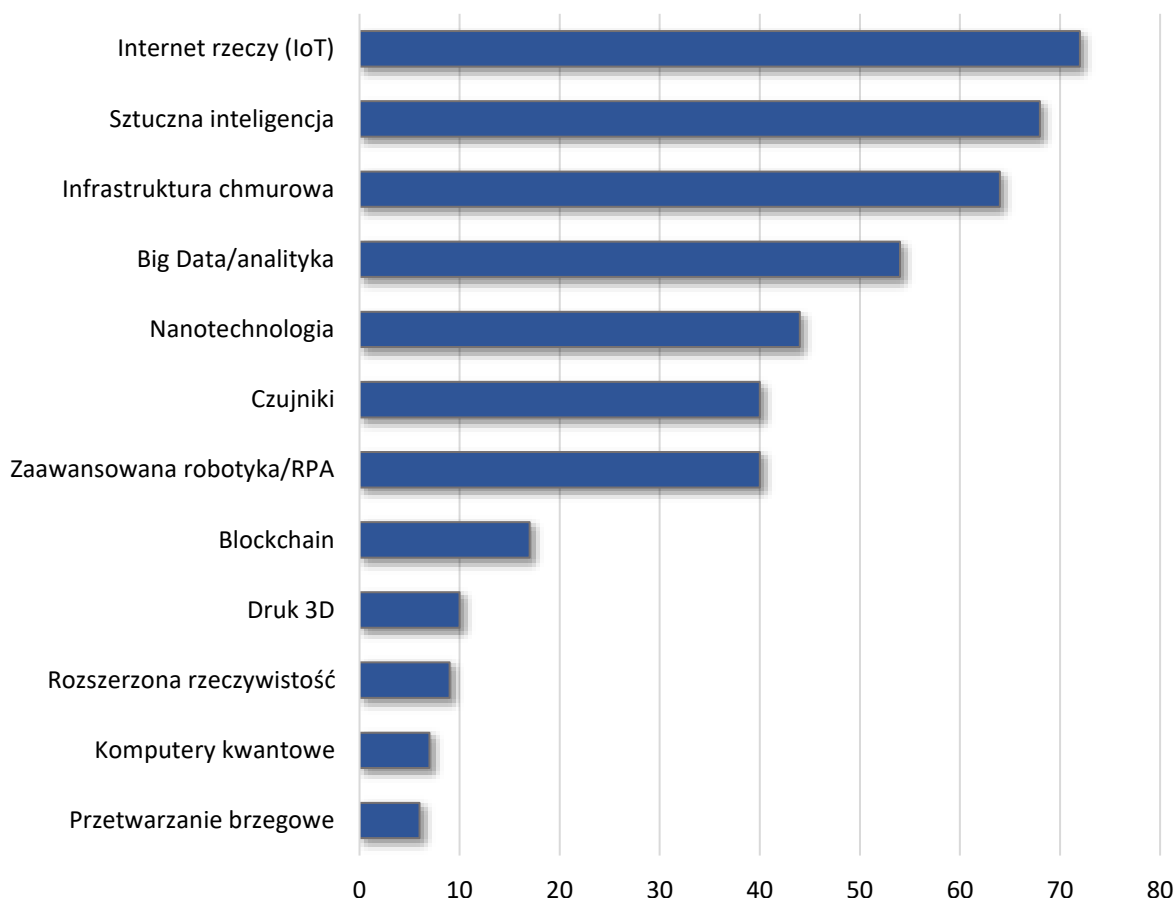
koreański koncern Samsung³³. Potwierdzają to również dane dotyczące publikacji patentowych, zgodnie z którymi największy udział pod tym względem mają Ameryka Północna, Azja Środkowa i Wschodnia oraz Europa [Zhang i in., 2021, s. 182].

5. W długiej perspektywie rozwój sztucznej inteligencji może przyczynić się do złagodzenia problemów związanych ze zmianami klimatu i transformacją bardziej ukierunkowaną na zrównoważony rozwój. Według prognoz z końca 2019 roku dzięki zastosowaniom sztucznej inteligencji w ciągu najbliższych 3–5 lat możliwe będzie ograniczenie emisji CO₂ o prawie 16 procent, w największym stopniu przy produkcji urządzeń medycznych i w branży energetycznej. Do roku 2030 największy potencjał, jeśli chodzi o ograniczenie gospodarczej intensywności emisji, będzie mieć natomiast handel detaliczny, usługi komunalne i branża motoryzacyjna. Choć jednak 88% z organizacji badanych w 2020 roku dokonało oceny możliwości wykorzystania SI pod kątem działań klimatycznych, jedynie 42% przeszło ze swoimi pracami na etap eksperymentalny, tj. prototypowania lub opracowania projektów pilotażowych. Oznacza to, że jak na razie poza deklaracjami wiele organizacji nie przechodzi do konkretnych działań na rzecz klimatu, wykorzystując w tym celu rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji. Jest to o tyle zastanawiające, że w opinii respondentów sztuczna inteligencja może w najbliższej przyszłości pomóc w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych, poprawić efektywność energetyczną, ograniczyć ilość odpadów i nieproduktywnych aktywów, jak również obniżyć koszty związane ze zmianami klimatu [Capgemini, 2020a, s. 16–26].

Zaprezentowane rozważania potwierdzają olbrzymią rolę, jaką odgrywają nowoczesne technologie teleinformatyczne w rozwoju Gospodarki 4.0. Z punktu widzenia organizacji, w szczególności korporacji transnarodowych, ale także małych i średnich przedsiębiorstw, organizacji non-profit czy sektora publicznego, największe znaczenie mają innowacje z dziedziny Internetu rzeczy, sztucznej inteligencji, infrastruktury chmurowej i Big Data (por. rys. 2.36). Mniejsza liczba wskazań dotycząca zaawansowanej robotyki, druku 3D, technologii blockchain, rozszerzonej rzeczywistości czy przetwarzania brzegowego nie oznacza wcale, że ich znaczenie jest marginalne. Jak wspomniano, stanowią one immanentne elementy globalnego ekosystemu Gospodarki 4.0. Może nie są obecnie najważniejsze z perspektywy interesów globalnych organizacji, jednak będą tworzyły wartość dodaną dla innych interesariuszy. Przykładowo czujniki i zaawansowana robotyka, wraz ze sztuczną inteligencją i Big Data, są niezbędne dla rozwoju ekologicznego rolnictwa przyszłości, natomiast druk 3D, blockchain czy

³³ <https://www.statista.com/statistics/1032627/worldwide-machine-learning-and-ai-patent-owners-trend/> (dostęp: 15.08.2021).

wirtualna/rozszerzona rzeczywistość pozwolą zaspokoić potrzeby przyszłych konsumentów/użytkowników.



Rys. 2.36. Prognozowany wpływ technologii IR4 na organizacje (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Deloitte, 2020a, s. 9].

Warto także dodać, że według przeprowadzonych w 2021 roku badań rozwiązania SaaS (Software-as-a-Service) oraz Big Data zostały uznane za bardzo ważne z punktu widzenia osiągnięcia celów biznesowych. Na dalszych miejscach znalazły się SI i uczenie maszynowe (zwłaszcza w ochronie zdrowia oraz branży zaawansowanych technologii/telekomunikacji), zrobotyzowana automatyzacja procesów (produkcja) oraz Internet rzeczy (produkcja, budownictwo i inżynieria) [Harvey Nash Group, 2021, s. 6]. Dzięki tym technologiom organizacje mogą eksplorować nowe kierunki badań, wyprzedzać konkurencję pod względem innowacyjności, a także zaspokajać dotychczasowe i przyszłe potrzeby klientów.

3. Gospodarka 4.0 jako odpowiedź na wyzwania współczesnego świata

Jednym z problemów współczesnego świata są pogłębiające się nierówności społeczne, którym towarzyszy w ostatnim czasie niepewność związana z globalną sytuacją pandemiczną oraz postępującymi zmianami klimatycznymi. Pojawiają się również opinie, że w czasach globalnych wyzwań pogoń za wzrostem gospodarczym bez oglądania się na ograniczoność zasobów Ziemi stanowi prostą drogę do katastrofy. Jedną z nich wskazuje, że możliwości wzrostu gospodarczego, światowej produkcji i konsumpcji wyznaczają dwie granice: potrzeb, gdyż nowoczesna gospodarka powinna służyć zapewnieniu podstaw dobrego życia wszystkim członkom wspólnoty, oraz możliwości środowiskowych, ponieważ realizacja celów społecznych nie może przekroczyć pojemności ekosystemu [Raworth, 2021, s. 37–64; Hickel, 2021].

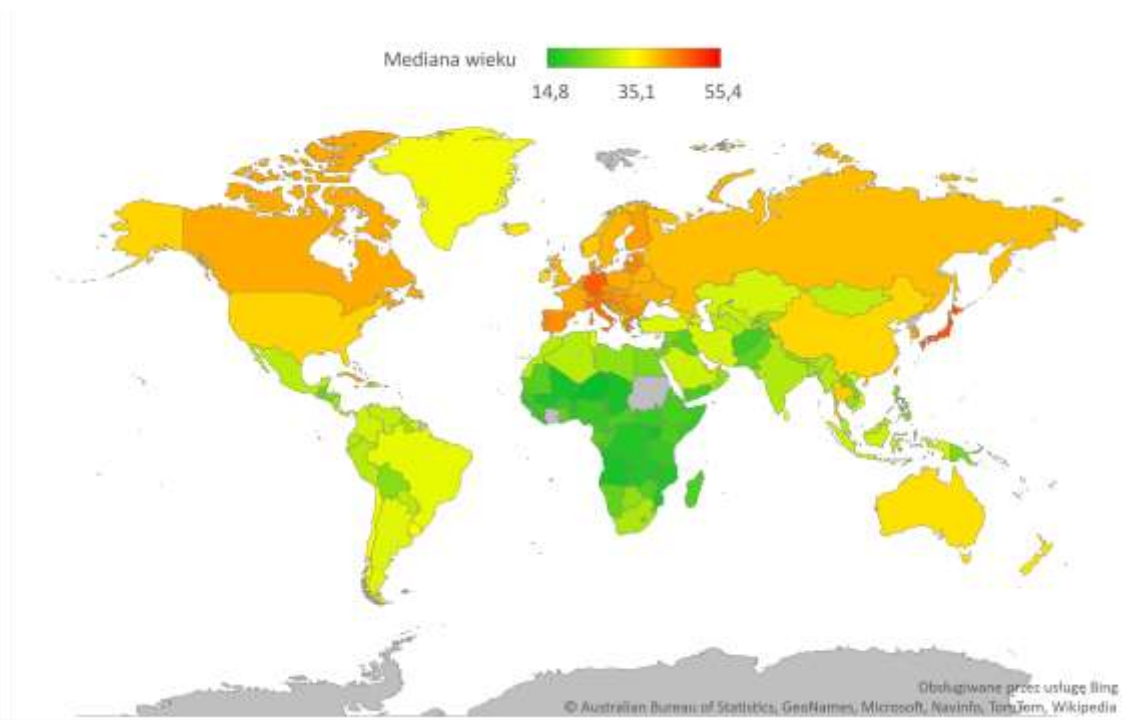
Pojęcie nierówności jest często utożsamiane z nierównościami społecznymi, w szczególności z nierównościami dochodowymi. Na potrzeby niniejszego rozdziału będzie ono rozumiane szerzej, a mianowicie jako pewna wypadkowa nierówności społecznych (dochodowych, edukacyjnych, związanych z ochroną zdrowia itp.), technologicznych (cyfrowych, ale również energetycznych) oraz środowiskowych, tj. związanych z antropogenicznymi oddziaływaniami na środowisko naturalne (nierówności w dostępie do wody, żywności, zanieczyszczenie powietrza itp.). Należy dodać, że w skrajnych przypadkach nierówności mogą przybrać trwałe formy określane mianem wykluczenia, np. wykluczenie cyfrowe, wykluczenie komunikacyjne czy ubóstwo energetyczne³⁴.

Nie należy jednak skłaniać się ku stereotypowej tezie, że problem nierówności dotyczy w głównej mierze krajów ubogiego Południa, natomiast nie występuje na bogatej Północy. Istnieje szereg dowodów na to, że w krajach wysokiego dochodu również mogą występować pewne, często bardzo widoczne formy wykluczenia czy nierówności. Dobrym przykładem mogą być Stany Zjednoczone z relatywnie dużymi nierównościami dochodowymi, czy Polska, w której występuje m.in. wykluczenie transportowe i cyfrowe mieszkańców obszarów wiejskich, czy pogłębiające się wraz z rosnącymi cenami nośników energii wykluczenie energetyczne. Z kolei niektóre kraje średniego dochodu, np. azjatyckie czy afrykańskie, mogą pochwalić się znaczną poprawą szeregu wskaźników rozwoju społecznego, na przykład w sferze edukacji czy dostępności usług zdrowotnych [Rosling, 2018].

U podstaw wielu współczesnych problemów globalnych, oprócz opisanych wcześniej procesów industrializacji czy przemian zachodzących w rolnictwie, leżą procesy

³⁴ Ze względu na charakter niniejszej pracy pominięte zostaną bardziej szczegółowe rozważania dotyczące genezy nierówności społecznych i ich skutków. Więcej informacji na ten temat zob. m.in. <https://www.socium.pl/nierownosc-zroznicowanie-dysproporcja-nierownosci-spoeczne-i-ekonomiczne.html> (dostęp: 10.08.2021).

demograficzne wiążące się z szeregiem palących wyzwań. Według najbardziej aktualnych danych demograficznych publikowanych przez portal Worldometer pod koniec sierpnia 2021 roku liczba ludności świata zbliżyła się do 7,9 mld i tylko w bieżącym roku wzrosła o przeszło 55 mln. Mimo że tempo wzrostu liczby ludności spadło dwukrotnie w ciągu ostatniego półwiecza (z 2% pod koniec lat 60. XX wieku do nieco ponad 1% obecnie), prognozuje się, że w połowie obecnego stulecia liczba mieszkańców Ziemi przekroczy 10 mld, z czego prawie 70% będzie zamieszkiwać aglomeracje miejskie³⁵.



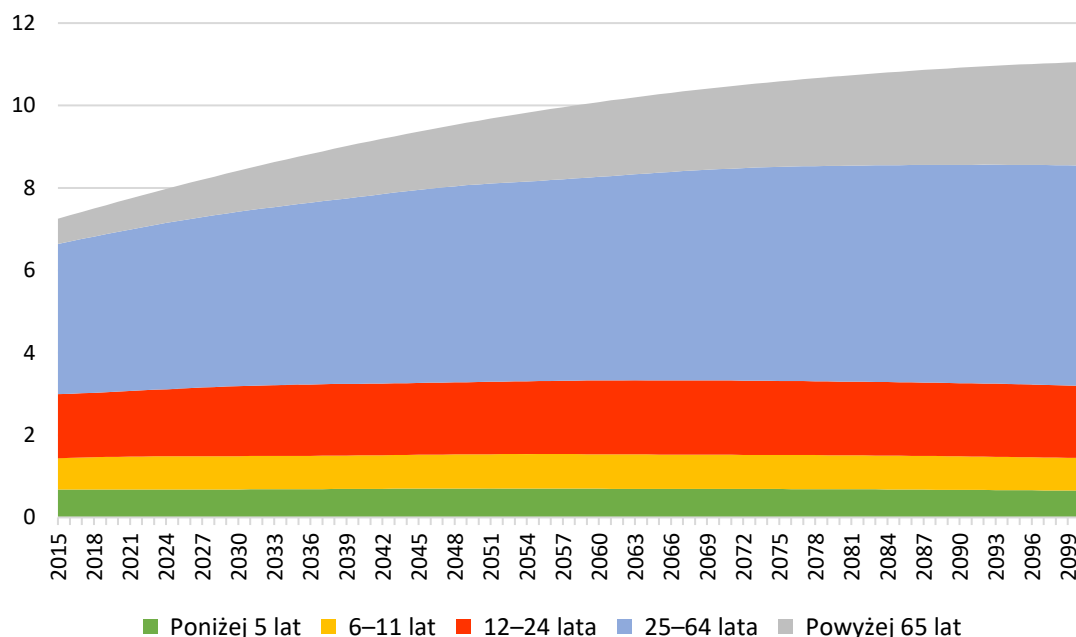
Rys. 3.1. Mediana wieku mieszkańców świata w 2020 roku wg regionów

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych CIA, <https://www.citypopulation.de/en/world/bymap/medianage/> (dostęp: 20:09.2021).

Ze względu na fakt, że największy przyrost ludności występuje w najsłabiej rozwiniętych gospodarczo regionach świata, rosnącej liczbie ludności towarzyszą pogłębiające się dysproporcje wiekowe. W roku 2020 mediana wieku w większości krajów afrykańskich wynosiła zaledwie 15–20 lat, natomiast w wielu krajach europejskich przekroczyła 40 lat, a w Japonii wynosi blisko 50 lat (por. rys. 3.1). Według danych Population Reference Bureau w 2021 największy odsetek osób młodych, tj. w wieku poniżej 15 lat, występuje w Afryce (40%), a stosunkowo wysoki również w Ameryce Łacińskiej, Azji i Oceanii (we wszystkich tych regionach

³⁵ <https://www.worldometers.info/world-population/#region> (dostęp. 02.09.2021).

ok. 23-24%). Z kolei w Europie odsetek najmłodszych osób wynosi 16 procent, natomiast w wieku powyżej 65 lat — 19 procent (podobnie grupy te kształtują się w Ameryce Północnej)³⁶.



Rys. 3.2. Zmiany struktury wiekowej populacji świata w latach 2015–2100 (w mld)

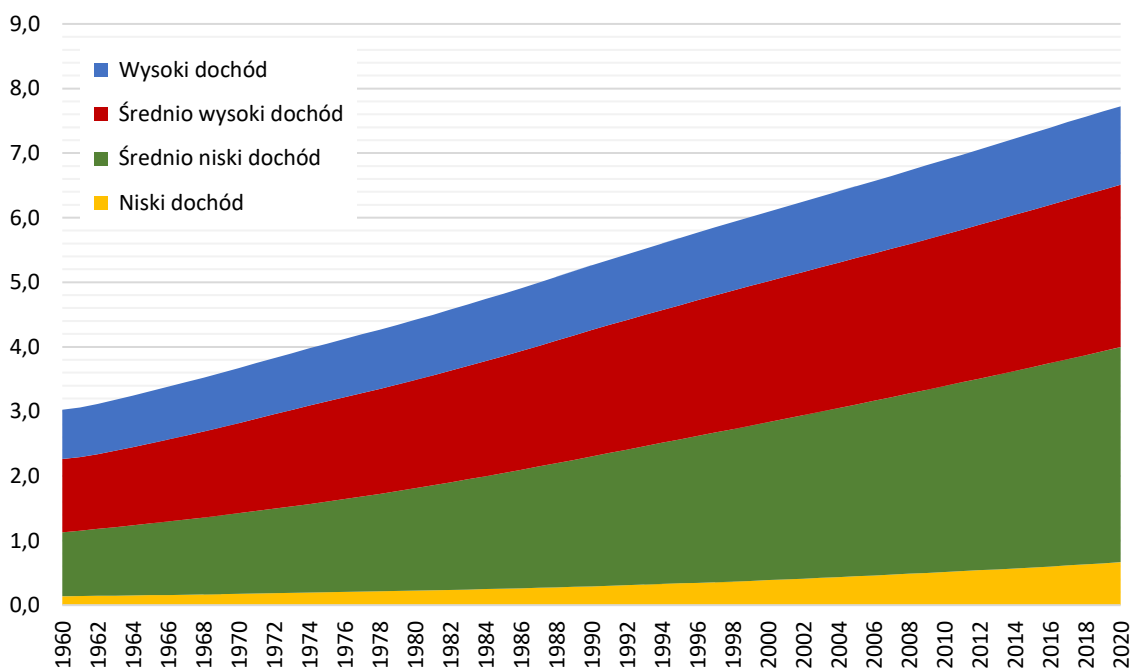
Źródło: opracowanie własne na podstawie United Nations, Department of Economic and Social Affairs, <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> (dostęp: 20.08.2021).

Tak duże różnice między grupami wiekowymi w różnych regionach świata będą się oczywiście wiązały z szeregiem problemów, które będą się jeszcze pogłębiać z kolejnymi latami. Rosnąca grupa osób starszych (por. rys. 3.2), przy jednocześnie kurczącej się grupie osób młodych i czynnych zawodowo, będzie stanowić ogromne wyzwanie dla systemów emerytalnych i ochrony zdrowia. Z kolei zmiany klimatyczne, których negatywne skutki są już odczuwalne w wielu krajach afrykańskich, będą przyczyną międzynarodowych migracji na skalę niespotykaną w ostatnich czasach, co oznacza realne ryzyko powtarzających się kryzysów migracyjnych w krajach bogatej Północy. Co więcej, coraz bardziej palące staną się problemy związane m.in. z produkcją żywności, zaopatrzeniem w wodę, przeciwdziałaniem skutkom nieuchronnych klęsk żywiołowych, podnoszeniem się poziomu oceanów, zmniejszającą się bioróżnorodnością czy zwiększającą się populacją miast, a co za tym idzie — rosnącą gęstością zaludnienia często na obszarach zagrożonych zalaniem.

³⁶ <https://www.prb.org/international/indicator/age65/table> (dostęp: 02.09.2021).

3.1. Nierówności społeczno-ekonomiczne

Wspomnianym trendom demograficznym nie towarzyszy niestety poprawa, jeśli chodzi o wyraźne zmniejszanie się nierówności dochodowych i związanych z rozwojem społecznym. W latach 1960–2020 ludność krajów zaliczanych do grupy krajów wysokiego dochodu *per capita* zwiększyła się o zaledwie 60%, a w krajach średnio wysokiego dochodu *per capita* — przeszło dwukrotnie (por. rys. 3.3). W tym samym okresie ludność w pozostałych dwóch grupach dochodowych, tj. średnio niskiego i niskiego dochodu *per capita*, zwiększyła się odpowiednio o 240 i 380 procent. Należy przy tym pamiętać, że dane te odzwierciedlają aktualizacje klasyfikacji krajów zaliczanych do poszczególnych grup dochodowych przeprowadzane co kilka lat przez Bank Światowy³⁷.



Rys. 3.3. Liczba ludności w grupach krajów wg dochodu w latach 1960–2020 (w mld)

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (dostęp: 20.08.2021).

Grupy krajów o różnych poziomach dochodu *per capita* są zróżnicowane, jeśli chodzi o poziom rozwoju społecznego, przy czym nie jest to zależność wprost proporcjonalna. Jak zaprezentowano w tabeli 3.1, w roku 2000 kraje zaliczane do grupy wysokiego dochodu charakteryzowały się bardzo wysokim lub wysokim rozwojem społecznym. Zgodnie z oczekiwaniami, wraz z malejącym dochodem *per capita* zmniejszał się poziom rozwoju społecznego, lecz w dwóch ostatnich grupach nie było to tak jednoznaczne. W szczególności dotyczyło to

³⁷ <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519> (dostęp: 04.08.2021).

krajów niskiego dochodu, spośród których 8 charakteryzowało się średnim, a aż 5 — wysokim rozwojem społecznym (Ukraina, Gruzja, Armenia, Mołdawia i Azerbejdżan).

Po dwóch dekadach sytuacja nieznacznie zmieniła się w grupie krajów wysokiego dochodu, natomiast dość wyraźne zmiany wystąpiły w pozostałych grupach. W krajach średnio wysokiego dochodu pojawiła się liczna grupa krajów o średnim rozwoju społecznym, w krajach średnio niskiego dochodu — o niskim rozwoju społecznym, natomiast w krajach niskiego dochodu dominował bardzo nisko poziom rozwoju społecznego. Dane te wskazują, że awansowi części krajów średniego i niskiego dochodu do wyższej kategorii nie towarzyszył wzrost poziomu rozwoju społecznego. Innymi słowy, w ostatnich dekadach zmiany dochodowe zachodzą szybciej, niż poprawa w sferze rozwoju społecznego.

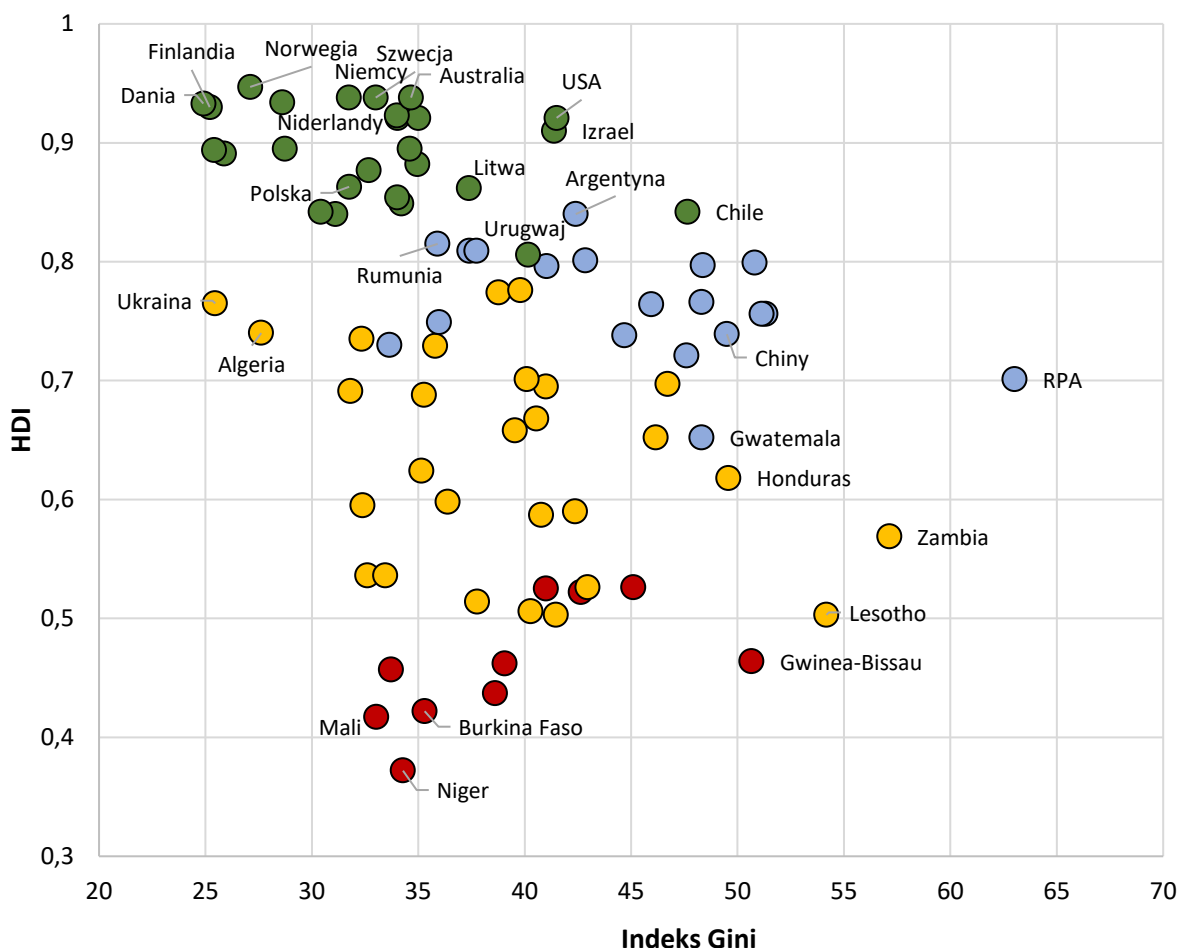
Tabela 3.1. Rozwój społeczny krajów z różnych grup dochodowych w 2000 i 2019 roku

Kraje	Bardzo wysoki rozwój społeczny	Wysoki rozwój społeczny	Średni rozwój społeczny	Niski rozwój społeczny	Bardzo niski rozwój społeczny
2000					
Wysokiego dochodu	25	12			
Średnio wysokiego dochodu	1	27	2		
Średnio niskiego dochodu		29	16	2	1
Niskiego dochodu		5	8	31	13
2019					
Wysokiego dochodu	27	29			
Średnio wysokiego dochodu		30	21	1	
Średnio niskiego dochodu		3	21	28	2
Niskiego dochodu				5	20

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie Global Consumption and Income Project, <http://gcip.info/>, oraz UNDP, <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi> (dostęp: 20.08.2021).

Jeśli chodzi natomiast o nierówności dochodowe, których powszechnie stosowanym miernikiem jest wskaźnik Giniego, to w ostatnich dwóch dekadach jego wartość znacznie zmalała w wielu krajach średniego i niskiego dochodu, np. w Argentynie, Boliwii, Ekwadorze, Salwadorze, Tajlandii, Tunezji czy Zjednoczonych Emiratach Arabskich. W niektórych krajach wysokiego dochodu, w szczególności w krajach europejskich, zaznaczył się natomiast trend odwrotny, tzn. wzrost nierówności dochodowych. Zjawisko to wystąpiło m.in. w Danii, Francji, Niemczech, Luksemburgu, Szwecji, Hiszpanii, Rumunii czy na Litwie, należy przy tym mieć na uwadze fakt, że mimo to większość z tych krajów charakteryzuje się relatywnie niewielkimi nierównościami dochodowymi (wskaźnik Giniego często niższy niż 0,3). Warto też zaznaczyć, że nieznaczny wzrost wartości wskaźnika Giniego wystąpił także w Stanach Zjednoczonych, przy czym jego wartość w 2019 roku (0,414) oznacza, że nierówności dochodowe w wiodącej

gospodarce świata kształtują się na zbliżonym poziomie jak w Turkmenistanie (0,408), na Haiti (0,411), w Peru (0,415) czy w Boliwii (0,417), a zatem są znacznie większe niż w większości krajów zaliczanych nie tylko do grupy wysokiego dochodu, ale również niektórych z grupy średniego i niskiego dochodu³⁸.



Rys. 3.4. Wartość wskaźnika rozwoju społecznego (HDI) a wartość indeksu Giniego dla wybranych krajów w 2015 roku

Źródło: jak pod tabelą 3.1.

Porównanie wskaźnika Giniego z innym powszechnie używanym indeksem, tj. wskaźnikiem rozwoju społecznego (HDI), stanowi potwierdzenie, że jakkolwiek mniejszym różnicom dochodowym towarzyszy często wyższy poziom rozwoju społecznego, to od tej prawidłowości istnieją pewne odstępstwa. Na rysunku 3.4 porównano te wskaźniki dla wybranych krajów świata, przy czym kolorem czerwonym oznaczono kraje niskiego, żółtym — średnio niskiego, niebieskim — średnio wysokiego, a zielonym — wysokiego dochodu *per capita*.

³⁸ <https://ourworldindata.org/grapher/economic-inequality-gini-index> (dostęp: 25.08.2021).

Zdecydowana większość przedstawionych krajów niskiego dochodu charakteryzuje się niskim rozwojem społecznym, przy jednocześnie relatywnie wysokiej homogeniczności dochodowej (z wyjątkiem Gwinei-Bissau). Dysproporcje dochodowe w krajach średnio niskiego dochodu są podobne, lecz charakteryzują się one wyższym rozwojem społecznym. Kraje średnio wysokiego dochodu mają porównywalny z krajami średnio niskiego dochodu poziom rozwoju społecznego, ale występują w nich znacznie większe nierówności dochodowe (np. w RPA, ale również w Brazylii, Kolumbii czy Chinach). Z kolei kraje wysokiego dochodu, zwłaszcza kraje skandynawskie, charakteryzują się najmniejszymi nierównościami dochodowymi oraz wysokim rozwojem społecznym, niemniej jednak występują tu kraje o nierównościach dochodowych większych niż w pozostałych grupach (np. Chile, USA, Izrael czy Urugwaj).

Publikowany od ponad 20 lat przez Heritage Foundation oraz The Wall Street Journal wskaźnik wolności gospodarczej (*Index of Economic Freedom*) pozwala ocenić uwarunkowania instytucjonalno-prawne wpływające na swobodę prowadzenia działalności gospodarczej, a tym samym oddziałujące na perspektywy rozwoju gospodarczego. Na podstawie najnowszego rankingu można dostrzec znaczne dysproporcje między uwzględnionymi w nim krajami, przy czym często kraje o niższym poziomie dochodu *per capita* zostały sklasyfikowane zdecydowanie wyżej niż kraje wysokiego dochodu. Przykładowo dwa kraje średnio wysokiego dochodu, Gruzja i Mauritius, znalazły się na początku drugiej dziesiątki, nieznacznie tylko ustępując Kanadzie, Danii i Islandii. Podobnie Malezja, która pod względem wolności gospodarczej wyprzedziła Japonię i Koreę Południową, a została sklasyfikowana zaraz po Stanach Zjednoczonych i Szwecji. Z drugiej strony niektóre europejskie kraje wysokiego dochodu, jak na przykład Francja, Włochy, a w szczególności Chorwacja i Grecja, ustępują pod względem swobód gospodarczych wielu krajom średniego dochodu, a nawet Rwandzie należącej do grupy krajów niskiego dochodu³⁹. Dane te wskazują jednoznacznie na duże nierówności pod względem swobód gospodarczych nie tylko między krajami z różnych grup dochodowych (co byłoby zrozumiałe), ale także w ramach tej samej grupy dochodowej.

Inny przykład nierówności ekonomicznych występujących między krajami przedstawiono w tabeli 3.2. Jeśli chodzi o udział w zatrudnieniu ogółem, to w ostatnim dwudziestolecu w krajach wysokiego dochodu dość wyraźnie wzrosło znaczenie usług (z 68 do prawie 75 procent). Analogiczna tendencja jest dostrzegalna w krajach średniego i niskiego dochodu, jednak zdecydowanie wyróżniają się one pod względem bardzo dużego udziału rolnictwa (w 2019 roku w krajach niskiego dochodu wyniósł on prawie 60 procent). Tak duże dysproporcje pod

³⁹ <https://www.heritage.org/index/> (dostęp: 25.08.2021).

względem udziału poszczególnych sektorów w zatrudnieniu ogółem mogą wynikać z różnic w dostępności, jakości i kosztach czynników produkcji — w krajach wysokiego i średnio wysokiego dochodu rosnące koszty pracy i dostęp do kapitału zachęcać mogą do innowacji skutkujących zastępowaniem pracy ludzkiej maszynami czy algorytmami (np. dzięki automatyzacji, robotyzacji i rozwiązaniach bazujących na sztucznej inteligencji). W krajach o niższych dochodach *per capita* odmienna sytuacja powoduje, że zatrudnienie w rolnictwie utrzymuje się mimo wszystko na relatywnie wysokim poziomie.

Tabela 3.2. Dysproporcje sektorowe grup dochodowych w latach 2000 i 2019

Kraje	Lata	Udział w zatrudnieniu ogółem (w %)			Udział w PKB (w %)		
		Rolnictwo	Przemysł	Usługi	Rolnictwo	Przemysł	Usługi
Wysokiego dochodu	2000	4,7	27,6	67,7	1,8	26,2	65,8
	2019	2,8	22,8	74,5	1,3	21,7	70,1
	2000=100	59	82	110	71	83	106
Średnio wysokiego dochodu	2000	40,9	23,0	36,1	9,9	36,9	48,1
	2019	20,9	25,6	53,4	5,8	32,1	56,4
	2000=100	51	112	148	58	87	117
Średnio niskiego dochodu	2000	53,7	16,0	30,3	18,5	32,4	43,2
	2019	37,8	22,1	40,1	14,8	29,1	50,0
	2000=100	70	138	132	80	90	116
Niskiego dochodu	2000	69,8	9,0	21,1	31,3	24,9	39,2
	2019	59,8	10,2	30,0	23,9*	24,7*	40,9*
	2000=100	86	113	142	76	99	104
Świat	2000	39,9	20,7	39,4	4,9	29,0	60,2
	2019	26,8	22,7	50,6	3,6	24,8	65,0
	2000=100	67	109	128	73	85	108

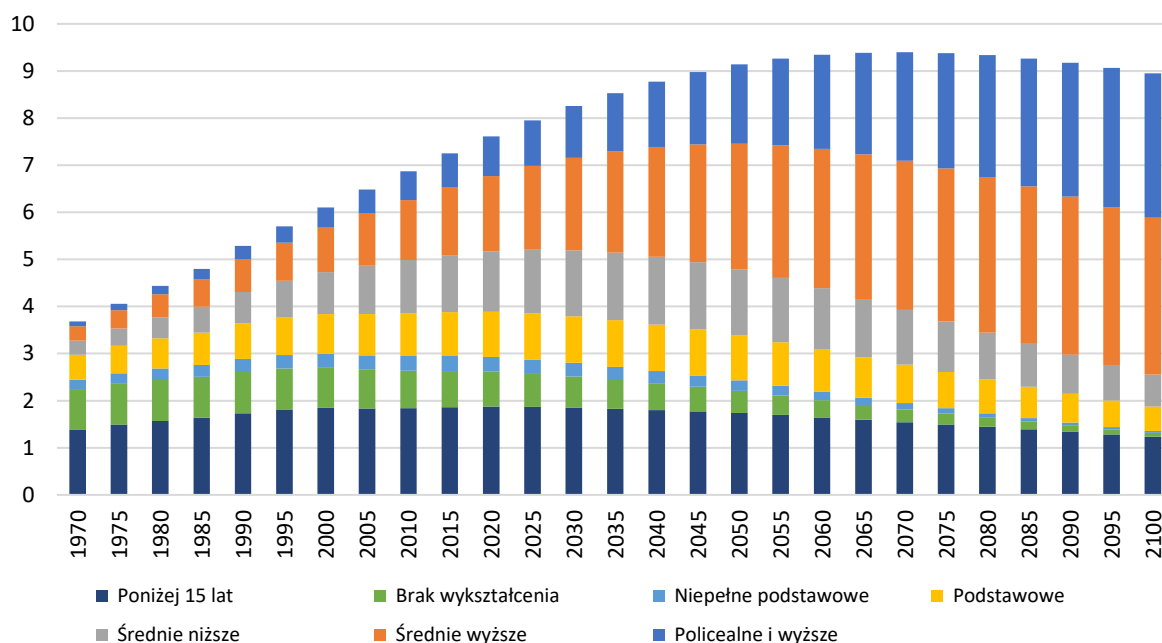
* Dane z 2018 roku

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (dostęp: 20.08.2021).

Porównywalne zmiany można również zaobserwować w przypadku udziału poszczególnych sektorów w PKB, przy czym różnice między grupami krajów nie są już tak duże (dotyczy to zwłaszcza rolnictwa). Nadal jednak, mimo upływu dwudziestu lat udział rolnictwa w PKB krajów o niższym dochodzie jest znacznie wyższy niż w krajach o wysokim i średnio wysokim dochodzie. Biorąc jednak pod uwagę wspomniane wyzwania klimatyczne oraz kurczące się zasoby, udział rolnictwa i przemysłu w PKB krajów bogatszych może w najbliższej przyszłości znacznie wzrosnąć.

Na zakończenie niniejszego podrozdziału należy także wspomnieć o nierównościach edukacyjnych i zdrowotnych. Wynika to z faktu, że postęp w dziedzinie edukacji, którego

konsekwencją powinno być podnoszenie poziomu wykształcenia obywateli oraz umożliwienie im pełniejszego korzystania z osiągnięć postępu naukowo-technicznego, jest kluczowy dla dalszego rozwoju Gospodarki 4.0. Z kolei nierówności w dostępie do usług zdrowotnych są często konsekwencją zaniedbań systemowych, jeśli chodzi o poziom finansowania, dostępność nowoczesnych terapii czy sprzętu medycznego (ale także zapóźnień w sferze edukacji zdrowotnej), a rozwiązania tworzące zręby Gospodarki 4.0 mogą zminimalizować, czy wręcz wyeliminować gros tych problemów.



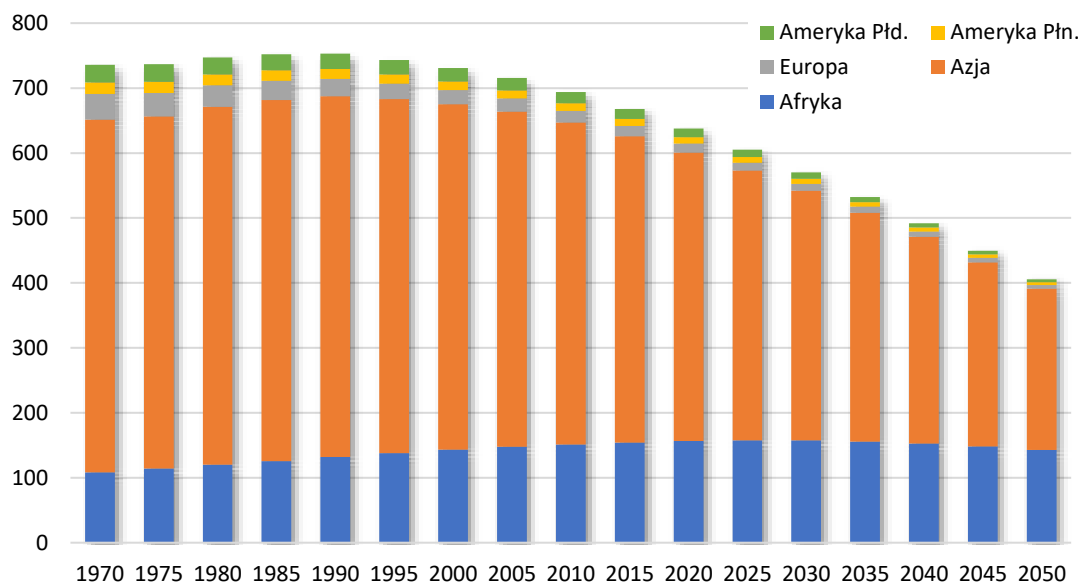
Rys. 3.5. Struktura wykształcenia ludności świata w latach 1970–2100 (w mld)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Wittgenstein Centre for Demography and Global Human Capital, <http://www.oeaw.ac.at/vid/dataexplorer/> (dostęp: 10.08.2021).

Zaprezentowane na rysunku 3.5 dane dotyczące zmian struktury wykształcenia ludności świata do końca obecnego stulecia wskazują na wyraźną poprawę. Według tych prognoz liczba osób bez wykształcenia lub legitymujących się wykształceniem podstawowym będzie wykazywać tendencję malejącą, natomiast znacznie wzrośnie odsetek osób z wykształceniem średnim lub wyższym. Biorąc pod uwagę wcześniej przedstawione dane dotyczące trendów demograficznych, może to oznaczać, że zwiększająca się populacja najbiedniejszych regionów świata, w szczególności relatywnie najmłodsza ludność Afryki, będzie miała większe szanse edukacyjne, co być może przełoży się na wyższy poziom wykształcenia.

Potwierdzają to również prognozy dotyczące liczby osób bez wykształcenia w wybranych regionach świata (por. rys. 3.6). Jeśli w kolejnych dekadach utrzyma się dotychczasowy trend malejącej liczby osób bez formalnego wykształcenia, do roku 2050 grupa ta skurczy się

o prawie 300 mln. W szczególności zjawisko to wystąpi w krajach azjatyckich, a w mniejszym stopniu — także w Afryce.



Rys. 3.6. Liczba osób w wieku powyżej 15 lat bez wykształcenia w latach 1970–2050

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Lutz i in., 2014].

Dysproporcje w dostępności i jakości usług zdrowotnych można natomiast prześledzić na podstawie wyznaczanego co 5 lat indeksu Healthcare Access and Quality Index. W latach 1990–2015 jego wartość dla całego świata zwiększyła się o ponad 30 procent (por. tab. 3.3), przy czym poprawa ta zaznaczyła się nierównomiernie w poszczególnych regionach. W krajach Europy Zachodniej, w Ameryce Północnej czy Australazji, do której zalicza się Australię, Nową Zelandię i zachodnią Oceanię, analizowany wskaźnik był wysoki już w latach 90. ubiegłego stulecia, w związku z czym trudno oczekiwać w tych regionach spektakularnej poprawy (choć i tak odnotowały wzrost odpowiednio o 19, 11 i 15 procent). Z kolei część biedniejszych, słabiej rozwiniętych obszarów Południa, mimo większego wzrostu analizowanego wskaźnika nie zbliżyły się nawet do wyników uzyskanych przez kraje Północy. Dotyczy to przede wszystkim Oceanii, Azji Południowej i Afryki Subsaharyjskiej (zaznaczonych w tabeli 3.3 kolorem szarym), w przypadku których wartość indeksu dostępności i jakości usług zdrowotnych osiągnęła w 2015 roku zaledwie połowy wspomnianych wcześniej wyników regionów bogatszych. Oznacza to, że poprawa w tym zakresie jest czasochłonna i wymaga zaangażowania zasobów często niedostępnych dla krajów biedniejszych, takich jak m.in. wykwalifikowana kadra medyczna, odpowiednia infrastruktura czy odpowiedni poziom finansowania standardowych metod terapii i środków leczniczych. Jest to tym trudniejsze, że rynek usług medycznych jest w wielu krajach w dużej mierze sprywatyzowany, a rynek farmaceutyczny jest zdominowany

przez potężne koncerny farmaceutyczne, które bronią swojej uprzywilejowanej, często monopolistycznej pozycji, czego w przeszłości przykładem były kontrowersje i wieloletnie spory prawnie-etyczne dotyczące upowszechnienia leków generycznych [Rana, Roy, 2015].

Tabela 3.3. Wartości indeksu dostępności i jakości usług zdrowotnych w latach 1990–2015

Region	1990	1995	2000	2005	2010	2015	1990=100
Europa Zachodnia	73,2	76,8	79,9	82,9	84,9	86,8	119
Europa Środkowa	60,6	63,4	67,5	70,5	73,8	77,1	127
Europa Wschodnia	61,7	58,2	60,4	63,4	68,9	71,9	117
Azja Środkowa	50,7	49,2	50,7	52,4	56,6	59,9	118
Azja Wschodnia	49,5	53,8	57,8	63,6	69,7	73,8	149
Azja Południowa	30,7	32,9	35,1	38,1	41,1	44,4	145
Australazja	77,2	80,1	82,9	85,3	87,4	89,1	115
Oceania	33,8	34,8	35,4	36,1	37,7	40,3	119
Ameryka Północna	74,0	76,3	78,1	79,2	80,9	81,8	111
Ameryka Łacińska i Karaiby	46,5	50,8	54,6	57,4	59,6	61,9	133
Afryka Północna i Bliski Wschód	43,8	46,5	49,9	52,8	55,7	58,4	133
Afryka Subsaharyjska	32,3	33,5	34,6	37,4	40,5	42,2	131
Świat	40,7	42,7	44,8	47,8	51,0	53,7	132

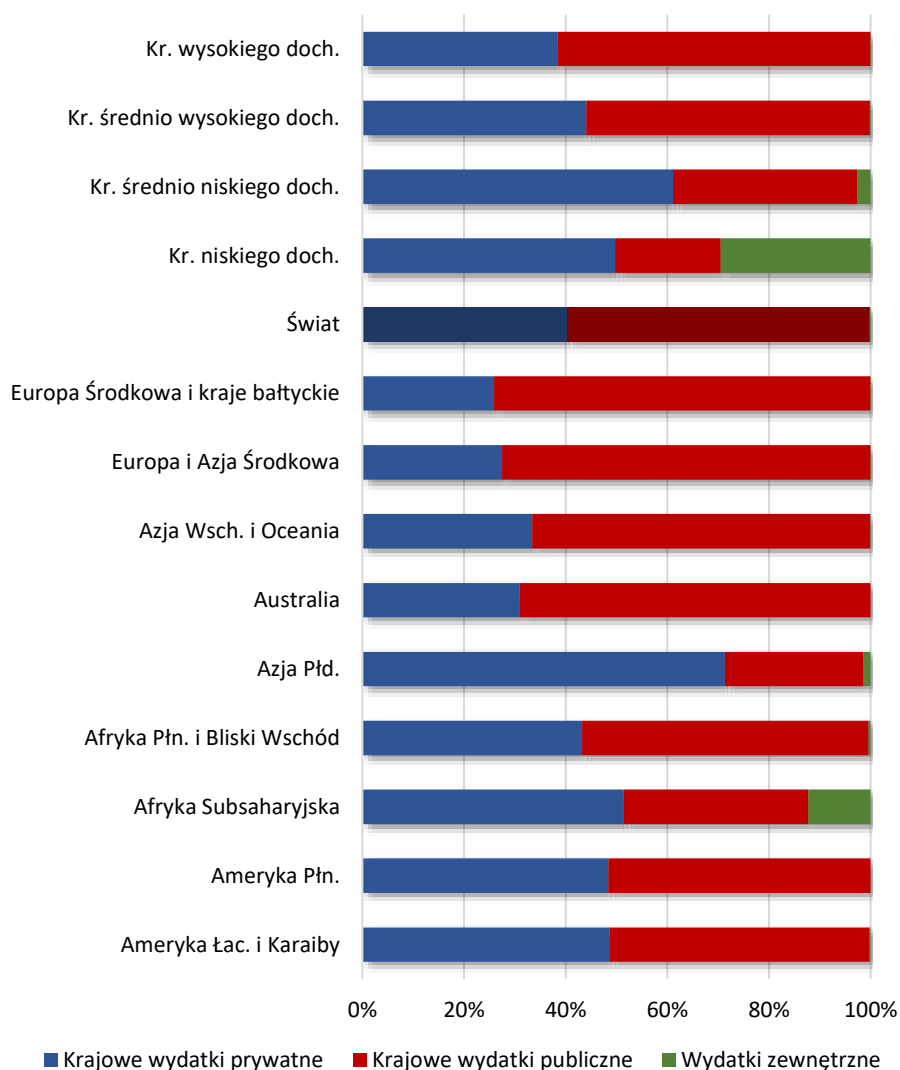
Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie badań Healthcare Access and Quality Index 2015, <http://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2015-healthcare-access-and-quality-index-1990-2015> (dostęp: 14.08.2021).

Tabela 3.4. Publiczne i prywatne wydatki *per capita* na ochronę zdrowia w latach 2000 i 2018

Grupa krajów/region	Krajowe wydatki publiczne <i>per capita</i> (ceny bieżące w dolarach międzynarodowych, PPP)					Krajowe wydatki prywatne <i>per capita</i> (ceny bieżące w dolarach międzynarodowych, PPP)				
	2000	2018	2000=100	Świat=100		2000	2018	2000=100	Świat=100	
				2000	2018				2000	2018
Kr. wysokiego doch.	1534	3769	246	471	446	28	56	204	10	9
Kr. średnio wysokiego doch.	117	601	514	36	71	312	600	193	115	99
Kr. średnio niskiego doch.	35	119	341	11	14	62	178	288	23	29
Kr. niskiego doch.	17	23	133	5	3	146	539	368	54	89
Europa Środ. i kr. bałtyckie	417	1520	365	128	180	1046	2295	219	385	377
Europa i Azja Środ.	875	2124	243	269	251	73	207	284	27	34
Azja Wsch. i Oceania	155	692	446	48	82	158	463	293	58	76
Australia	1548	3457	223	475	409	607	1548	255	223	254
Azja Płd.	20	68	344	6	8	60	108	179	22	18
Afryka Płn. i Bliski Wschód	255	713	280	78	84	122	410	335	45	67
Afryka Subsaharyjska	32	71	224	10	8	2362	4872	206	868	801
Ameryka Płn.	1993	5200	261	612	615	229	619	271	84	102
Ameryka Łac. i Karaiby	276	648	235	85	77	342	844	247	126	139
Świat	326	845	259	100	100	272	609	224	100	100

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (dostęp: 14.08.2021).

Porównując publiczne i prywatne wydatki *per capita* na ochronę zdrowia (por. tab. 3.4), można zauważyć, że w przypadku wydatków publicznych największy, ponad 5-krotny miał miejsce w krajach średnio wysokiego dochodu, jeśli chodzi natomiast o wydatki prywatne — w krajach niskiego dochodu (ponad 3,5-krotny). Mimo to, w relacji do światowych wydatków *per capita* największe środki na ten cel przeznaczały kraje wysokiego dochodu (wydatki publiczne) oraz średnio wysokiego dochodu (wydatki prywatne). Warto także zwrócić uwagę na fakt, że we wszystkich grupach krajów z wyjątkiem krajów wysokiego dochodu wydatki prywatne przewyższały wydatki publiczne (w szczególności widać to w krajach niskiego dochodu). Może to potwierdzać znaczne niedoinwestowanie systemów ochrony zdrowia w krajach uboższych oraz konieczność finansowania takich usług ze środków prywatnych.



Rys. 3.7. Struktura wydatków na ochronę zdrowia w wybranych grupach krajów i regionach w 2018 roku

Źródło: jak w tabeli 3.4.

W przypadku regionów największe wydatki publiczne *per capita* na cele zdrowotne były ponoszone w latach 2000–2018 w Ameryce Północnej, Australii, Europie i Azji Środkowej oraz w krajach Europy Środkowej i krajach bałtyckich (w roku 2018 były one odpowiednio ponad 6-krotnie, prawie 5-krotnie, 2,5-krotnie i niespełna 2-krotnie wyższe od wydatków *per capita* dla całego świata). Największe wydatki prywatne *per capita* ponosiły natomiast kraje Afryki Subsaharyjskiej, Europy Środkowej oraz kraje nadbałtyckie, a także Australia, co zaznaczono w tabeli 3.4 kolorem szarym.

Jednocześnie analiza struktury wydatków zdrowotnych w 2018 roku (por. rys. 3.7) prowadzi do wniosku, że wraz z dochodem relatywnie zwiększa się udział wydatków publicznych. Co więcej, w krajach niskiego dochodu istotnym źródłem finansowania wydatków na ochronę zdrowia są fundusze zewnętrzne pochodzące m.in. od organizacji międzynarodowych czy instytucji non-profit. Duży udział środków publicznych jest szczególnie widoczny w krajach Azji Południowej (ponad 70%) oraz w Afryce Subsaharyjskiej (ponad 50%), przy czym w tym ostatnim regionie duży jest strumień napływających środków zewnętrznych (ponad 12%). Największy udział środków prywatnych jest z kolei charakterystyczny dla krajów europejskich oraz Azji Środkowej (w obydwu regionach przekracza 70%). Należy jednak cały czas pamiętać, że w ujęciu nominalnym łączne środki finansowe przeznaczane na ochronę zdrowia w krajach bogatej Północy są z reguły wielokrotnie wyższe niż w krajach biedniejszego Południa.

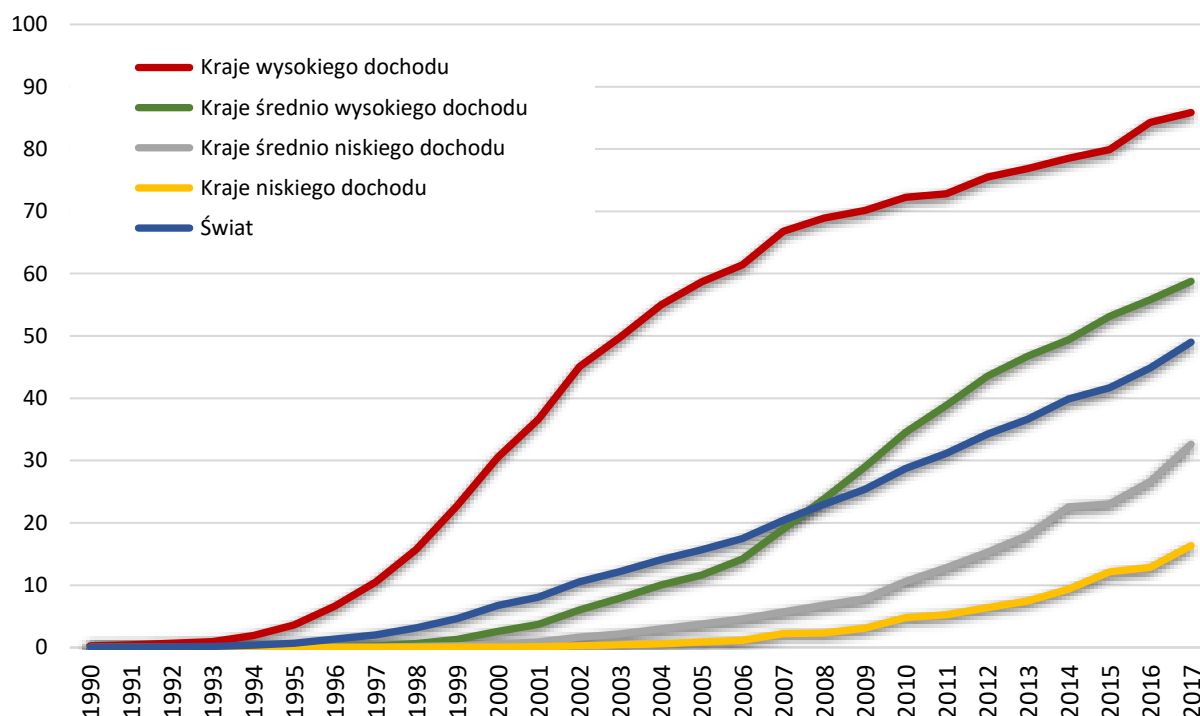
3.2. Nierówności technologiczne

Jedną z istotnych barier w rozwoju Gospodarki 4.0 mogą być dysproporcje w dostępności nowych rozwiązań technicznych oraz osiągnięć postępu naukowo-technicznego. Ze względu na fakt, że przedstawione wcześniej elementy ekosystemu Gospodarki 4.0 bazują na Internecie i technologiach telekomunikacyjno-informatycznych, właśnie dysproporcje, czy wręcz zacofanie części krajów pod względem znajomości i umiejętności praktycznego korzystania z technologii cyfrowych będą stanowiły kluczową przeszkodę w dalszej ewolucji Gospodarki 4.0.

Bardzo często analizowanym wskaźnikiem rozwoju społeczeństwa informacyjnego jest liczba użytkowników Internetu. Według danych ITU w latach 2005–2019 liczba internautów na świecie wzrosła prawie 4-krotnie, zbliżając się do 4 miliardów. Oznacza to, że przeszło połowa światowej populacji ma dostęp i korzysta z zasobów globalnej Sieci⁴⁰. Dane zgromadzone przez Internet World Stats wskazują jednak, że liczba internautów w 2020 mogła zbliżyć się

⁴⁰ https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ITU_regional_global_Key_ICT_indicator_aggregates_Nov_2020.xlsx (dostęp: 03.09.2021).

już do 5 miliardów, z których ponad 52% pochodzi z Azji, natomiast odsetek internautów z Europy i Ameryki Północnej wynosi odpowiednio 15 i 7 procent. Warto przy tym zaznaczyć, że zaledwie dekadę wcześniej spośród 2 mld ówczesnych użytkowników Internetu 42% zamieszkiwało Azję, 24% — Europę, a 13,5% — Amerykę Północną. Co więcej, przy coraz liczniejszej populacji internautów z Azji w ciągu ostatniej dekady wskaźnik ten wyraźnie poprawił się także w Afryce (z 5,6 do 11,7%) i tylko nieznacznie spadł w Ameryce Łacińskiej (11,4% w 2010 roku vs. 9,7% w 2020 roku)⁴¹.



Rys. 3.8. Odsetek internautów w wybranych grupach krajów w latach 1990–2017

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.world-bank.org/data-catalog/world-development-indicators>; oraz danych ONZ, <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> (dostęp: 28.08.2021).

Jak można zauważyć na rysunku 3.8, szybki wzrost liczby internautów nastąpił w ciągu ostatnich dwudziestu lat, w szczególności w krajach wysokiego dochodu, w których zbliżył się do 90 procent. Dynamika w krajach średnio wysokiego dochodu była znacznie mniejsza, jednak zwłaszcza za sprawą szybko rozwijających się gospodarek azjatyckich, zwłaszcza Chin, ale również Malezji czy Tajlandii, analizowany wskaźnik dla tej grupy zbliżył się do 60 procent. W pozostałych dwóch grupach krajów wzrost liczby internautów był mniejszy, choć w ostatnich latach wyraźnie przyspieszył.

⁴¹ <http://internetworldstats.com/stats.htm> (dostęp: 03.09.2021).

Jak można zauważyć, występują pewne rozbieżności co do liczby internautów na świecie, co nie zmienia faktu, że przekroczyła ona z pewnością połowę globalnej populacji. Trzeba również mieć na uwadze, że szybki wzrost liczby internautów w ostatnich latach spowodowany był upowszechnieniem się nowych technologii i kanałów komunikacji, tj. łączności bezprzewodowej (komórkowej) oraz mediów społecznościowych. W roku 2021 liczba aktywnych internautów łączących się z Internetem za pośrednictwem urządzeń przenośnych przekroczyła 4,3 mld, a 4,15 mld użytkowników korzystało z mediów społecznościowych również za pośrednictwem takich urządzeń (z 4,2 mld wszystkich użytkowników mediów społecznościowych) [DataReportal, 2021, s. 8, 25 i 79].

Tabela 3.5. Szerokopasmowy dostęp do Internetu w latach 2010–2019

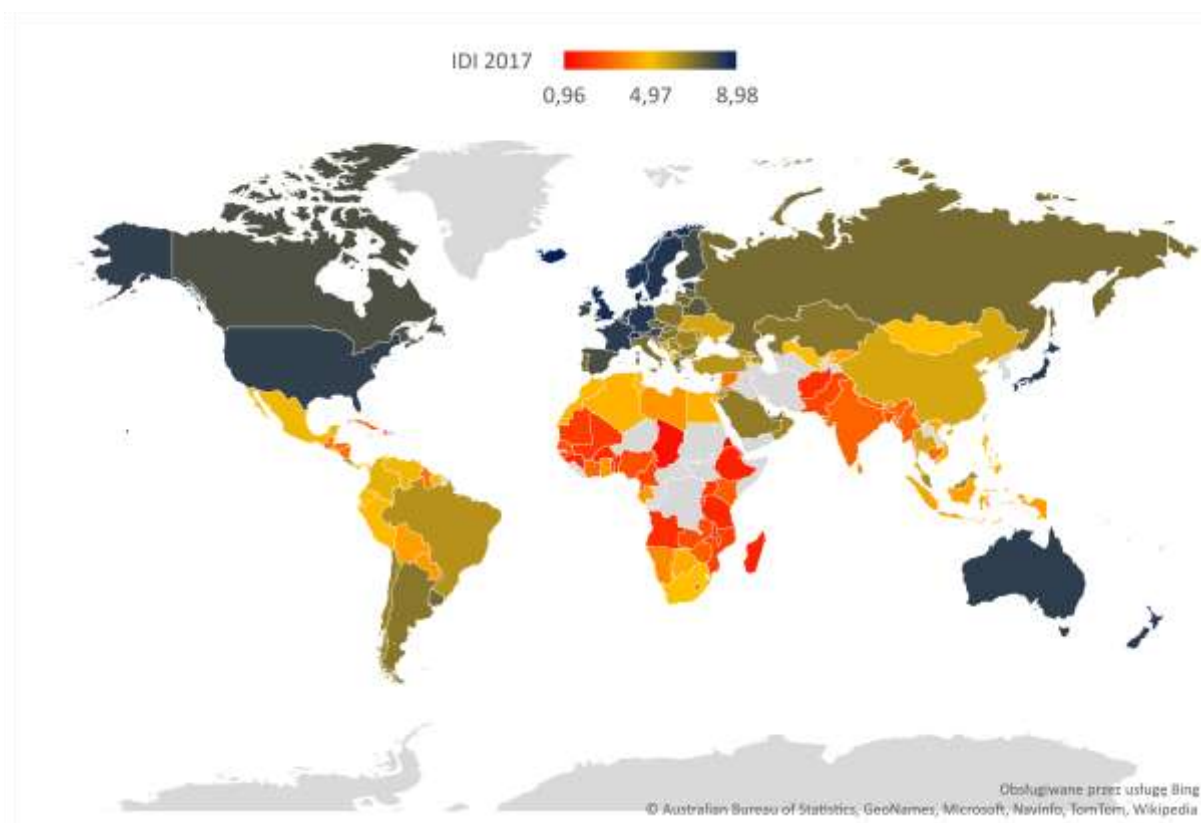
Region	Liczba abonentów przewodowego internetu szerokopasmowego (na 100 osób)				
	2010	2019	Świat=100		2010=100
			2010	2019	
Europa i Azja Środkowa	19,0	29,1	242	186	153
Azja Wschodnia i Oceania	9,7	25,3	123	161	262
Australia	24,9	34,7	319	221	140
Azja Południowa	0,8	1,7	10	11	223
Ameryka Północna	27,8	35,3	354	225	127
Ameryka Łacińska i Karaiby	6,8	14,1	86	90	209
Afryka Północna i Bliski Wschód	2,6	10,4	33	66	398
Afryka Subsaharyjska	0,2	0,6	2	4	355
Świat	7,8	15,7	100	100	200
Region	Liczba abonentów bezprzewodowego internetu szerokopasmowego (na 100 osób)				
	2010	2019	Europa=100		2010=100
			2010	2019	
Europa	28,7	97,4	100	100	339
Ameryka Północna i Łacińska	25,4	99,1	89	102	390
Azja i Oceania	7,3	75,4	25	77	1033
Afryka	1,7	32,1	6	33	1888

Źródło: obliczenia i opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>; oraz danych ITU, <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (dostęp: 24.08.2021).

Rozwój technologii leżących u podstaw Gospodarki 4.0, na przykład Internetu rzeczy czy sztucznej inteligencji, nie będzie możliwy bez upowszechnienia się szerokopasmowego internetu. Jakkolwiek przyszły ruch w globalnej Sieci będzie w dużej mierze generowany przez komunikujące się ze sobą autonomiczne urządzenia, aktualny stan przygotowań można ocenić na podstawie danych dotyczących dostępności szerokopasmowego internetu. Jak można było przypuszczać, w ostatniej dekadzie odsetek abonentów przewodowego internetu

bezprzewodowego zwiększył się znacząco w Europie, Azji (z wyjątkiem części południowej), Australii oraz w Ameryce Północnej (por. tab. 3.5). W pozostałych regionach wskaźnik ten jest wyraźnie niższy niż średnia światowa, a wysoka dynamika na przykład w Afryce jest efektem niskiej bazy (przykładowo w Afryce Subsaharyjskiej jego wartość wzrosła 3,5-krotnie, lecz w 2019 roku stanowił zaledwie 4% średniej światowej).

Podobnie przedstawia się sytuacja, jeśli chodzi o dostęp do bezprzewodowego (mobilnego) internetu bezprzewodowego. W Europie oraz obydwu Amerykach taki dostęp mają prawie wszyscy, a w Azji — trzy osoby na cztery. Kraje afrykańskie również odnotowały duży przyrost liczby takich abonentów, jednak jest ona nadal znacznie niższa niż w pozostałych regionach. Mimo trwających inwestycji związanych z wdrożeniem i upowszechnieniem telefonii 5G należy przypuszczać, że głównymi beneficjentami będą kraje wysoko rozwinięte (co faktycznie umożliwi wdrażanie w nich rozwiązań z zakresu Gospodarki 4.0), natomiast kraje biedniejsze, na przykład afrykańskie, nadal będą korzystały, jeśli w ogóle, z wcześniejszych standardów i rozwiązań technicznych.

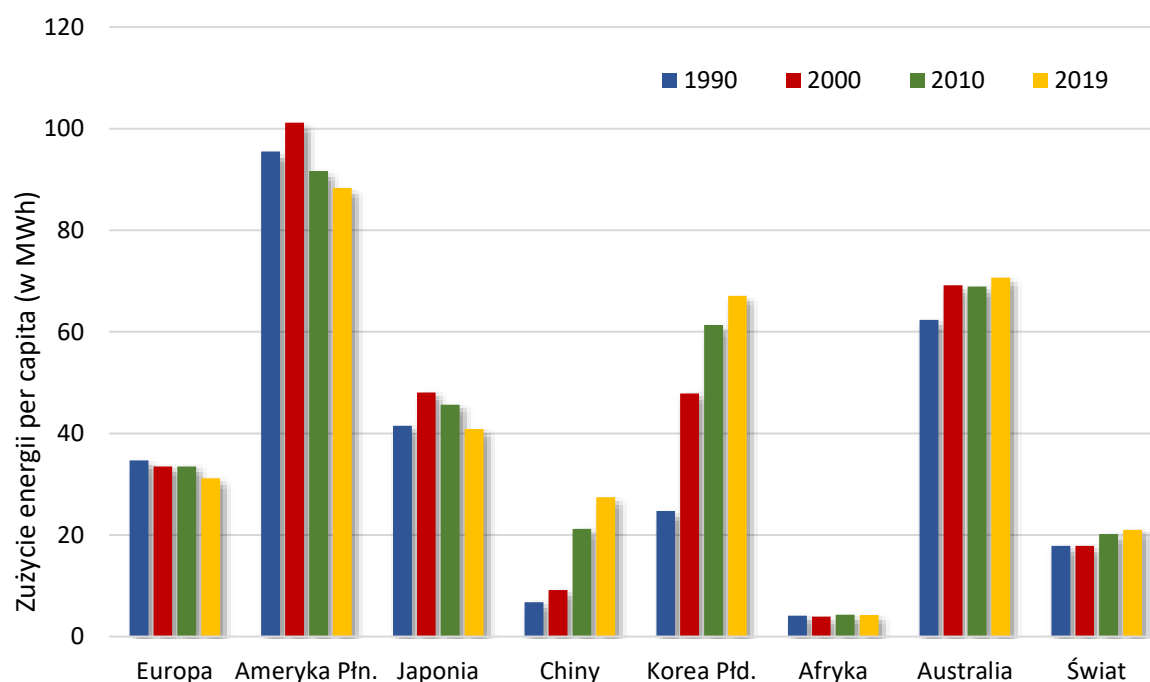


Rys. 3.9. Podział krajów ze względu na wartość wskaźnika rozwoju technologii informacyjno-komunikacyjnych IDI 2017

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ITU, <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html> (dostęp: 28.08.2021).

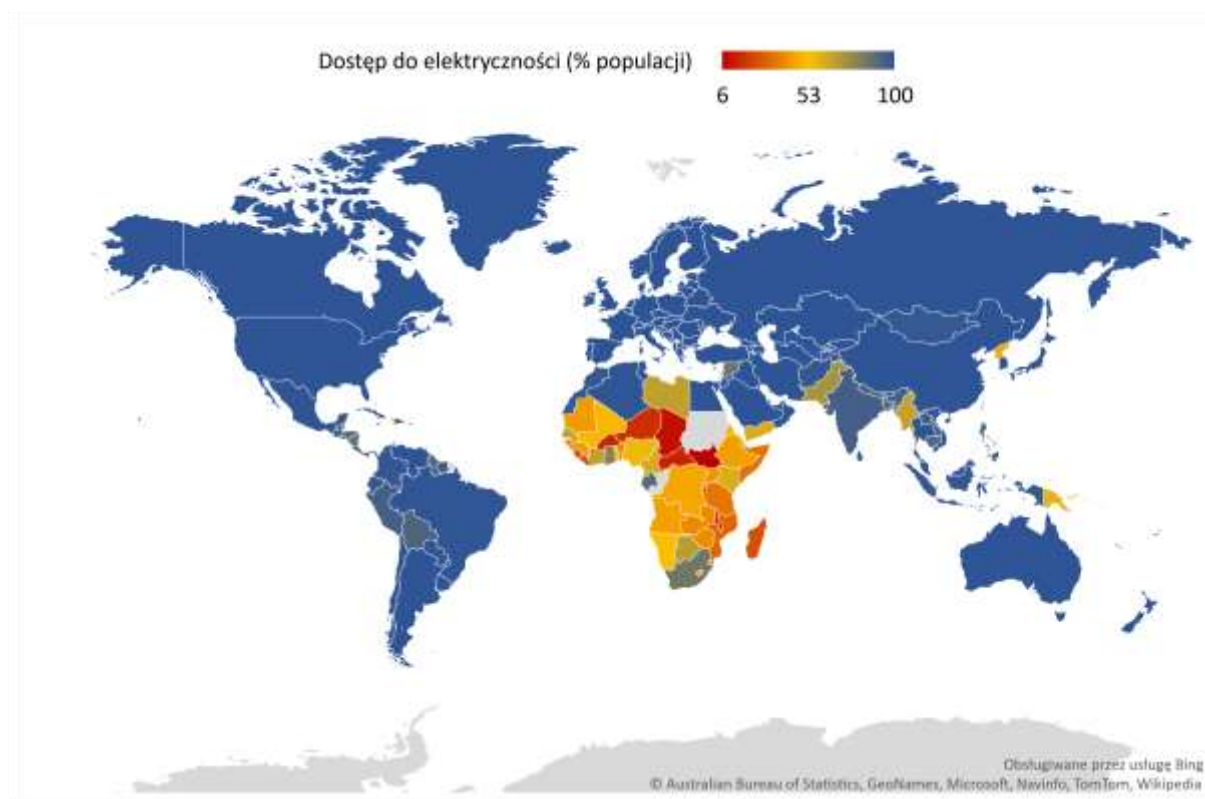
Potwierdzenie dotychczasowych rozważań przedstawionych w tej części znajduje się na rysunku 3.9, na którym zaprezentowano dysproporcje między regionami mierzone przy użyciu syntetycznego wskaźnika rozwoju technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT Development Index 2017). W zdecydowanej większości krajów Północy oraz w Australii i Nowej Zelandii jego wartość zbliża się do 9, co oznacza bardzo wysoki rozwój technologii ICT. W krajach afrykańskich oraz w Azji Południowej jego bardzo niskie wartości wskazują, że są to regiony ewidentnie zacofane pod względem technologii warunkujących przyszły rozwój Gospodarki 4.0.

Zmiany w wielkości zużycia energii *per capita* mogą z jednej strony odzwierciedlać proces postępującego uprzemysłowienia gospodarki, z drugiej natomiast mogą również świadczyć o jej unowocześnianiu, np. poprzez przechodzenie na rozwiązania bardziej energooszczędne. W latach 1990–2019 nastąpił dość znaczny spadek zużycia energii *per capita* w krajach wysoko rozwiniętych (por. rys. 3.10), co może wynikać m.in. z ograniczania działalności w branżach energochłonnych (np. w przemyśle ciężkim) oraz wdrażania rozwiązań energooszczędnych. W krajach nowo uprzemysłowionych, takich jak Chiny czy Korea Południowa, wzrost zużycia energii wiązał się zapewne z szybkim rozwojem przemysłowym i rosnącą konsumpcją. Relatywnie bardzo niskie zużycie energii *per capita* w Afryce jest natomiast kolejnym potwierdzeniem zacofania gospodarczego tego regionu świata.



Rys. 3.10. Zużycie energii *per capita* w wybranych regionach świata w latach 1990–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use> (dostęp: 28.08.2021).

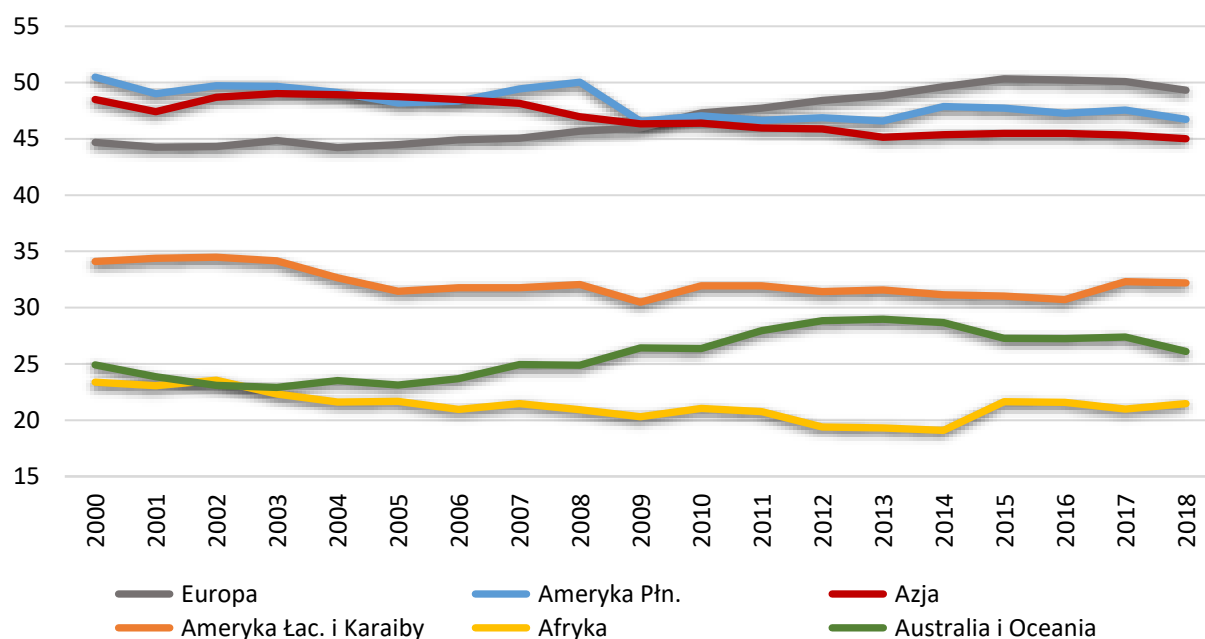


Rys. 3.11. Dostęp do elektryczności na świecie w 2019 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.world-bank.org/data-catalog/world-development-indicators> (dostęp: 28.08.2021).

Kolejne potwierdzenie utrzymywania się wyraźnych dysproporcji w zakresie infrastruktury technicznej znajduje się na rysunku 3.11. Jak można zauważyć, w roku 2019 większość krajów świata miała zapewniony dostęp do energii elektrycznej. Wyjątek ponownie stanowiły kraje afrykańskie, w przypadku których dostęp do elektryczności nie jest sprawą tak oczywistą jak w krajach bogatej Północy. Jest to kolejny argument przemawiający za tym, że ewentualne wdrażanie nowych technologii w ramach Gospodarki 4.0 może na tym kontynencie napotkać bardzo poważne trudności.

Wspomniane dysproporcje znajdują również odzwierciedlenie w stopniu industrializacji oraz możliwościach wytwórczych wybranych regionów świata. W ostatnich dwóch dekadach średni udział wyrobów o średnim i wysokim poziomie zaawansowania technicznego w globalnej produkcji przemysłowej kształtował się na poziomie 45 procent, przy czym wyróżniały się pod tym względem zwłaszcza trzy regiony — Europa, Ameryka Północna i Azja (w Europie zbliżył się nawet do 50 procent — por. rys. 3.12). Zdecydowanie najmniejszy udział wysoko zaawansowanych technicznie wyrobów w produkcji przemysłowej charakteryzował kraje afrykańskie, w którym to regionie wskaźnik ten spadł nawet poniżej 20% na początku poprzedniej dekady.



Rys. 3.12. Udział wyrobów o średnim i wysokim poziomie zaawansowania technicznego w produkcji przemysłowej ogółem w latach 2000–2018 (w procentach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UN Industrial Development Organization, <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/> (dostęp: 20.08.2021).

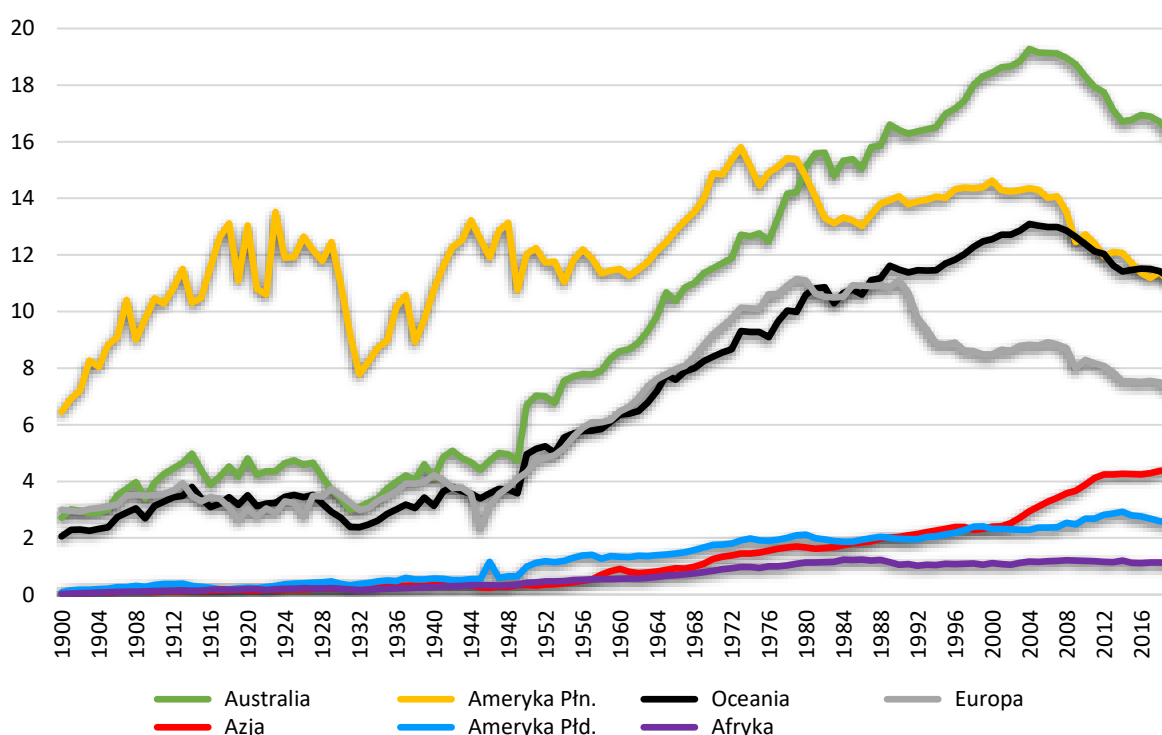
Reasumując, należy podkreślić, że duża część krajów biedniejszego Południa nie jest odpowiednio przygotowana do wdrażania rozwiązań z zakresu Gospodarki 4.0. W szczególności problem słabej infrastruktury technicznej dotyczy krajów afrykańskich, ale po części również niektórych krajów Ameryki Łacińskiej i Karaibów, Azji Południowej i Oceanii.

3.3. Nierówności klimatyczne

Na potrzeby niniejszej pracy termin „nierówności klimatyczne” oznacza wszelkie dysproporcje związane ze stanem środowiska naturalnego, bioróżnorodności, wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, zanieczyszczeniem powietrza, gleby i wody, czyli w szerszym kontekście — determinujące międzynarodowe, regionalne i krajowe inicjatywy mające na celu ograniczenie negatywnych konsekwencji zmian klimatu na Ziemi. Oczywiście problemy związane ze zmianami klimatu są bardzo zróżnicowane i dotyczą różnych interesariuszy w różnym stopniu, jednak technologie opracowywane w ramach modelu Gospodarki 4.0, w szczególności związane z Rolnictwem 4.0, mogą posłużyć do opracowania skutecznych strategii ich łagodzenia.

Należy podkreślić, że panuje powszechny konsensus co do tego, że postępujące zmiany klimatu mają charakter antropogeniczny, a ich negatywne, społeczno-gospodarcze skutki są i będą odczuwane w różnym nasileniu w różnych regionach świata. Na podstawie najnowszych

raportów dotyczących zmian klimatycznych E. Bendyk wskazuje, że „najbogatsze 10 procent ludności świata odpowiada za 36–45% globalnej emisji, a najbiedniejsze 10 procent za zaledwie 5%. Najbogatszy 1 procent odpowiada za 50% emisji pochodzących z lotnictwa. Jednocześnie 800 mln ludzi na świecie ciągle nie ma dostępu do elektryczności. Ich podłączenie miałoby jednak znacznie mniejszy efekt klimatyczny niż utrzymanie wzorów konsumpcji przez mieszkańców krajów najbogatszych” [Bendyk, 2021a]. Innymi słowy, nierówności klimatyczne wynikają w głównej mierze z faktu, że kraje wysoko rozwinięte i nowo uprzemysłowione, poprzez rabunkową gospodarkę zorientowaną przede wszystkim na zysk ekonomiczny, przyczyniają się do pogłębiania katastrofalnych zmian klimatu, natomiast kraje biedniejsze są zazwyczaj ofiarami tej polityki, ponoszącymi jej największe koszty społeczne i gospodarcze.



Rys. 3.13. Wielkość emisji CO₂ *per capita* w wybranych regionach w latach 1900–2019 (w tonach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita> (dostęp: 24.08.2021).

W ostatnich 120 latach globalna emisja dwutlenku węgla *per capita* ze spalania paliw kopalnych oraz produkcji cementu wzrosła 4-krotnie, z nieco ponad 1 do prawie 5 ton, jednakże wyraźnie odmienny był „wkład” poszczególnych regionów. W pierwszej połowie XX wieku, czyli jeszcze w trakcie drugiej rewolucji przemysłowej, największym emitentem CO₂ *per capita* były Stany Zjednoczone (por. rys. 3.13). Po drugiej wojnie światowej do grona największych emitentów tego gazu cieplarnianego dołączyły Australia i Oceania oraz Europa, przy

czym od początku obecnego stulecia we wszystkich tych regionach widoczny jest trend malejący. Jeśli chodzi o pozostałe regiony świata, to przez cały wiek XX ich wkład w globalną emisję CO₂ był raczej niewielki, a zaczął wyraźnie rosnać dopiero z początkiem XXI wieku za sprawą szybkiego uprzemysłowienia Chin oraz krajów Azji Południowo-Wschodniej.

Trzeba jednak mieć na uwadze fakt, że oprócz dwutlenku węgla dla gazów cieplarnianych zalicza się także metan, tlenek azotu oraz gazy fluorowane. Jakkolwiek w latach 1970–2012 ich łączne światowe emisje *per capita* kształtowały się na poziomie 7 ton ekwiwalentu CO₂ (CO₂e), to w przypadku krajów wysokiego dochodu zbliżyły się na początku obecnego stulecia do 16 ton CO₂e. W przypadku krajów średniego i niskiego dochodu emisje gazów cieplarnianych utrzymywały się w tym okresie na poziomie odpowiednio 6 i 3 ton CO₂e, z wyjątkiem krajów średnio wysokiego dochodu, których emisje *per capita* przekroczyły poziom 9 ton na początku poprzedniej dekady⁴². W roku 2016 źródłem największych emisji gazów cieplarnianych była energetyka i ciepłownictwo (15 mld t CO₂e), transport (7,9 mld t CO₂e), produkcja przemysłowa i budownictwo (6,1 mld t CO₂e) oraz rolnictwo (5,8 mld t CO₂e), co łącznie stanowiło ponad 70 procent emisji globalnych⁴³.

Z niewielu pozytywnych zmian, jakie zaszły w ostatnich dekadach, wymienić można malejącą intensywność energetyczną zdefiniowaną jako zużycie energii przypadające na jednostkę produktu. W latach 1990–2015 intensywność energetyczna świata spadła o ponad 30 procent, z 2,11 do 1,43 kWh/USD. Największą poprawę pod tym względem odnotowały Chiny oraz kraje Europy Środkowej i kraje bałtyckie (spadek odpowiednio o 68 i 60 procent), natomiast w Afryce Północnej i na Bliskim Wschodzie intensywność energetyczna wzrosła o przeszło 20 procent. Należy jednak podkreślić, że spadek intensywności energetycznej odnotowała w tym okresie większość krajów świata, co jest zjawiskiem pozytywnym z punktu widzenia problemu klimatycznego⁴⁴.

O pewnej poprawie można także mówić w odniesieniu do zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM_{2,5}, przy czym pozytywne zmiany dotyczą przede wszystkim półkuli północnej. W latach 1990–2017 stężenie tego rodzaju zanieczyszczeń prawie nie zmieniło się w ujęciu globalnym, patrząc jednak na grupy dochodowe można zauważyć, że spadło ono w krajach wysokiego i średnio wysokiego dochodu, natomiast wzrosło w krajach średnio niskiego i niskiego dochodu (por. tab. 3.6). Jeśli chodzi o porównanie stopnia zanieczyszczenia pyłami zawieszonymi w różnych regionach, to w analizowanym okresie największy wzrost

⁴² <https://ourworldindata.org/grapher/ghg-emissions-per-capita> (dostęp: 25.08.2021).

⁴³ <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions> (dostęp: 25.08.2021).

⁴⁴ <https://ourworldindata.org/grapher/energy-intensity-of-economies> (dostęp: 25.08.2021).

zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym wystąpił w Azji Południowej (zwłaszcza w Nepalu i Indiach), Afryce Północnej i na Bliskim Wschodzie (głównie w Arabii Saudyjskiej). Jakkolwiek trudno jednoznacznie określić przyczyny występowania przedstawionych tendencji, podjęcie działań w tym zakresie jest niezmiernie ważne, gdyż zanieczyszczenie powietrza stanowi jeden z najważniejszych czynników ryzyka przedwczesnej śmierci (po nadciśnieniu, paleniu tytoniu i cukrzycy) [Ritchie, Roser, 2019].

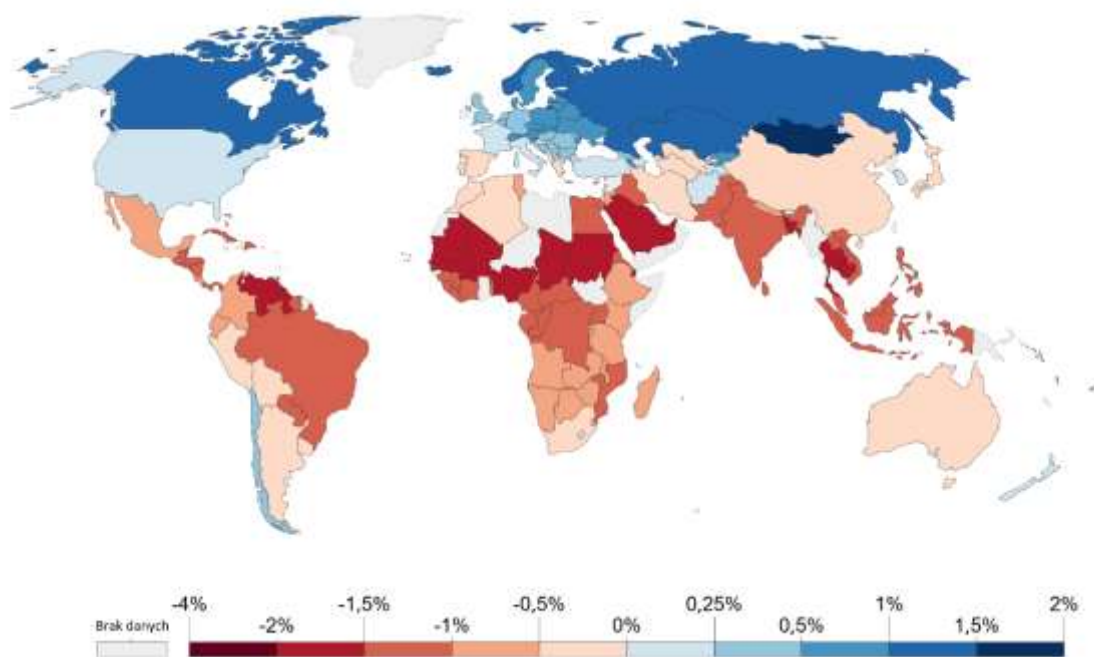
Tabela 3.6. Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM_{2,5} w latach 1990–2017

Region	1990	2000	2010	2017		
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1990=100	Świat=100
Europa Środkowa i kraje bałtyckie	24,8	21,6	22,0	17,6	71	39
Europa i Azja Środkowa	21,9	20,3	20,6	18,1	82	40
Azja Wsch. i Oceania	44,9	46,6	51,9	39,8	88	87
Australia	10,4	10,8	10,6	8,6	82	19
Azja Płd.	76,6	78,9	89,2	82,9	108	182
Afryka Płn. i Bliski Wschód	50,2	50,4	51,8	55,7	111	122
Afryka Subsaharyjska	44,0	42,8	38,2	44,6	101	98
Ameryka Płn.	9,6	9,4	9,3	7,3	77	16
Ameryka Łac. i Karaiby	19,6	20,8	21,1	16,7	85	37
Świat	44,3	45,9	50,3	45,5	103	100
Kr. wysokiego doch.	16,6	16,2	16,7	14,7	88	32
Kr. średnio wysokiego doch.	43,6	45,4	50,4	39,2	90	86
Kr. średnio niskiego doch.	59,0	60,3	65,6	62,6	106	138
Kr. niskiego doch.	42,2	42,1	40,2	43,3	103	95

Źródło: opracowanie i obliczenia własne na podstawie World Development Indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (dostęp: 30.07.2021).

Przedstawione wskaźniki stanowią zaledwie niewielką część danych dotyczących zmian klimatycznych i ich konsekwencji dla gospodarki światowej w najbliższej przyszłości. Jak wspomniano, działania człowieka mają wpływ na coraz częstsze występowanie gwałtownych i trudnych do prognozowania zjawisk pogodowych, takich jak huragany, powodzie czy susze. Wiążą się one z globalnym ocieplaniem klimatu na Ziemi, co w konsekwencji będzie mieć katastrofalne skutki dla wielu krajów, ich gospodarek oraz mieszkańców. Według raportów sporządzanych przez działający przy ONZ od przeszło 30 lat Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC), już wzrost średniej temperatury na Ziemi o 1,5°C spowoduje istotne pogorszenie warunków życia w wielu regionach świata, co będzie związane m.in. z długotrwałymi suszami, pożarami, ponoszeniem się poziomu mórz i oceanów, problemami z żywnością i dostępem do wody pitnej itd. Dotychczasowe działania podejmowane w celu zahamowania globalnego ocieplenia okazują się jak na razie niewystarczające, a na skutek szybszego niż zakładano wzrostu emisji dwutlenku węgla i spadku emisji dwutlenku siarki, jak również

naturalnych cykli klimatycznych, przekroczenie progu ocieplenia o 1,5°C może najprawdopodobniej nastąpić już około 2030 roku, a o 2°C — około 2045 roku⁴⁵.



Rys. 3.14. Wpływ podniesienia się temperatury powierzchni Ziemi o 2°C na roczny wzrost PKB *per capita*

Źródło: [Pretis i in., 2018].

Wpływ globalnego ocieplenia na gospodarkę światową ilustrują dane zaprezentowane na rysunku 3.14. Jak można zauważyć, wzrost globalnej temperatury o 2°C spowoduje spadek PKB *per capita* na większości obszarów, w szczególności w strefie równikowej i zwrotnikowej. Konsekwencją zmian klimatycznych nie będą jednak jedynie problemy gospodarcze i straty ekonomiczne, ale również negatywne zjawiska społeczno-polityczne, takie jak między innymi migracje klimatyczne, napięcia polityczne i konflikty zbrojne, a nawet łatwiejsze rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych. Oznacza to pojawienie się szeregu wyzwań o charakterze ogólnoswiatowym, z którymi będzie musiała się zmierzyć społeczność międzynarodowa.

3.4. Zdobywcze czwartej rewolucji przemysłowej a współczesne wyzwania globalne

Zaprezentowane wybrane rozwiązania tworzące zręby Gospodarki 4.0 mają niewątpliwie potencjał, aby zminimalizować, a być może w odleglejszej przyszłości wyeliminować część problemów i wyzwań globalnych. Jednak korzyści związane z czwartą rewolucją przemysłową, takie jak na przykład rozwój inteligentnego budownictwa i zrównoważonej

⁴⁵ <https://www.wwf.pl/srodowisko/klimat> (dostęp: 10.09.2021).

urbanizacji, jakościowe zmiany na rynku pracy, produkcja na żądanie w ramach inteligentnych fabryk, wielokierunkowe zastosowania sztucznej inteligencji, rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości prowadzące do przenikania się świata rzeczywistego z wirtualnym, stanowią w wielu przypadkach niespełnioną jeszcze obietnicę i są dostępne jak na razie dla wąskiego grona beneficjentów. Upowszechnienie się tych rozwiązań wymaga współpracy między wieloma podmiotami, w szczególności wielkich korporacji transnarodowych, innowacyjnych firm technologicznych, regulatorów krajowych i międzynarodowych oraz rządów, dzięki której pojawią się inwestycje w niezbędną infrastrukturę, opracowane zostaną niezbędne standardy techniczne i przepisy, a odpowiednia polityka edukacyjna zapewni obywatelom-konsumentom odpowiednią wiedzę i świadomość zagrożeń związanych z cyfrowymi technologiami Gospodarki 4.0.

Ze względu na fakt, że wspomniane korzyści będą rozłożone w czasie i trudno obecnie przewidzieć, czy i w jakim stopniu zostaną osiągnięte, warto zastanowić się nad obszarami problematycznymi Gospodarki 4.0, mając oczywiście na uwadze, że w ramach niniejszej publikacji nie jest możliwe ustosunkowanie się do wszystkich zagadnień.

1. *Przyszłość rynku pracy* — w często wyrażanych opiniach technologie cyfrowe w ramach Gospodarki 4.0 przyczynią się do wyeliminowania prac rutynowych, powtarzalnych, męczących fizycznie i psychicznie, wykonywanych w niebezpiecznych warunkach, a ewentualna likwidacja miejsc pracy za sprawą automatyzacji, robotyzacji i sztucznej inteligencji zostanie skompensowana pojawieniem się nowych, nieznanych dzisiaj zawodów i stanowisk pracy [Ćwiek i in., 2021, s. 6–43; Muro i in., 2019, s. 47–68]. Mimo że proces ten już zachodzi, na przykład w usługach finansowych czy niektórych gałęziach przemysłu, trudno stwierdzić, jakie będą jego faktyczne konsekwencje. Niewątpliwie rynek pracy będzie musiał przejść gruntowną transformację, a niektóre występujące na nim współcześnie nierówności, formy dyskryminacji czy wręcz wykluczenie będą się mogły wręcz pogłębić. Przykładowo, istnieją coraz większe wątpliwości etyczne i prawne, czy wykorzystanie algorytmów SI w procesach rekrutacji, ale także coraz częściej przy redukcjach zatrudnienia, nie przyczyni się do dyskryminacji pewnych grup społecznych, na przykład osób starszych lub gorzej wykwalifikowanych, gdyż rekrutacyjne algorytmy SI mogą odzwierciedlać uprzedzenia czy stereotypy, jakimi kierują się ich twórcy. Co więcej, istnieją uzasadniane obawy, czy osoby zastępowane przez roboty i algorytmy będą w stanie odnaleźć się na cyfrowym rynku pracy, podnieść swoje wykształcenie i realizować się na przykład w branżach kreatywnych [Ford, 2015]. Biorąc pod uwagę potencjalną masowość tego zjawiska w przyszłości, będzie to olbrzymie wyzwanie dla rządów, systemów opieki społecznej, a w szczególności — dla systemu edukacji. Jeśli bowiem pracownicy będą musieli się dostosować do wymogów Gospodarki 4.0, system edukacji również musi ulec

rewolucyjnym zmianom. Konieczne będzie m.in. rozwijanie zupełnie innych umiejętności, na przykład zaawansowanych kompetencji cyfrowych oraz kompetencji ułatwiających interakcje „człowiek-maszyna”, a także reorientacja systemu edukacji na uczenie ustawiczne oraz rozwijanie umiejętności przez całe życie zawodowe [Smit i in., 2020]. Wydaje się również, że promowana w ostatnim czasie koncepcja gwarantowanego dochodu podstawowego może sprzyjać takim zmianom, a zwłaszcza zmniejszać ryzyko zmiany pracy czy przekwalifikowania się pod kątem nowych wymagań rynku pracy.

2. *Zagrożenia cyfrowe* — dotychczasowy rozwój Internetu, technologii bezprzewodowych i mediów społecznościowych pokazuje, jak ważna jest świadomość zagrożeń związanych z technologiami cyfrowymi. Chodzi przede wszystkim o bezpieczeństwo danych, ryzyko utraty lub niezgodnego z prawem dysponowania danymi wrażliwymi przez osoby trzecie, zagrożenia dla prywatności, coraz większe możliwości inwigilacji, monitorowania i profilowania użytkowników Internetu itd. Co więcej, coraz większa ilość danych będzie gromadzona, transferowana, gromadzona i przetwarzana automatycznie, bez wiedzy osób, których te dane będą dotyczyć, czego przykładem jest ekosystem Internetu rzeczy. Bez zaangażowania międzynarodowych i krajowych organów regulacyjnych zmniejszenie tych zagrożeń będzie problematyczne, tym bardziej, że znaczna część populacji nie jest ich świadoma lub je ignoruje. Pojawia się w związku z tym konieczność uwzględnienia tego rodzaju szkoleń na każdym etapie edukacji, jak również później, w trakcie kariery zawodowej. Należy dodać, że słabymi punktami w różnego rodzaju zabezpieczeniach cyfrowych jest nie tylko sam użytkownik, ale również wynikają one z braku odpowiednich standardów i powszechnie uznawanych wymogów technicznych, czego przykładem jest właśnie Internet rzeczy. Jednym z rozwiązań może być wykorzystanie rozwiązań *open source*, jednak przy prognozowanej skali Internetu rzeczy, który ma łączyć ze sobą miliardy czujników i inteligentnych maszyn, niezmiernie trudne będzie szybkie eliminowanie luk bezpieczeństwa, błędów oraz ewentualnych naruszeń zabezpieczeń.

3. *Asymetryczny dostęp do informacji* — wraz z rozwojem Gospodarki 4.0 oraz postępującą fuzją rynków fizycznych i wirtualnych rosnąć będzie nie tylko ilość danych, ale również informacji. Z tego względu coraz większy problem stanowić będzie „poruszanie się” w olbrzymich strumieniach informacji, ich filtrowanie, lecz również umiejętność oddzielania informacji wartościowych od tzw. fake newsów. Rozwój sztucznej inteligencji może z jednej strony to ułatwić, ale z drugiej pozwolić na generowanie informacji łudząco podobnych to tworzonych przez człowieka. Co więcej, rozwój serwisów społecznościowych wspartych algorytmami SI oraz rozwiązaniami z obszaru wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości przyczyni się do

powstawania wspomnianych wcześniej baniek informacyjnych, z których wydostanie się będzie niezwykle trudne.

4. *Niedopasowanie infrastrukturalne* — rozwój globalnych ekosystemów cyfrowych spowoduje znaczny wzrost zapotrzebowania na energię, co dodatkowo będzie nasilać problemy z dostępem do elektryczności, stabilnością dostaw energii, a także zwiększać obciążenie istniejącej infrastruktury energetycznej. Niezbędne inwestycje w infrastrukturę energetyczną, które będą dodatkowo napędzane nieodzowną transformacją energetyczną związaną ze zmianami klimatu oraz potrzebą szybkiego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zostaną zapewne w dużej części przerzucone na odbiorców końcowych, przyczyniając się w wielu krajach, nie tylko słabiej rozwiniętych, do pogłębienia się zjawiska ubóstwa energetycznego. Przykładem, w jaki sposób nowe technologie zwiększają zapotrzebowanie na energię, są w ostatnich latach tzw. kopalnie kryptowalut. Według szacunków Polskiego Instytutu Ekonomicznego (PIE) światowe zużycie energii związane z samym bitcoinem i ethereum jest już większe, niż roczne zapotrzebowanie polskiej gospodarki na elektryczność (roczne zapotrzebowanie na prąd w przypadku samego bitcoina waha się między 116 a 127 TWh) [Słomski, 2021].

Należy również dodać, że poza infrastrukturą energetyczną konieczny będzie również szybki rozwój sieci teleinformatycznej oraz technologii komunikacji bezprzewodowej, takich jak 5G. Jak wspomniano, jest to warunek konieczny upowszechniania się Internetu rzeczy, ale także innych technologii leżących u podstaw Przemysłu 4.0 czy Rolnictwa 4.0. Problemy, jakie mogą towarzyszyć tym działaniom, to bazujący na niewiedzy i fake newsach opór społeczny, czego przykładem są powszechne protesty przeciwko rozbudowie sieci 5G, oraz znaczne koszty, zwłaszcza na rynkach zdominowanych przez wielkich dostawców. Przykładowo Starlink, oferowana od 2022 roku również w Polsce usługa satelitarnego dostępu do Internetu przeznaczona zwłaszcza dla mieszkańców słabiej zurbanizowanych obszarów, jak na razie boryka się z problemami technicznymi i jest rozwiązaniem zbyt drogim dla przeciętnego użytkownika⁴⁶. Jeśli tego rodzaju innowacyjne usługi telekomunikacyjne są zbyt kosztowne dla części mieszkańców krajów wysokiego dochodu, takich jak Polska, trudno przypuszczać, że będą atrakcyjne cenowo dla mieszkańców słabiej rozwiniętych regionów świata, w których niedostatki infrastruktury oraz wykluczenie cyfrowe są powszechne.

5. *Sprzeczność interesów różnych grup interesariuszy* — można przypuszczać, że wraz z urzeczywistnianiem się koncepcji Gospodarki 4.0 nasilać się będą sprzeczności interesów między grupami podmiotów zaangażowanych w ten proces. Kraje chcące uczestniczyć w tej rewolucji

⁴⁶ <https://starlinkprice.com/>; <https://businessinsider.com.pl/technologie/nowe-technologie/internet-ze-starlinkow-od-elona-muska-dostepny-w-polsce-ile-kosztuje/5mhmbc1> (dostęp: 13.09.2021).

będą, a przynajmniej powinny kierować się interesami swoich obywateli, w szczególności tych, którzy dotknięci są różnymi formami wykluczenia, nierówności i ubóstwa. Będą jednak musiały podjąć odpowiednie działania związane z przygotowaniem infrastruktury, zapewnieniem środków finansowych i odpowiednich ram prawnych, jak również zredefiniować krajowe systemy edukacji w taki sposób, aby umożliwiły różnym grupom społecznym zdobycie i rozwinięcie niezbędnych umiejętności i kompetencji. Przedsiębiorstwa, w szczególności korporacje transnarodowe i startupy technologiczne, będą z kolei opracowywać i wprowadzać na rynek nowe produkty i usługi, licząc na monetyzację swoich pomysłów i szybkie wygenerowanie zysków. Jest to oczywiście zrozumiałe, można jednak podać w wątpliwość pobudki, jakimi kierują się takie podmioty komercyjne. Mimo niewątpliwych korzyści związanych z Gospodarką 4.0 należy zastanowić się, na ile interes firm przeważa nad interesem ogółu, a prywatyzacji zysków nie będzie towarzyszyło uspołecznienie kosztów. Wątpliwości te dotyczą na przykład politycznych, gospodarczych i społecznych skutków wdrażania Gospodarki 4.0 — jakie będą rzeczywiste korzyści ekologiczne tych technologii; czy w czasach katastrofy klimatycznej proponowane rozwiązania nie będą stymulowały nadmiernej konsumpcji; czy inteligentne fabryki oraz produkcja na żądanie będą faktycznie prowadzić do oszczędności surowców i energii; czy rozwój inteligentnych miast nie pogłębi problemów społecznych, na przykład związanych z nadmierną urbanizacją, gentryfikacją i powstawaniem megapolis kosztem dalszej depopulacji obszarów wiejskich. Oczywiście trudno dzisiaj spekulować na te tematy, jednak wydaje się racjonalne i uzasadnione prowadzenie jak najszerzej dyskusji dotyczącej w miarę sprawiedliwego podziału korzyści i kosztów wdrażania Gospodarki 4.0 między przedsiębiorstwa, władze państwowe i obywateli.

6. *Supremacja technologicznych korporacji globalnych* — mimo że w opracowywaniu i wdrażaniu innowacji tworzących fundament Gospodarki 4.0 uczestniczy bardzo wiele podmiotów, technologiczne korporacje globalne stają się z czasem wiodącymi integratorami tych rozwiązań. Dzięki swoim przewagom kapitałowym, technologicznym i organizacyjnym prowadzą one ponadto agresywną politykę fuzji i przejęć, wchłaniając często innowacyjnych, lecz znacznie mniejszych konkurentów. Jako organizacje globalne o olbrzymiej sile przetargowej są one często równorzędnymi partnerami dla władz państwowych, w szczególności rządów krajów słabiej rozwiniętych gospodarczo. Najlepszym tego przykładem jest działalność Wielkiej Piątki skupiającej nieoficjalnie największe na świecie koncerny i konglomeraty technologiczne — Google (należący do konglomeratu Alphabet), Amazon, Facebook, Apple i Microsoft (w skrócie GAFAM). Mimo że do tej grupy można jeszcze zaliczyć szereg innych firm związanych z branżą IT, zwłaszcza chińskich czy południowokoreańskich [Poprzeczko, 2021], to właśnie

Wielka Piątka jest często oskarżana o dominację w cyberprzestrzeni i drapieżne podporządkowywanie sobie innych podmiotów, bezwzględne egzekwowanie swoich praw własności intelektualnej, naruszanie prawa wielu krajów, przejmowanie kontroli nad Internetem, a co najważniejsze — wykorzystywanie uprzywilejowanej, quasi-monopolistycznej pozycji do wypierania z rynku innych podmiotów oraz stopniowego „uzależniania” konsumentów (użytkowników) od swoich produktów i usług. Przykładowo Amazon z księgarni internetowej przekształca się obecnie w cyfrową multiplatformę e-commerce oferującą także usługi finansowe, ubezpieczeniowe, kurierskie z wykorzystaniem dronów, a nawet kosmiczne. Z kolei Google z największej wyszukiwarki internetowej staje się liderem w zastosowaniach sztucznej inteligencji, natomiast Facebook, największy na świecie serwis społecznościowy, wraz z rosnącymi dochodami z reklamowego mikrotargetowania zdobywa coraz większe wpływy społeczne i polityczne, dążąc do stworzenia metawersum, w którym dzięki wykorzystaniu technologii rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej zacierają się granice między światem realnym a cyfrowym [Bendyk, 2021b]. Obserwując dotychczasową aktywność Wielkiej Piątki w pracach nad rozwojem Gospodarki 4.0, pojawia się uzasadniona wątpliwość, jak będzie wyglądać gospodarka przyszłości zdominowana przez globalne koncerny władające cyfrowym metawersum [Pikuła, 2021].

W jakim zatem zakresie technologie stanowiące istotę czwartej rewolucji przemysłowej mogą stanowić odpowiedź na wyzwania globalne związane między innymi z kryzysem klimatycznym? Jakkolwiek trudno jednoznacznie ustosunkować się do tej kwestii, na podstawie dotychczasowych rozważań trzeba zauważyć, że rozwiązania w ramach ekosystemu Gospodarki 4.0 mogą znacząco wpłynąć na obserwowane nierówności. Co więcej, niektóre z nich determinują rozwój Gospodarki 4.0, natomiast inne mogą być dzięki Gospodarce 4.0 znacznie zminimalizowane.

Jeśli chodzi o nierówności determinujące rozwój Gospodarki 4.0, należy przez to rozumieć ograniczenia, które muszą zostać przezwyciężone, aby możliwe było włączenie do cyfrowego ekosystemu jak największej liczby krajów, nie tylko wysokiego czy średniego, ale również niskiego dochodu. Przede wszystkim konieczne są inwestycje infrastrukturalne związane z energetyką i technologiami ICT, z uwzględnieniem wymogów zrównoważonego rozwoju. W przypadku krajów słabiej rozwiniętych wymagałoby to także rozstrzygnięcia wielu kwestii i problemów natury organizacyjnej, prawnej i politycznej, co może być utrudnione w regionach ogarniętych konfliktami i niepokojami społecznymi. Jednak fundamentalne znaczenie ma polityka edukacyjna, gdyż bez podniesienia umiejętności technicznych oraz tzw. kompetencji miękkich trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie w świecie, w którym partnerem człowieka

będą inteligentne maszyny, roboty oraz algorytmy sztucznej inteligencji [Kurzweil, 2006, s. 14–34, 299–368; Kurzweil, 2012, s. 121–198; Bostrom, 2014, s. 26–126].

W jakich obszarach można spodziewać się zmian za sprawą technologii Przemysłu 4.0? Można oczekiwać, że w niedalekiej przyszłości technologie cyfrowe będą odgrywać kluczową rolę we wszystkich aspektach życia, jednak na potrzeby niniejszego rozdziału warto wspomnieć o trzech, jakże istotnych obszarach:

1. *Edukacja i praca* — edukacja warunkuje niewątpliwie sukces czwartej rewolucji przemysłowej, lecz z drugiej strony będzie się zmieniać pod jej wpływem. Można oczekiwać, że za sprawą takich technologii jak sztuczna inteligencja, Big Data i przetwarzanie w chmurze, rzeczywistość wirtualna i rozszerzona nastąpi odejście od dominującego obecnie, wywodzącego się jeszcze z XIX wieku systemu edukacji. Zamiast niego powinno wzrosnąć znaczenie edukacji nieformalnej zdobywanej przez całe życie, a także różnych form samokształcenia i e-learningu. W efekcie wzrośnie świadomość społeczna problemów współczesnego świata, co obserwowane jest już dzisiaj wśród młodszego pokolenia w formie m.in. freeganizmu, wspierania rozwoju gospodarki okrężnej (czemu może pomagać technologia druku 3D), odejścia od leseferystycznej własności prywatnej na rzecz współdzielenia dóbr, dążenia do równowagi między życiem zawodowym i prywatnym itd. W kontekście rynku pracy, oprócz wspomnianych wcześniej potencjalnych korzyści i zagrożeń, warto w tym miejscu wspomnieć o postępującej prekaryzacji pracy i pojawieniu się tzw. gospodarki fuchy (*gig economy*)⁴⁷, której przykładem jest Uber czy niestabilna, niegwarantująca praw pracowniczych praca na własny rozrachunek (zwłaszcza w branżach kreatywnych czy w wolnych zawodach). Gospodarka fuchy jest właśnie konsekwencją upowszechnienia się technologii cyfrowych, a o tym, jak poważnym staje się problemem, świadczy fakt, że według ostatnich szacunków na świecie ok. 40 procent pracujących znajduje dorywcze zatrudnienie w ramach *gig economy* [Istrate, Harris, 2017; Wasielewska, 2021].

2. *Ochrona zdrowia i demografia* — pozytywne zmiany, jakie za sprawą technologii Przemysłu 4.0 zachodzą w sferze ochrony zdrowia, są niezaprzeczalne, m.in. nowoczesne terapie i szczepionki opracowywane z wykorzystaniem SI i uczenia maszynowego, zastosowania robotyki i rozszerzonej rzeczywistości w chirurgii, wytwarzanie protez jako wydruków 3D, zaawansowana profilaktyka i usługi medyczne bazujące na Big Data i przetwarzaniu w chmurze itd. Rozwiązania te odpowiadają również na szereg wyzwań demograficznych, na przykład związanych ze starzeniem się społeczeństw bogatej Północy — autonomiczne pojazdy i transport publiczny, „drukowanie” lekarstw, humanoidalne roboty towarzyszące, inteligentne domy z

⁴⁷ Gospodarka fuchy jest niekiedy uznawana za negatywny przejaw gospodarki współdzielenia na rynku pracy.

czujnikami monitorującymi stan zdrowia mieszkańców czy sztuczna inteligencja stymulująca funkcje poznawcze u osób w podeszłym wieku. Kwestią, która może okazać się dość problematyczna, jest związek między zmianami demograficznymi a zrobotyzowanym i zautomatyzowanym rynkiem pracy. Jak wspomniano, istnieją uzasadnione obawy, że robotyzacja spowoduje — przynajmniej przejściowo — zmniejszenie liczby miejsc pracy, co może skutkować wzrostem populacji osób biernych zawodowo i pogłębieniem nierówności dochodowych⁴⁸. Z drugiej strony kraje wyżej rozwinięte borykają się z problemem starzejącej się populacji i rosnącym obciążeniem krajowych systemów emerytalnych. Najczęściej wskazywanym rozwiązaniem jest zachęcenie do większej diety, co ma uratować systemy emerytalne i umożliwić im dalsze funkcjonowanie. Pojawia się jednak wątpliwość, czy w czasach postępującej robotyzacji i automatyzacji produkcji przemysłowej, rolnictwa i usług, a także pogłębiającego się za sprawą działalności człowieka kryzysu klimatycznego stosowanie różnorodnych zachęt do większej diety w celu utrzymania dotychczasowych systemów emerytalnych jest racjonalne. Wydaje się, że lepszym rozwiązaniem byłoby unowocześnienie systemów emerytalnych i na przykład zasilenie ich wpływami z podatków od robotów czy konsumpcji, a także wspieranie edukacji oraz promowanie zrównoważonej polityki rodzinnej (zakładając oczywiście, że nie stosowane będą żadne narzędzia naruszające prawa człowieka). Biorąc jednak pod uwagę, jak drażliwe są to kwestie ze względów politycznych, społecznych, etycznych i religijnych, znalezienie satysfakcjonujących rozwiązań wymagałoby ogólnoświatowego konsensusu, co trudno sobie obecnie wyobrazić. Nie zmienia to jednak faktu, że niemożliwe jest raczej pogodzenie Gospodarki 4.0 z archaicznymi systemami emerytalnymi, całkowicie odmiennymi tendencjami demograficznymi w krajach bogatej Północy i biednego Południa oraz palącymi wyzwaniami klimatycznymi.

3. *Ochrona środowiska i zrównoważony rozwój* — wśród potencjalnych zastosowań technologii Przemysłu 4.0 mogących zapewnić istotne korzyści w tych obszarach można wymienić m.in. inteligentne fabryki i inteligentne budownictwo ukierunkowane na oszczędności zasobów, inteligentne systemy transportowe (transport autonomiczny), inteligentne rolnictwo zapewniające oszczędności energii, wody i nawozów oraz ograniczające szkody środowiskowe, zastosowania SI w biotechnologii w celu opracowywania nowych odmian roślin uprawnych,

⁴⁸ Warto dodać, że kwestie utraty miejsc pracy na rzecz maszyn są często rozpatrywane w kontekście rosnącej wydajności produkcji (przedsiębiorcy) i wzrostu technologicznego bezrobocia (pracownicy). Rzadko jednak dyskutuje się o tym, kto będzie nabywał produkty i usługi pochodzące z inteligentnych fabryk, jeśli części społeczeństwa znacznie spadnie zdolność nabywcza (nawet jeśli wprowadzony zostałby gwarantowany dochód podstawowy), a równie duża część pracowników wykonywałaby niegwarantujące stałych dochodów prace w ramach gospodarki fuchy.

bardziej odpornych na zagrożenia klimatyczne, monitorowanie i szybkie reagowanie na zagrożenia klimatyczne (ekstremalne zjawiska pogodowe, pożary, powodzie itp.). Należy przy tym podkreślić, że w przeciwieństwie do dwóch wcześniejszych obszarów problemy dotyczące ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju mają charakter globalny, w związku z czym teoretycznie łatwiejsze powinno być wypracowanie stosownych rozwiązań na forum międzynarodowym. Niestety praktyka pokazuje, że działania zmierzające do ograniczenia efektu cieplarnianego i dalszych zmian klimatu przegrywają często z partykularnymi interesami.

W kontekście dotychczasowych rozważań należy także wyrazić wątpliwość co do roli odgrywanej w powyższych procesach przez największe gospodarki świata, w szczególności zaś — przez korporacje transnarodowe. Mimo deklarowanego przez nie wsparcia dla globalnej polityki klimatycznej oraz działań mających na celu zmniejszanie różnego rodzaju nierówności, nie wydaje się, że maksymalizacja zysku za wszelką cenę przestała być ich głównym priorytetem. Przykładem mogą być powszechne w ostatnim czasie działania związane z zielonym marketingiem, mające pokazać partnerom biznesowym, klientom i opinii publicznej, jak ważna jest dla danej firmy ekologia i dbałość o środowisko naturalne. W wielu przypadkach jest to najzwyczajsza manipulacja i kłamstwo, a proceder ten nazywany jest „ekościemą” (*greenwashing*). Podobnie trudno uznać za podyktowane wyłącznie troską o zmniejszanie nierówności na świecie plany Facebooka dotyczące poprowadzenia światłowodu dookoła Afryki czy infrastrukturalne inwestycje Chin w Afryce [Czubkowska, 2020]. Tak rażące przedkładanie interesów politycznych czy biznesowych nad interes społeczny jest o tyle niepokojące i źle wróży na przyszłość, że jeśli chodzi o politykę klimatyczną dostępne są już bezemisyjne technologie i odpowiednie źródła finansowania zielonej transformacji, lecz „pozostaje problem woli politycznej i przekonania biznesu, że jemu też się to opłaci” [Tooze, 2021].

W związku z powyższym można naszkicować dwa scenariusze rozwoju Gospodarki 4.0 oraz jej potencjalnego wpływu na nierówności i wyzwania globalne. W pierwszym, który na podstawie analizy dotychczasowych tendencji wydaje się bardziej prawdopodobny i negatywny w swoich skutkach, nierówności globalne będą się nadal utrzymywać, choć wraz ze wzrostem dochodu *per capita* w części krajów niektóre aspekty będą ulegać poprawie. Model Gospodarki 4.0 będzie wdrażany przede wszystkim w krajach wysokiego i średnio wysokiego dochodu, natomiast w pozostałych dominować będzie tradycyjna gospodarka bazująca na surowcach mineralnych, przemyśle opartym na pracy prostej oraz wymagających relatywnie niewielkich kwalifikacji usługach. Takie trendy będą związane przede wszystkim z globalnymi strategiami korporacji technologicznych, w których rola pozostałych podmiotów gospodarki światowej będzie sprowadzać się do biernych odbiorców nowych rozwiązań. W związku ze słabnącą

pozycją negocjacyjną większości państw, może z wyjątkiem Chin, Stanów Zjednoczonych i Unii Europejskiej, znacząco spadnie ochrona instytucjonalno-prawna mniejszych podmiotów gospodarczych, konsumentów oraz indywidualnych użytkowników. Nowoczesne technologie umożliwią nieskrępowany handel danymi, pogłębią dysproporcje w dostępie do wiarygodnych informacji, wzrośnie ryzyko transakcyjne oraz rozwinięte zostaną nowe metody inwigilacji, profilowania konsumentów i wpływania na ich decyzje zakupowe. W rezultacie tempo wzrostu globalnej konsumpcji nie ulegnie większemu obniżeniu, co przełoży się na dalsze marnotrawstwo zasobów, wzrost poziomu zanieczyszczenia i ilości odpadów, w związku z czym trudne, jeśli nie niemożliwe będzie zrealizowanie aktualnych celów klimatycznych. Jeśli zaś chodzi o problem klimatyczny, to technologie Przemysłu 4.0, w połączeniu z rozwiązaniami zielonej gospodarki i gospodarki okrężnej, pozwolą może złagodzić lokalne problemy, lecz spowodują jedynie odsunięcie w czasie nieuchronnej katastrofy klimatycznej.

Kraje biednego Południa, ze względu na opisane dysproporcje i zacofanie względem krajów bogatej Północy, będą głównymi poszkodowanymi z powodu zmian klimatu, co spowoduje olbrzymie w swojej skali migracje klimatyczne, z których konsekwencjami mierzyć się będą przede wszystkim kraje Północy (między innymi za sprawą nasilającej się ksenofobii, nacjonalizmu i autokracji). Z powodu utrzymujących się nierówności edukacyjnych, infrastrukturalnych, technologicznych i innych, kraje słabiej rozwinięte nie będą w stanie osiągać korzyści płynących z Gospodarki 4.0, w związku z czym dysproporcje te mogą się jeszcze pogłębiać [Rolecki, 2020]. Obecne problemy związane z dystrybucją szczepionek przeciwko koronawirusowi w krajach słabiej rozwiniętych (spowodowane w dużej mierze polityką krajów bogatych oraz firm farmaceutycznych) stanowią próbkę tego, w jakim kierunku może rozwinać się sytuacja w najbliższych latach.

Scenariusz optymistyczny wydaje się mniej prawdopodobny, ponieważ jego urzeczywistnienie wymagać będzie nie tylko wielokierunkowych działań podejmowanych przez poszczególne kraje, ale przede wszystkim globalnego konsensusu w kwestii przeciwdziałania nierównościom i łagodzenia kryzysu klimatycznego. Scenariusz ten przewiduje bowiem jak największe włączenie krajów Południa, w szczególności krajów afrykańskich, w procesy związane z rozwojem Gospodarki 4.0. Wynika to z faktu, że kraje Afryki dysponują potencjałem w postaci młodej populacji, zatem wsparcie tych krajów — organizacyjne, finansowe, a przede wszystkim związane z transferem wiedzy — może skutkować szybszym ich rozwojem i zmniejszaniem nierówności społecznych. W tym miejscu należy podkreślić fundamentalne znaczenie podniesienia poziomu edukacji w tych społeczeństwach, a zwłaszcza rozwoju kompetencji cyfrowych. Mając na uwadze fakt, że w wielu krajach tego regionu nadal duży jest odsetek osób

niepiśmiennych, nie można oczekiwać postępów w krótkim horyzoncie czasowym. Zapewniając jednak mieszkańcom słabiej rozwiniętych regionów dostęp do Internetu, na przykład dzięki komunikacyjnemu systemowi satelitarnemu Starlink budowanemu przez amerykańską firmę SpaceX, możliwe będzie zaoferowanie im nieosiągalnych wcześniej możliwości edukacyjnych. I nie chodzi tu jedynie o wsparcie tradycyjnego systemu edukacji, który jest uznawany za przestarzały i nieodpowiadający wyzwaniom współczesności, nie mówiąc już o przyszłości. Jednym z możliwych rozwiązań jest zaoferowanie mieszkańcom Afryki i innych regionów słabiej rozwiniętych szkoleń internetowych, które będą rozwijały nie tylko kompetencje cyfrowe, ale będą również stanowiły ofertę kształcenia ustawicznego z zakresu inżynierii, budownictwa, energetyki odnawialnej, ochrony środowiska, medycyny czy rolnictwa. Organizacją takich szkoleń mogłyby zająć się wiodące ośrodki naukowe na świecie, przy czym część z nich mogłaby być realizowana w miarę możliwości w językach lokalnych.

Jak wspomniano, szanse realizacji scenariusza optymistycznego są uzależnione od szeregu czynników, do których zaliczyć należy wsparcie ze strony władz i społeczności lokalnych oraz zaangażowanie różnorodnych podmiotów z krajów Północy. Wydaje się, że podniesienie poziomu edukacji formalnej i nieformalnej w krajach biedniejszych może ułatwić walkę ze skutkami globalnego ocieplenia. Co więcej, łatwiejsze będzie wdrażanie w tych regionach niektórych technologii Gospodarki 4.0, na przykład związanych z inteligentnym rolnictwem. Należy mieć także na uwadze, że połączenie nowoczesnych technologii z zagranicy oraz lokalnego know-how może się przyczynić do bardziej efektywnej absorpcji i dyfuzji wiedzy w ramach regionu. Porzucenie neokolonialnego punktu widzenia, że lokalne społeczności nie są w stanie samodzielnie decydować o swojej przyszłości, może skutkować szeregiem inicjatyw i innowacji istotnych dla całego świata. Przykładem mogą być działania na rzecz stworzenia Wielkiego Zielonego Muru⁴⁹ na południe od Sahary, który to projekt, wspierany przez Unię Afrykańską, opracowano już w 2005 roku podczas szczytu Wspólnoty Państw Sahelu i Sahary [Hertsgaard, 2011; Willige, 2021]. Z kolei badania prowadzone przez zespół naukowców z Uniwersytetu Maryland dowodzą, że zastosowanie na szerszą skalę paneli fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych na Saharze może przynieść nie tylko oczywiste korzyści energetyczne, ale również przyczynić się do zwiększenia opadów oraz wzrostu pokrycia terenów pustynnych roślinnością nawet o 20 procent [Li i in., 2018]. Tego rodzaju projekty doskonale wpisują się w dotychczasowe plany przeciwdziałania negatywnym skutkom zmian klimatu, takie jak chociażby unijna inicjatywa „Fit for 55”, dając nadzieję, że nie ziści się ponura wizja świata targanego

⁴⁹ <https://www.greatgreenwall.org/about-great-green-wall> (dostęp: 22.08.2021).

konfliktami o ziemię uprawną, wodę pitną i żywność, w którym setki milionów ludzi będą musiały emigrować w poszukiwaniu nowego miejsca do życia.

Podsumowanie

Z oczywistych względów nie jest możliwe wyczerpujące przedstawienie wszystkich aspektów związanych z technologiami leżącymi u podstaw Gospodarki 4.0, wszystkich związanych z nimi korzyści oraz potencjalnych zagrożeń. Nie zmienia to faktu, że technologie te nieustannie się rozwijają, pojawiają się coraz to nowsze ich zastosowania, a rosnąca liczba dostawców nowych produktów i usług cyfrowych przekłada się na rozwój cyfrowego ekosystemu Gospodarki 4.0. Zaprezentowane dane dotyczące poszczególnych rynków tworzących cyfrową gospodarkę przyszłości mogą sprawiać wrażenie zwykłej ekstrapolacji, jednak w miarę gruntowna analiza coraz liczniejszej literatury przedmiotu uprawdopodobnia tezę o dalszym, szybkim rozwoju tych technologii i rynków⁵⁰. Tych tendencji nie zakłóciła nawet obecna pandemia koronawirusa — wręcz przeciwnie, za sprawą tej sytuacji nadzwyczajnej prace nad wieloma innowacjami z obszaru Przemysłu 4.0 nabrały jeszcze większej dynamiki. Było to po części spowodowane „pandemicznym popytem” na technologie zdalne i mobilne zapewniające odpowiedni poziom bezpieczeństwa użytkownikom. Biorąc jednak pod uwagę ostrzeżenia, że zmiany cywilizacyjne i klimatyczne będą wiązać się w występowaniem w przyszłości podobnych globalnych kryzysów epidemicznych⁵¹, zaawansowane technologie, w tym rozwiązania dostępne w ramach Gospodarki 4.0, powinny umożliwić ludzkości zmierzenie się z tymi wyzwaniami.

Warto podkreślić, że do najważniejszych czynników determinujących rozwój Gospodarki 4.0 należy przede wszystkim zaliczyć stan infrastruktury technicznej oraz poziom edukacji. Bez niezbędnych inwestycji w rozbudowę i unowocześnienie infrastruktury energetycznej i telekomunikacyjnej, w tym sieci bezprzewodowych kolejnych generacji, trudno sobie wyobrazić dalszy niezakłócony rozwój technologii cyfrowych. Z kolei przywoływany postulat rozwijania kompetencji cyfrowych i promowania nowoczesnych narzędzi edukacyjnych, takich jak e-learning czy metody podnoszenia umiejętności bazujące na sztucznej inteligencji, dotyczy nie tylko krajów wyżej rozwiniętych, ale również, a może przede wszystkim, znajdujących się na niższym poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego. Co ważne, nie chodzi już tylko o podstawowe umiejętności cyfrowe, takie jak korzystanie z wyszukiwarek internetowych czy

⁵⁰ Autor ma pełną świadomość, że prognozowanie dalszego rozwoju zjawisk zaprezentowanych w niniejszej publikacji może być obarczone dużym błędem, w szczególności w czasach charakteryzujących się znaczną niepewnością i ryzykiem. Z tego względu, jak również z powodu obiektywnych trudności z dostępem do szczegółowych danych statystycznych, nie podjęto próby skonstruowania własnych modeli prognostycznych. Pewne rozbieżności dotyczące klasyfikacji krajów czy podziałów rynków wynikają z kolei z odmiennej metodologii wykorzystywanej w przywoływanych raportach dotyczących rozwoju Gospodarki 4.0.

⁵¹ <https://wyborcza.pl/7,75399,21392829,bill-gates-przygotujcie-sie-na-globalna-pandemie-i-smierc-30.html>; <https://www.gatesnotes.com/Health/Pandemic-Innovation> (dostęp: 10.09.2021).

mediów społecznościowych, ale wiedzę i zdolności ułatwiające funkcjonowanie w cyfrowym ekosystemie i nawiązywanie interakcji z maszynami.

Rozwiązania oferowane w ramach Gospodarki 4.0 mają potencjał ograniczenia negatywnych skutków zmian klimatycznych oraz dalszego zmniejszania różnego rodzaju nierówności w skali globalnej. Poza współpracą międzynarodową na poziomie rządów i instytucji międzynarodowych, sukces tej cyfrowej transformacji zależy w dużym stopniu od polityki wielkich koncernów technologicznych. Jeśli te podmioty nadal będą przedkładały interes korporacyjny (co jest często uzasadniane interesem akcjonariuszy) nad szeroko rozumiany interes społeczny, zmiany towarzyszące rozwojowi Gospodarki 4.0 przyniosą korzyści relatywnie niewielkiej części interesariuszy, w szczególności wywodzących się z krajów bogatej Północy. W konsekwencji takie egoistyczne podejście, zaprezentowane niewątpliwie w czasie obecnej pandemii, jeszcze bardziej pogłębi globalne nierówności i zacofanie krajów ubogiego Południa, jak również przyczyni się do narastania zjawiska cyfrowego neokolonializmu. W kontekście zmian klimatycznych może to skutkować globalną destabilizacją, czemu będą prawdopodobnie towarzyszyć wielkie migracje Południe-Północ, konflikty o różnym podłożu oraz erozja dotychczasowych systemów polityczno-gospodarczych.

Zakładając prawdziwość deklaracji największych firm kształtujących ekosystem Gospodarki 4.0, że będą one aktywnie wspierać upowszechnianie technologii cyfrowych nie tylko w krajach bogatych, ale również w regionach biedniejszych, istnieją pewne szanse na zmniejszenie nierówności społecznych. Aby było to możliwe, konieczna jest współpraca nad opracowywaniem standardów technicznych oraz przepisów prawa dostosowanych do zmieniających się realiów gospodarki światowej. Niemniej ważne jest podejmowanie inicjatyw podobnych do ruchu otwartego oprogramowania (*open source*), dzięki którym ekosystem cyfrowy będzie charakteryzował się większą inkluzywnością oraz możliwościami dalszej rozbudowy. Zaangażowanie różnych podmiotów, zarówno publicznych, jak i prywatnych, w rozwój Gospodarki 4.0 pozwoli zatem na szybsze i efektywniejsze rozwiązywanie problemów lokalnych i ponadregionalnych, w szczególności związanych ze zmianami klimatu.

Spis tabel i rysunków

Tabele

1.1. Etapy ewolucji międzynarodowego podziału pracy.....	8
1.2. Wybrane najważniejsze wynalazki w XIX oraz w pierwszej połowie XX wieku.....	12
1.3. Wybrane wskaźniki rozwoju społeczeństwa sieciowego w latach 1990–2019	15
1.4. Wartość dodana i produktywność w sektorach gospodarki w latach 2000–2019.....	19
1.5. Struktura nakładów brutto na B+R według sektora i rodzaju prac B+R w 2018 roku	23
1.6. Rewolucje techniczne w rolnictwie.....	28
1.7. Główne megatrendy w Gospodarcie 4.0	30
2.1. Wybrane wskaźniki rozwoju cyfrowego	41
2.2. Kraje o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych (w szt.)	44
2.3. Zasób operacyjny robotów przemysłowych wg wybranych branż w latach 1995–2019 (w szt.)	46
2.4. Porównanie zastosowań robotów usługowych w roku 2010 i 2020	51
2.5. Rozwój rynku dronów komercyjnych w latach 2016–2025.....	57
2.6. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 najważniejszych regionach.....	66
2.7. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 najważniejszych sektorach	67
2.8. Internet rzeczy — liczba połączonych urządzeń oraz przychody w latach 2019 i 2030 w 10 głównych zastosowaniach	68
2.9. Wpływ wprowadzenia rozwiązań SI na koszty i przychody organizacji w 2019 roku (w procentach).....	89
2.10. Globalne zastosowania SI w wybranych branżach w 2020 roku (w procentach)	89
3.1. Rozwój społeczny krajów z różnych grup dochodowych w 2000 i 2019 roku.....	99
3.2. Dysproporcje sektorowe grup dochodowych w latach 2000 i 2019	102
3.3. Wartości indeksu dostępności i jakości usług zdrowotnych w latach 1990–2015.....	105
3.4. Publiczne i prywatne wydatki <i>per capita</i> na ochronę zdrowia w latach 2000 i 2018....	105
3.5. Szerokopasmowy dostęp do Internetu w latach 2010–2019	109
3.6. Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM _{2,5} w latach 1990–2017.....	116

Rysunki

1.1. Cztery etapy rewolucji przemysłowej	10
1.2. Najważniejsze osiągnięcia trzeciej rewolucji przemysłowej	13
1.3. Użytkownicy wybranych mediów społecznościowych w latach 2005–2019 (w milionach)	16
1.4. Wartość eksportu towarów i usług w latach 1960–2020.....	17
1.5. Relacja wartości eksportu towarów do wartości eksportu usług w latach 1975–2020 ..	18
1.6. Nakłady brutto na środki trwałe i napływ netto zagranicznych inwestycji bezpośrednich w latach 1970–2019	20
1.7. Udział trzech rodzajów prac B+R w wybranych krajach w 2018 roku	24
1.8. Zalety modelu produkcji zgodnej z koncepcją 4IR.....	26
1.9. Ekosystemy innowacji i nowych technologii w ramach koncepcji 4IR.....	27
1.10. Bieżące i prognozowane trendy wprowadzania technologii informatycznych w organiza- cjach w Europie i Ameryce Płn. w 2020 roku (procent wskazań)	31
1.11. Globalny ekosystem Internetu rzeczy	37
2.1. Podział krajów pod względem stopnia gotowości na Gospodarkę 4.0	42
2.2. Globalna liczba instalacji (skala prawa) i zasób operacyjny (skala lewa) robotów przemy- słowych w latach 1993–2019 (w tys. szt.)	43
2.3. Regiony o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych w roku 1995 (wy- kres lewy) i 2019 (wykres prawy).....	45
2.4. Globalne branże o największej dynamice zasobu operacyjnego robotów przemysłowych w latach 1993–2019 (w tys. szt.).....	47
2.5. Pięć krajów o największym zasobie operacyjnym robotów przemysłowych w 2019 roku wg branż	48
2.6. Prognozowany rozwój rynku robotów towarzyszących w latach 2020–2026 (w mln USD)	49
2.7. Liczba wielozadaniowych robotów przemysłowych przypadająca na 10000 zatrudnio- nych w przemyśle wytwórczym w wybranych krajach (skala lewa) i zmiana w latach 2010-2019 (skala prawa).....	50
2.8. Wielkość globalnego rynku robotów przemysłowych w latach 2021–2027 (w mld USD)	53
2.9. Prognozowane globalne wydatki na roboty i drony w latach 2019–2020 (w mld USD)	55

2.10. Prognozowany rozwój rynku dronów komercyjnych w latach 2015–2021	56
2.11. Globalne inwestycje w branżę dronów komercyjnych w latach 2008–2019	58
2.12. Globalne wydatki na drony komercyjne w wybranych krajach w latach 2017–2021 (w mld USD)	59
2.13. Prognozowana wielkość globalnego rynku dronów komercyjnych w 2024 roku wg regionów (w mld USD)	59
2.14. Potencjalne zmiany produktywności wieloczynnikowej wynikające z komercyjnych zastosowań dronów w Wielkiej Brytanii w 2030 roku (w proc.)	60
2.15. Główne czynniki wzrostu wydatków na Internet rzeczy w 2019 roku (w proc.)	63
2.16. Internet rzeczy — globalne przychody roczne i liczba połączonych urządzeń w latach 2019–2030	64
2.17. Kraje o największych wydatkach na Internet rzeczy w 2019 roku (w mld USD)	65
2.18. Rynek przemysłowego Internetu rzeczy (Industrial IoT) w latach 2017–2025 wg regionów (w mld USD)	69
2.19. Rynek rolniczego Internetu rzeczy (IoT in Agriculture) w latach 2020–2025 wg regionów (w mln USD)	70
2.20. Globalne wydatki na rozwiązania z zakresu druku 3D w latach 2014–2024 (w mld USD)	73
2.21. Wielkość światowego rynku druku 3D w latach 2020–2026 (w mld USD)	74
2.22. Wielkość inwestycji w rozwiązania z zakresu druku 3D w latach 2015–2020	75
2.23. Prognozowane wydatki na drukarki 3D w 2019 roku wg regionów	76
2.24. Udział w światowym rynku druku 3D w 2018 roku (w procentach)	77
2.25. Główne zastosowania druku 3D w 2018 roku (w procentach)	78
2.26. Materiały najczęściej wykorzystywane w wydrukach 3D w 2020 roku (w procentach)	79
2.27. Całkowita liczba opublikowanych patentów z zakresu druku 3D wg krajów w latach 2010 i 2018	80
2.28. Globalna ilość wytwarzanych, gromadzonych, kopiowanych i zużywanych danych/informacji w latach 2010–2025 (w zettabajtach)	83
2.29. Znaczenie danych przy podejmowaniu decyzji w organizacjach w wybranych krajach w 2020 roku (w procentach)	84
2.30. Globalne przychody na rynku oprogramowania SI w latach 2018–2025 (w mld USD)	85

2.31. Globalne przychody z Big Data i oprogramowania analitycznego w latach 2011–2019 (w mld USD)	86
2.32. Łączne globalne inwestycje korporacyjne na SI w latach 2015–2020 (w mld USD)..	87
2.33. Przyczyny wprowadzenia rozwiązań SI w firmach (w procentach)	88
2.34. Globalne wydatki na systemy zrobotyzowanej/inteligentnej automatyzacji procesów (RPA/IPA) oraz automatyzacji z wykorzystaniem SI w latach 2016–2023 (w mld USD)	90
2.35. Globalne przychody z systemów SI bazujących na obliczeniach wysokiej wydajności (HPC) w latach 2018–2024 (w mln USD)	91
2.36. Prognozowany wpływ technologii IR4 na organizacje (w procentach).....	94
3.1. Mediana wieku mieszkańców świata w 2020 roku wg regionów	96
3.2. Zmiany struktury wiekowej populacji świata w latach 2015–2100 (w mld)	97
3.3. Liczba ludności w grupach krajów wg dochodu w latach 1960–2020 (w mld).....	98
3.4. Wartość wskaźnika rozwoju społecznego (HDI) a wartość indeksu Giniego dla wybra- nych krajów w 2015 roku.....	100
3.5. Struktura wykształcenia ludności świata w latach 1970–2100 (w mld)	103
3.6. Liczba osób w wieku powyżej 15 lat bez wykształcenia w latach 1970–2050.....	104
3.7. Struktura wydatków na ochronę zdrowia w wybranych grupach krajów i regionach w 2018 roku	106
3.8. Odsetek internautów w wybranych grupach krajów w latach 1990–2017.....	108
3.9. Podział krajów ze względu na wartość wskaźnika rozwoju technologii informacyjno-ko- munikacyjnych IDI 2017.....	110
3.10. Zużycie energii <i>per capita</i> w wybranych regionach świata w latach 1990–2019.....	111
3.11. Dostęp do elektryczności na świecie w 2019 roku.....	112
3.12. Udział wyrobów o średnim i wysokim poziomie zaawansowania technicznego w pro- dukcji przemysłowej ogółem w latach 2000–2018 (w procentach).....	113
3.13. Wielkość emisji CO ₂ <i>per capita</i> w wybranych regionach w latach 1900–2019 (w tonach)	114
3.14. Wpływ podniesienia się temperatury powierzchni Ziemi o 2°C na roczny wzrost PKB <i>per capita</i>	117

Literatura

1. 3D Hubs (2018). *Digital Manufacturing Trends Q3/2018*, https://downloads.hubs.com/Digital_Manufacturing_Trends_Q3-2018.pdf (dostęp: 11.08.2021).
2. 3D Hubs (2019). *3D Printing Trends Q1 2019*, https://downloads.hubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf (dostęp: 11.08.2021).
3. 3D Hubs (2020). *3D printing trends 2020. Industry highlights and market trends*, https://downloads.hubs.com/3D_printing_trends_report_2020.pdf (dostęp: 11.08.2021).
4. 3D Hubs (2021). *Additive Manufacturing Trend Report 2021*, <https://www.hubs.com/get/trends/> (dostęp: 11.08.2021).
5. Albertson M. (2018). *Software, not hardware, will catapult big data into a \$103B business by 2027*, siliconANGLE, <https://siliconangle.com/2018/03/09/big-data-market-hit-103b-2027-services-key-say-analysts-bigdatasv/> (dostęp: 10.08.2021).
6. Algorithmia (2020). *2021 enterprise trends in machine learning*, https://info.algorithmia.com/hubfs/2020/Reports/2021-Trends-in-ML/Algorithmia_2021_enterprise_ML_trends.pdf (dostęp: 12.08.2021).
7. Ammanath B., Jarvis D., Hupfer S. (2020). *Thriving in the era of pervasive AI*, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/cognitive-technologies/state-of-ai-and-intelligent-automation-in-business-survey.html> (dostęp: 14.08.2021).
8. Arnett G. (2015). *The numbers behind the worldwide trade in drones*, The Guardian, <https://www.theguardian.com/news/datablog/2015/mar/16/numbers-behind-worldwide-trade-in-drones-uk-israel> (dostęp: 15.07.2021).
9. Association for Advancing Automation (2016). *How Robots Cut Costs*, <https://www.automate.org/blogs/how-robots-cut-costs> (dostęp: 02.08.2021).
10. Barnatt Ch. (2013). *3D Printing. The Next Industrial Revolution*, ExplainingTheFuture.com.
11. Barrat J. (2015). *Our Final Invention. Artificial Intelligence and the End of the Human Era*, Thomas Dunne Books, New York.
12. Bendkowski J. (2017). Zmiany w pracy produkcyjnej w perspektywie koncepcji „Przemysł 4.0”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 112, s. 21–33.
13. Bendyk E. (2021a). Droga bez powrotu, *Polityka*, 24 sierpnia.
14. Bendyk E. (2021b). Władcy Metawersum, *Polityka*, 1 września.

15. Bergen P., Salyk-Virk M., Sterman D. (2020). *World of Drones*, <https://www.newamerica.org/international-security/reports/world-drones/> (dostęp: 10.08.2021).
16. Bingham A., Spradlin D. (2011). *The Open Innovation Marketplace. Creating Value in the Challenge Driven Enterprise*, FT Press, Upper Saddle River, New Jersey.
17. BIS Research (2017). *Global 3D Printing Software & Services Market – Analysis and Forecast (2017 to 2021)*, <https://bisresearch.com/industry-report/global-3d-printing-software-services-market-2021.html> (dostęp: 10.08.2021).
18. BIS Research (2021). *Agriculture Technology-as-a-Service Market – A Global and Regional Analysis*, <https://bisresearch.com/industry-report/global-agriculture-technology-service-market.html> (dostęp: 10.08.2021).
19. Bobowski S. (2012). Międzynarodowy podział pracy w gospodarce globalnej XXI wieku. Wyzwania gospodarki globalnej, *Prace i Materiały Instytutu Handlu Zagranicznego Uniwersytetu Gdańskiego*, nr 31, s. 185–198.
20. Boedecker H. (2020). *Money Talks: 2019 Drone Investments Break New Records*, DRONEII - Drone Industry Insights, <https://droneii.com/money-talks-2019-drone-investments-break-new-records> (dostęp: 20.07.2021).
21. Bostrom N. (2014). *Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies*, Oxford University Press, Oxford.
22. Bożyk P., Misala J., Puławski M. (2002). *Międzynarodowe stosunki ekonomiczne*, PWE, Warszawa.
23. Buckley P.J., Ghauri P.N. (2004). Globalisation, economic geography and the strategy of multinational enterprises, *Journal of International Business Studies* 35, s. 81–98.
24. Canonical (2017). *Defining IoT Business Models*, https://pages.ubuntu.com/rs/066-EOV-335/images/Canonical_Defining%20IoT%20Business%20Models_Final.pdf (dostęp: 06.08.2021).
25. Capgemini (2020a). *Climate AI. How artificial intelligence can power your climate action strategy*, <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2020/12/Report-Climate-AI.pdf> (dostęp: 12.08.2021).
26. Capgemini (2020b). *The Data-Powered Enterprise*, https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2020/11/Data-powered-enterprise_Digital_Report.pdf (dostęp: 12.08.2021).
27. Castells M. (2001). *The Internet Galaxy. Reflections on the Internet, Business, and Society*, Oxford University Press, New York.

28. Castellano F. (2017). *Commercial Drones Are Revolutionizing Business Operations*, <https://www.toptal.com/finance/market-research-analysts/drone-market> (dostęp: 05.08.2021).
29. Cellary W. (2019). Non-Technical Challenges of Industry 4.0. W: *Collaborative Networks and Digital Transformation*. Red. L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanech, D. Antonelli, „IFIP Advances in Information and Communication Technology”, vol. 568.
30. Chesbrough H. (2006). *Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
31. Cisco Systems (2019). *Digital Readiness Index 2019*, https://www.cisco.com/c/m/en_us/about/corporate-social-responsibility/research-resources/digital-readiness-index.html#/ (dostęp: 15.07.2021).
32. Compagnucci S., Della Porta M.R., Marcotullio G., Massaro G. (2016). *Internet of Things and 5G Revolution*, Foundation Astrid, http://www.astrid-online.it/static/upload/stud/studio-i-com_internet_5g_.pdf (dostęp: 06.08.2021).
33. Czubkowska S. (2020). *Jak Chiny chcą przejąć Europę Środkową? Spójrzmy na Afrykę, to tam teraz eksperymentują*, <https://wyborcza.pl/Jutronauci/7,165057,25965124,afryka-na-podsluchu.html> (dostęp: 05.07.2021).
34. Ćwiek M., Ćwiklicki M., Firszt D., Jabłoński M., Laurisz N., Pacut A., Sołtysik M. (2021). *Cyfryzacja i rynek pracy*, Małopolska Szkoła Administracji Publicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.
35. DataReportal (2021). *Digital 2021: Global Overview Report*, <https://datareportal.com/reports/digital-2021-global-overview-report> (dostęp: 26.08.2021).
36. Deloitte (2020a). *Internet of Things (IoT). The rise of the connected world*, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/in/Documents/technology-media-telecommunications/in-tmt-IoT_TheRiseoftheconnectedworld-28aug-noexp.pdf (dostęp: 10.08.2021).
37. Deloitte (2020b). *2020 Deloitte Global Human Capital Trends*, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/us43244_human-capital-trends-2020/us43244_human-capital-trends-2020/di_hc-trends-2020.pdf (dostęp: 10.08.2021).
38. Dicken P. (2011). *Global Shift. Mapping the Changing Contours of the World Economy*, SAGE, London.
39. Drone Industry Insights (2020). *Global Drone Market Report 2020-2025*, <https://droneii.com/product/drone-market-report-2020-2025> (dostęp: 08.08.2021).

40. Duszczyk M. (2019). Polacy otwierają się na inteligentny sprzęt. Czego oczekujemy? *Rzeczpospolita*, 27 listopada.
41. Dutta S., Lanvin B. (2020). *The Network Readiness Index 2020. Accelerating Digital Transformation in a post-COVID Global Economy*, Portulans Institute, Washington.
42. ETNO (2019). *The State of Digital Communications 2019. Ideas, facts and figures on the sector — Annual Economic Report*, European Telecommunications Network Operators' Association, <https://etno.eu/downloads/reports/thestateofdigitalcommunications2019final-pages.pdf> (dostęp: 10.08.2021).
43. Everett H. (2021). *3D Hubs AM Trends Report reveals 3D printing grew 21% despite Covid-19*, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-hubs-am-trends-report-reveals-3d-printing-grew-21-despite-covid-19-189087/> (dostęp: 10.08.2021).
44. Ford M. (2015). *The Rise of the Robots. Technology and the Threat of Mass Unemployment*, Oneworld Publications, London.
45. Franczyk B., Korczak J., Tabakow M. (2014). Big Data – definicje, wyzwania i technologie informatyczne, *Informatyka Ekonomiczna = Business Informatics*, Nr 1 (31), s. 138–153.
46. Gershenfeld N. (2000). *When Things Start to Think*, Henry Holt, New York.
47. Goldman Sachs (2016). *Drones: Reporting for Work*, Goldman Sachs Research, <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/> (dostęp: 15.07.2021).
48. Govindarajan V., Trimble Ch. (2012). *Reverse Innovation. Create Far From Home, Win Everywhere*, Harvard Business Review Press, Boston, MA.
49. Grodner M., Kokot W., Kolenda P., Krejtz K., Legoń A., Rytel P., Wierzbński R. (2016). *Internet Rzeczy w Polsce*, IAB Polska, <https://www.iab.org.pl/wp-content/uploads/2016/05/Raport-Internet-Rzeczy-w-Polsce.pdf> (dostęp: 10.08.2021).
50. Gryczka M. (2007). Ewolucja międzynarodowego podziału pracy. W: *Międzynarodowe stosunki gospodarcze. Wybrane zagadnienia*. Red. J. Dudziński, H. Nakonieczna-Kisiel, Wyd. Zachodniopomorskiej Szkoły Biznesu w Szczecinie, Szczecin.
51. Gryczka M. (2013). *Znaczenie Internetu jako otwartego środowiska wymiany wiedzy we współczesnej gospodarce światowej*, Wyd. wolumina.pl, Szczecin.
52. GSMA (2012). *The Mobile Economy 2021*, https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/06/GSMA_MobileEconomy2021.pdf (dostęp: 02.07.2021).
53. GSMA (2019). *Internet of Things in the 5G Era. Opportunities and Benefits for Enterprises and Consumers*, <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/11/201911-GSMA-IoT-Report-IoT-in-the-5G-Era.pdf> (dostęp: 02.07.2021).

54. Hägele M. (2010). *World Robotics 2010 – Service Robots*, IFR Statistical Department, Frankfurt am Main.
55. Hertsgaard M. (2011). *The Great Green Wall: African Farmers Beat Back Drought and Climate Change with Trees*, <https://www.scientificamerican.com/article/farmers-in-sahel-beat-back-drought-and-climate-change-with-trees/> (dostęp: 22.08.2021).
56. Harvey Nash Group (2021). *Technology and Talent Study 2021*, https://assets.website-files.com/5da4969031ca1beeb3e008e0/605c56307ee2be18862e9456_HarveyNash-GroupTT2021.pdf (dostęp: 16.08.2021).
57. Hetmańczyk M. (2020). *7 kroków do zaawansowanej produkcji w fabryce przyszłości*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/7-krokow-do-zaawansowanej-produkcji-w-fabryce-przyszlosci/> (dostęp: 10.07.2021).
58. Hickel J. (2021). To nie granice wzrostu są dziś naszym problemem, *Krytyka Polityczna*, 12 lipca.
59. Hoffmann M. (2019). *How can 5G Accelerate the Internet of Things (IoT)?* <https://www.globalxetfs.com/how-can-5g-accelerate-iot/> (dostęp: 14.08.2021).
60. Hyperion Research (2020). *SC20 Virtual Market Update*, https://hyperionresearch.com/wp-content/uploads/2020/11/SC20-HPC-Market-Update_11.17.20.pdf (dostęp: 14.08.2021).
61. IDC (2020a). *IDC Worldwide Semiannual Robotics and Drones Spending Guide*, International Data Corporation, https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?containerId=IDC_P33201 (dostęp: 15.07.2021).
62. IDC (2020b). *Worldwide Big Data and Analytics Software Market Shares, 2019: Investment in Data Continues*, https://idcdocserv.com/IDC_Shares_Excerpt_deck_for_SAS_Final_Draft (dostęp: 12.08.2021).
63. Interactive Advertising Bureau (2016). *Raport: Internet Rzeczy w Polsce*, <https://www.iab.org.pl/wp-content/uploads/2016/05/Raport-Internet-Rzeczy-w-Polsce.pdf> (dostęp: 15.07.2021).
64. IPlytics (2019). *Patent and litigation trends for 3D printing technologies*, IPlytics GmbH, <https://www.iplytics.com/report/patent-litigation-trends-3d-printing/> (dostęp: 10.08.2021).
65. Istrate E., Harris J. (2017). *The Future of Work. The Rise of the Gig Economy*, <https://www.naco.org/featured-resources/future-work-rise-gig-economy> (dostęp: 10.09.2021).
66. ITU (2017). *Measuring the Information Society Report. Volume 1*, International Telecommunication Union, Geneva.

67. James J. (2003). *Bridging the Global Digital Divide*, Edward Elgar Publishing, Northampton.
68. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (dostęp: 15.06.2021).
69. Kenworthy R. (2019). *The 5G And IoT Revolution Is Coming: Here's What To Expect*, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/11/18/the-5g-iot-revolution-is-coming-heres-what-to-expect/?sh=4ff857bd6abf> (dostęp: 14.08.2021).
70. Kurzweil R. (2006). *The Singularity is Near. When Humans Transcend Biology*, Penguin Books, New York.
71. Kurzweil R. (2012). *How to Create a Mind. The Secret of Human Thought Revealed*, Penguin Books, New York.
72. Lambrechts W., Klaver J.S., Koudijzer L., Semeijn J. (2021). Human Factors Influencing the Implementation of Cobots in High Volume Distribution Centres, *Logistics*, 5, 32, s. 1–24.
73. Lee K. (2013). Capability Failure and Industrial Policy to Move beyond the Middle-Income Trap: From Trade-based to Technology-based Specialization. W: *The Industrial Policy Revolution I. International Economic Association Series*. Red. J.E. Stiglitz, J.Y. Lin, Palgrave Macmillan, London.
74. LexisNexis PatentSight (2021). *The 5th Intellectual Property Report of KPMG Law 2020/21*, <https://www.patentsight.com/kpmg-law-global-intellectual-property-report> (dostęp: 10.08.2021).
75. Li Y., Kalnay E., Motesharrei S., Rivas J., Kucharski F., Kirk-Davidoff D., Bach E., Zeng N. (2018). Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation, *Science*, 361(6406), s. 1019–1022.
76. Lindegaard S. (2010). *The Open Innovation Revolution. Essentials, Roadblocks and Leadership Skills*, Wiley, Hoboken, New Jersey.
77. Lutz W., Butz W.P., Samir KC (2014). *World Population and Human Capital in the Twenty-First Century*. Oxford University Press, Oxford.
78. Łukasik K. (2020). Cyfrowy kolonializm. Jak Facebook podbija Globalne Południe? *Polityka*, 27 grudnia, <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/swiat/1995196,1,cyfrowy-kolonializm-jak-facebook-podbija-globalne-poludnie.read> (dostęp: 14.04.2021).

79. MacGillivray C., Reinsel D. (2020). *Worldwide Global DataSphere IoT Device and Data Forecast, 2020–2024*, IDC, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US46718220> (dostęp: 24.07.2021).
80. Marciniak S. (2010). *Innowacyjność i konkurencyjność gospodarki*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
81. Mazzucato M. (2015). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*, PublicAffairs, New York.
82. McKinsey (2020). *Global AI survey: The state of AI in 2020*, [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business Functions/McKinsey Analytics/Our Insights/Global survey The state of AI in 2020/Global-survey-The-state-of-AI-in-2020.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Global%20survey%20The%20state%20of%20AI%20in%2020/Global-survey-The-state-of-AI-in-2020.pdf)
83. MIT (2020). *The Global AI Agenda: Promise, reality, and a future of data sharing*, MIT Technology Review Insights, <https://mittrinsights.s3.amazonaws.com/AIagenda2020/GlobalAIagenda.pdf> (dostęp: 16.08.2021).
84. Müller Ch., Graf B., Pfeiffer K., Bieller S., Kutzbach N., Röhricht K. (2020). *World Robotics 2020 – Service Robots*, IFR Statistical Department, Frankfurt am Main.
85. Müller Ch., Kutzbach N. (2020). *World Robotics 2020 – Industrial Robots*, IFR Statistical Department, Frankfurt am Main.
86. Muro M., Maxim R., Whiton J. (2019). *Automation and Artificial Intelligence. How Machines are Affecting People and Places*, Metropolitan Policy Program at Brookings, Washington.
87. Pariser E. (2011). *The Filter Bubble: How the New Personalized Web Is Changing What We Read and How We Think*, Penguin Books, New York.
88. Parlament Europejski (2020). *Sztuczna inteligencja: co to jest i jakie ma zastosowania?*, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20200827STO85804/sztuczna-inteligencja-co-to-jest-i-jakie-ma-zastosowania> (dostęp: 15.07.2021).
89. Parlament Europejski (2021). *Big data: definicja, korzyści, wyzwania (infografika)*, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20210211STO97614/big-data-definicja-korzysci-wyzwania-infografika> (dostęp: 15.07.2021).
90. Patrzył A. (2020). *Artificial life, humanoidy i egzoszkielety. Roboty zmieniają sposób w jaki żyjemy i zabijamy*, <https://forsal.pl/lifestyle/technologie/artykuly/8043296,najwieksze-osiegnięcia-robotyka-najbardziej-zaawansowane-roboty-na-swiecie.html> (dostęp: 16.12.2020).
91. Piątek Z. (2017). *Czym jest Przemysł 4.0?*, <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/> (dostęp: 15.06.2021).

92. Piłkuła R. (2021). *Metawersum. Tak będzie wyglądał Internet przyszłości?* <https://homodigital.pl/metawersum-tak-bedzie-wygladal-internet-przyszlosci/> (dostęp: 10.09.2021).
93. Poprzeczko J. (2021). Smok rusza głową, *Polityka*, 7 lipca.
94. Pretis F., Schwarz M., Tang K., Haustein K., Allen M.R. (2018). Uncertain impacts on economic growth when stabilizing global temperatures at 1.5°C or 2°C warming, *Philosophical Transactions of The Royal Society A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376 (2119).
95. PwC (2018). *Skies without limits. Drones – taking the UK's economy to new heights*, PricewaterhouseCoopers, <https://www.pwc.co.uk/intelligent-digital/drones/Drones-impact-on-the-UK-economy-FINAL.pdf> (dostęp: 15.07.2021).
96. Rana P., Roy V. (2015). Generic medicines: Issues and relevance for global health, *Fundam Clin Pharmacol.*, 29, s. 529–42.
97. Ransbotham S., Khodabandeh S., Kiron D., Candelon F., Chu M., LaFountain B. (2020). Expanding AI's Impact With Organizational Learning, *MIT Sloan Management Review and Boston Consulting Group*, October.
98. Raworth K. (2021). *Ekonomia obwarzanka. Siedem sposobów myślenia o ekonomii XXI wieku*, Wyd. Krytyki Politycznej, Warszawa.
99. Rifkin J. (2012). *Trzecia rewolucja przemysłowa*, Wydawnictwo Sonia Draga, Katowice.
100. Ritchie H., Roser M. (2019). *Outdoor Air Pollution*, OurWorldInData.org, <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution> (dostęp: 30.08.2021).
101. Rolecki M. (2020). *Automatyzacja zwiększa nierówności*, <https://www.sztucznainteligen-cja.org.pl/automatyzacja-zwieksza-nierownosci/> (dostęp: 20.08.2021).
102. Rosińska-Bukowska M. (2009). *Rola korporacji transnarodowych w procesach globalizacji. Kreowanie globalnej przestrzeni biznesowej*, Wydawnictwo Adam Marszałek – Dom Wydawniczy Duet, Toruń.
103. Rosling H., Rosling O., Rosling-Rönnlund A. (2018). Factfulness. *Dlaczego świat jest lepszy, niż myślimy, czyli jak stereotypy zastąpić realną wiedzą*, Media Rodzina, Poznań.
104. Sheridan T.B. (2016). Human–Robot Interaction: Status and Challenges, *Human Factors*, 58(4), s. 525–532.
105. Schoder D. (2018). Introduction to the Internet of Things. W: *Internet of Things A to Z: Technologies and Applications*. Red. Q.F. Hassan, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

106. Schubmehl D. (2020). *Worldwide Artificial Intelligence Software Platforms Market Shares, 2019: The Battle Has Begun*, IDC, <https://www.ibm.com/downloads/cas/RGN4EOZK> (dostęp: 10.08.2021).
107. Schumpeter J. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill, London.
108. Schwab K. (2018). *Czwarta rewolucja przemysłowa*, Wydawnictwo Studio Emka, Warszawa.
109. Sculpteo (2015). *The State of 3D Printing*, https://www.sculpteo.com/static/0.30.0-64/download/report/Sculpteo_State_of_3D_Printing.pdf (dostęp: 12.08.2021).
110. Sculpteo (2018). *The State of 3D Printing Report 2018*, <https://www.sculpteo.com/en/ebooks/state-of-3d-printing-report-2018/> (dostęp: 12.08.2021).
111. Sculpteo (2020). *The State of 3D Printing Report 2020*, <https://www.sculpteo.com/en/ebooks/state-of-3d-printing-report-2020/> (dostęp: 12.08.2021).
112. Sculpteo (2021). *The State of 3D Printing Report 2021*, [https://info.sculpteo.com/hubfs/downloads/The State of 3D Printing 2021.pdf](https://info.sculpteo.com/hubfs/downloads/The%20State%20of%203D%20Printing%202021.pdf) (dostęp: 12.08.2021).
113. Shosa P. (2015). *A Brief History of Quadcopters and Multirotors*, <http://www.eyendrones.com/brief-history-quadcopters-multirotors/> (dostęp: 20.07.2021).
114. Schroth L. (2019). *The Drone Market 2019-2024: 5 Things You Need to Know*, DRONEII - Drone Industry Insights, <https://droneii.com/the-drone-market-2019-2024-5-things-you-need-to-know#1525106654181-a2b63cd6-e0c3> (dostęp: 20.07.2021).
115. Skrzek K., Tomczyk J. (2020). *Nie tylko druk 3D – poznaj różnice pomiędzy drukiem 2.5D, 4D i 5D*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/nie-tylko-druk-3d-poznaj-roznice-pomiedzy-drukiem-2-5d-4d-i-5d/> (dostęp: 15.07.2021).
116. Słomski D. (2021). *Kryptowaluty zużywają więcej prądu niż cała Polska. Branża dostrzegła problem*, <https://www.money.pl/pieniadze/kryptowaluty-zuzywaja-wiecej-pradu-niz-cala-polska-branza-dostrzegla-problem-6650118557625216a.html> (dostęp: 10.09.2021).
117. Smit S., Tacke T., Lund S., Manyika J., Thiel L. (2020). *The future of work in Europe. Automation, workforce transitions, and the shifting geography of employment*, McKinsey Global Institute.

118. Soriano J. i in. (2013). Internet of Services. W: *Evolution of Telecommunication Services. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7768. Red. E. Bertin, N. Crespi, T. Magedanz, Springer, Berlin, Heidelberg.
119. Spiceworks Ziff Davis (2020). *The 2021 State of IT. The Annual Report on IT Budgets and Tech Trends*, <https://swzd.com/resources/state-of-it/> (dostęp: 05.08.2021).
120. Stiehler A., Gantori S., Scheiner A. (2020). *Industry 4.0 and the IIoT: After COVID-19*, UBS Switzerland AG, <https://www.ubs.com/global/en/wealth-management/chief-investment-office/life-goals/executives-and-entrepreneurs/2020/industry-4-point-zero-after-covid-19.html> (dostęp: 10.08.2021).
121. Szymaniuk E., Zyguła A. (2009). *Cykliczne wahania aktywności gospodarczej*, Akademia Frycza Modrzejewskiego, Kraków.
122. Ślusarczyk P. (2019). *Czym jest druk 3D i jak działa?*, <https://centrumdruku3d.pl/czym-jest-druk-3d-i-na-czym-polega/> (dostęp: 15.07.2021).
123. Thales (2020). *The Changing Face of Data Security. 2020 Thales Data Threat Report — Global Edition*, https://cpl.thalesgroup.com/sites/default/files/content/research_reports_white_papers/field_document/2020-04/2020-data-threat-report.pdf (dostęp: 10.07.2021).
124. Tooze A. (2021). Zielona gospodarka jest możliwa technicznie i ekonomicznie. A politycznie? *Krytyka Polityczna*, 8 kwietnia.
125. Tractica (2016). *Consumer Drones (2Q 2016)*, www.tractica.com (dostęp: 15.07.2021).
126. Tractica (2019). *Projected commercial drone revenue worldwide from 2016 to 2025*, <https://www.statista.com/statistics/607922/commercial-drone-market-revenue-worldwide-projection/> (dostęp: 15.07.2021).
127. UKE (2020). *Badanie opinii publicznej w zakresie funkcjonowania rynku usług telekomunikacyjnych oraz preferencji konsumentów*, Urząd Komunikacji Elektronicznej, https://www.uke.gov.pl/download/gfx/uke/pl/defaultaktualnosci/36/374/8/badanie_rynku_uslug_relekomunikacyjnych_klienci_indywidualni__18.12.pdf (dostęp: 10.08.2021).
128. Wasielewska K. (2021). Ekonomia fuchy: jak Uberem wróciliśmy do XIX-wiecznych fabryk, *Krytyka Polityczna*, 3 września.
129. Wellhausen R.L. (2016). Recent Trends in Investor–State Dispute Settlement, *Journal of International Dispute Settlement*, 7(1), s. 117–135.

130. Willige A. (2021). *Africa is creating its own Great Wall - and it's green*, <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/land-restoration-africa-sahel-climate-change/> (dostęp: 22.08.2021).
131. World Bank (2021a). *How does the World Bank classify countries?*, <https://data-helpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378834-how-does-the-world-bank-classify-countries> (dostęp: 27.06.2021).
132. World Bank (2021b). *How are the income group thresholds determined?*, <https://data-helpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378833-how-are-the-income-group-thresholds-determined> (dostęp: 27.06.2021).
133. World Bank (2021c). *World Development Indicators*, <https://data-bank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (dostęp: 20.06.2021).
134. Zhang D., Mishra S., Brynjolfsson E., Etchemendy J., Ganguli D., Grosz B., Lyons T., Manyika J., Niebles J.C., Sellitto M., Shoham Y., Clark J., Perrault R. (2021). *The AI Index 2021 Annual Report*, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University, Stanford, CA.
135. Zorska A. (2007). *Korporacje transnarodowe. Przemiany, oddziaływania, wyzwania*, PWE, Warszawa.