



KATARZYNA ŚLEDZIEWSKA

Handel międzynarodowy 4.0

**Determinanty
współpracy gospodarczej
w dobie AI**



Wydawnictwo Naukowe
SCHOLAR

Handel międzynarodowy 4.0

KATARZYNA ŚLEDZIEWSKA

Handel międzynarodowy 4.0

**Determinanty
współpracy gospodarczej
w dobie AI**

Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR
Warszawa 2025



Recenzje:

prof. dr hab. Elżbieta Czarny

dr hab. inż. Janusz Zawiła-Niedźwiecki, prof. PW

Redakcja i korekta: Aleksandra Marczuk

Projekt okładki: Katarzyna Juras

Ilustracja na okładce: blojfo/Adobe Stock

Publikacja dofinansowana przez Uniwersytet Warszawski w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza”.

Copyright © 2025 by Wydawnictwo Naukowe Scholar Spółka z o.o., Warszawa

ISBN 978-83-68091-64-9

doi 10.7366/9788368091649

E-book udostępniony na licencji CC BY-NC 4.0

Wydawnictwo Naukowe Scholar Spółka z o.o.

ul. Oboźna 1, 00-340 Warszawa

tel./fax 22 692 41 18; 22 826 59 21; 22 828 93 91

dział handlowy: jak wyżej w. 108

e-mail: info@scholar.com.pl

www.scholar.com.pl

Wydanie pierwsze

Skład i łamanie: Dariusz Piskulak

Wydrukowano w Polsce

Spis treści

Prolog. Cła, algorytmy i nowa zależność	7
Wstęp	11
Dlaczego <i>Handel międzynarodowy 4.0</i> ? Jak czytać tę książkę	11
Zmiana reguł gry: od kontenerów do gigabitów	12
O czym jest ta książka i dla kogo	14
Luka badawcza i wkład książki: od DAP do dystansu cyfrowego	16
Struktura książki	18
1. Technologie cyfrowe jako infrastruktura transformacji gospodarczej	21
1.1. Wprowadzenie	21
1.2. Technologie cyfrowe w gospodarce	22
1.3. Warstwowa architektura technologii cyfrowych	24
1.4. Od technologii cyfrowych do wartości ekonomicznej: datafikacja, algorytmizacja i platformizacja (DAP)	32
1.5. Asymetrie cyfrowe jako źródło kosztów transakcyjnych	38
1.6. Podsumowanie	39
2. Transformacja cyfrowa a gotowość przedsiębiorstw	41
2.1. Wprowadzenie	41
2.2. Transformacja cyfrowa	42
2.3. Gotowość cyfrowa przedsiębiorstwa	48
2.4. Warunki skutecznej transformacji cyfrowej	51
2.5. Asymetrie w transformacji cyfrowej przedsiębiorstw	59
2.6. Podsumowanie	61
3. Transformacja i dojrzałość cyfrowa gospodarki	63
3.1. Wprowadzenie	63
3.2. Od ICT i Przemysłu 4.0 do gospodarki cyfrowej	64
3.3. DAP jako trzy „ramy” gospodarki cyfrowej: dane, algorytmy, platformy	66
3.4. Makromechanika gospodarki cyfrowej	68
3.5. Produktywność i pomiar	70
3.6. Warunki absorpcji technologii w skali gospodarki	71
3.7. Państwo jako architekt ładu cyfrowego	73
3.8. Gotowość cyfrowa gospodarki	75
3.9. Podsumowanie	76

4. Nowe podziały cyfrowe w gospodarce globalnej	78
4.1. Wprowadzenie	78
4.2. Globalizacja cyfrowa	80
4.3. Cyfrowe podziały gospodarek: od wykluczenia do dojrzałości	88
4.4. Mapowanie globalnych nierówności cyfrowych	92
4.5. Podziały cyfrowe w gospodarce światowej	100
4.6. Podsumowanie	107
5. Międzynarodowe sieci wartości dodanej	108
5.1. Wprowadzenie	108
5.2. Procesy transformacji cyfrowej a handel międzynarodowy	109
5.3. Nowe domeny wymiany międzynarodowej	118
5.4. Polityka handlowa wobec przełomu technologicznego: wyzwania i kierunki w dobie AI	123
5.5. Podsumowanie	134
6. Dystans cyfrowy jako nowa bariera w handlu międzynarodowym	136
6.1. Wprowadzenie	136
6.2. Potrzeba rozwoju podejść teoretycznych	137
6.3. Model grawitacyjny i koncepcja dystansu cyfrowego	144
6.4. Modelowanie wpływu dystansów cyfrowych na handel międzynarodowy	152
6.5. Podsumowanie	165
Zakończenie	167
Wyniki i wkład	168
Konsekwencje dla polityki gospodarczej	170
Kierunki dalszych badań	171
Aneks	173
Bibliografia	179

Prolog

Cła, algorytmy i nowa zależność

Jest jesień 2025 roku. Polityka handlowa zmienia się skokowo i w krótkich cyklach. Stany Zjednoczone wprowadziły mechanizm ceł wzajemnościowych rozporządzeniem z 2 kwietnia 2025 roku, a 31 lipca doprecyzowały jego konstrukcję. System podnosi stawki bazowe i wprowadza progi dla wybranych partnerów, w tym Unii Europejskiej, a szczegóły są korygowane kolejnymi aktami prezydenckimi i komunikatami w Federal Register. 11 sierpnia 2025 roku administracja prezydenta Donalda Trumpa przedłużyła o 90 dni rozejm taryfowy z Chinami, odsuwając eskalację i utrzymując tymczasowe stawki na niższych poziomach. W kolejnych miesiącach USA dokonały też częściowego obniżenia ceł na wybrane produkty rolno-spożywcze w celu złagodzenia presji cenowej na rynku wewnętrznym oraz podtrzymały wysokie taryfy sektorowe na stal, aluminium, miedź i samochody. Unia Europejska zakończyła postępowanie antysubsydyjne dotyczące chińskich samochodów elektrycznych i nałożyła cła sięgające w skrajnych przypadkach ok. 45%. Pekin odpowiedział przedłużeniem dochodzeń i działaniami odwetowymi w wybranych sektorach. Jednocześnie Chiny czasowo zawiesiły część restrykcji eksportowych dotyczących surowców krytycznych, co powiązano z szerszym porozumieniem stabilizującym relacje handlowe z USA. Porządek wielostronny nie odzyskał pełnej sprawczości. Organ apelacyjny *World Trade Organization* (WTO) pozostaje niewydolny, dlatego część członków korzysta z tymczasowego mechanizmu MPIA. Na Konferencji Ministerialnej WTO w 2024 roku przedłużono moratorium na cła od transmisji elektronicznych do 2026 roku. To oddala taryfizację usług cyfrowych, utrwała niepewność regulacyjną, nie rozstrzyga sporów o przepływy danych i regulację algorytmów.

Cła zachowują znaczenie, lecz rdzeń sporów handlowych przesuwają się do sfery cyfrowo-technologicznej. Coraz większą rolę odgrywają kontrole eksportu i importu technologii, kontrola inwestycji wychodzących w półprzewodnikach i sztucznej inteligencji, regulacje danych i przepisy platformowe. Po obu stronach Pacyfiku rośnie wykorzystanie prawa konkurencji do celów geoekonomicznych, co wzmacnia presję na dostawców chipów,

systemów operacyjnych i rozwiązań cyfrowych. Dobrym przykładem są samochody połączone (*connected cars*; w książce takie połączenie fizyczności z warstwą cyfrową traktuję jako przejaw zjawiska określanego w literaturze jako serwityzacja). Eksport takiego pojazdu nie kończy się na przewiezieniu nadwozia z napędem. Wraz z autem przekracza granicę oprogramowanie sterujące, zestaw czujników i modułów łączności, licencje na mapy i systemy multimedialne, klucze kryptograficzne potrzebne do aktualizacji zdalnej aktualizacji oprogramowania, a także stały strumień danych telemetrycznych i transakcyjnych. Pojawia się zależność od chmury i od zagranicznych dostawców półprzewodników oraz systemów operacyjnych. Dochodzą do tego wymogi zgodności dotyczące cyberbezpieczeństwa, prywatności kierowcy i pasażerów, przechowywania i lokalizacji danych oraz zasady komunikacji z infrastrukturą drogową. Taki eksport staje się zbiorem powiązanych transakcji dóbr, usług i praw własności intelektualnej. Każdy element może podlegać odrębnym regulacjom kontroli eksportu, kontroli inwestycji, regułom dotyczącym danych i przepisom konkurencji. W rezultacie tradycyjne cła są tylko jednym z modułów polityki handlowej. Równie ważne stają się standardy techniczne, licencje na oprogramowanie, jurysdykcja nad danymi oraz zdolność firm do szybkiego przeprojektowania łańcuchów dostaw i usług towarzyszących produktowi. Taryfy i środki ochrony handlu znów są widoczne, lecz opisują tylko wierzchnią warstwę wspomnianych zjawisk. Pod spodem narasta druga oś współzależności: dane, algorytmy i platformy stają się infrastrukturą obiegu wartości. To kontrola nad tymi zasobami określa, które państwa i podmioty mają uprzywilejowany dostęp do mocy obliczeniowej, chmury i modeli, a które są ograniczone do korzystania z cudzych rozwiązań, a kto musi polegać na zewnętrznych dostawcach. Zmienia się logika skalowania i koordynacji, przesuwają się granice kompetencji i odpowiedzialności, powstają nowe węzły siły w ekosystemach usług i treści. Sztuczna inteligencja wchodzi do firm i administracji szybciej, niż zmieniają się przepisy. Jest technologią ogólnego zastosowania, ale jej efektywność zależy od zasobów i przygotowania organizacji: jakości danych, kompetencji pracy z modelami, przebudowy ról i metod zarządzania. Te czynniki wyjaśniają, dlaczego gospodarki o podobnym poziomie dochodu uzyskują różne wyniki produktywności i innowacyjności.

W takim otoczeniu handel międzynarodowy wymaga skorygowania perspektywy. Nie wystarczy opisywać go poprzez stawki, kilometry i wielkość rynków. Realne bariery coraz częściej pojawiają się za granicą celną: w regulacjach obiegu danych, w kompatybilności standardów, w bezpieczeństwie i odpowiedzialności cyfrowej. Rosną koszty interoperacyjności i koszty zmiany dostawcy, a przewagę konkurencyjną buduje się na zgodności identyfikatorów, semantyki i interfejsów. Nowa mapa zależności obejmuje nie tylko państwa, ale także operatorów platform, dostawców chmury, repozytoria danych oraz łańcuchy dostaw mocy obliczeniowej.

Ta książka proponuje język i narzędzia do opisu tej zmiany. Wprowadzam pojęcie dystansu cyfrowego rozumianego relacyjnie. Nie interesuje mnie poziom cyfryzacji pojedynczego kraju, lecz niedopasowanie między partnerami wymiany handlowej. Dekomponuję ten dystans na dwie warstwy. Pierwsza warstwa ma charakter infrastrukturalny i obejmuje podstawowe elementy łączności oraz bezpieczeństwa, które umożliwiają funkcjonowanie gospodarki cyfrowej. Druga warstwa, gotowości cyfrowej, dotyczy zdolności organizacyjnych, kompetencyjnych i instytucjonalnych potrzebnych do produktywnego wykorzystania technologii. Osadzam te miary w modelu grawitacyjnym i badam ich wpływ na handel towarami zaawansowanymi technologicznie oraz na handel usługami.

W odróżnieniu od ujęć, które mierzą cyfryzację na poziomie kraju, tutaj kluczowe jest dopasowanie po obu stronach relacji. Jeżeli profile są zbliżone, przepływy rosną i łatwiej skalować współpracę. Jeżeli profile są odległe, rośnie tarcie, maleje przenoszalność rozwiązań i rośnie ryzyko organizacyjnej zależności od dominujących partnerów. Pokazuję to w danych i tłumaczę mechanizmy. Prowadzę czytelnika od opisu procesów datafikacji, algorytmizacji i platformizacji do pomiaru i testów empirycznych. Wyjaśniam, które elementy nowej infrastruktury współpracy wzmacniają handel, a które go osłabiają.

Wkład książki jest trojaki. Proponuję spójne ujęcie procesów cyfrowych jako infrastruktury współpracy, przedstawiam nowe spojrzenie na gospodarkę światową oraz wprowadzam do modeli grawitacyjnych operacyjne miary dystansu cyfrowego i pokazuję ich znaczenie dla wymiany w segmentach najbardziej wrażliwych technologicznie.

To prolog do nowej kartografii. Granice gospodarki wyznaczają dziś nie tylko granice państw, lecz także standardy danych, protokoły identyfikacji, zasady użycia modeli i poziom zaufania do sposobu przetwarzania informacji. W kolejnych rozdziałach pokazuję, jak tę kartografię budować i jak z niej korzystać. Pytam, co z tego wynika dla przedsiębiorstw i dla polityki gospodarczej. Odpowiadam, że dystans cyfrowy można mierzyć i można go skracać. Wymaga to jednak równoległych działań: inwestycji w infrastrukturę, rozwoju kompetencji oraz projektowania instytucji, które umożliwiają bezpieczne i efektywne współdziałanie w skali międzynarodowej.

Wstęp

Dlaczego *Handel międzynarodowy 4.0*? Jak czytać tę książkę

Współczesny handel biegnie dwoma torami. Obok stali, paliwa i kontenerów równie ważne stały się światłowody, serwerownie, kompetencje pracowników i reguły obiegu danych. Pęknięcia geopolityczne, napięcia regulacyjne i przebudowa łańcuchów dostaw sprawiają, że granice państw są dziś także granicami standardów. Coraz częściej transakcję blokuje nie taryfa celna, lecz brak wspólnego słownika danych, niekompatybilne interfejsy albo niepewność co do zgodności algorytmu z regułami zaufania. To jest punkt wyjścia do tej książki.

Reguły globalnej współpracy przesuwają się z torów, którymi sunęły kontenery, na światłowody i interfejsy API. Dane, algorytmy i platformy stają się infrastrukturą łączenia firm, administracji i konsumentów ponad granicami. Liczą się już nie tylko cła i frachty, lecz także zgodność miar, identyfikatorów, protokołów i zasad obiegu danych. Rosną cyfrowe koszty transakcyjne i pojawiają się nowe wąskie gardła kompatybilności i interoperacyjności.

Tytuł *Handel międzynarodowy 4.0* nawiązuje do języka, który wyniósł cyfryzację z poziomu pojedynczych projektów do poziomu polityk publicznych, ale używam go szerzej. Oznacza on porządek koordynacji oparty na trzech sprzężonych mechanizmach, które w książce nazywam DAP (DAP to połączenie datafikacji, algorytmizacji i platformizacji).

Datafikacja systematycznie przekształca zdarzenia i procesy gospodarcze w porównywalne reprezentacje cyfrowe oraz ustanawia reguły ich powstawania, obiegu i użycia, tak aby stały się zasobem o charakterze infrastrukturalnym dla decyzji, kontroli i rozliczeń. Algorytmizacja przekłada te zdatafikowane zapisy na przewidywania i reguły działania osadzone w procesach organizacyjnych, obejmując automatyzację i coraz większą autonomizację klasyfikowania, rankingowania, prognozowania i dopasowywania. Platformizacja buduje programowalne i przeprogramowalne infrastruktury, które koordynują interakcje wielu stron na wspólnych zasadach dostępu poprzez zdefiniowane interfejsy i reguły rozliczeń; w ten sposób organizuje rynek i współpracę sieciową,

wykorzystując efekty sieciowe oraz skalując współdziałanie w ekosystemach zewnętrznych i wewnętrznych.

Handel jest praktycznym sprawdzianem gotowości cyfrowej, ponieważ obejmuje pełen przebieg procesu: od zapotrzebowania i realizacji zamówienia, przez jednoznaczną identyfikację stron i produktów, wymianę dokumentów i danych logistycznych, odprawę i płatność, aż po rozliczenia. Ten łańcuch działa tylko wtedy, gdy po obu stronach są zgodne identyfikatory, definicje i formaty; w przeciwnym razie rosną cyfrowe koszty transakcyjne, a granice stają się granicami standardów. Nowoczesna linia produkcyjna nie wystarczy, jeśli faktura nie przechodzi walidacji w systemie partnera, zgłoszenie nie jest poprawnie odczytywane, a etykieta nie zawiera uzgodnionego kodu produktu.

Zmiana reguł gry: od kontenerów do gigabitów

Cyfryzacja handlu zmienia geografę przewag i ryzyk. W epoce kontenerów przewaga brała się z taniej siły roboczej, skali produkcji, dostępu do surowców i bliskości portu. W epoce gigabitów coraz bardziej liczą się aktywa niematerialne, jakość oprogramowania, bezpieczeństwo chmury, dojrzałość zarządzania danymi oraz dostęp do kompetencji analitycznych. O wejściu na rynek i o utrzymaniu się na nim decydują dziś szybkość i przepustowość w sieci, standardy interfejsów, reżimy ochrony danych oraz możliwość przenoszenia zasobów między dostawcami. Globalizacja cyfrowa łączy więc niższe progi wejścia z wyższymi kosztami zmiany dostawcy. Efekty sieciowe i akumulacja danych wzmacniają pozycję firm kontrolujących strategiczne punkty dostępu w ekosystemach platformowych i podnoszą stawkę w sporach o interoperacyjność.

Zmienia się mechanika zaufania. W handlu analogowym gwarantami były marka, certyfikaty i wyspecjalizowani pośrednicy. W handlu cyfrowym rosnącą część tej roli przejmują systemy reputacyjne oparte na danych behawioralnych, algorytmy rekomendacji i poświadczenia tożsamości. Jakość doświadczenia użytkownika staje się filtrem wiarygodności, a każda luka bezpieczeństwa ma bezpośrednie przełożenie na koszt pozyskania i utrzymania klienta. To przesuwaa ciężar inwestycji z czystej logistyki fizycznej na analitykę danych, projektowanie interfejsów i polityki bezpieczeństwa, bo właśnie tam powstają dziś realne tarcia transakcyjne.

Równolegle umiędzynarodowienie działalności przyjmuje bardziej modułową postać. Firmy składają operacje z klocków infrastrukturalnych, płatniczych i marketingowych, korzystając z platform i usług w chmurze. Skraca to czas wejścia, umożliwia szybkie testy na wielu rynkach i sprzyja strategiom niszowym, ponieważ algorytmy wyszukiwania i rekomendacji pozwalają skutecznie docierać do rozproszonych grup odbiorców. Jednocześnie agregacja

popytu na platformach zwiększa asymetrię między właścicielami interfejsu a podmiotami rozwijającymi usługi współdziałające z platformą, ogranicza ich sprawczość i wymusza wielokanałowość oraz budowanie własnych zasobów danych i relacji z klientami.

Reguły dotyczące przepływu danych stają się odpowiednikiem dawnych ceł i norm technicznych. Decydują nie tylko o zgodności prawnej, ale przede wszystkim o możliwości skalowania, warunkują bowiem konsolidację danych, uczenie modeli i świadczenie usług w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Różne definicje danych osobowych, odmienne wymogi lokalizacji i rozbieżne praktyki audytu tworzą nieciągłości w łańcuchach wartości, które trzeba zbliżyć technicznie i kontraktowo. W praktyce oznacza to projektowanie architektur zgodnych jednocześnie z wieloma reżimami, inwestowanie w szyfrowanie, pseudonimizację i kontrolę dostępu, a także kalkulowanie kosztów przenoszenia zbiorów między regionami i dostawcami. Im więcej danych gromadzi jeden podmiot, tym silniejsza staje się ich „grawitacja”, dane trudniej przenieść do innego systemu. Może to wzmacniać blokady chroniące rynki krajowe przed dominacją silnych graczy, ale jednocześnie skłania organizacje międzynarodowe do promowania zasad ułatwiających przenoszalność i interoperacyjność danych.

Zmiana medium wymiany przesuwają akcenty w polityce konkurencji. Przewaga nie wynika już wyłącznie z udziału w sprzedaży, lecz z kontroli nad przepływami informacji, nad protokołami dostępu i nad interfejsami, które decydują o kosztach korzystania z wielu platform oraz o tym, jak łatwo komplementariusze mogą się przenieść z jednego systemu na drugi. Dlatego skuteczność polityki prokonkurencyjnej zależy coraz częściej od wymuszania interoperacyjności, przejrzystości algorytmicznej i egzekwowalnej przenoszalności danych, a nie tylko od klasycznych zakazów nadużywania pozycji dominującej. Dla firm oznacza to trwałe koszty zgodności oraz konieczność projektowania integracji tak, by była ona odporna na jednostronne zmiany warunków przez operatorów infrastruktury.

Na poziomie makro rośnie udział usług świadczonych na odległość, ale statystyka wciąż słabo wychwytuje złożone strumienie wartości i rolę aktywów niematerialnych. Część korzyści produktywnościowych materializuje się w rachunkach płatniczych, opłatach licencyjnych i cenach transferowych, co utrudnia rozdzielenie przepływów towarów, usług i własności intelektualnej. Prace nad lepszym pomiarem handlu cyfrowego i usług zamawianych oraz dostarczanych kanałami cyfrowymi są kluczowe nie tylko dla opisu, ale przede wszystkim dla projektowania polityk przemysłowych, podatkowych i edukacyjnych.

Dla gospodarek wschodzących i mniejszych eksporterów cyfrowe kanały wymiany tworzą nowy zestaw warunków brzegowych. O sukcesie decyduje nie tylko przepustowość łączy, lecz także dostęp do zaufanych płatności, sprawnej identyfikacji cyfrowej, logistyki ostatniej mili i przejrzystych platform pośredniczących. Tam, gdzie te elementy są skoordynowane, koszty wejścia spadają,

rośnie udział MŚP w eksporcie i powstają nowe specjalizacje usługowe. Tam, gdzie bariery regulacyjne i techniczne izolują rynki, handel cyfrowy zamyka się w lokalnych ekosystemach o ograniczonej skali i słabszych efektach uczenia się.

Istotny staje się wymiar czasu. Cyfrowe usługi działają w rytmie ciągłym, a okna rynkowe otwierają się i zamykają szybciej niż klasyczne cykle inwestycyjne. Premiowane są modele iteracyjne i architektury zdolne do bezpiecznego wdrażania zmian w ruchu globalnym, a także kompetencje zarządzania ryzykiem operacyjnym i prawnym równolegle w wielu jurysdykcjach. Wraz z tym rośnie rola inteligentnej automatyzacji w obsłudze klienta, rozliczeniach i zgodności, bo tylko tak można utrzymać niskie jednostkowe koszty transakcyjne przy rosnącej skali i różnorodności rynków.

Przejście od kontenerów do gigabitów nie unieważnia logistyki, lecz ją redefiniuje. Dane płyną przez światłowody i centra danych, które zużywają energię, wymagają chłodzenia i stabilnych sieci elektroenergetycznych. Usługi w chmurze są wrażliwe na opóźnienia i ciągłość zasilania. Infrastruktura cyfrowa staje się więc częścią klasycznej polityki infrastrukturalnej obok dróg i portów, a bezpieczeństwo gospodarcze obejmuje łączy międzynarodowe, punkty wymiany ruchu i lokalizację węzłów przetwarzania.

W tym sensie nowa globalizacja oznacza zarówno reguły, jak i technologię. Wartość tworzą nie tylko innowacje produktowe, lecz także kompatybilność, zaufanie i możliwość migracji między dostawcami. Przewagi buduje się na zdolności łączenia kompetencji technologicznych z rozumieniem standardów, porządków prawnych i mechaniki platform. Dla polityk publicznych oznacza to wsparcie łączności, umiejętności cyfrowych i otwartości danych przy wysokich standardach ochrony prywatności. Dla firm przekłada się to na strategię opartą na przenoszalności, interoperacyjności i świadomym zarządzaniu zależnościami od kluczowych węzłów ekosystemów.

Wprowadzenie tej perspektywy otwiera także drogę do mapowania podziałów cyfrowych. W dalszej części książki pokazuję, że różnice w infrastrukturze transmisji i przetwarzania danych oraz w gotowości regulacyjno-organizacyjnej tworzą relacyjny koszt współpracy, który nazywam dystansem cyfrowym. Na tej podstawie wyodrębniam trzy grupy gospodarek: liderów, państwa adaptujące i wykluczonych. To nie ranking, lecz mapa kompatybilności z logiką danych, algorytmów i platform. W części empirycznej sprawdzam, czy podobieństwo profili cyfrowych obniża koszty koordynacji i wzmacnia handel właśnie tam, gdzie intensywność danych jest najwyższa.

O czym jest ta książka i dla kogo

Kieruję tę książkę do badaczy, decydek i decydentów oraz praktyczek i praktyków, do wszystkich, którzy chcą rozumieć współczesny handel

i współpracę gospodarczą w porządku opartym na danych. Proponuję ramę, w której technologie nie są gadżetami ani listą „rozwiązań”, tylko infrastrukturą wytwarzania decyzji oraz koordynacji między organizacjami. Zaczynam od uporządkowania pojęć i architektury technicznej. Przyjmuję perspektywę warstw: urządzeń, sieci, usług oraz treści i danych. Potem pokazuję, jak triada DAP, czyli datafikacja, algorytmizacja i platformizacja, spina te warstwy w powtarzalny cykl od pomiaru do decyzji i z powrotem, tak aby decyzje dało się skalować i ujednoclić w ekosystemach. Ten aparat pojęciowy rozwijam w rozdziale 2 i 3, traktując warstwy jako realną infrastrukturę działania, a nie metaforę modernizacji.

Tę logikę przekładam na trzy poziomy analizy. Na poziomie firm opisuję, jak DAP zmienia procesy decyzyjne, operacje, łańcuch dostaw, relacje z klientami i partnerami oraz jak tworzy warunki do serwityzacji i nowych kontraktów opartych na danych. Na poziomie gospodarek narodowych pokazuję, że różnice w gotowości cyfrowej i ładzie regulacyjnym kształtują absorpcję technologii, produktywność i zdolność wpinania się w sieci wartości. Na poziomie relacji międzynarodowych wprowadzam pojęcie dystansu cyfrowego i wykorzystuję je do wyjaśnienia, dlaczego w handlu transgranicznym znaczenie mają już nie tylko cła i kilometry, ale także interoperacyjność danych, reguły decyzji algorytmicznych i dostęp do platform.

Używam spójnego słownika, który będzie konsekwentnie towarzyszył całej książce. Digietyzacja to konwersja zasobów do postaci cyfrowej. Digitalizacja to porządkowanie i automatyzacja przebiegów procesów na bazie tych zasobów. Transformacja cyfrowa to całościowa reorganizacja działalności z wykorzystaniem logiki DAP, która łączy pomiar, modelowanie i koordynację. Gospodarka cyfrowa to techniczno-instytucjonalny porządek działania, w którym DAP staje się regułą gry dla produkcji, usług i administracji. Powołuję się na literaturę, która ten porządek wyjaśnia i porządkuje, oraz własne wcześniejsze prace o gospodarce opartej na danych, algorytmach i platformach, gdzie te rozróżnienia i konsekwencje dla praktyki zostały rozwinięte i zilustrowane.

Czytelnicy znajdą tu zarówno narzędzia pojęciowe, jak i empiryczne: od architektury warstw i cyklu DAP, przez studia przypadków transformacji, aż po operacjonalizację dystansu cyfrowego oraz wprowadzenie go do modelu grawitacyjnego. Zamyśl jest prosty. Chcę, aby badaczki i badacze zyskali spójny język opisu, decydenci i decydentki klarowną mapę wyborów regulacyjnych, a praktyczki i praktycy – konkretny kompas strategiczny, który pomaga projektować współpracę w świecie, gdzie coraz częściej decydują gigabity, identyfikatory i interfejsy API, a nie wyłącznie frachty i taryfy.

Luka badawcza i wkład książki: od DAP do dystansu cyfrowego

W literaturze o handlu i globalizacji cyfrowej brakuje narzędzia, które w jednym spójnym języku łączyłoby trzy poziomy analizy i przekładało architekturę techniczną na mierzalne koszty współpracy. Na poziomie mikro opisujemy zmiany w firmach, na poziomie mezo sieci wartości i specjalizacje, na poziomie makro – gotowość i dojrzałość gospodarek. Te wątki rzadko spotykają się w aparacie, który pozwala policzyć, ile kosztuje brak kompatybilności danych, interfejsów i reguł między partnerami. Wypełniam tę lukę, spinając język warstw technologii z ekonomicznym ujęciem kosztów transakcyjnych i osadzając go w strukturalnym modelu grawitacyjnym.

Proponuję spójny mechanizm wyjaśniający oparty na triadzie DAP. Datafikacja ustala, co i jak rejestrujemy jako porównywalny zapis cyfrowy. Algorytmizacja zamienia te zapisy na przewidywania i reguły działania w procesach. Platformizacja buduje programowalne infrastruktury, które koordynują wielu uczestników na wspólnych zasadach dostępu, przez uzgodnione interfejsy i reguły rozliczeń.

Triada DAP obniża koszty pomiaru, komunikacji, przewidywania i koordynacji tylko wtedy, gdy warstwy technologii po obu stronach relacji są zestrojone. Niesymetria na którejkolwiek warstwie zamienia te same mechanizmy w źródła tarć: rosną zapasy bezpieczeństwa, pojawiają się spory o jakość danych, przestoje oraz wyższe koszty zgodności. Procesy te, opisane i wyjaśniane w książce, syntetycznie ukazano w tabeli 1, w której przełożono triadę DAP na mechanizmy leżące u podstaw współczesnych relacji gospodarczych.

Na tej podstawie definiuję i operacjonalizuję dystans cyfrowy jako miarę relacyjną, zależną od pary partnerów. Dystans cyfrowy ma dwa wymiary. Pierwszy jest infrastrukturalny i dotyczy warunków transmisji oraz przetwarzania danych: jakości i niezawodności łączności, dostępu do chmury i centrów danych, bezpieczeństwa sieci oraz zdolności pracy przy niskich opóźnieniach. Drugi to dystans gotowości cyfrowej, rozumiany jako relacyjne niedopasowanie w zdolnościach absorpcyjnych i systemowych: poziomie wdrożeń, ramach regulacyjnych, kompetencjach, nakładach na badania i rozwój, aktywności przemysłowej w technologiach cyfrowych oraz dostępie do finansowania. Oba wymiary traktuję jako dodatkowy „klin kosztowy” w logice kosztów góry lodowej i ujmuję w modelu grawitacyjnym jako czynniki wyjaśniające poziom i strukturę wymiany.

Aby uchwycić różnicowanie warunków współpracy, wprowadzam mapę podziałów cyfrowych. Dzielę gospodarkę na trzy grupy: liderów, adaptujących i wykluczonych. Nie jest to ranking potencjału gospodarczego, lecz klasyfikacja funkcjonalnej zgodności z triadą DAP: łączy poziom infrastruktury transmisji i przetwarzania danych z gotowością cyfrową (czego reprezentacją są wdrożenia, ramy regulacyjne, kompetencje, B+R, finansowanie). Przynależność do klastra traktuję jako cechę otoczenia, w którym zachodzi

Tabela 1. Operacjonalizacja DAP – wpływ na przedsiębiorstwa, handel międzynarodowy i koszty niezgodności

Wymiar DAP	Definicja (obowiązująca)	Jak zmienia funkcjonowanie przedsiębiorstw?	Jak zmienia współpracę międzynarodową	Konsekwencje braku wspólnego poziomu gotowości cyfrowej
Datafikacja	systematyczne przekształcanie zjawisk i procesów w porównywalne reprezentacje cyfrowe oraz ustanawianie reguł ich powstawania, obiegu i użycia; w praktyce: pomiar/identyfikacja, porządkowanie i łączenie strumieni danych (urządzenia, systemy, użytkownicy)	obniża koszty pomiaru i porównywalności; umożliwia prognozę popytu, precyzyjniejsze zatowarowanie, predykcje utrzymywanie ruchu, synchronizację logistyki i personalizację usług; warunkiem jest wspólny język danych (definicje, metadane, identyfikatory) i możliwość wtórnego użycia danych w procesach	dane stają się komponentem każdej transakcji; rośnie znaczenie architektury i infrastruktury danych jako warunku „wpięcia” w międzynarodowe sieci wartości dodanej; przyspieszają transgraniczne przepływy danych i umożliwiają zdalną koordynację procesów	brak zgodnych definicji, identyfikatorów i formatów danych podnosi „cyfrowe koszty transakcyjne”, tworzy wąskie gardła interoperacyjności i utrudnia rozliczenia – granice stają się „granicami standardów”, co sprzycha firmom do peryferyjnych ról w łańcuchach
Algorytmizacja	przekształcanie zdatalogowanych zapisów w przewidywania i reguły działania osadzone w procesach organizacyjnych; obejmuje automatyzację i – w rosnącym zakresie – autonomiczną klasyfikowanie, rankingowanie, prognozowanie i dopasowywanie	obniża koszt predykcji, standardyzuje decyzje w skali (popyt, ceny, trasy, ryzyko, kontrola jakości), „wszywa” reguły w workflow i API, skracając czas reakcji; efekty zależą od komplementarności jakości danych, mocy, modeli i integracji procesów	umożliwia zdalną, ponadgraniczną orkiestrację obsługi, logistyki i rozliczeń; skraca „czas od pomysłu do wdrożenia” w partnerstwach ekosystemowych; wzmacnia znaczenie przejrzystości i audytowalności decyzji	asymetrie zwiększają zależność od węzłów decyzyjnych i ryzyko błędów przenoszonych z danych do decyzji; brak ładu algorytmicznego utrudnia zaufanie i dostęp do rynków regulowanych
Platformizacja	budowa (re)programowalnych infrastruktur koordynujących interakcje wielostronne na wspólnych zasadach dostępu, przez interfejsy i reguły rozliczeń; organizacja rynku i współpracy sieciowej, skalująca współdziałanie w ekosystemach zewnętrznych i wewnętrznych	agreguje popyt i podaż, ale też uczestników różnych procesów, obniża koszty koordynacji, internalizuje efekty sieciowe, standardyzuje interfejsy i rytm aktualizacji	zmienia geografie handlu: globalne węzły dostępu do klientów i zasobów, skalowanie cross-border e-commerce i usług; reguły platform stają się elementem konkurencji i warunkiem wejścia MŚP	zamknięte standardy i brak interoperacyjności działają jak bariery pozataryfowe; algorytmiczne rankingi i niekompatybilne interfejsy „odcinają” od klienta; silne efekty sieciowe sprzyjają koncentracji w węzłach platformowych przy braku przenoszalności danych

Źródło: opracowanie własne.

wymiana, oraz jako moderator wpływu dystansu cyfrowego na poziom i strukturę handlu. Wkład empiryczny polega na rozszerzeniu strukturalnego modelu grawitacyjnego o komponent cyfrowy i na jego weryfikacji na danych przekrojowo-czasowych. Pokazują dwie regularności. Dystans gotowości systematycznie obniża intensywność wymiany, a efekt jest szczególnie silny w usługach oraz w sektorach zaawansowanych technologicznie.

Dystans infrastruktury działa nieliniowo: małe różnice potrafią się uzupełniać, ale po przekroczeniu progu pojawia się niekompatybilność, która gwałtownie podnosi koszty koordynacji i w praktyce „rozłącza” rynki – najszybciej w usługach i w relacjach z krajami wykluczonymi. Z kolei dystans gotowości cyfrowej jest czystym tarcie: im większe niedopasowanie kompetencji, praktyk organizacyjnych, B+R i instytucji, tym słabszy handel. Efekt jest wyraźny w towarach zaawansowanych technologicznie i najsilniejszy w usługach. Te wyniki czynią z DAP nie tylko narrację o technologiach, lecz realny składnik wyjaśniający w handlu.

Struktura książki

Książkę prowadzę konsekwentnie od infrastruktury do decyzji i od definicji do empirii. W rozdziale 1 traktuję technologie cyfrowe jak realną infrastrukturę działania. Opisuję warstwy urządzeń, sieci, usług oraz treści i danych, pokazuję ich komplementarność i przejście do DAP jako mechanizmu tworzenia wartości. Interesuje mnie nie lista narzędzi, lecz porządek koordynacji, w którym zgodność identyfikatorów, semantyki i interfejsów obniża koszty pomiaru, komunikacji, przewidywania i koordynacji, a ich brak te koszty podnosi.

W rozdziale 2 przedstawiam procesy DAP z perspektywy przedsiębiorstwa. Porządkuję pojęcia, którymi będę się posługiwać w całej książce. Dedyzacja to konwersja zasobów do postaci cyfrowej, digitalizacja to porządkowanie i automatyzacja przebiegów pracy, transformacja cyfrowa to całościowa reorganizacja działalności na bazie DAP. Definiuję gotowość cyfrową i jej wymiary oraz warunki powodzenia, w tym strategię, kompetencje, kulturę, reguły danych i otoczenie regulacyjne. Pokazuję, jak DAP rekonfiguruje procesy decyzyjne i operacyjne, jak zmienia relacje z klientami i dostawcami oraz jak otwiera drogę do serwityzacji i współpracy opartej na sieciach.

W rozdziale 3 przechodzę z poziomu przedsiębiorstwa na poziom całej gospodarki i porządkuję tezy makroekonomiczne wokół triady DAP. Najpierw osadzam gospodarkę cyfrową we wcześniejszych falach cyfryzacji, a następnie wyodrębniam trzy ramy analityczne: ekonomię danych, ekonomię algorytmów jako technologii obniżającej koszt przewidywania oraz ekonomię platform przekształcającą rynek w porządek koordynacji. Ta sekwencja prowadzi do omówienia „makromechaniki” gospodarki cyfrowej oraz problemu

produktywności i jego pomiaru, który wymaga uchwycenia aktywów niematerialnych oraz faktycznego użycia danych w decyzjach. Logika rozdziału jest więc dwustopniowa: najpierw wyjaśniam, co składa się na gospodarkę cyfrową w skali kraju, potem pokazuję, jak to mierzyć i jakimi warunkami się to rządzi. Centralnym rozróżnieniem jest gotowość cyfrowa. Przez gotowość cyfrową rozumiem stan systemu gospodarczego i organizacyjnego, w którym istnieją zdolności absorpcyjne i komplementarności instytucjonalne pozwalające produktywnie wykorzystać procesy DAP.

W rozdziale 4 porządkuję globalny wymiar transformacji, pokazując, że nowy układ sił wynika z nakładania się trzech fal: digitalizacji infrastruktury komunikacyjnej, platformizacji gospodarki oraz przyspieszonej automatyzacji i telemigracji usług. W pierwszym kroku wyjaśniam, czym jest globalizacja cyfrowa i jak różne tradycje badawcze ujmują jej przedmiot. Następnie rekonstruuję sekwencję zmian: od spadku kosztów łączności w latach 80. i 90., przez formowanie się globalnych sieci wokół platform w pierwszej dekadzie XXI wieku, aż po okres po 2010 roku, gdy dane, algorytmy i platformy stają się samodzielnym nośnikiem integracji gospodarczej. Domykam ten blok analizą mechanizmów „deglobalizacji cyfrowej” – fragmentacji technologicznej i regulacyjnej, która wynika z różnic w standardach, jurysdykcjach danych i wymogach bezpieczeństwa. Ta logika tłumaczy, że nie chodzi wyłącznie o więcej handlu w internecie, lecz o zmianę architektury współzależności między krajami i firmami. Drugi krok prowadzi czytelnika od metafory „podziałów cyfrowych” do ich mierzalnych form. Rozróżniam poziomy rozwoju cyfrowego – od wykluczenia, przez podstawową łączność i proste wdrożenia, po dojrzałość rozumianą jako zdolność do łączenia danych, algorytmów i platform w wielu sektorach – i pokazuję, że to właśnie spójność między zasobami a regułami ich użycia wyjaśnia różnice w produktywności, jakości usług i eksporcie usług intensywnych w dane. W tym ujęciu *divide* nie jest pojedynczą luką, lecz wiązką asymetrii: infrastrukturalnych, kompetencyjnych, organizacyjnych i instytucjonalnych. Trzeci krok to mapowanie nierówności cyfrowych. Pokazuję dwa komplementarne podejścia klasyfikacyjne, regulacyjne i ekonomiczne, oraz operacjonalizuję wielowymiarowe podziały metodą analizy skupień. Uzasadniam wybór zmiennych i sposobu grupowania, tak by uchwycić jednocześnie warstwę łączności, kompetencje oraz integrację z transgranicznymi łańcuchami wartości.

Rozdział zamykam syntetycznym wnioskiem: globalizacja cyfrowa tworzy nowe centrum i peryferie oparte na informacyjnych i instytucjonalnych przewagach, a nie tylko na kosztach pracy czy taryfach. Dlatego polityki publiczne oraz strategie firm muszą równocześnie rozwijać zasoby i reguły ich użycia – w przeciwnym razie korzyści kumulują się w ciasnych węzłach platformowych, a dystanse cyfrowe rosną.

Rozdział 5 spina wcześniejsze wątki w logiczną narrację o tym, jak triada procesów datafikacji, algorytmizacji i platformizacji przebudowuje

międzynarodowe sieci wartości dodanej. Zaczynam od przesunięcia akcentu: nie wystarczy „mieć technologie”, liczy się zdolność wpięcia w globalną infrastrukturę danych i reguły jej obiegu. Dlatego w pierwszej części rozdziału porządkuję warunki uczestnictwa w sieciach. Następnie pokazuję, jak transformacja cyfrowa firm przekłada się na handel. Z tego wynikają dwie „nowe domeny” wymiany: serwityzacja, która przekształca tradycyjny produkt w ofertę łączącą wyrób i usługi, oraz handel cyfrowy, który wykracza poza e-commerce i obejmuje transgraniczne strumienie kodu, danych i usług dostarczanych zdalnie. Kulminację stanowią rozważania o polityce handlowej w dobie AI – teza brzmi: klasyczne narzędzia liberalizacyjne są niewystarczające, ponieważ reguły dostępu do rynku coraz bardziej zależą od architektury informacyjnej: standardów, interfejsów i algorytmów. Stąd potrzeba redefinicji instrumentarium WTO, rosnąca rola porozumień regionalnych jako „inkubatorów ładu” dla przepływu danych i odpowiedzialności algorytmicznej oraz nowa ontologia umów, w których przedmiotem sporów stają się dane, modele i platformy.

W rozdziale 6 rozwijam tę zapowiedź i porządkuję konsekwencje teoretyczne. Punkt wyjścia to twierdzenie, że współczesny dystans w handlu mierzy się także kompatybilnością cyfrową. Niewielkie asymetrie w infrastrukturze, praktykach i regulacjach podnoszą koszty interoperacyjności oraz ryzyko koordynacyjne i hamują integrację łańcuchów wartości. Dalej argumentuję, że klasyczne teorie handlu wymagają uzupełnienia o czynniki DAP; integruję je z modelem grawitacyjnym, traktując dystans cyfrowy jako „koszt góry lodowej”, który działa w dwóch warstwach: infrastrukturalnej (łączność, bezpieczeństwo, węzły) oraz gotowości cyfrowej (kompetencje, praktyki organizacyjne, B+R, otoczenie regulacyjne i finansowe). To ujęcie pozwala empirycznie testować, jak cyfrowe niedopasowanie wpływa na handel w towarach zaawansowanych technologicznie i w usługach intensywnych w dane. W tej ramie odpowiadam na cztery powiązane pytania badawcze, które prowadzą czytelnika przez całą książkę. Pytam, jak DAP rekonfiguruje procesy i decyzje w przedsiębiorstwach i w jaki sposób różnice w gotowości cyfrowej firm i na poziomie krajów kształtują intensywność, strukturę i dynamikę wymiany. Pokazuję, jak mierzyć dystans cyfrowy i włączyć go do modeli grawitacyjnych jako relacyjny składnik kosztów handlu. Na koniec identyfikuję polityki, które ten dystans obniżają, zwiększając skalowalność współpracy i zdolność gospodarek do wpinania się w globalne sieci wartości.

1. Technologie cyfrowe jako infrastruktura transformacji gospodarczej

1.1. Wprowadzenie

W tej książce technologie cyfrowe traktuję jako infrastrukturę współpracy gospodarczej. Nie są one dodatkiem do procesów, lecz warstwowym systemem, w którym urządzenia rejestrują zdarzenia, sieci przenoszą strumienie informacji, usługi udostępniają funkcje, a warstwa treści i danych przekuwa zapisy w wiedzę potrzebną do działania. Takie ujęcie wpisuje się w koncepcję technologii ogólnego zastosowania, które uruchamiają komplementarności, efekty uczenia oraz innowację kombinatoryjną w wielu sektorach jednocześnie, co szerzej omawiam we wcześniejszych pracach o gospodarce cyfrowej (Śledziwska, Włoch, 2020, 2021). Korzystam z perspektywy architektury warstwowej, która porządkuje relacje między komponentami technicznymi i przypomina, że możliwości całego układu wyznacza jego najłabsza warstwa.

Na potrzeby rozdziału używam pojęcia infrastruktury w sensie węższym, jako materialno-cyfrowej bazy wytwarzania i obiegu danych oraz stosowania modeli i reguł, innymi słowy – jako infrastruktury produkcji decyzji. Teza jest prosta i będzie konsekwentnie sprawdzana w dalszej części książki: wartość ekonomiczna z technologii ujawnia się wtedy, gdy warstwy działają łącznie, a różnice dojrzałości którejkolwiek z nich podnoszą koszty koordynacji i zmniejszają opłacalność współdziałania. W warstwie urządzeń rozstrzyga się, jak dobrze i jak szybko widzimy, co się dzieje w procesie. Przykładowo, jeśli maszyny mierzą temperaturę, wibracje i przepływy, a dalej wysyłają te dane w czasie zbliżonym do rzeczywistego, partnerzy w łańcuchu dostaw natychmiast wiedzą o odchyleniach i mogą reagować. Wysoka widzialność i krótka zwłoka informacyjna pozwalają utrzymywać mniejsze zapasy bezpieczeństwa i rzadziej zatrzymywać produkcję, ponieważ ryzyko zaskoczenia jest niższe. W warstwie sieci decydują parametry łączności, od których zależy możliwość sterowania w czasie zbliżonym do rzeczywistego. W warstwie usług przesądzą mechanizmy automatyzacji zleceń, uprawnień i rozliczeń. W warstwie

treści i danych kluczowe są wspólne definicje, identyfikatory i reguły agregacji, ponieważ to one umożliwiają weryfikowalność informacji i ograniczają spory o zgodność, kompletność i aktualność danych.

O tym jednak, po co działa ta infrastruktura i kiedy przekłada się na wynik, decydują trzy współzależne mechanizmy, które w całej książce nazywam DAP. Datafikacja ustala, co i jak mierzymy. Algorytmizacja przekłada dane na klasyfikacje, prognozy i reguły postępowania. Platformizacja koordynuje uczestników procesów i wzmacnia efekty sieciowe. To logika DAP sprawia, że ta sama infrastruktura przestaje być zbiorem komponentów i zaczyna działać jak silnik decyzyjny organizacji. W tym rozdziale pokazuję, jak DAP spina warstwy i w których punktach pojawiają się wąskie gardła kosztów pomiaru, komunikacji, przewidywania oraz koordynacji.

Rozdział ten jest fundamentem pojęciowym dla całej książki, dlatego precyzyjnie prowadzę czytelnika przez kolejne kroki. Najpierw porządkuję warstwy infrastruktury, ich funkcje i komplementarność oraz wskazuję, jak mierzyć ich dojrzałość i gdzie powstają typowe punkty tarcia. Następnie przechodzę do mechanizmów DAP i wyjaśniam, jak w praktyce łączą się one z warstwami, aby tworzyć powtarzalny cykl od pomiaru do decyzji. Następnie rozwijam wątki identyfikatorów, semantyki i interfejsów, czyli języka, w którym partnerzy się porozumiewają, oraz na przykładzie łańcucha dostaw pokazuję, jak brak zgodności w tym języku podnosi koszty współpracy. Na końcu wprowadzam operacyjne pojęcie kosztów transakcyjnych w środowisku cyfrowym i wyjaśniam, dlaczego różnice w dojrzałości warstw oraz w praktykach DAP traktuję dalej jako dystans cyfrowy.

Tym samym rozdział oferuje dwa kluczowe łącza do dalszej narracji. Po pierwsze, stanowi most do rozdziału 2, gdzie schodzę do poziomu przedsiębiorstwa i definiuję dojrzałość cyfrową procesów w logice DAP. Po drugie, tworzy ramę pomiarową, którą wykorzystam w rozdziale 4 do mapowania podziałów cyfrowych i wyodrębnienia klastrów krajów, a w rozdziale 6 do włączenia dystansu cyfrowego i przynależności do klastrów w model grawitacyjny handlu. Dzięki temu czytelnik od początku wie, jak poszczególne elementy układają się w całość oraz dlaczego w kolejnych częściach wracam do tych samych pojęć już w trybie pomiaru i weryfikacji.

1.2. Technologie cyfrowe w gospodarce

W niniejszej pracy technologie cyfrowe rozumiem jako programowalne i modułowe systemy pozyskiwania (sensoryzacji), przetwarzania, przechowywania oraz przesyłu danych, które łączą warstwę materialną z warstwą kodu i modeli. Ich znaczenie wykracza poza samą reprezentację zapisu: o wartości decyduje potencjał funkcjonalny, czyli zdolność do wspierania procesów analitycznych,

decyzyjnych i koordynacyjnych w skali organizacji i ekosystemów (Śledziwska, Włoch, 2020). Kluczowe własności to programowalność (zmiana funkcji bez ingerencji w substrat materialny), modułowość (łączenie komponentów w zmienne układy) oraz generatywność, rozumiana jako podatność na nieprzewidziane zastosowania w praktykach organizacyjnych i użytkowych. Generatywność wynika m.in. z oddzielenia funkcji od formy oraz przenikalności warstw, co w ujęciu architektury warstwowo-modułowej stanowi źródło elastyczności i innowacji „poza” intencją projektanta (Yoo i in., 2010).

Operacyjnie przyjmuję następującą definicję: technologie cyfrowe to urządzenia i rozwiązania oparte na zapisie cyfrowym, które umożliwiają pozyskiwanie, przetwarzanie, przechowywanie i przesyłanie danych; ich wartość ujawnia się w zastosowaniu oraz w komplementarności z danymi, algorytmami i kompetencjami organizacyjnymi (Śledziwska, Włoch, 2020, 2021). W tym sensie technologie są nie tyle pojedynczymi narzędziami, ile infrastrukturą działania: środowiskiem informacyjnym, technicznym i organizacyjnym, które można rekonfigurować wraz ze zmianą potrzeb i procesów.

Konsekwencją tych własności jest zachowanie charakterystyczne dla technologii ogólnego zastosowania: jednoczesny wpływ na wiele sektorów, komplementarności, efekty uczenia i innowacja kombinatoryjna – co czyni je dźwignią zmian organizacyjnych i rynkowych także poza sektorem ICT (Bresnahan, Trajtenberg, 1995). W praktyce prowadzi to do rozmywania granic między „branżami technologicznymi” i „nietechnologicznymi”: rozwiązania migrują między domenami i tworzą wspólne warstwy urządzeń, sieci, usług oraz treści i danych dla bardzo różnych zastosowań (Alaimo, Kallinikos, 2024).

W literaturze funkcjonują różne typologie. Część autorów klasyfikuje technologie według ich dojrzałości, rozróżniając rozwiązania ugruntowane i wschodzące – użyteczne heurystycznie przy analizie ryzyka i ścieżek rozwojowych (George, Paul, 2020; Rotolo i in., 2015). Inni porządkują je według funkcji organizacyjnych: komunikacyjnej, obliczeniowej, analitycznej, decyzyjnej i koordynacyjnej. Ta druga perspektywa lepiej pokazuje, że cyfryzacja nie tylko „przenosi” informację, lecz także selekcjonuje, modeluje i operacjonalizuje ją w działaniach organizacji. Dlatego w dalszej części rozdziału stosuję ujęcie warstwowe, które porządkuje te własności w cztery współzależne poziomy i pozwala pokazać, jak relacje między warstwami stają się źródłem wartości (Yoo i in., 2010).

Na tej podstawie zaczynam od architektury warstwowej: urządzeń, sieci, usług oraz treści i danych – z konsekwencjami dla procesów w firmie i współdziałania z partnerami. W „moście” pokazuję, że o tym, czy ta infrastruktura zamienia się w wartość ekonomiczną, decydują mechanizmy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji, które spinają warstwy w powtarzalny cykl od pomiaru do decyzji i z powrotem.

1.3. Warstwowa architektura technologii cyfrowych

W tym podrozdziale przyjmuję perspektywę warstwowej architektury modułowej. Ujęcie to porządkuje technologie w cztery poziomy, które rozwijają się względnie niezależnie, a wartość powstaje na ich styku. Mowa o warstwie urządzeń, warstwie sieci, warstwie usług oraz warstwie treści i danych. Kluczowe jest podwójne rozdzielanie, które nadaje cyfrowym rozwiązaniom elastyczność organizacyjną. Po pierwsze, rozdzielanie funkcji od formy: dzięki programowalności to, co robi urządzenie, nie jest na stałe związane z jego fizyczną postacią. Po drugie, rozdzielanie transportu informacji od ich znaczenia: ujednolicona reprezentacja danych pozwala przenosić je przez różne sieci i przetwarzać w wielu usługach bez zmiany samego nośnika (Yoo i in., 2010).

W praktyce warstwa urządzeń obejmuje zarówno substrat materialny, jak i logikę działania sterującą pomiarem oraz wstępną obróbką. Warstwa sieci odpowiada za przenoszenie strumieni w przewidywalnym rytmie, co wyznacza tempo działania całego systemu. Warstwa usług zamienia te strumienie na czynności i interfejsy dla użytkowników oraz procesów. Warstwa treści i danych porządkuje zapisy, nadaje im znaczenie i dostarcza materiał do decyzji. Klasyczną inspiracją dla myślenia warstwowego jest model OSI porządkujący poziomy łączności w sieciach komputerowych; traktuję go tu jako analogię ograniczoną do transmisji, ponieważ architektura używana w tym rozdziale obejmuje także usługi oraz treści i dane, a więc pełny ekosystem działania w organizacji (ISO/IEC, 1994; Yoo i in., 2010).

Taka perspektywa jest przydatna dla ekonomisty, ponieważ pozwala zobaczyć komplementarności i wąskie gardła. Jeśli pomiar u źródła jest niestabilny, żadna analiza nie przyspieszy decyzji. Jeśli łączność jest nieprzewidywalna, usługi nie zadziałają w rytmie procesu. Jeśli usługi nie mają stabilnych interfejsów, trudno połączyć role i uprawnienia partnerów. Jeśli brakuje wspólnych definicji i identyfikatorów, ta sama liczba znaczy co innego po obu stronach relacji. Różnice na którymkolwiek poziomie natychmiast pojawiają się w postaci większych zapasów bezpieczeństwa, dłuższych cykli rozrachunkowych, częstszych sporów o jakość i mniejszej przewidywalności produkcji. Tę logikę rozwijam w kolejnych podsekcjach, pokazując po kolei, jak każda warstwa wpływa na działania firmy i na możliwość zestrojenia się z partnerem (Yoo i in., 2010).

1.3.1. Warstwa urządzeń: fundament cyfrowych systemów

Warstwa urządzeń stanowi próg, na którym rzeczywistość materialna zostaje przechwycona i odwzorowana w postaci danych. Na tym poziomie zjawiska są rejestrowane, wstępnie porządkowane i przekazywane dalej. Na tę warstwę składają się podwarstwa fizyczna oraz logiczna (oprogramowanie), która

steruje ich pracą. Ten podział jest praktyczny: sprzęt odpowiada za uchwycenie sygnału, a logika urządzenia za jego przygotowanie do użycia w kolejnych warstwach.

Podwarstwa fizyczna obejmuje czujniki, kamery, moduły lokalizacji, elementy zasilania, terminale oraz wyspecjalizowane maszyny. Wspólna cecha tych rozwiązań to zamiana zdarzeń na stabilne strumienie danych i zapewnienie ciągłości pomiaru w realnych warunkach pracy. Tabela 2 ilustruje tę różnorodność warstwy urządzeń na przykładach z rolnictwa, transportu, ochrony środowiska, zdrowia i obserwacji przestrzennych. Nie chodzi o katalog gadżetów, ale o pokazanie, że dobór urządzeń jest jednocześnie decyzją o jakości, częstotliwości i formacie danych, o odporności środowiskowej oraz o możliwościach późniejszej integracji z warstwą sieci i usług.

Tabela 2. Podwarstwa fizyczna – przykłady zastosowań

Przykład urządzenia	Krótki opis zastosowania	Źródło
Sensor wilgotności i temperatury gleby (DHT11, capacitive)	monitorowanie mikroklimatu w rolnictwie precyzyjnym; systemy oparte na Arduino	Mounich i in. (2023)
Kamera wizyjna + Raspberry Pi	rozpoznawanie twarzy w czasie rzeczywistym, identyfikacja użytkowników	Ouchani i in. (2023)
Moduł GPS + GSM (SIM800L)	śledzenie lokalizacji obiektów i zasobów w logistyce lub zarządzaniu flotą	Ayat i in. (2023)
Sensor ciśnienia i pulsu (np. MAX30100)	monitorowanie parametrów życiowych w aplikacjach mobilnych i ubieralnych	Ouadghiri i in. (2023)
Sensory środowiskowe IoT (gaz, powietrze, pyły)	monitorowanie zanieczyszczeń i jakości powietrza – systemy do zastosowań miejskich i przemysłowych	Ayat i in. (2023)
Sensor odległości ultradźwiękowy (HC-SR04)	detekcja przeszkód i odległości w inteligentnych systemach transportowych	Zerouali i in. (2023)
Kamera wielospektralna	analiza upraw, wykrywanie stresu wodnego roślin, obserwacje środowiskowe	Lachgar i in. (2023)
Akcelerometr i żyroskop (MPU6050)	monitorowanie ruchu użytkowników – urządzenia ubieralne, rehabilitacja, interfejsy człowiek-maszyna	Corrales i in. (2023)
Moduły energetyczne (panele słoneczne, powerbanki)	zasilanie autonomiczne systemów IoT w środowiskach rolniczych lub trudno dostępnych	Mounich i in. (2023)
Zegarki typu wearable	zbieranie danych biometrycznych, synchronizacja z aplikacjami zdrowotnymi	Corrales i in. (2023)

Źródło: opracowanie własne.

Podwarstwa logiczna to oprogramowanie sterujące pracą urządzeń. Należą do niej systemy operacyjne urządzeń, oprogramowanie wbudowane oraz algorytmy działające po stronie urządzenia. Jej rola jest potrójna. Po pierwsze,

kontrola i bezpieczeństwo pracy. Po drugie, wstępna obróbka danych, np. filtracja, agregacja i nadawanie znaczników czasu. Po trzecie, gdy to uzasadnione, prosta analiza lokalna i reakcja od razu u źródła. Tabela 3 zbiera typowe rozwiązania: od modeli klasyfikujących sygnały na urządzeniu, przez oprogramowanie koordynujące sieci sensorów, po logikę nadzorującą bezpieczeństwo komunikacji w pojazdach. Wspólna zasada jest taka, że urządzenie publikuje w górę architektury wyniki lub dane już przygotowane, a nie zawsze surowy strumień. Efekt to krótszy czas reakcji, mniejsze obciążenie łączy i lepsza ochrona prywatności.

Tabela 3. Podwarstwa logiczna – przykłady zastosowań

Przykład technologii logicznej	Krótki opis zastosowania	Źródło
Lokalne algorytmy uczenia maszynowego	klasyfikacja sygnałów EEG na urządzeniu lokalnym (np. z mikrokontrolerem)	Corrales i in. (2023)
System predykcyjny zainstalowany lokalnie	przewidywanie zużycia energii w domach przy zastosowaniu danych historycznych bez przesyłania do chmury	Hakam i in. (2023)
Edge AI w autonomicznych pojazdach	przetwarzanie lokalne danych z sensorów w systemie adaptacyjnego tempomatu	El Hamidi i Bouzi (2023)
Firmware w systemach CAN (ADAS)	detekcja zagrożeń i manipulacji w czasie rzeczywistym – firmware kontrolujący magistralę pojazdu	Zerouali i in. (2023)
System operacyjny sensorów w rolnictwie	zarządzanie siecią sensorów w inteligentnym nawadnianiu bez centralnej jednostki sterującej	Ayat i in. (2023)
Oprogramowanie Arduino z logiką lokalną	sterowanie systemem upraw i monitorowania warunków na podstawie lokalnych danych środowiskowych	Mounich i in. (2023)
System klasy edge w edukacji mobilnej	urządzenie edukacyjne adaptujące się do interakcji ucznia bez konieczności łączenia z siecią	Lachgar i in. (2023)

Źródło: opracowanie własne.

Z perspektywy przedsiębiorstwa jest to poziom decydujący o tym, co firma wie o swoich procesach i jak szybko się o tym dowiaduje. Dobrze zaprojektowana warstwa urządzeń daje stabilne, odpowiednio opisane strumienie, które pozwalają automatyzować proste decyzje, ograniczać zapasy bezpieczeństwa, szybciej reagować na odchylenia jakościowe i lepiej chronić dane. W praktyce oznacza to sprawniejsze utrzymanie ruchu, dokładniejsze planowanie produkcji i zapasów, bardziej przewidywalną logistykę oraz szybszą obsługę klienta. Przykładowo, lokalne czujniki zużycia narzędzi oraz liczniki sztuk, wspierane prostą logiką urządzenia, potrafią wcześniej wykryć problem i wysłać sygnał o konieczności przebrojenia. Brak takiej infrastruktury kończy się większą zmiennością dostaw, dodatkowymi kontrolami przy odbiorze i sporami o jakość.

Ta warstwa generuje też konkretne wyzwania. Wraz ze wzrostem liczby urządzeń rośnie złożoność parku, potrzeba standardów identyfikacji, aktualizacji oprogramowania i zabezpieczeń. To, jak urządzenia publikują dane i w jaki sposób są sterowane, przesądza o płynności współpracy z warstwą sieci, do której teraz przechodzę.

1.3.2. Warstwa sieci: łączenie ludzi, urządzeń i systemów

Warstwa sieci przenosi strumienie danych z urządzeń do usług i aplikacji. W praktyce to logistyka informacji: decyduje, jak szybko, w jakiej ilości i z jaką niezawodnością dane dotrą tam, gdzie mają zostać użyte. Najważniejsze parametry to opóźnienie, przepustowość, zasięg, zużycie energii i bezpieczeństwo. Od tych wielkości zależy, czy można sterować procesem niemal w czasie rzeczywistym, czy wystarczy przesył okresowy, a także jakie będą koszty utrzymania łączności i całej infrastruktury.

Tabela 4 porządkuje typowe rozwiązania i odpowiada, do czego nadają się w praktyce. Technologie krótkiego zasięgu, takie jak Bluetooth Low Energy, służą łączeniu urządzeń i czujników blisko użytkownika, gdzie kluczowa jest energooszczędność. Wi-Fi zapewnia lokalny dostęp do sieci i łączy urządzenia z platformami monitoringu w budynkach i zakładach. Zigbee i pokrewne rozwiązania dla sieci czujnikowych pozwalają tanio zbierać dane w inteligentnych domach i prostych instalacjach IoT. LoRaWAN oraz inne sieci o bardzo niskim poborze energii, ale dużym zasięgu sprawdzają się w rolnictwie precyzyjnym i monitoringu środowiskowym, gdzie urządzenia mają działać latami na baterie. Moduły komórkowe GSM lub 4G umożliwiają łączność w ruchu, przydatną w logistyce i rozwiązaniach zdrowotnych. W pojazdach wewnętrzną wymianę sygnałów między czujnikami a jednostkami sterującymi zapewnia magistrala CAN używana w systemach wspomagania kierowcy. Protokół MQTT upraszcza komunikację wielu czujników z brokerem systemu i dobrze obsługuje rozproszone instalacje IoT. Te przykłady pokazują, że wybór sieci jest zawsze kompromisem między zasięgiem, szybkością, energooszczędnością i kosztem, czyli decyzją techniczną o bezpośrednich skutkach biznesowych.

Z perspektywy procesów w firmie właściwie dobrana łączność daje trzy rodzaje korzyści. Po pierwsze, skraca czas obiegu informacji, co umożliwia nadzór i sterowanie produkcją, logistyką oraz obsługą klienta w rytmie zdarzeń. Po drugie, obniża koszty operacyjne dzięki protokołom i rozwiązaniom oszczędzającym energię oraz ograniczającym zbędną transmisję, co ma znaczenie przy tysiącach urządzeń w terenie. Po trzecie, zwiększa dostępność i umożliwia egzekwowanie kontroli bezpieczeństwa na poziomie łączności, takich jak szyfrowanie w ruchu, autoryzacja i segmentacja.

Tabela 4. Warstwa sieci – przykłady zastosowań

Przykład technologii sieciowej	Krótki opis zastosowania	Źródło
Zigbee	niskoenergetyczna transmisja danych między czujnikami w systemach IoT, np. do monitorowania środowiska i obiektów domowych	Motahhir i Bossoufi (2023)
LoRaWAN	energooszczędna, dalekozasięgowa komunikacja w systemach rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego nawadniania	Ayat i in. (2023)
Wi-Fi (ESP8266)	bezprzewodowa komunikacja urządzeń z platformami chmurowymi w monitoringu zużycia energii i systemach smart home	Hakam i in. (2023)
Bluetooth BLE	niskomocowa komunikacja krótkiego zasięgu między urządzeniami ubieralnymi a telefonem/smartwatchami	Corrales i in. (2023)
CAN Bus + ADAS	sieci komunikacji w pojazdach autonomicznych do wymiany danych między sensorami a jednostkami decyzyjnymi	Zerouali i in. (2023)
GSM/3G/4G	moduły GSM stosowane w przenośnych systemach zdrowotnych i mobilnych aplikacjach wspierających osoby z niepełnosprawnościami	Kabbaj i in. (2023)
MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	lekki protokół sieciowy stosowany w wymianie danych między czujnikami a brokerem MQTT w systemach smart irrigation	Ouchani i in. (2023)
LPWAN	sieci o bardzo niskim poborze energii i dalekim zasięgu stosowane w systemach środowiskowych i rolniczych	Lachgar i in. (2023)

Źródło: opracowanie własne.

Jakość łączności wyznacza rytm współpracy. Stabilne łącze o niskim opóźnieniu pozwala synchronizować sygnały popytu i wysyłki niemal w czasie rzeczywistym, dzięki czemu maleją zapasy bezpieczeństwa, krótszy jest obieg dokumentów i szybciej zamykają się rozrachunki. Gdy łączność jest niestabilna, relacje przechodzą w tryb pracy „partiami”: rosną bufory, częściej potrzebne są ręczne potwierdzenia, a rozliczenia trwają dłużej. Parametry sieci bezpośrednio kształtują więc projekt usług i interfejsów, do których teraz przechodzę, ponieważ to w warstwie usług dane są przetwarzane i udostępniane użytkownikom. Ograniczenia są konkretne: luki zasięgu, przeciążenia i przerwy w transmisji, a także rosnące nakłady inwestycyjne i operacyjne na modernizację i utrzymanie. Z tego powodu decyzje dotyczące sieci należy spinać z wymaganiami warstwy usług oraz z politykami ładu danych i tożsamości, tak aby zapewnić spójne standardy dostępu, integralność informacji oraz przewidywalność procesu współpracy.

Sama sieć nie czyni systemu bezpiecznym: każde nowe połączenie zwiększa liczbę dróg, którymi można próbować się włamać. Dlatego bezpieczeństwo trzeba projektować od początku, a tam, gdzie to konieczne, wydzielać

i odseparowywać środowiska krytyczne (segmentacja sieci, ograniczanie uprawnień, kontrola dostępu).

1.3.3. Warstwa usług: interfejs funkcjonalny i przestrzeń innowacji

Warstwa usług to miejsce, w którym strumienie danych zamieniają się w działanie. Tutaj powstają funkcje i interfejsy dla pracowników, klientów i partnerów, a więc narzędzia, na których opiera się organizacja procesów w firmie. W ujęciu architektury warstwowej to właśnie ta warstwa „zamyka pętlę” między tym, co zostało zmierzone i przesłane, a decyzjami i czynnościami, które trzeba wykonać w odpowiedzi.

Tabela 5 pokazuje, jak różne mogą być te funkcje i jak pracują na wynik. Chatboty personalizują kontakt i skracają czas obsługi, co obniża koszty i poprawia dostępność usług. Cyfrowe bliźniaki łączą wiele źródeł danych w spójny model procesu lub obiektu, dzięki czemu można testować scenariusze i szybciej korygować działanie linii czy instalacji. Platformy HR z elementami AI automatyzują preselekcję i porządkują kryteria decyzji, co redukuje ryzyko nietrafionych rekrutacji. Platformy e-learningowe z mechanizmami adaptacji przyspieszają rozwój kompetencji, bo treści dostosowują się do stylu uczenia odbiorcy. Inteligentne systemy energetyczne integrują odczyty czujników i prognozy, aby aktywnie sterować zużyciem energii i ograniczać koszty operacyjne. We wszystkich tych przykładach wspólny mianownik jest jeden: usługa odbiera dane, przetwarza je według ustalonych reguł i natychmiast wystawia wynik tam, gdzie zapada decyzja.

Tabela 5. Warstwa usług – przykłady zastosowań

Przykład aplikacji/ usługi cyfrowej	Krótki opis zastosowania	Źródło
Chatboty zdrowotne	systemy wspierające osoby z trudnościami w uczeniu się, dostosowujące poziom i rytm przekazu, wspomagające komunikację	Rahioui i in. (2023)
Cyfrowe bliźniaki (Digital Twins)	zastosowanie ontologii do synchronizacji rzeczywistych i wirtualnych modeli procesów w środowisku przemysłowym	Abadi i in. (2021)
Platformy HR z AI	automatyzacja rekrutacji na podstawie analizy danych kandydatów, optymalizacja dopasowania i ograniczenie uprzedzeń	Benhmama, Bennani (2024)
Platformy e-learningowe z AI	personalizacja treści edukacyjnych zgodnie ze stylem uczenia się ucznia; wykorzystanie dashboardów i silników adaptacji	Rahioui i in. (2023)
Inteligentne systemy energetyczne	systemy do predykcji i zarządzania zużyciem energii przy użyciu ML, dashboardów i czujników środowiskowych	Hakam i in. (2023)

Źródło: opracowanie własne.

Z punktu widzenia procesów kluczowe jest to, że w warstwie usług zachodzi integracja i organizacja przepływów. To tutaj definiuje się reguły działania, uprawnienia, ścieżki pracy i interfejs dla użytkowników, a więc to, jak dane stają się użyteczną informacją i wiedzą. Jednocześnie warstwa usług dziedziczy ograniczenia i ryzyka niższych warstw. Niezawodność i szybkość działania zależą od jakości łączności, a model chmurowy i platformowy rodzi pytania o bezpieczeństwo, prywatność i zależność od dostawców.

Warstwa usług to nie tylko interfejs działania, ale także miejsce, w którym zaczyna się zmiana modelu biznesowego. Gdy mamy stabilne pomiary, tożsamość i uprawnienia użytkowników, zdalny nadzór oraz rozliczenia oparte na danych, produkt może stać się usługą. Tym właśnie jest serwityzacja, czyli przesunięcie od jednorazowej sprzedaży fizycznego produktu w stronę wiązki produkt plus usługa oraz kontraktów za użycie lub rezultat (Vandermerwe, Rada, 1988; Baines i in., 2009; Neely, 2008). Może to oznaczać przejście od sprzedaży części do sprzedaży dostępności. Dane z urządzeń i usług ustalają uzgodnione parametry jakości i dostępności usługi (np. ile czasu system ma działać bez przerw oraz jak szybko następuje reakcja na zgłoszenie), modele predykcyjne planują wymiany przed awarią, a panel usługowy rozlicza osiągnięty poziom. W ten sposób serwityzacja wzmacnia relację z klientem i generuje przychody powtarzalne, ale wymaga wspólnych definicji wskaźników oraz jasnych praw do danych po obu stronach relacji.

Tak rozumiana warstwa usług spina architekturę w całość. To ona decyduje o doświadczeniu użytkownika i o tym, czy organizacja potrafi przełożyć dane na sprawniejsze operacje, lepszą obsługę, nowe modele biznesowe i trafniejsze decyzje.

1.3.4. Warstwa treści: dane jako zasób poznawczy i decyzyjny

Warstwa treści to poziom, na którym zapisy z niższych warstw nabierają znaczenia. Dane zebrane przez urządzenia i dostarczone przez sieć są tu porządkowane, łączone z innymi źródłami i przedstawiane w formie wskaźników, alertów, raportów i modeli. To właśnie ta warstwa zasila zarówno decyzje operacyjne, jak i strategiczne, a więc domyka obieg wartości w architekturze warstwowej.

Źródła są wewnętrzne, zewnętrzne i pośrednie. Wewnątrz organizacji powstają zapisy w systemach ERP, CRM czy MES: transakcje, stany magazynów, czasy pracy maszyn, harmonogramy zespołów. Cechuje je zwykle wyższy stopień ustrukturyzowania i bezpośrednio powiązanie z procesami. Na zewnątrz dostępne są dane meteorologiczne, geoprzestrzenne, statystyczne, makroekonomiczne, a także ślady użycia produktów i usług na platformach cyfrowych. Coraz większą rolę odgrywają zasoby pośrednie dostarczane przez partnerów i brokerów, które uzupełniają luki w wiedzy, ale wymagają jasnych zasad jakości, aktualności i praw do użycia (Mayer-Schönberger, Cukier, 2013; van Dijck

i in., 2018). Tabela 6 ilustruje tę heterogeniczność na przykładach: od danych środowiskowych i telemetrycznych po zapisy edukacyjne i sygnały EEG. Jej sens nie polega na katalogu formatów, lecz na pokazaniu, że decyzja o źródłach jest od razu decyzją o częstotliwości, dokładności i kontekście, a więc o tym, jaką wiedzę w ogóle da się z tych danych wydobyć.

Różnorodność dotyczy także formy. Obok danych strukturalnych zapisanych w tabelach mamy dane półstrukturalne (np. logi zdarzeń, JSON) oraz niestructuralne, takie jak obrazy, dźwięk czy tekst. Ekonomiczna konsekwencja jest prosta: im bardziej złożona forma, tym większe wymagania wobec narzędzi, kompetencji i czasu potrzebnego do tego, by dane stały się informacją użyteczną w decyzji (Alaimo, Kallinikos, 2024).

Tabela 6. Warstwa treści – przykłady różnych form danych

Przykład danych cyfrowych	Krótki opis zastosowania	Źródło
Dane środowiskowe z sensorów IoT	informacje o temperaturze, wilgotności, ciśnieniu, zbierane w czasie rzeczywistym przez inteligentne czujniki	Ayat i in. (2023)
Dane z systemów nawadniania	zbiory danych służące do sterowania wodą w rolnictwie przy pomocy czujników gleby i zdalnego zarządzania zasobami	Mounich i in. (2023)
Dane EEG	sygnały mózgowie klasyfikowane w systemach zdrowotnych przy użyciu sztucznej inteligencji i sieci neuronowych	Corrales i in. (2023)
Dane wideo z systemów monitorujących	strumienie wideo służące do rozpoznawania twarzy lub wykrywania zagrożeń w środowiskach edukacyjnych i publicznych	Ouchani i in. (2023)
Dane edukacyjne z aplikacji mobilnych	informacje o stylu uczenia się i postępach użytkowników w aplikacjach do nauki wspomaganej AI	Lachgar i in. (2023)
Dane predykcyjne o zużyciu energii	zbiory danych wykorzystywane do przewidywania i optymalizacji zużycia energii w inteligentnych budynkach	Hakam i in. (2023)
Dane pojazdów i systemów ADAS	telemetria pojazdowa, parametry ruchu i alerty systemowe stosowane do zarządzania bezpieczeństwem w czasie rzeczywistym	Zerouali i in. (2023)
Dane behawioralne z aplikacji zdrowotnych	dane o nawykach użytkowników wykorzystywane do profilowania i personalizacji porad zdrowotnych	El Rhatassi i in. (2023)
Dane środowiskowe z sensorów IoT	informacje o temperaturze, wilgotności, ciśnieniu, zbierane w czasie rzeczywistym przez inteligentne czujniki	Ayat i in. (2023)
Dane z systemów nawadniania	zbiory danych służące do sterowania wodą w rolnictwie przy pomocy czujników gleby i zdalnego zarządzania zasobami	Mounich i in. (2023)

Źródło: opracowanie własne.

Własności danych odróżniają je od tradycyjnych czynników produkcji. Po pierwsze, dane są nierywalizacyjne i łatwo replikowalne, co obniża koszt ich ponownego użycia. Po drugie, nie są w pełni zamienne: ich wartość jest kontekstowa i ujawnia się dopiero w konkretnym zastosowaniu oraz w zestawie komplementarnych zasobów, takich jak modele, kompetencje ludzi, procedury decyzyjne i infrastruktura dostępu. Po trzecie, wiele danych powstaje niejako „przy okazji” transakcji i interakcji z systemami, co tworzy przewagi dla podmiotów o szerokiej skali działania, ale równocześnie stawia wymagania dotyczące ładu danych i odpowiedzialności (Baley, Veldkamp, 2023).

Kluczowe jest również to, czy dane da się łączyć między systemami. Interoperacyjność ma wymiar techniczny i semantyczny. Techniczny dotyczy formatów i protokołów, które pozwalają bezpiecznie przenieść zapis. Semantyczny dotyczy znaczenia: wspólnych definicji wskaźników, identyfikatorów i reguł agregacji. Bez tego ten sam numer partii, adres czy status zamówienia może znaczyć co innego po obu stronach relacji, a integracja będzie kosztowna i podatna na błędy (Constantiou, Kallinikos, 2015). Z tego samego powodu tak ważne są jakość, pochodzenie i aktualność danych oraz przejrzyste zasady dostępu i kontroli, które budują zaufanie i audytowalność w relacjach B2B.

Z perspektywy przedsiębiorstwa ta warstwa odpowiada za to, czy „dane pracują na wynik”. Tu ustala się definicje miar i progów alarmowych, projektuje pulpity i raporty dla konkretnych ról, buduje modele predykcyjne i reguły działania. W naszym przykładzie dostawcy komponentów i fabryki montażowej wspólna semantyka jakości i jednoznaczne identyfikatory partii sprawiają, że raport o odchyleniach jest interpretowany tak samo po obu stronach. Efekt to mniej sporów, krótszy cykl rozrachunkowy i mniejsze bufory zapasów. Gdy semantyka jest niespójna, rosną koszty uzgodnień, pojawiają się opóźnienia i trudniej automatyzować procesy.

Warstwa treści domyka zatem architekturę technologii, ale jednocześnie otwiera przejście do mechanizmów, które przekuwają dane w trwałą przewagę. W dalszej części pokażę, jak decyzje o tym, co i jak mierzymy, jak przekładamy zapisy na reguły działania oraz jak koordynujemy wielu uczestników składają się na trzy współzależne procesy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji (DAP). To one decydują, czy rozproszone zbiory danych stają się powtarzalnym wynikiem organizacyjnym i czy dają się rozszerzyć na współpracę z partnerami spoza firmy.

1.4. Od technologii cyfrowych do wartości ekonomicznej: datafikacja, algorytmizacja i platformizacja (DAP)

Opis warstw unaoczniał, jak codzienna działalność firmy przekłada się na zapis cyfrowy i staje się danymi, jak te dane krążą między systemami oraz jak trafiają do miejsc, w których zapadają decyzje. O tym, czy te strumienie informacji

przełożą się na wynik biznesowy, decydują mechanizmy organizowania pracy z danymi, które spinają warstwy w działającą całość. W literaturze określa się je jako datafikację, algorytmizację i platformizację, w skrócie DAP (Śledziewska, Włoch, 2020).

Datafikacja to systematyczne przekształcanie zjawisk i procesów w porównywalne reprezentacje cyfrowe oraz ustanawianie reguł ich powstawania, obiegu i użycia. W praktyce obejmuje pomiar i identyfikację, porządkowanie oraz łączenie strumieni danych (z urzędów, systemów i użytkowników), tak aby stały się one użytecznym zasobem organizacyjnym o charakterze infrastrukturalnym – wspierającym decyzje, kontrolę i rozliczenia.

Algorytmizacja to przekształcanie zdatafikowanych zapisów w przewidywania i reguły działania osadzone w procesach organizacyjnych. Obejmuje automatyzację i, w coraz większym zakresie, autonomizację klasyfikowania, rankingowania, prognozowania i dopasowywania, które wspierają ludzkie decyzje operacyjne oraz taktyczne lub je zastępują.

Platformizacja to budowa (re)programowalnych infrastruktur koordynujących interakcje wielostronne na wspólnych zasadach dostępu, interfejsach i regułach rozliczeń. Umożliwia organizację rynku i współpracy sieciowej, wykorzystując efekty sieciowe oraz skalując współdziałanie w ekosystemach zewnętrznych i wewnętrznych.

W skrócie: DAP to trzy sprzężone mechanizmy tworzenia wartości w gospodarce cyfrowej, datafikacja ustanawia wiarygodny język liczb i identyfikatorów do opisu oraz zarządzania rzeczywistością, algorytmizacja zamienia je w przewidywania i reguły działania, a platformizacja koordynuje wielu uczestników na podstawie wspólnych standardów i interfejsów.

Z perspektywy ekonomicznej DAP obniża cztery klasy kosztów: pomiaru, komunikacji, przewidywania i koordynacji. Przesuwa to funkcję produkcji w stronę zasobów niematerialnych oraz komplementarności między danymi, modelami, infrastrukturą i kompetencjami. W takich warunkach przewagi konkurencyjne rosną w miejscach kontrolnych cyklu DAP. Liderzy definiują miary i identyfikatory, dysponują strumieniami danych i miejscami ich powstawania, osadzają modele w kluczowych procesach oraz wystawiają interfejsy i definiują reguły gry dla partnerów. Uczestnictwo w tych ekosystemach wymaga przyjęcia wspólnych miar, reguł i interfejsów. To podnosi próg wejścia, a jednocześnie zmniejsza tarcie współpracy wśród podmiotów, które spełniają wymagania. W wymiarze międzynarodowym zbieżność tych reguł po obu stronach granicy obniża koszty transakcyjne i ułatwia skalowanie współpracy.

W kolejnych podrozdziałach rozwijam każde z trzech ogniw DAP. Pokazuję, jak datafikacja ustanawia język liczb i identyfikatorów, jak algorytmizacja wytwarza przewidywania i reguły działania oraz jak platformizacja koordynuje wiele stron i skaluje efekty. To przygotowuje grunt pod następny rozdział, w którym przełożę DAP na procesy biznesowe i współpracę z partnerami.

1.4.1. Datafikacja jako źródło wartości dodanej

Datafikacja to nadawanie zjawiskom i procesom postaci stabilnych, porównywalnych zapisów cyfrowych oraz ustanawianie reguł ich wytwarzania, obiegu i wykorzystania w procesach biznesowych. Współczesne gospodarki w coraz większym stopniu opierają się na danych, lecz o wartości nie decyduje ich wolumen, tylko zdolność organizacji do przekuwania zapisu w decyzje i działanie. Datafikacja nie sprowadza się do digitalizacji dokumentów czy do zbierania danych z czujników, lecz polega na nadaniu zjawiskom postaci stabilnych, porównywalnych reprezentacji cyfrowych oraz ustanowieniu reguł ich powstawania, obiegu i użycia. Jej sens tkwi w tym, że dane stają się elementem łańcucha tworzenia wartości: są selekcjonowane, porządkowane, interpretowane i używane w praktykach decyzyjnych oraz rozliczeniach. W tym znaczeniu datafikacja jest zmianą organizacyjną, ponieważ ustanawia wspólny język działania, na którym można budować reguły, automatyzację i mechanizmy koordynacji (Śledziwska, Włoch, 2021; Constantiou i Kallinikos, 2015; van Dijck i in., 2018). Operacjonalizuje się dopiero wtedy, gdy istnieją wspólne definicje, miary i identyfikatory, które umożliwiają łączenie procesów w firmie i między firmami oraz wtórne wykorzystanie danych w kolejnych zastosowaniach.

W praktyce datafikacja obejmuje instrumentalizację procesów (pomiar, znaczniki, logi), jednoznaczność identyfikację obiektów i zdarzeń, porządkowanie oraz łączenie strumieni z urządzeń, systemów i interakcji użytkowników tak, by stały się zasobem o charakterze infrastrukturalnym, zdatnym do audytu, ponownego użycia i automatyzacji reguł pracy. Jej wartość ujawnia się dopiero wtedy, gdy dane zostają wpięte w reguły działania i rozliczeń: wtedy obniżają koszty pomiaru i porównywalności, umożliwiają dokładniejsze prognozy, synchronizację przepływów i personalizację usług (Alaimo, Kallinikos, 2024).

Dane nie są tożsame z informacją ani z decyzją. Nabierają znaczenia po selekcji, uporządkowaniu i interpretacji, czyli wtedy, gdy zostają zakotwiczone w praktykach decyzyjnych i sprzężone z działaniem organizacji (Constantiou, Kallinikos, 2015). Stąd wartość z danych jest wynikiem całego łańcucha: od pomiaru i identyfikacji, przez porządkowanie i łączenie, po użycie w regułach pracy i rozliczeniach.

Z perspektywy ekonomicznej datafikacja obniża koszty pomiaru i porównywalności oraz otwiera pole dla nowych zastosowań. W handlu umożliwia dokładniejsze prognozy popytu i precyzyjniejsze zatowarowanie. W produkcji stanowi podstawę predykcyjnego utrzymania ruchu i kontroli jakości w czasie zbliżonym do rzeczywistego. W logistyce pozwala synchronizować przepływy i skracać czas obiegu informacji między partnerami. W usługach cyfrowych zasila personalizację ofert i dynamiczne kształtowanie cen. Na poziomie modeli biznesowych tworzy warunki do serwityzacji i rozliczeń zależnych od

użycia, ponieważ to wiarygodny pomiar staje się podstawą kontraktu z klientem (Brynjolfsson, McAfee, 2017).

Datafikacja ma także wymiar organizacyjny. Wymaga uzgodnionych definicji i słowników pojęć, procedur zapewniania jakości oraz ustalenia praw do dostępu i ponownego użycia. Bez takiego ładu rośnie ryzyko błędnych wniosków i sporów o interpretację, co ogranicza możliwość współpracy w łańcuchach wartości.

1.4.2. Algorytmizacja: mechanizm przekształcania danych w wartość

Algorytmizacja to zamiana zdatafikowanych zapisów na przewidywania i reguły działania osadzone w codziennych procesach, tak aby decyzje mogły powstawać nie tylko z indywidualnych ocen, lecz także z poprawnie zaprojektowanego i wdrożonego kodu. Datafikacja daje porównywalny między systemami i podmiotami zapis zdarzeń. Algorytmizacja to kolejny krok: zamiana danych na przewidywania i reguły działania osadzone w procesach. Chodzi nie tylko o obliczenia, lecz także o zmianę logiki pracy organizacji, w której decyzje coraz częściej powstają w wyniku działania poprawnie zaprojektowanego i wdrożonego kodu, a nie wyłącznie z indywidualnych ocen (Constantiou, Kallinikos, 2015).

W praktyce obejmuje automatyzację wielu „mikropredykcji” w czasie zbliżonym do rzeczywistego (od prognoz popytu, wyceny ryzyka i detekcji nadużyć, po optymalizację tras, przydział zadań i utrzymanie ruchu), a jej rdzeniem są techniki uczenia maszynowego: nadzorowanego (prognozowanie, klasyfikacja), nienadzorowanego (grupowanie, wykrywanie wzorców) oraz ze wzmocnieniem (udoskonalanie decyzji w środowiskach dynamicznych).

Skuteczność algorytmizacji wyznaczają komplementarność: jakość i dostępność danych, moc obliczeniowa, odpowiednie modele, kompetencje zespołów oraz integracja z procesami i systemami. Bez tych warunków algorytmizacja jedynie przyspiesza generowanie błędów; z nimi – skraca opóźnienia decyzyjne i skaluje jednolitość działania.

W ujęciu makro algorytmy działają jak technologia ogólnego zastosowania, ponieważ radykalnie obniżają koszt przewidywania i uruchamiają fale innowacji komplementarnych w organizacji oraz modelach biznesu. Jednocześnie efekty produktywności pojawiają się z opóźnieniem, dopiero po inwestycjach w dobra i usługi komplementarne, a wzrost znaczenia danych, mocy obliczeniowej i dużych modeli rodzi nowe asymetrie oraz potrzebę przejrzystości, audytowalności i odpowiedzialności algorytmicznej (Agrawal i in., 2019; Brynjolfsson, McAfee, 2017).

Obecnie rdzeniem algorytmizacji są techniki uczenia maszynowego. Uczenie nadzorowane dostarcza prognoz i klasyfikacji, uczenie nienadzorowane identyfikuje podobieństwa i wzorce w nieoznaczonych zbiorach, co

pozwała je grupować i porządkować, a uczenie ze wzmocnieniem doskonali decyzje w środowiskach dynamicznych. Ważny jest cykl danych (pętla sprzężenia zwrotnego): działające modele wpływają na zachowania użytkowników i systemów, co tworzy nowe dane i pozwala dalej poprawiać reguły, aż do momentu, w którym ograniczeniem stają się jakość danych, koszty obliczeń lub zmiany kontekstu (Agrawal i in., 2019).

W ostatnich latach wzrosła rola modeli podstawowych i generatywnej sztucznej inteligencji. Duże, wstępnie wytrenowane modele ogólnego zastosowania działają jak zasoby poznawcze: streszczają, tłumaczą, kodują i tworzą treści, a po dostrojeniu wspierają wyspecjalizowane decyzje w wielu domenach. Rozszerza to zakres zadań możliwych do automatyzacji i skraca czas wdrożeń, ale podnosi bariery wejścia, ponieważ rosną koszty danych, energii i mocy obliczeniowej, co sprzyja koncentracji w węzłach infrastruktury i zależności od dostawców (Bommasani i in., 2021; OECD, 2024).

Algorytmizacja nie jest neutralna. Wraz z korzyściami skali pojawiają się ryzyka: nieprzejrzystość modeli, zależność od dostawców infrastruktury, przenoszenie błędów z danych do decyzji oraz przesunięcia władzy na rzecz tych, którzy kontrolują strumienie danych i kanały dystrybucji wyników. Dlatego obok inwestycji technicznych potrzebny jest ład decyzji algorytmicznych: klarowne cele i miary, nadzór, testy stabilności oraz mechanizmy odwołań.

Aby przewidywania i reguły mogły pracować nie tylko w jednej firmie, lecz także w ekosystemach, trzeba je osadzić w infrastrukturach łączących wielu uczestników, ujednolicających zasady gry i rozliczających efekty.

1.4.3. Platformizacja jako model organizacyjny gospodarki cyfrowej

Platformizacja to tworzenie i zarządzanie programowalnymi infrastrukturami, które łączą wiele stron rynku i współpracy na uzgodnionych zasadach: wspólnych interfejsach, standardach danych, regułach dostępu i rozliczeń. W takim układzie koordynacja przenosi się do „węzłów”, platform, które skaluje się dzięki efektom sieciowym i korzyściom skali, organizując rynek oraz współdziałanie w ekosystemach wewnętrznych i zewnętrznych. Platformizacja jest naturalnym domknięciem DAP. Na gruncie ustandaryzowanych danych i osadzonych w procesach modeli powstają struktury, które koordynują wielu uczestników przez wspólne zasady dostępu, interfejsy i reguły rozliczeń. Platformy nie są więc wyłącznie kanałem wymiany, ale formą organizacji, w której cyfrowa logika działania przybiera postać instytucji: danym przypisuje się prawa użycia, algorytmy porządkują widoczność i ceny, a reguły platformy definiują, co i na jakich warunkach dzieje się między stronami rynku (Constantinides i in., 2018; van Dijck i in., 2018; Śledziwska, Włoch, 2021).

Z perspektywy ekonomicznej platforma to infrastruktura, która redukuje koszty transakcyjne i zarządza efektami sieciowymi. Robi to przez trzy

podstawowe funkcje: wyszukiwanie i dopasowywanie uczestników, wytwarzanie zaufania dzięki reputacjom, ratingom i gwarancjom, oraz obsługę transakcji, w tym płatności i spory. Algorytmy pozwalają te funkcje wykonywać w czasie zbliżonym do rzeczywistego i personalizować interakcję, a rosnąca liczba użytkowników po jednej stronie zwiększa użyteczność po drugiej, co wzmacnia sprzężenia zwrotne wartości (Belleflamme, Neysen, 2023).

Platformy coraz częściej łączą rolę pośrednika i producenta: korzystając z danych o popycie (datafikacja) i przewag operacyjnych (algorytmizacja procesów), uruchamiają własne oferty, integrują reklamę, logistykę, płatności i przetwarzanie treści, a dzięki otwieraniu interfejsów (API, SDK) dla partnerów budują ekosystem komplementariuszy (*innovation platforms*). To przesunięcie logiki działania jest dobrze widoczne w typologii platform – tam, gdzie platforma nie tylko kojarzy strony rynku, lecz także udostępnia środowisko wytwarzania i dystrybucji komplementariów, przyciągając zewnętrznych producentów aplikacji/usług (Parker, Van Alstyne, Choudary, 2016; OECD, 2019a). Logika ta nie ogranicza się do *born-digital*. Coraz więcej firm spoza świata platform włącza moduły ocen/rekomendacji, programy partnerskie, a także API dla dostawców i resellerów; w efekcie klasyczny łańcuch dostaw stopniowo przechodzi w platformę z usługami zewnętrznymi i wewnętrznymi. W produkcji towarzyszy temu zbieżność serwicyzacji z technologiami Przemysłu 4.0: dane z IoT/OT, cyfrowe bliźniaki i usługi posprzedażowe spięte są w architekturę modelu biznesowego (Frank, Mendes, Ayala, Ghezzi, 2019).

Właśnie tu najlepiej widać komplementarność DAP: datafikacja zapewnia mierzalny zapis aktywności użytkowników/urządzeń, algorytmizacja zamienia zapis w reguły podejmowania decyzji (np. ranking, dynamiczne ceny, przydział zleceń), a platformizacja skaluje te reguły między wieloma podmiotami oraz warstwami ekosystemu (Yoo, Henfridsson, Lyytinen, 2010). Konsekwencje są podwójne. Po pierwsze, rośnie efektywność koordynacji dzięki efektom sieciowym i skali danych (Parker, Van Alstyne, Choudary, 2016; OECD, 2019a). Po drugie, nasila się siła „gatekeepingowa” platform (co widać zarówno w sporach o ranking/priorytetyzację oraz warunki dostępu, jak i w interwencjach antymonopolowych), co generuje nowe napięcia konkurencyjne i regulacyjne (van Dijck i in., 2018; EC, 2017).

Tak rozumiana platformizacja spina warstwy w jednolity mechanizm tworzenia wartości. Ustala też próg uczestnictwa: aby korzystać z efektów skali i sieci, podmioty muszą przyjąć wspólne miary (metryki jakości/popytu), interfejsy (API, formaty danych) i reguły gry (algorytmy rankingu, moderacji, cen). W modelu platformowym to operator aktywnie zarządza popytem i podażą poprzez reguły algorytmiczne oraz projekt interfejsów, a nie tylko udostępnia rynek.

1.5. Asymetrie cyfrowe jako źródło kosztów transakcyjnych

Warto zobaczyć, co dzieje się, gdy spójności brakuje, gdy użytkownicy, zespoły lub partnerzy działają na różnych poziomach wdrożeń, standardów i praktyk. Wtedy każda „szczelina” między warstwami zamienia się w tarcie organizacyjne. Niespójne identyfikatory i słowniki wymuszają ręczne dopasowania w danych. Różny poziom instrumentacji procesów (czujniki vs. brak pomiaru) rozrywa ciągłość informacji i opóźnia reakcję. Odmienne interfejsy usług i brak kompatybilnych API spowalniają integrację, a niejednolite reguły dostępu i rozliczeń podwyższają próg wejścia dla nowych uczestników. Ekonomicznie to prosty mechanizm: asymetrie adopcji podbijają klasyczne koszty transakcyjne: wyszukiwania i dopasowania (trzeba dłużej szukać zgodnych danych i partnerów), monitoringu (trudniej śledzić status i jakość), egzekwowania (więcej wyjątków i sporów). W operacjach widać to jako wolniejsze przepływy, większe bufony bezpieczeństwa i częstsze obejścia poza systemem. W decyzjach zbiorowych skutkuje to niższą precyzją prognoz, mniejszą granulacją sterowania i rosnącą liczbą błędów wynikających z nieporównywalnych zapisów.

Potrzebna jest spójność architektury warstwowej. Urządzenia określają, co i z jaką dokładnością jest mierzone; sieć decyduje o tempie obiegu informacji; usługi zamieniają strumienie danych na czynności i role; treści nadają im znaczenie dla decyzji. Wartość ujawnia się dopiero wtedy, gdy te poziomy współdziałają. Jeżeli na którymkolwiek poziomie powstaje luka, działa logika wąskiego gardła: wyżej nie osiągnie się więcej, niż dopuszcza najsłabsza warstwa (Yoo i in., 2010). Gęsta sieć czujników po jednej stronie i sporadyczne odczyty po drugiej uniemożliwiają zestrojenie progów jakości. Stabilna łączność po jednej stronie i łączność przerywana po drugiej stronie wymuszają pracę partiami zamiast w rytmie zdarzeń. Na poziomie usług brak dojrzałych interfejsów i mechanizmów tożsamości po jednej stronie zamienia współpracę w serię obejść, czyli kosztowną translację rozwiązań.

Interoperacyjność nie kończy się na formacie pliku. Potrzebna jest zgodność syntaktyczna, czyli uzgodnione formaty i protokoły, zgodność semantyczna, czyli te same znaczenia wskaźników i identyfikatorów, oraz zgodność pragmatyczna, czyli reguły działania po wymianie komunikatu: kto co robi, w jakim czasie i jak to rozliczamy. Dopiero spięcie tych trzech poziomów obniża koszty łączenia systemów i przenosi ciężar z „dogadywania się” na faktyczne współdziałanie procesów (Neiva i in., 2016).

Drugie źródło kosztów pojawia się na styku z DAP. Datafikacja tworzy wspólne miary i identyfikatory, ale wymaga inwestycji w jakość i ład danych (czyli uzgodnione definicje, odpowiedzialności i jakość informacji oraz rejestr modeli); bez nich rosną koszty przygotowania zasobów, a wartość ginie w szumie informacyjnym (Kampakis i in., 2022; Shukla i in., 2023). Algorytmizacja obniża koszt przewidywania, lecz opiera się na danych, które mogą być

niepełne lub stronicze, a modele bywają nieprzejrzyste. To zwiększa ryzyko błędnych decyzji i utrudnia przypisanie odpowiedzialności (Mittelstadt i in., 2016). Platformizacja ułatwia koordynację wielu stron rynku, ale kumuluje władzę u operatorów, którzy kontrolują dostęp do danych, interfejsów i puli użytkowników, co zwiększa koszty zmiany dostawcy i asymetrię pozycji negocjacyjnych (van Dijck i in., 2018; Belleflamme, Neysen, 2023).

W praktyce, niespójne pomiary jakości kończą się sporami przy odbiorze i większymi buforami zapasów. Niestabilna łączność wydłuża czas od sygnału zapotrzebowania do wysyłki i wymusza ręczne potwierdzenia. Nieuzgodnione definicje partii i statusów zamówienia zwiększają liczbę reklamacji i wydłużają cykl rozrachunkowy. Każdy z tych efektów to dodatkowy koszt, opóźnienie albo ryzyko błędu.

Wniosek jest dwuczęściowy. Po pierwsze, wspólna operacja działa tak dobrze, jak jej najsłabsza warstwa; inwestycje punktowe bez minimalnego dopasowania pozostałych poziomów nie przełożą się na efekt skali. Po drugie, poza warstwami liczy się zgodność reguł DAP. Zbieżne miary i identyfikatory, przejrzyste decyzje algorytmiczne oraz uczciwy dostęp do infrastruktury platform obniżają koszty transakcyjne, asymetrie w tych obszarach je podnoszą. Dlatego umowy o współdziałaniu powinny mieć profil warstwowy i DAP: winny określać minimalne wymagania pomiaru, parametry łączności, stabilność interfejsów i słowników, a także zasady użycia danych, wyjaśnialności modeli i dostępu do interfejsów platform.

Różnice w poziomach adopcji technologii nie są zatem technicznym detałem, lecz nowym wymiarem kosztów. W kolejnych częściach przełożę tę tezę na współpracę międzynarodową i pokażę, jak mierzyć dystans cyfrowy między partnerami oraz jak go zmniejszać poprzez standardy, ład danych i kontrakty projektowane pod interoperacyjność.

1.6. Podsumowanie

We wprowadzeniu postawiłam dwie tezy, które wiodły mnie przez cały rozdział: technologie cyfrowe są dziś infrastrukturą działania, często niewidoczną w codziennej praktyce, a ich znaczenia nie da się zrozumieć bez spojrzenia systemowego. Celem było więc uporządkowanie języka i pokazanie, jak ta infrastruktura pracuje na wartość w firmach i w handlu międzynarodowym.

Po pierwsze, pokazałam technologie jako układ warstw: urządzeń, sieci, usług i treści. To nie katalog narzędzi, lecz współzależny system. Wartość pojawia się dopiero wtedy, gdy warstwy są spójne, a tempo i jakość całego układu wyznacza najsłabsza z nich. Z tej optyki wynika ważna konsekwencja dla handlu. Oprócz ceł, odległości i regulacji o kosztach współpracy decydują dziś koszty niezgodności warstw. Inne miary po stronie urządzeń, nierówny rytm

łączności, brak stabilnych interfejsów i niekompatybilne definicje danych generują utrudnienia w transakcjach i skracają zasięg możliwej współpracy. To jest praktyczny wymiar architektury warstwowej, o której pisałam, korzystając z podejścia Yoo, Henfridssona i Lyytinen (2010).

Po drugie, związałam architekturę z mechanizmami tworzenia wartości. Datafikacja nadaje zjawiskom postać mierzalnych reprezentacji i wspólnych identyfikatorów, co tworzy język liczb dla działania i rozliczeń. Algorytmizacja produkuje przewidywanie i reguły decyzji w skali, obniżając koszt prognozy i standaryzując zachowanie organizacji. Platformizacja koordynuje wielu uczestników, zarządza efektami sieciowymi i egzekwuje reguły dostępu, dzięki czemu dane z działania wracają do zasad, które sterują widocznością ofert, cenami i kolejką zleceń. W tym sensie DAP nie jest dodatkiem do technologii, lecz nowym sposobem organizowania koordynacji rynkowej. Rzadkość tkwi nie tylko w zasobach materialnych, lecz także w niematerialnych dopasowaniach: w tym, jak dane, kod i reguły (standardy, procedury) są ze sobą spójnie połączone.

Po trzecie, pokazałam, co z tego wynika dla międzynarodowej wymiany. Im mniejsza asymetria warstw i reguł DAP po obu stronach granicy, tym niższe koszty wyszukiwania, dopasowania, monitoringu i egzekwowania. Innymi słowy, zbieżność miar, interfejsów i definicji danych staje się dziś elementem kosztów współpracy. Gdy ta zbieżność jest duża, przepływy towarów, usług i danych przyspieszają, a część rent trafia do podmiotów, które potrafią najlepiej spinać DAP w działający system. Gdy jest mała, rośnie tarcie i zależność od operatorów infrastruktury, co otwiera wątek regulacyjny.

Z takim rozumieniem technologii zamykam rozdział i wracam do obietnicy z wprowadzenia. Chciałam dać czytelnikowi ramę, która pozwala zobaczyć technologie cyfrowe jako infrastrukturę handlu, a nie tylko jako zestaw rozwiązań. W kolejnych częściach przełożę to na dwie ścieżki: po pierwsze, jak DAP rekonfiguruje procesy i decyzje w przedsiębiorstwach; po drugie, jak różnice dojrzałości cyfrowej firm i krajów tworzą nowy rodzaj dystansu w handlu międzynarodowym i jak można go mierzyć oraz ograniczać.

2. Transformacja cyfrowa a gotowość przedsiębiorstw

2.1. Wprowadzenie

W tym rozdziale pokazuję, że transformacja cyfrowa jest ciągłą reorganizacją przedsiębiorstwa, a nie katalogiem pojedynczych innowacji. Jej istotą są trzy sprzężone mechanizmy DAP, czyli datafikacja, algorytmizacja i platformizacja, osadzone w decyzjach, procesach i kulturze organizacyjnej. DAP działa jak nakładka nad warstwami technologii opisanymi w rozdziale 1, ale o jej skuteczności przesądza to, czy jest rzeczywiście wbudowana w procesy organizacyjne, reguły pracy oraz we współpracę z klientami i partnerami rynkowymi. Tak rozumiane podejście ma solidne oparcie w literaturze akcentującej mechanizmy zmiany oparte na danych, modelach i interfejsach oraz ich społeczne i organizacyjne uwarunkowania.

Wyraźnie rozgraniczam trzy pojęcia. Digietyzacja oznacza konwersję zasobów do postaci cyfrowej. Digitalizacja porządkuje i automatyzuje przebiegi pracy z użyciem technologii cyfrowych. Transformacja cyfrowa zaczyna się wtedy, gdy nakładka DAP spina warstwy technologiczne z regułami podejmowania decyzji i ze sposobem współpracy z otoczeniem, także międzynarodowym. W tym ujęciu technologia jest konieczna, lecz niewystarczająca bez równoległej zmiany organizacyjnej, kompetencyjnej i procesowej, co podkreślają prace o strategii w warunkach gospodarki danych (Constantiou, Kallinikos, 2015; Vial, 2019).

Rozdział rozpoczyna próba uporządkowania przejścia od digietyzacji i digitalizacji do zastosowań DAP jako nakładki nadającej kierunek zmianie. Pokazuję także, jak mierzyć stopień wbudowania DAP w reguły działania firmy. Następnie opisuję, jak DAP przekształca kluczowe obszary funkcjonowania przedsiębiorstwa, w tym procesy decyzyjne, operacje i łańcuch dostaw, relacje z klientami i partnerami oraz zarządzanie danymi i zgodnością, ilustrując te mechanizmy krótkimi przykładami. Na końcu wskazuję warunki skutecznej transformacji i źródła barier, od jakości danych i kompetencji po architekturę

integracji i zgodność z regulacjami, a także wyjaśniam, jak te czynniki przekładają się na koszty koordynacji.

Teza rozdziału jest następująca: zróżnicowany poziom dojrzałości i gotowości cyfrowej przedsiębiorstw tworzy realne koszty dopasowania i integracji w łańcuchach wartości, a tym samym nowy wymiar dystansu cyfrowego w handlu międzynarodowym. Wprowadzam spójne ramy pomiaru dojrzałości i gotowości, potrzebne do porównań między firmami i branżami, i wykorzystuję je jako mikrofundament późniejszej analizy barier współpracy transgranicznej w rozdziałach poświęconych podziałom cyfrowym i modelowi grawitacyjnemu.

2.2. Transformacja cyfrowa

Transformacja cyfrowa to całościowa zmiana sposobu działania przedsiębiorstwa umożliwiona przez technologie cyfrowe. Obejmuje ona przebudowę procesów operacyjnych i modelu biznesowego na podstawie danych, algorytmów i sieci, jako rezultat pogłębiającej się datafikacji, algorytmizacji i platformizacji. Dla organizacji oznacza zmiany w kulturze organizacyjnej, stylach zarządzania i sposobach funkcjonowania firm: od integracji procesów i relacji z otoczeniem, po redefinicję ról i odpowiedzialności. Przedmiotem transformacji jest przesunięcie z ewidencji ku projektowaniu decyzji na danych. Dane są pozyskiwane i porządkowane z myślą o zastosowaniach, modele i reguły są osadzone w przebiegach pracy, a interfejsy współpracy z klientami i partnerami stają się elementem logiki biznesu. Punkt ciężkości przechodzi z pojedynczych wdrożeń na spójne łączenie i stosowanie technologii w procesach oraz w relacjach z otoczeniem, co potwierdzają badania nad zarządzaniem opartym na danych i mechanizmami algorytmicznymi w organizacjach (Agrawal i in., 2019).

O przebiegu transformacji decyduje podejście organizacyjne i procesowe, a nie same technologie. W przedsiębiorstwach, które osiągały trwałe efekty, najpierw porządkowano procesy, role i odpowiedzialności, wyznaczano właścicieli danych, tworzone zespoły międzyfunkcyjne i ustalano rytm przeglądów decyzyjnych, a dopiero potem dobierano i wdrażano rozwiązania cyfrowe pod te praktyki. Takie uporządkowanie skracало czas decyzji i stabilizowało realizację zamówień, ale jednocześnie podnosiło wymagania jakości danych, przejrzystości modeli i interoperacyjności rozwiązań w sieci współpracy (Śledziewska, Włoch, Sołdaty, 2023). To wyjaśnia, dlaczego sama obecność technologii nie wystarcza do uzyskania efektu oraz dlaczego część wdrożeń nie przynosi spodziewanych wyników.

2.2.1. Cyfryzacja, czyli o digityzacji i digitalizacji

Digityzacja to techniczna konwersja zasobów analogowych do postaci cyfrowej. Jej efektem są niższe koszty przechowywania, łatwiejsze udostępnianie i szybsze wyszukiwanie informacji. Nie zmienia jednak sposobu działania firmy ani jej strategii (Kumar i in., 2024; Śledziewska, Włoch, 2020; Constantiou, Kallinikos, 2015). W praktyce obejmuje skanowanie i OCR dokumentów, tworzenie cyfrowych repozytoriów akt, zdjęć, nagrań audio i wideo oraz przenoszenie danych z formularzy, faktur i umów do baz danych. Często towarzyszy jej wprowadzanie elektronicznego obiegu dokumentów w księgowości i HR oraz podstawowa integracja z systemami ERP i CRM, co porządkuje obieg informacji i skraca czas obsługi spraw (Kumar i in., 2024). Korzyści z digityzacji mają przede wszystkim charakter operacyjny: maleje liczba błędów wynikających z ręcznego przepisywania, rośnie dostępność danych, a decyzje rutynowe zapadają szybciej. Digityzacja dotyczy formatu informacji, a nie reguł podejmowania decyzji czy logiki procesów (Constantiou, Kallinikos, 2015).

Dobrze przeprowadzona digityzacja stanowi fundament kolejnych etapów. Zapewnia wiarygodne, możliwe do przeszukiwania i łączenia zasoby, które umożliwiają rozwój analityki i włączenie danych do procesów biznesowych. Ułatwia ograniczanie redundancji informacji, przypisywanie odpowiedzialności za dane i przygotowanie integracji między systemami w firmie oraz z partnerami zewnętrznymi, także zagranicznymi. Jej rola jako odrębnego etapu maleje tam, gdzie dane powstają od razu w postaci cyfrowej, np. w aplikacjach mobilnych, systemach transakcyjnych, na platformach oraz w urządzeniach IoT. W wielu przedsiębiorstwach pozostaje jednak niezbędna ze względu na archiwa papierowe, wymogi zgodności i hybrydowy charakter procesów. Wniosek dla dalszej analizy jest następujący: digityzacja tworzy bazę danych o odpowiedniej jakości i dostępności, a most do kolejnego kroku wyznacza digitalizacja.

Digitalizacja to prowadzenie procesów z użyciem systemów cyfrowych oraz ich integracja w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Jej celem jest sprawność operacyjna, przejrzystość i spójność danych między funkcjami firmy. Nie jest to jeszcze transformacja, ponieważ nie zmienia logiki tworzenia wartości, lecz przygotowuje grunt pod kolejne etapy, w których DAP łączy dane z projektowaniem decyzji i reguł współpracy (Vial, 2019; Constantiou, Kallinikos, 2015). W praktyce digitalizacja obejmuje wdrożenia i integrację ERP, CRM i SCM, a w przedsiębiorstwach produkcyjnych także MES i WMS. Obejmuje elektroniczną wymianę danych z dostawcami i klientami oraz podstawową sensoryzację procesów, gdy dane z IoT zasilają ewidencję i monitoring jakości. Efekty to krótsze cykle, mniej błędów, jednolite słowniki danych i lepsza koordynacja między działami, co badania wiążą z uporządkowaniem przebiegów pracy i standaryzacją informacji w systemach operacyjnych oraz zarządczych (Kumar i in., 2024; Oosthuizen i in., 2021).

Granica digitalizacji przebiega tam, gdzie rozwiązania cyfrowe zaczynają projektować decyzje i porządkować relacje z otoczeniem. Cyfrowe bliźniaki i blockchain można zaliczyć do digitalizacji, gdy służą monitorowaniu i rejestrowaniu zdarzeń. Stają się elementem DAP wtedy, gdy wyniki symulacji lub reguły rozproszonego zapisu wpływają na sposób podejmowania decyzji oraz na zasady współpracy z partnerami w sieci (Bellalouna, 2020; Grover, Balusamy, 2024).

2.2.2. Istota transformacji cyfrowej: całościowa zmiana strategiczna i organizacyjna

Transformacja cyfrowa nie sprowadza się do wdrożenia technologii. Jest procesem społeczno-organizacyjnym, który obejmuje zmiany w kulturze organizacyjnej, stylach zarządzania i sposobach funkcjonowania firm (North, Maier, Haas, 2018). Skuteczność zależy od zdolności organizacji do adaptacji ludzi i struktur, rozwoju kompetencji cyfrowych oraz budowania kultury otwartej na uczenie się i współpracę, przy czym technologia odgrywa rolę środka realizacji tych zmian (Vial, 2019).

Transformacja ma charakter parasolowy: obejmuje historyczne etapy detyzacji i digitalizacji, a we współczesnej fazie wykorzystuje DAP jako mechanizm wiążący dane, modele i reguły współpracy z praktyką organizacyjną. DAP nie jest synonimem transformacji, lecz jej dźwignią; sama obecność technologii nie stanowi zmiany. Zmianą jest sposób, w jaki organizacja łączy technologie z decyzjami, procesami i relacjami z otoczeniem (Alaimo, Kallinikos, 2024).

Nie jest to katalog wdrożeń ani prosta automatyzacja wybranych czynności. Transformacja ma wymiar strategiczny i systemowy, ponieważ przebudowuje reguły podejmowania decyzji, strukturę ról i odpowiedzialności, ład nad danymi i modelami oraz praktyki organizacyjne. W tym sensie odróżnia się od detyzacji i digitalizacji, które dostarczają danych i porządkują przebiegi pracy, ale same nie wyjaśniają zmiany strategicznej.

Współczesna transformacja przejawia się w trzech splecionych praktykach. Po pierwsze, dane stają się zasobem wielokrotnego użytku i podstawą projektowania decyzji. Po drugie, decyzje są współkształtowane przez algorytmy oraz jawne reguły wykorzystania modeli, co wymaga klarownych celów i odpowiedzialności za wynik. Po trzecie, koordynacja wewnątrz firmy i z partnerami coraz częściej przebiega przez interfejsy i platformy, co zmienia logikę współpracy i otwiera drogę do serwityzacji modeli biznesowych (Agrawal i in., 2019; Feher, Katona, 2021; van Dijck i in., 2018).

Konsekwencją jest przesunięcie akcentu z modernizacji narzędzi na rekonfigurację sposobu tworzenia wartości. Transformacja wymaga spójnego ład w danych i modelach, kompetencji analitycznych i produktowych, odpowiedzialności decyzyjnej oraz kultury sprzyjającej uczeniu się i współdzieleniu

wiedzy. W relacjach z otoczeniem rośnie znaczenie interoperacyjności, przejrzystości zasad korzystania z danych i zgodności regulacyjnej, co warunkuje współpracę ponad granicami rynków i jurysdykcji (Vial, 2019).

Transformacja ma charakter ciągły i ewolucyjny. Innowacje cyfrowe uruchamiają sprzężenia zwrotne, które generują kolejne impulsy zmian i nowe potrzeby organizacyjne oraz strategiczne. Zjawisko to wzmacnia skalę działania przedsiębiorstwa i poszerza możliwości wykorzystania danych i algorytmów, co potwierdzają ujęcia generatywności i dynamiki rozwoju rozwiązań cyfrowych (Henfridsson, 2020).

2.2.3. DAP a zmiany w łańcuchu wartości dodanej przedsiębiorstw

Punktem wyjścia jest klasyczne ujęcie Portera – łańcuch wartości to uporządkowana sekwencja działań podstawowych: od zaopatrzenia, przez wytwarzanie, po logistykę wyjścia, marketing, sprzedaż i serwis, wspieranych przez infrastrukturę, HR, rozwój technologii i zakupy (Porter, 1985). Mechanizmy DAP zmieniają jednak logikę tego układu: zamiast liniowego następstwa etapów mamy krążenie decyzji i danych, które spina wszystkie ogniwa niemal w czasie rzeczywistym. Wartość powstaje nie tylko w poszczególnych etapach, lecz przede wszystkim w ich połączeniach: w jakości integracji danych, reguł i interfejsów między aktywnościami. Istota DAP to trzy współzależne praktyki. Po pierwsze ład danych, czyli uzgodnione definicje, odpowiedzialności i jakość informacji oraz rejestr modeli. Po drugie algorytmiczne projektowanie decyzji, w którym analityka opisowa, predykcyjna i preskrypcyjna jest wbudowana w przebieg pracy i podlega audytowi. Po trzecie platformowe interfejsy współpracy z klientami i partnerami, które standaryzują wymianę danych i usług. Taki układ odróżnia usprawnienia techniczne od zmiany strategicznej, ponieważ przenosi akcent z narzędzi na reguły działania oparte na danych (Constantiou i Kallinikos, 2015; Agrawal i in., 2019; Jarrahi i in., 2021).

W części wejściowej łańcucha, czyli w projektowaniu oferty i zaopatrzeniu, DAP zamienia rozproszone informacje w użyteczny wgląd. Zintegrowane dane o klientach, produktach i kosztach skracają czas od sygnału rynkowego do decyzji asortymentowej, a prognozy popytu i symulacje popytowo-podażowe obniżają ryzyko błędu. W handlu detalicznym pokazano, że łączenie rozpoznania popytu z planowaniem asortymentu i treści marketingowych zwiększa trafność decyzji produktowych i tempo rotacji. Przykładowo Adidas wykorzystuje ślady behawioralne klientów do personalizowanego projektowania i realizacji zamówienia w krótkim czasie, co przesuwa wartość już na etapie przygotowania oferty (Oosthuizen i in., 2021).

W operacjach DAP stabilizuje przepływy i podnosi produktywność. Predykcyjne harmonogramowanie i utrzymanie zapobiegawcze ograniczają przestoje, a cyfrowe odpowiedniki procesów pozwalają testować warianty

bez zatrzymywania pracy. W rezultacie skraca się cykl produkcyjny i maleje zmienność wyników, co przekłada się na niższy koszt jednostkowy i bardziej wiarygodne terminy dostaw (Bellalouna, 2020; Vial, 2019). W magazynowaniu i kompletacji dobrze widać rolę algorytmów na przykładzie ThredUp, który dzięki automatycznemu tagowaniu i klasyfikacji milionów unikatowych pozycji zwiększa szybkość obrotu i ogranicza błędy operacyjne (Oosthuizen i in., 2021).

W logistyce i dystrybucji DAP umożliwia przejście z planowania okresowego do sterowania zdarzeniami. Prognozy popytu, alokacja zapasów i planowanie tras korzystają z połączonych danych sprzedażowych, operacyjnych i kontekstowych, co redukuje braki i nadwyżki oraz poprawia terminowość. Gdy do gry wchodzi platformowe standardy wymiany informacji z dostawcami i dystrybutorami, koszt koordynacji spada, a odporność łańcucha rośnie. Warunkiem korzyści jest interoperacyjność danych i zgodne standardy po obu stronach relacji (Grover, Balusamy, 2024; Gao i in., 2023).

Na wyjściu łańcucha, czyli w marketingu, sprzedaży i serwisie, DAP łączy personalizację z możliwościami operacyjnymi. Te same zintegrowane informacje, które służą prognozie popytu i planowaniu zapasów, zasilają rekomendacje, komunikację i politykę cenową, dzięki czemu doświadczenie klienta jest spójne z rytmem produkcji i dostaw. Badania z handlu detalicznego pokazują, że takie spięcie danych skraca czas od sygnału popytowego do realizacji zamówienia i podnosi konwersję (Constantiou, Kallinikos, 2015). Przykłady są namacalne: Sephora wykorzystuje wirtualne doradztwo i algorytmiczne rekomendacje, a IKEA stosuje rozszerzoną rzeczywistość do wizualizacji produktu w przestrzeni klienta, co ogranicza zwroty i zwiększa satysfakcję (Oosthuizen i in., 2021).

Aktywności wspierające również zmieniają swój charakter. W HR algorytmy pomagają planować grafiki, dobrać szkolenia i mierzyć pokrycie kompetencji krytycznych, co przyspiesza wdrożenie pracowników i podnosi wykorzystanie zasobów. W finansach i kontroli zarządczej dane transakcyjne są łączone z danymi operacyjnymi, co skraca cykle planowania i poprawia jakość alokacji kapitału. W B+R dane z eksploatacji produktów wracają do projektowania, co umożliwia iteracyjne ulepszanie rozwiązań i sprzyja serwitizacji, czyli przejściu od sprzedaży rzeczy do sprzedaży rezultatów użytkownika (Masood, Sonntag, 2020; Nick i in., 2021).

W całym łańcuchu pojawia się efekt sieci. Platformizacja porządkuje współpracę w standardowych interfejsach, więc każdy nowy uczestnik zwiększa użyteczność systemu, a koszty koordynacji maleją. Firmy, które łączą zasięg platform z utrzymaniem kluczowych kompetencji analitycznych wewnątrz organizacji, przechwytyją większą część tworzonej wartości, bo wpływają zarówno na dane, jak i na reguły ich użycia (Constantinides i in., 2018).

Wniosek dla łańcucha wartości jest jednoznaczny: DAP nie stanowi dodatku do sekwencji Portera, lecz przekształca ją w system sprzężeń zwrotnych,

w którym przepływy danych, reguły i interfejsy współpracy tworzą wspólną infrastrukturę dla wszystkich ogniw.

2.2.4. Tworzenie wartości dodanej z DAP

Efekty transformacji rzadko dają się ująć jedną miarą, część korzyści ujawnia się z opóźnieniem i „rozlewa” w łańcuchu wartości; literatura wskazuje na rozbieżność między adopcją rozwiązań a wynikami ekonomicznymi oraz na brak spójnych wskaźników (Vial, 2019; Henfridsson, Bygstad, 2013). W tym podrozdziale koncentruję się zatem na mechanizmach tworzenia wartości i na objawach możliwych do uchwycenia wzdłuż łańcucha wartości: produktywności, czasie decyzji, stabilności terminów, rotacji zapasów, marży, retencji i konwersji; do kwestii pomiaru wróćę dalej.

Zintegrowane zastosowania DAP spinają dane, reguły decyzji i współpracę z otoczeniem w spójny porządek działania, co daje efekt przekraczający sumę pojedynczych wdrożeń. Technologia jest tu środkiem do szybszego i trafniejszego podejmowania decyzji w skali całej organizacji, a nie celem samym w sobie.

Pierwszym efektem DAP jest wzrost produktywności i spadek kosztów jednostkowych. Przewidywanie zdarzeń zamiast reagowanie po fakcie ogranicza przestoje, lepiej wykorzystuje moce i skraca cykl produkcyjny; cyfrowe odpowiedniki procesów pozwalają testować warianty bez zatrzymywania pracy, stabilizując terminy dostaw (Bellalouna, 2020; Vial, 2019).

Drugim efektem jest wzrost przychodów dzięki lepszemu dopasowaniu oferty. Integracja danych wzdłuż procesu sprzedażowego sprawia, że rozpoznanie popytu, planowanie asortymentu, kształtowanie cen i komunikacja z klientem opierają się na tych samych informacjach; personalizacja staje się konsekwencją porządku danych i skraca czas od sygnału rynkowego do realizacji zamówienia, podnosząc konwersję (Oosthuizen i in., 2021; Constantiou, Kallinikos, 2015).

Trzecim efektem jest mniejsze ryzyko operacyjne i większa odporność łańcuchów dostaw. Połączenie danych wewnętrznych z informacjami od partnerów umożliwia przejście z planowania okresowego do sterowania zdarzeniami, ogranicza braki i nadwyżki oraz poprawia terminowość; warunkiem są zgodne standardy i odpowiednia jakość informacji po obu stronach relacji (Grover, Balusamy, 2024; Oosthuizen i in., 2021; Gao i in., 2023).

Czwartym efektem są nowe strumienie przychodów wynikające z serwityzacji. Oparcie oferty na danych z eksploatacji i prognozach zdarzeń umożliwia sprzedaż dostępu do funkcji lub rezultatu oraz stabilizuje przepływy finansowe; wymaga to wspólnego porządku danych i jasnej odpowiedzialności za decyzje wspierane regułami opartymi na danych (Masood, Sonntag, 2020; Nick i in., 2021; Agrawal i in., 2019).

Kolejnym efektem jest szybsze podejmowanie decyzji strategicznych. Strategia przechodzi z trybu rzadkich aktualizacji do praktyki stałego dopasowania na podstawie bieżących sygnałów (nowcasting); przewaga zależy od tempa uczenia reguł i kontroli ich wpływu, a nie od samej skali inwestycji (Constantiou, Kallinikos, 2015; Vial, 2019; Jarrahi i in., 2021).

Wreszcie, kluczowym efektem są korzyści z sieci i skali ekosystemu. Platformizacja ujednolica współpracę w standardowych interfejsach, dzięki czemu każdy nowy uczestnik zwiększa użyteczność systemu i obniża koszt koordynacji; największą część tworzonej wartości przechwytyują podmioty łączące zasięg platform z kompetencjami analitycznymi i wpływem na standardy danych.

Wspólny mianownik tych efektów jest stały: wartość dodana kumuluje się w czasie, ponieważ każde zastosowanie DAP tworzy nowe dane dla kolejnych decyzji. Skala korzyści zależy od porządku danych, projektowania reguł pod konkretne decyzje oraz dojrzałych zasad współpracy z partnerami; w kolejnej części porządkują te wymiary w ujęciu dojrzałości i gotowości cyfrowej.

2.3. Gotowość cyfrowa przedsiębiorstwa

Transformacja cyfrowa nie jest stanem docelowym, lecz procesem, który toczy się w różnym tempie i w różnych obszarach. O wyniku nie przesądza sama technologia. Decyduje środowisko wdrożenia: ład nad danymi i modelami, organizacja pracy, kompetencje i kultura uczenia się, a po stronie zewnętrznej standardy wymiany informacji, warunki współpracy w łańcuchach wartości i ramy regulacyjne. Stąd podobne inwestycje dają różne rezultaty, a luka między adopcją rozwiązań a efektami jest w literaturze dobrze opisana (Vial, 2019).

Zróżnicowanie ścieżek jest regułą. Jedne firmy dopiero porządkują dane i automatyzują wybrane czynności, inne łączą DAP z decyzjami operacyjnymi i relacjami z partnerami. Do tego proces jest dynamiczny: każde osiągnięcie kolejnego etapu otwiera nowe możliwości i nowe wymagania organizacyjne (Henfridsson, Bygstad, 2013; Alaimo, Kallinikos, 2024). Z tej różnorodności wynika potrzeba porządkowania pojęć i pomiaru.

Przyjmując rozróżnienie na gotowość cyfrową i dojrzałość cyfrową jako dwa porządki tego samego procesu. Gotowość cyfrowa to próg absorpcji: warunki, które pozwalają sensownie zacząć łączyć technologię z decyzjami, czyli powszechna łączność, dostęp do chmury i mocy obliczeniowej, podstawowe kompetencje oraz minimalny ład nad danymi i rejestry do wtórnego użycia. Na tym etapie można uruchamiać projekty, ale bez interoperacyjności i porządku nad danymi ich efekty pozostają lokalne. Dojrzałość cyfrowa oznacza spięcie i skalowanie: datafikacja, algorytmizacja i platformizacja działają równolegle w wielu sektorach oraz wzdłuż łańcuchów wartości, co znajduje odzwierciedlenie w produktywności, jakości usług i odporności makro.

Charakterystycznymi sygnałami dojrzałości są: rosnący udział aktywów niematerialnych, decyzje oparte na danych w procesach operacyjnych i strategicznych, integracja międzyorganizacyjna na otwartych standardach oraz obecność w branżowych przestrzeniach danych. W literaturze funkcjonują narzędzia diagnozy obu porządków, od DIGROW (North i in., 2018), modeli przemysłu 4.0 Schumachera, Erola i Sihna (Schumacher i in., 2016) oraz Aca-tech Industry 4.0 Maturity Index, po nowsze ujęcia łączące cyfryzację z celami środowiskowymi, jak Digital Decarbonization Maturity Model (Abdulghani, Winkler, 2025).

Traktując je komplementarnie: wskaźniki gotowości odpowiadają na pytanie, czy w organizacji istnieje stabilny poziom bazowych wdrożeń i zrównoważonego wykorzystania technologii cyfrowych, które można wiązać z procesami decyzyjnymi. Miary dojrzałości odpowiadają na pytanie, czy te rozwiązania działają powtarzalnie w skali całego łańcucha wartości. To rozróżnienie stanowi dalej podstawę definiowania i pomiaru dystansu cyfrowego między gospodarkami.

2.3.1. Kluczowe wymiary gotowości i dojrzałości cyfrowej przedsiębiorstw

Gotowość i dojrzałość cyfrowa to złożona koncepcja, która obejmuje wiele wymiarów pozwalających ocenić zdolność organizacji do skutecznego wykorzystywania technologii cyfrowych. Poszczególne wymiary obejmują zarówno warstwy technologiczne (urządzeń, sieci, usług oraz treści), jak i aspekty strategiczne, organizacyjne, kompetencyjne oraz instytucjonalne (Bouwman i in., 2019).

Wymiar technologiczny odnosi się do poziomu zaawansowania infrastruktury technologicznej oraz efektywności wdrażania technologii takich jak internet rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja (AI), technologie chmurowe, blockchain, robotyka oraz zaawansowana analityka danych. O poziomie gotowości technologicznej świadczy skala automatyzacji procesów, integracja systemów IT oraz interoperacyjność infrastruktury technologicznej (Frank i in., 2019). Organizacje o wysokim poziomie dojrzałości w tym wymiarze skuteczniej realizują cele strategiczne oraz łatwiej adaptują się do zmian technologicznych (Vial, 2019).

Wymiar danych i analityki koncentruje się na efektywnym wykorzystaniu gromadzonych danych, przede wszystkim dzięki procesowi DAP. Dojrzałe cyfrowo organizacje posiadają rozbudowane systemy zarządzania danymi, wdrażają zaawansowane metody analityczne, takie jak uczenie maszynowe (ML), głębokie uczenie (DL) czy przetwarzanie języka naturalnego (NLP), a ponadto podejmują decyzje oparte na danych. Kluczowe mierniki tego wymiaru to jakość danych, poziom implementacji analityki Big Data i AI oraz odsetek decyzji podejmowanych na podstawie danych.

Wymiar strategiczny obejmuje zdolność organizacji do określenia wizji cyfryzacji oraz skutecznego tworzenia i realizowania strategii cyfrowej. Dojrzałe cyfrowo przedsiębiorstwa precyzyjnie definiują cele transformacji cyfrowej, zapewniają niezbędne zasoby technologiczne, finansowe i ludzkie oraz charakteryzują się aktywnym przywództwem, transparentną komunikacją strategii cyfrowej i zaangażowaniem zarządu. Kluczowe wskaźniki strategicznego wymiaru obejmują formalne strategie cyfryzacji, procent budżetu przeznaczony na inicjatywy cyfrowe oraz zgodność realizowanych projektów z ogólną strategią przedsiębiorstwa (Bouwman i in., 2019).

Wymiar organizacyjno-procesowy odnosi się do stopnia integracji technologii cyfrowych z procesami biznesowymi oraz strukturami organizacyjnymi przedsiębiorstwa. Szczególną rolę odgrywa tutaj proces platformizacji, czyli reorganizacji działalności firmy wokół cyfrowych platform współpracy i usług. Organizacje osiągające wysoki poziom tego wymiaru cechuje zaawansowana automatyzacja procesów, elastyczne struktury organizacyjne oraz efektywna integracja cyfrowych usług z procesami tradycyjnymi. Miernikiem jest procent całkowicie zdigitalizowanych procesów, czas wdrażania nowych technologii oraz poziom integracji platform cyfrowych z procesami operacyjnymi.

Wymiar kompetencyjny i kulturowy obejmuje rozwój kompetencji cyfrowych pracowników oraz kulturę organizacyjną sprzyjającą innowacjom i adaptacji technologii cyfrowych. Dojrzałe cyfrowo organizacje posiadają wysoko rozwinięte kompetencje pracowników oraz kulturę wspierającą ciągłe uczenie się i współpracę. Poziom kompetencji cyfrowych pracowników, liczba realizowanych szkoleń cyfrowych oraz otwartość kultury organizacyjnej na nowe technologie i zmiany są kluczowymi miernikami tego wymiaru.

Wymiar współpracy międzyorganizacyjnej opisuje integrację przedsiębiorstwa z ekosystemem cyfrowym obejmującym klientów, partnerów biznesowych oraz dostawców. Organizacje dojrzałe w tym zakresie intensywnie wykorzystują cyfrowe platformy współpracy, aktywnie wymieniają dane z partnerami oraz współtworzą innowacje, korzystając z efektów sieciowych platform cyfrowych. Mierniki tego wymiaru to liczba cyfrowych partnerstw, efektywność współpracy oraz zdolność do szybkiego reagowania na zmiany rynkowe.

Całościowa ocena dojrzałości cyfrowej wymaga zatem uwzględnienia wszystkich opisanych wymiarów, co umożliwi precyzyjne diagnozowanie stanu cyfrowej adaptacji przedsiębiorstwa oraz podejmowanie świadomych decyzji dotyczących dalszego rozwoju.

2.3.2. Wyzwania z pomiarem efektywności transformacji cyfrowej

Pomiar efektywności transformacji cyfrowej pozostaje trudnością zarówno praktyki zarządczej, jak i metodologii badań (Vial, 2019; Śledziewska i in.,

2023). Mimo szerokiej zgody co do potrzeby oceny brakuje zestandaryzowanych, porównywalnych narzędzi diagnostycznych. Dominujące podejścia koncentrują się na ocenach jakościowych i rozproszonych wskaźnikach, co ogranicza ich trafność i użyteczność porównawczą.

Jednym z kluczowych źródeł rozbieżności jest sama definicja „skuteczności”. Część badań utożsamia sukces z implementacją technologii, inne wymagają ich pełnej integracji z procesami, kulturą i strategią przedsiębiorstwa (Ghobakhloo, Iranmanesh, 2021). Różne ujęcia przekładają się na odmienne zestawy mierników i utrudniają porównywanie wyników między organizacjami (Schumacher i in., 2016).

Stosowane modele dojrzałości cyfrowej, w tym Acatech Industry 4.0 Maturity Index (Schuh i in., 2020), IMPULS Industry 4.0 Readiness (Lichtblau i in., 2015) czy DIGROW (North i in., 2018), porządkują obszary oceny, ale opierają się głównie na deklaracyjnych, jakościowych odpowiedziach dotyczących wdrożeń, kompetencji i zarządzania danymi. Ogranicza to ich wartość pomiarową, zwłaszcza gdy brakuje powiązania z twardymi danymi operacyjnymi i finansowymi.

Dodatkowym ograniczeniem są niewielkie i niereprezentatywne próby badawcze oraz sektorowe studia przypadków, które utrudniają formułowanie uogólnień i ograniczają porównywalność między branżami. W takich projektach trudno odizolować wpływ transformacji od specyficznych uwarunkowań organizacyjnych i rynkowych.

Powszechnie stosowane wskaźniki finansowe, takie jak przychody, marża operacyjna czy EBITDA, nie wystarczają do uchwycenia długofalowych efektów cyfryzacji. Są wrażliwe na krótkookresowe fluktuacje i słabo oddają strategiczne korzyści, takie jak poprawa pozycji konkurencyjnej, zdolność innowacyjna czy elastyczność adaptacyjna.

Na wyniki wpływają ponadto czynniki zewnętrzne, w tym koniunktura, układ konkurencyjny i specyfika sektora, co komplikuje izolację bezpośrednich efektów transformacji. Stąd rośnie potrzeba łączenia klasycznych mierników finansowych z szerszym zestawem wskaźników strategicznych, organizacyjnych, społecznych i środowiskowych, spójnych z cyfrową strategią przedsiębiorstwa (Abdulghani, Winkler, 2025).

2.4. Warunki skutecznej transformacji cyfrowej

Skuteczność transformacji cyfrowej trudniej uchwycić niż samą adopcję narzędzi: efekty rozlewają się po procesach, ujawniają z opóźnieniem i są współtworzone z partnerami. Dlatego w tym podrozdziale skupię się na warunkach, które w sposób powtarzalny podnoszą szanse powodzenia wdrożeń opartych na datafikacji, algorytmizacji i platformizacji w skali całej organizacji. Będę się

odwoływać do ujęć, które traktują transformację jako zmianę systemową, a nie listę technologii.

Warunki te tworzą środowisko wdrożenia, zarówno wewnątrz firmy, jak i w jej otoczeniu. Po stronie wewnętrznej kluczowe jest powiązanie ładu nad danymi i modelami z architekturą decyzji, spójność strategii z portfelem projektów i przebiegami pracy, kompetencje menedżerskie i techniczne oraz kultura organizacyjna sprzyjająca uczeniu się i współpracy międzyfunkcyjnej. Po stronie zewnętrznej o rezultatach decydują interoperacyjność i standardy wymiany informacji w łańcuchu wartości, dostęp do finansowania i wyspecjalizowanych usług wdrożeniowych, a także przewidywalne ramy regulacyjne, w tym ochrona danych i cyberbezpieczeństwo (Leyh i in., 2016).

W dalszej części uporządkuję te czynniki w dwóch grupach. Najpierw omówię elementy wewnętrzne: ład danych i architekturę decyzyjną, kompetencje oraz przywództwo, kulturę organizacyjną i powiązanie strategii z wykonaniem. Następnie przejdę do warunków zewnętrznych: interoperacyjności i współpracy z partnerami, finansowania i usług wsparcia oraz otoczenia regulacyjnego. W każdym fragmencie pokażę mechanizm działania, zarys praktyki oraz miary, które pozwalają monitorować postęp.

Teza, którą będę rozwijać, jest spójna z poprzednimi częściami: technologia jest konieczna, lecz niewystarczająca. O powodzeniu decyduje zdolność połączenia warstw technicznych z mechanizmami DAP w stabilne reguły pracy i w relacje z otoczeniem. Różnice w spełnieniu tych warunków między partnerami podnoszą koszty koordynacji i tworzą nowy wymiar dystansu cyfrowego. W kolejnych podrozdziałach przełożę to na język dojrzałości i gotowości cyfrowej oraz pokażę konsekwencje tych różnic dla współpracy ponad granicami.

2.4.1. Strategiczna integracja działań

North, Maier i Haas (2018) opisują „Drabinę Wiedzy 4.0”, w której dane przekształcają się w informacje, następnie w wiedzę, a ostatecznie w kompetencje organizacyjne będące podstawą przewagi. Z tej perspektywy transformacja cyfrowa nie jest serią pojedynczych wdrożeń, lecz procesem strategicznym, który musi spinać decyzje i odpowiedzialności w czterech wymiarach: strategicznym, technologicznym, kompetencyjnym i zarządczym. Badania konsekwentnie pokazują, że podejście fragmentaryczne obniża efekty i utrudnia osiągnięcie dojrzałości cyfrowej, ponieważ inicjatywy rozchodzą się po organizacji bez wspólnego celu i bez powiązania z kluczowymi procesami operacyjnymi.

Warunkiem powodzenia jest jasna wizja połączona z portfelem projektów i z codziennymi procesami. Skutecznie działające organizacje precyzują cele cyfrowe, kaskadują je na poziom funkcji, a następnie pilnują ich spójności z planami operacyjnymi. Kluczowe jest aktywne przywództwo: priorytetyzacja

inicjatyw, decyzje o alokacji zasobów oraz konsekwentna komunikacja, informująca, po co i jak zmieniają się reguły pracy i funkcjonowania przedsiębiorstwa. Bez tak rozumianego wsparcia zarządu nawet dobre rozwiązania techniczne rozpadają się na lokalne eksperymenty, które nie składają się na zmianę systemową (Bouwman i in., 2019; Schumacher i in., 2016).

Integracja technologiczna polega nie na mnożeniu narzędzi, lecz na świadomym doborze rozwiązań do konkretnego przepływu wartości. Chodzi o architekturę, która łączy systemy transakcyjne z warstwą analityczną i usługami tak, aby zapewnić interoperacyjność oraz stałą kontrolę jakości danych i modeli w całym cyklu życia. Tylko w takim układzie analityka opisowa, predykcyjna i preskrypcyjna staje się częścią decyzji, a nie oddzielnym projektem IT (Frank i in., 2019).

Równolegle trzeba budować kompetencje. Luka umiejętności menedżerskich i technicznych jest jedną z najczęściej wskazywanych barier wdrożeń, dlatego obok szkoleń potrzebne są praktyki uczenia w działaniu: zespoły międzydziałowe, krótkie cykle testowania, wymiana wiedzy między operacjami a analityką. Zakres kompetencji obejmuje zarządzanie danymi, rozumienie podstaw analityki, współpracę w środowisku cyfrowym oraz prowadzenie zmiany (Marnewick, Marnewick, 2020; Ferrari, 2012). Ostatnim elementem jest zarządzanie zmianą i kultura organizacyjna.

2.4.2. Kultura organizacyjna i kapitał ludzki

Współczesna debata o transformacji cyfrowej akcentuje, że nie sprowadza się ona do wdrożenia technologii. To przede wszystkim proces społeczno-organizacyjny, który zmienia zasady pracy, sposób podejmowania decyzji i relacje w firmie. Technologia jest narzędziem, a nie rezultatem. Efekt zależy od tego, czy organizacja potrafi przekształcić dane w informacje, informacje w wiedzę, a wiedzę w kompetencje, które podtrzymują przewagę konkurencyjną (Vial, 2019; North, Maier, Haas, 2018).

W tym ujęciu o powodzeniu decyduje kultura organizacyjna. Skuteczne firmy budują środowisko, które premiuje ciekawość, eksperymentowanie i uczenie się w krótkich cyklach. Otwartość na testowanie nowych rozwiązań, dzielenie się wiedzą między funkcjami oraz traktowanie błędów jako źródła informacji zmniejszają opór wobec zmiany i przyspieszają adopcję nowych praktyk. Ważną rolę odgrywa tu podejście oddolne. Zaangażowanie pracowników liniowych w identyfikację problemów i współprojektowanie rozwiązań zwiększa trafność wdrożeń, ponieważ innowacje są osadzone w rzeczywistych przepływach pracy, a nie tylko w planach projektowych (Schumacher i in., 2016; Jafari-Sadeghi i in., 2023).

Model oddolny wymaga jednocześnie wyraźnego wsparcia kierownictwa. Zadaniem menedżerów jest zdefiniowanie kierunku zmiany, dostarczenie

zasobów i usunięcie barier organizacyjnych, tak aby zespoły mogły bezpiecznie testować, mierzyć i skalować rozwiązania. Tam, gdzie wizja, priorytety inwestycyjne i rozliczanie wyników są spójne, inicjatywy cyfrowe nie rozpadają się na izolowane projekty, tylko składają się na zmianę systemową (Bouwman i in., 2019; North i in., 2018).

Kluczowe są także kompetencje. Luka umiejętności technicznych i menedżerskich należy do najczęściej wskazywanych barier transformacji. Obok szkoleń potrzebne jest uczenie w działaniu: zespoły międzydziałowe, rotacje ról, przeglądy decyzji opartych na danych. Zakres kompetencji obejmuje zarządzanie danymi, rozumienie podstaw analityki, pracę w środowisku cyfrowym oraz prowadzenie zmiany i komunikację. Bez wyposażonego w kompetencje kapitału ludzkiego technologie pozostają niewykorzystane lub generują koszty koordynacji wyższe niż spodziewane korzyści (Frank i in., 2019).

Kultura i kompetencje są ściśle powiązane z mechanizmami DAP. Jeśli organizacja nie porządkuje odpowiedzialności za dane i modele, nie wbudowuje reguł w przebiegu pracy i nie wzmacnia współpracy między funkcjami, to nawet zaawansowane narzędzia nie przełożą się na stabilne efekty.

2.4.3. Kompetencje cyfrowe

Skuteczność transformacji cyfrowej zależy nie tylko od wyboru technologii, lecz przede wszystkim od ludzi, którzy potrafią zamienić narzędzia w trwałą zmianę sposobu pracy. Poziom i profil kompetencji decydują, czy mechanizmy DAP rzeczywiście zadziałają w procesach, decyzjach i relacjach z otoczeniem (Schumacher i in., 2016).

Kompetencje cyfrowe rozumiem szeroko – jako zdolność pracowników do pracy „na danych” i we współpracy z algorytmami oraz platformami. Obejmują one zarówno umiejętności techniczne, jak i analityczne, społeczne oraz zarządcze. Po pierwsze, potrzebne są kompetencje techniczne, które pozwalają bezpiecznie wdrażać i utrzymywać technologie wykorzystywane w procesach operacyjnych i decyzyjnych, od internetu rzeczy i automatyzacji po uczenie maszynowe i przetwarzanie w chmurze (Frank i in., 2019). Po drugie, kluczowa jest biegłość w pracy z danymi: rozumienie, skąd pochodzą dane, jak ocenić ich jakość, jak interpretować wyniki analiz oraz jak wbudować reguły oparte na danych w codzienne decyzje. To kompetencje, które przesuwać organizację od raportowania wstecznego do projektowania decyzji z wyprzedzeniem.

Po trzecie, rośnie znaczenie umiejętności społecznych i komunikacyjnych. W środowisku wielofunkcyjnych zespołów, pracy zdalnej i współtworzenia rozwiązań z partnerami zewnętrznymi liczą się współpraca, jasne formułowanie celów oraz zdolność do wspólnego uczenia się na wynikach eksperymentów (Jafari-Sadeghi i in., 2023). Po czwarte, niezbędne są kompetencje strategiczne i przywódcze: zdolność łączenia celów biznesowych z portfelem

inicjatyw cyfrowych, zarządzanie ryzykiem modeli i danych oraz ustawiczne korygowanie reguł decyzyjnych w rytmie sygnałów rynkowych (Bouwman i in., 2019). Wreszcie, kompetencje innowacyjne – ciekawość, gotowość do eksperymentowania i szybkie prototypowanie – decydują o tym, czy firma potrafi rozszerzać zastosowania DAP na kolejne obszary i tworzyć nowe strumienie wartości (Hofmans i in., 2024).

Rozwój tych kompetencji nie może mieć charakteru jednorazowego projektu. Szybkie tempo zmian technologicznych wymaga uczenia się przez całe życie oraz organizacji pracy, która umożliwia naukę w działaniu: krótkie cykle testowania i skalowania rozwiązań, przeglądy decyzji opartych na danych, rotacje między funkcjami oraz role odpowiedzialne za ład danych i modeli. Pomaga w tym systematyczna diagnoza luk kompetencyjnych i mapowanie umiejętności, a także zróżnicowane formy rozwoju, od szkoleń i warsztatów po mikronauczanie i symulacje, które osadzają wiedzę w realnych procesach (Ferrari, 2012).

Bez kompetencji technicznych, analitycznych, społecznych i przywódczych nawet zaawansowane technologie nie przełożą się na efekt organizacyjny. Z kolei organizacje, które konsekwentnie inwestują w te obszary, szybciej uruchamiają mechanizmy DAP, skracają czas decyzji i obniżają koszty koordynacji. W relacjach między firmami różnice kompetencyjne stają się realnym źródłem asymetrii cyfrowych, a więc dodatkowych kosztów współpracy, do czego wróć w dalszych częściach.

2.4.4. Otoczenie regulacyjne

Skuteczność transformacji cyfrowej zależy nie tylko od decyzji i kompetencji wewnątrz firmy. W równym stopniu kształtuje ją otoczenie regulacyjne, które może zmniejszać niepewność i koszt koordynacji, ale może też wprowadzać dodatkowe obciążenia i generować ryzyko opóźnień. Stabilne i przewidywalne reguły gry ułatwiają projektowanie architektury danych, modeli i interfejsów współpracy, a więc bezpośrednio wspierają mechanizmy DAP, o których pisałam wcześniej (Vial, 2019).

Regulacje dotyczące ochrony danych i bezpieczeństwa informacji tworzą ramy dla ładów danych i modeli. Jasne podstawy przetwarzania, wymagania dotyczące jakości danych, analizy ryzyka oraz mechanizmy rozliczalności wzmacniają praktyki zgodne z DAP: przypisanie odpowiedzialności za zbiory danych, dokumentowanie pochodzenia oraz monitorowanie działania modeli w cyklu życia. W wielu branżach obowiązki w zakresie cyberbezpieczeństwa i zarządzania incydentami podnoszą minimalny poziom dojrzałości organizacyjnej, co ułatwia budowanie współpracy między firmami na wspólnych standardach.

Istotną rolę odgrywają także regulacje sprzyjające interoperacyjności. Wymogi dotyczące otwartych formatów, identyfikacji elektronicznej i standardów

wymiany informacji zmniejszają koszty integracji systemów, co jest warunkiem funkcjonowania platformowych interfejsów współpracy w łańcuchach wartości. Regulacyjne zachęty do udostępniania danych o środowisku czy efektywności energetycznej stymulują rozwój nowych usług opartych na danych i łączą cyfryzację z celami zrównoważonego rozwoju, co poszerza pulę możliwych strumieni wartości dodanej (Abdulghani, Winkler, 2025).

Regulacje mogą też pełnić funkcję katalizatora innowacji poprzez mechanizmy piaskownic regulacyjnych, dobrowolne certyfikacje oraz wytyczne dobrych praktyk. W praktyce filarem otoczenia regulacyjnego są także normy ISO, które pozwalają przełożyć ogólne zasady na sprawdzalne wymagania wobec danych, modeli i interfejsów. ISO IEC 42001 wprowadza system zarządzania sztuczną inteligencją i definiuje, jak ustanawiać polityki, role, cele oraz kontrole w całym cyklu życia rozwiązań AI, tak aby dało się nimi odpowiedzialnie zarządzać i ciągle doskonalić organizacyjnie oraz operacyjnie. To jest ramą ładu nad AI, komplementarną wobec regulacji publicznych i wewnętrznych polityk firmy. ISO IEC 23894 dostarcza szczegółowej metodyki zarządzania ryzykiem AI i osadza ją w ogólnym systemie zarządzania ryzykiem organizacji. Bezpieczeństwo informacji i prywatność są podporządkowane rodzinie 27000. ISO IEC 27001 określa wymagania dla systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji jako punkt odniesienia dla kontroli technicznych i organizacyjnych, ISO IEC 27701 rozszerza ten system o zarządzanie prywatnością i role administratorów oraz podmiotów przetwarzających dane, a normy chmurowe ISO IEC 27017 oraz ISO IEC 27018 doprecyzowują kontrolę usług w chmurze i ochronę danych osobowych w środowiskach chmurowych. Wspólnie tworzą audytowalny zestaw praktyk, który ułatwia kontraktowe uzgadnianie wymogów w łańcuchach wartości. Interoperacyjność i przenoszalność usług podpowiadają standardy architektoniczne i danych. ISO IEC 19941 porządkuje pojęcia oraz typy interoperacyjności i przenoszalności w chmurze, co pomaga unikać blokad dostawcy oraz projektować wyjścia awaryjne. ISO IEC 30141 dostarcza referencyjnej architektury IoT z perspektywą zaufania i zarządzania, użytecznej przy łączeniu warstw urządzeń, sieci, usług i treści w jednolitą całość. ISO 8000 porządkuje zasady jakości danych i stanowi punkt odniesienia dla praktyk identyfikacji, kompletności, spójności oraz możliwości ponownego użycia. ISO IEC 38505 uzupełnia ten zestaw o ład nad danymi na poziomie nadzorczym, czyli o zasady i odpowiedzialności rady oraz najwyższego kierownictwa za kierunek, monitorowanie i zgodność wykorzystania danych. Razem przekładają mechanizmy DAP na wspólny język wymagań, metryk i audytów, co obniża niepewność, przyspiesza integracje i ułatwia skalowanie współpracy na platformach. Z perspektywy przedsiębiorstw ważne jest włączanie tych wymogów w projekt procesu od samego początku, czyli podejście *compliance-by-design*, które ogranicza koszty dostosowań na późniejszych etapach.

Tam, gdzie przepisy są niejasne, niespójne lub szybko się zmieniają, rośnie niepewność inwestycyjna. Fragmentacja reguł między jurysdykcjami zwiększa

koszty transakcyjne współpracy międzynarodowej: trzeba utrzymywać równoległe standardy danych, mnożyć audyty i różnicować konfiguracje modeli. Z perspektywy dystansu cyfrowego oznacza to materializację asymetrii regulacyjnych, które osłabiają korzyści z efektów sieci i utrudniają skalowanie rozwiązań ponad granicami (Ghobakhloo, Iranmanesh, 2021).

Otoczenie regulacyjne nie jest tłem, lecz jednym z warunków produkcji wartości dodanej z DAP. Przedsiębiorstwa, które potrafią mapować wymagania prawne na ład danych i architekturę decyzji, skracają czas wdrożeń, obniżają koszty koordynacji i łatwiej wchodzą w relacje platformowe. Z kolei rozbieżności regulacyjne między partnerami stają się realnym źródłem asymetrii cyfrowych, co w rozdziale o dojrzałości i gotowości cyfrowej uwzględniję jako jeden z wymiarów zróżnicowania warunków współpracy.

2.4.5. Finansowanie i programy wsparcia

Dostęp do kapitału i usług wsparcia decyduje o tym, czy firma przejdzie od pojedynczych zakupów technologii do wdrożeń DAP w skali całej organizacji. Finansowanie potrzebne jest nie tylko na sprzęt i licencje, lecz także na to, co faktycznie przesądza o efektach: porządek danych, integrację systemów, przebudowę procesów, kompetencje oraz zarządzanie zmianą. Bez środków na te „miękkie” składniki inwestycje technologiczne łatwo rozpadają się na izolowane projekty o niskiej stopie zwrotu (Frank i in., 2019; Vial, 2019; Ghobakhloo, Iranmanesh, 2021).

Na poziomie krajowym i europejskim funkcjonuje szeroki zestaw instrumentów: dotacje inwestycyjne i rozwojowe, ulgi podatkowe, kredyty preferencyjne, poręczenia, a także finansowanie kapitałowe i granty na badania oraz demonstratory. W polskim kontekście ważną rolę odgrywają programy współfinansowane z EFRR (Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego) oraz inicjatywy w ramach krajowych polityk rozwojowych; po stronie operacyjnej firmy mogą korzystać z usług centrów innowacji cyfrowych (jak EDIH), klastrów i ośrodków kompetencji, które łączą doradztwo, dostęp do infrastruktury testowej i szkolenia. Tego typu instytucje pośredniczą również w budowaniu partnerstw i standaryzacji rozwiązań, co obniża koszty integracji w łańcuchach wartości (Massa i in., 2023).

O skuteczności wsparcia przesądza jego konstrukcja. Najlepsze rezultaty przynoszą programy, które łączą finansowanie inwestycji z budżetem na integrację i kompetencje, dopuszczają koszty operacyjne związane z danymi i chmurą, wymagają planu ładu danych oraz mierników wynikowych, a nie tylko „wydatkowania” środków. Wsparcie rozłożone w czasie, powiązane z etapami dojrzałości cyfrowej, ogranicza zjawisko jednorazowych projektów pilotażowych bez skalowania i sprzyja przechodzeniu do decyzji projektowanych na danych (North i in., 2018; Ghobakhloo, Iranmanesh, 2021).

Warto pamiętać o typowych ryzykach. Konstrukcja konkursów bywa sprzętcentryczna, co zachęca do zakupów bez zapewnienia integracji i kompetencji. Zbyt wąskie katalogi kosztów pomijają zarządzanie danymi, testy interoperacyjności i audyt modeli. Krótkie horyzonty finansowania utrudniają utrzymanie rozwiązań opartych na danych, a uzależnienie od jednego dostawcy zwiększa ryzyko zamknięcia technologicznego. Dlatego firmy powinny planować środki na integrację i szkolenia już na etapie wniosku, a po stronie programów warto wymagać wskaźników takich jak udział budżetu przeznaczonego na ład danych i kompetencje, stopień integracji z systemami partnerów czy odsetek decyzji objętych monitorowaniem wyników (Leyh i in., 2016).

Dobrze zaprojektowane finansowanie obniża koszty koordynacji DAP, skraca czas wdrożeń i ułatwia współpracę z partnerami. Programy i instytucje wsparcia stają się wtedy elementem ekosystemu tworzenia wartości na danych, a nie tylko źródłem środków na kolejne narzędzia.

2.4.6. Współpraca ekosystemowa i otwarta innowacyjność

W gospodarce opartej na danych pojedyncza firma rzadko ma wszystkie zasoby potrzebne do złożonych wdrożeń DAP. Dlatego skuteczna transformacja coraz częściej opiera się na współpracy w ekosystemach: z innymi przedsiębiorstwami, uczelniami, start-upami, centrami kompetencji i instytucjami publicznymi. Literatura opisuje to podejście jako *open innovation* – świadome otwieranie procesów tworzenia i wdrażania innowacji na źródła zewnętrzne, co ma na celu przyspieszenie uczenia się i dzielenie kosztów ryzyka (Bouwman i in., 2019).

Wartość takiej współpracy jest praktyczna. Partnerstwa dają dostęp do komplementarnych zasobów: specjalistycznej wiedzy, infrastruktury testowej, danych z innych ogniw łańcucha dostaw i do rozwiązań, których samodzielne zbudowanie byłoby kosztowne lub pochłonięłoby zbyt dużo czasu. Dzięki temu firmy szybciej prototypują i skalują rozwiązania oparte na danych i algorytmach, a czas od pomysłu do wdrożenia skraca się z miesięcy do tygodni (Frank i in., 2019; Leyh i in., 2016). Centra innowacji cyfrowych i klastry technologiczne pełnią tu funkcję brokerów: pomagają dobrać partnerów, ustalić zasady wymiany informacji i zapewnić dostęp do kompetencji, których brakuje w organizacji.

Platformizacja wzmacnia te mechanizmy. Platformy – rynkowe lub branżowe – dostarczają wspólne interfejsy, standardy danych i reguły udziału, dzięki czemu współpraca staje się powtarzalna i skalowalna. Każdy kolejny uczestnik podnosi użyteczność systemu, a efekty sieciowe obniżają koszty koordynacji i ułatwiają ponowne wykorzystanie danych i modeli w nowych zastosowaniach (Vial, 2019; Foguesatto i in., 2024). Dla firm oznacza to możliwość tworzenia rozwiązań „raz a dobrze”, które działają u wielu partnerów.

Warunkiem powodzenia jest jednak porządek współpracy. Potrzebne są jasne umowy dotyczące dostępu do danych, ich jakości i sposobu wykorzystania, uzgodnione standardy interoperacyjności oraz zasady odpowiedzialności za decyzje wspierane algorytmicznie. Do tego dochodzą kwestie ochrony prywatności i bezpieczeństwa, a także mechanizmy dzielenia kosztów i korzyści z wdrożeń, tak aby bodźce partnerów były zbieżne. Gdy te reguły są ustalone, współdzielenie danych i zasobów analitycznych przekłada się na mierzalne korzyści operacyjne i szybsze uczenie się całego ekosystemu.

Współpraca ekosystemowa nie eliminuje ryzyk. Różnice w dojrzałości cyfrowej partnerów, braki w interoperacyjności czy niejasności dotyczące praw do danych potrafią zwiększać koszty transakcyjne i spowalniać wdrożenia. Dlatego programy *open innovation* najlepiej działają wtedy, gdy łączą wsparcie finansowe z budowaniem wspólnych standardów i kompetencji oraz z pilotażami, które można szybko ocenić i skalować (Leyh i in., 2016; Bouwman i in., 2019).

2.5. Asymetrie w transformacji cyfrowej przedsiębiorstw

W tym podrozdziale pokazuję, że różnice w dojrzałości i gotowości cyfrowej partnerów przekładają się bezpośrednio na koszty transakcyjne współpracy. W ujęciu ekonomii kosztów transakcyjnych koszty pojawiają się na etapie wyszukiwania partnera, negocjacji i kontraktowania, monitorowania realizacji oraz dostosowań podczas trwania relacji. Gdy mechanizmy DAP po obu stronach nie są porównywalne, każda z tych faz staje się droższa i bardziej ryzykowna, nawet jeśli pojedyncze rozwiązania technologiczne są podobne. To właśnie nazywam asymetrami cyfrowymi. Ich źródłem jest nie tylko wyposażenie techniczne, lecz przede wszystkim ład danych, dojrzałość algorytmiczna oraz stopień włączenia w platformy i standardy wymiany informacji.

Po pierwsze rosną koszty wyszukiwania i dopasowania partnerów. Firmy o różnym porządku danych opisują swoje produkty, procesy i wyniki w nieporównywalny sposób. Brak wspólnych słowników, metadanych i polityk jakości danych utrudnia ocenę wiarygodności informacji, co wydłuża *due diligence* i zwiększa popyt na pośredników standaryzujących dane (North i in., 2018; Schumacher i in., 2016). W warunkach platformizacji przewagę zyskują podmioty narzucające format interfejsów i reguły dostępu, co dodatkowo pogłębia asymetrię informacyjną wobec mniejszych partnerów (Constantinides i in., 2018; van Dijck i in., 2018).

Po drugie, rosną koszty negocjacji i kontraktowania. Jeżeli decyzje po jednej stronie wspiera zestaw modeli, których działania nie da się przejrzeć i wyjaśnić ani audytować, to trudniej zdefiniować mierniki efektu, prognozy jakości i procedury odwoławcze. Dotyczy to zwłaszcza kontraktów opartych

na wyniku, typowych dla serwityzacji, gdzie bazą rozliczeń jest rezultat użytkowania, a nie jednorazowa dostawa. Bez uzgodnionych strumieni danych eksploatacyjnych oraz zasad odpowiedzialności za decyzje wspierane algorytmicznie rośnie ryzyko sporu kontraktowego i konieczność kosztownych klauzul zabezpieczających (Masood, Sonntag, 2020; Nick i in., 2021; Agrawal i in., 2019).

Po trzecie, rosną koszty monitorowania i egzekwowania umów. Sterowanie zdarzeniami, śledzenie partii towaru, predykcja popytu czy rozliczenia serwisowe wymagają zszycia danych wewnętrznych z informacjami partnerów. Jeśli systemy nie są interoperacyjne, a standardy wymiany danych różnią się znacząco, monitorowanie staje się pracochłonne, a opóźnienia w danych zwiększają zmienność operacji. Zastosowania takie jak identyfikowalność partii w łańcuchach spożywczych pokazują, że korzyści z technologii pojawiają się dopiero wtedy, gdy partnerzy uzgodnią wspólne formaty i zasady zasilania rejestrów, inaczej ciężar integracji przeradza się w stały koszt transakcyjny (Grover, Balusamy, 2024; Oosthuizen i in., 2021).

Po czwarte, asymetrie cyfrowe podnoszą koszty adaptacji i wyjścia z relacji. Lock-in do specyficznych interfejsów platformowych, zależność od modeli partnera oraz brak przenoszalności danych utrudniają zmianę dostawcy i renegotjacje. Im więcej decyzji jest zautomatyzowanych po jednej stronie, tym większe ryzyko niejawnego przenoszenia kosztów operacyjnych na stronę o niższej dojrzałości cyfrowej. Takie sytuacje zwiększają potrzebę dodatkowych buforów zapasów, ręcznych obejść i równoległych kanałów komunikacji, co zjada zakładane oszczędności skali (Jarrahi i in., 2021).

Po piąte, pojawiają się asymetrie normatywne, gdy tylko jedna strona działa według uznanych norm zarządczych i technicznych dla danych, bezpieczeństwa i AI. Powstaje nierównowaga odpowiedzialności i ryzyka, bo tylko jedna strona potrafi wiarygodnie wykazać kontrolę nad danymi i modelami. Pojawia się luka w audytowalności i pochodzeniu danych, co skutkuje kosztownym czyszczeniem i ręcznymi dopasowaniami oraz ogranicza ponowne użycie danych i modeli. Nasila się asymetria interoperacyjności i przenoszalności, gdy podmiot bez standardów dostarcza sztywne interfejsy i zamknięte formaty, co mnoży adaptery i obejścia. Wreszcie różnice w zarządzaniu incydentami i ciągłością działania zwiększają nieprzewidywalność, przez co partner o wyższym reżimie zgodności narzuca surowsze klauzule, dodatkowe audyty i wyższe wymagania ubezpieczeniowe, a czas wdrożenia się wydłuża.

Asymetrie cyfrowe mają także wymiar regulacyjny i bezpieczeństwa. Różny poziom zarządzania danymi osobowymi, cyberbezpieczeństwa i zgodności sektorowej generuje koszty audytów, testów penetracyjnych i dostosowań kontraktowych, zwłaszcza w relacjach transgranicznych. Brak spójnych praktyk ładu danych u partnerów powoduje, że organizacje o wyższym reżimie zgodności przenoszą na siebie większą część odpowiedzialności i kosztów kontroli, co bywa barierą wejścia dla mniejszych firm (Ghobakhloo, Iranmanesh, 2021).

Łącznie te zjawiska podnoszą trzy klasyczne składowe koszty transakcyjnych: koszty informacji, koszty negocjacji i zabezpieczeń kontraktowych oraz koszty nadzoru i adaptacji. W środowisku DAP ich poziom zależy wprost od zgodności porządków danych, przejrzystości i audytowalności modeli decyzyjnych oraz od udziału we wspólnych standardach i platformach. Tam, gdzie te elementy są zbliżone, współpraca przyspiesza, a marże z efektów skali i zakresu rosną. Tam, gdzie dominują asymetrie, pojawia się dystans cyfrowy, który ogranicza handel i współpracę nawet przy nominalnie podobnych technologiach po obu stronach relacji (Vial, 2019; Constantinides i in., 2018; van Dijck i in., 2018).

To nie pojedyncza technologia, lecz porównywalność mechanizmów DAP, dojrzałość normatywna oraz wspólne standardy danych i interfejsów decydują o poziomie kosztów transakcyjnych. Im większa niespójność między partnerami, tym wyższe opory współpracy, wolniejsza dyfuzja rozwiązań i większy dystans cyfrowy między stronami, nawet przy podobnym nominalnym wyposażeniu technicznym.

2.6. Podsumowanie

Z przeprowadzonych analiz wyłania się spójny obraz transformacji cyfrowej i warunków jej powodzenia.

Po pierwsze, transformacja cyfrowa nie jest równoznaczna z modernizacją techniczną. To proces strategiczny i systemowy, który obejmuje technologię, organizację pracy, modele zarządzania oraz kulturę organizacyjną. Ma charakter ciągły, bez stanu docelowego, i wymaga stałej adaptacji do zmieniającego się otoczenia rynkowego i technologicznego.

Po drugie, skuteczność transformacji wynika z integracji trzech mechanizmów gospodarki cyfrowej: datafikacji, algorytmizacji i platformizacji. Dane przestają być pasywnym zasobem i stają się podstawą projektowania decyzji oraz źródłem nowych modeli działania; algorytmy umożliwiają interpretację wzorców i automatyzację decyzji; platformy łączą firmę z klientami i partnerami, porządkując współpracę wzdłuż łańcucha wartości.

Po trzecie, o wynikach decydują warunki wdrożenia. Kluczowe są kompetencje technologiczne, analityczne i zarządcze, zdolność pracy na danych w procesach decyzyjnych, a także przywództwo i kultura organizacyjna sprzyjające uczeniu się oraz współpracy międzyfunkcyjnej.

Po czwarte, najczęściej występujące trudności mają charakter organizacyjny, kompetencyjny i kulturowy. Dodatkowym źródłem ryzyka są problemy integracji danych i interoperacyjności systemów, które podnoszą koszty koordynacji i osłabiają efekty DAP, zwłaszcza w relacjach między firmami o różnym poziomie dojrzałości cyfrowej.

Po piąte, rzetelna ocena efektów transformacji jest trudna, ponieważ rezultaty rozlewają się po procesach, ujawniają się z opóźnieniem i są współtworzone wraz z partnerami. Z tego powodu coraz częściej sięga się po ramy gotowości i dojrzałości cyfrowej, które pozwalają mierzyć zdolność organizacji do tworzenia wartości, a nie tylko listę wdrożeń. Narzędzia te są niedoskonałe, ale umożliwiają porównania i lepsze ukierunkowanie działań rozwojowych.

Wnioski te są ważne z dwóch powodów. Po pierwsze, wskazują, że różnice w warunkach wdrożenia przekładają się na różnice w wynikach oraz na rosnące koszty koordynacji we współpracy między firmami. Po drugie, stanowią podstawę do dalszych analiz w książce: oceny gotowości i dojrzałości cyfrowej oraz zarządzania asymetrami cyfrowymi, aby obniżyć koszty transakcyjne i skuteczniej wykorzystywać mechanizmy DAP w budowaniu wartości dodanej całych łańcuchów dostaw.

3. Transformacja i dojrzałość cyfrowa gospodarki

3.1. Wprowadzenie

W tym rozdziale przechodzę z poziomu firm do poziomu całej gospodarki. Chcę pokazać, czym staje się cyfrowość, gdy przestaje być domeną sektora ICT, a zaczyna wyznaczać logikę działania całego systemu ekonomicznego. W poprzednich częściach pokazałam, że procesy DAP przekształcają sposób funkcjonowania przedsiębiorstw. Teraz interesuje mnie to, co się dzieje, gdy te same mechanizmy przenikają branże i instytucje, stając się kluczem do zrozumienia różnic we wzroście, produktywności i handlu.

Hasło Przemysł 4.0 traktuję jako narrację mobilizującą uwagę i środki na modernizację, a nie jako kompletną strategię transformacji całej gospodarki. Ta rama pomogła wynieść cyfryzację z poziomu pojedynczych projektów do poziomu polityk publicznych, standardów i programów rozwojowych. W praktyce liczy się to, że cyfrowe reguły, dane i interfejsy zaczęły krążyć między sektorami i tworzyć wspólne środowisko działania dla przemysłu, usług i administracji.

Gospodarka cyfrowa nie jest sumą wdrożeń technologicznych. To porządek techniczno-instytucjonalny oparty na trzech sprzężonych procesach. Datafikacja zamienia aktywności w dane i czyni je zasobem o cechach infrastruktury. Algorytmizacja przekłada te dane na prognozy i decyzje w procesach gospodarczych. Platformizacja koordynuje wielu uczestników na wspólnych standardach dostępu, wymiany i interfejsów. Ten zestaw mechanizmów lepiej niż listy narzędzi wyjaśnia, skąd biorą się nowe przewagi i nowe wąskie gardła w skali makro, a także dlaczego ich rozmieszczenie jest tak nierównomierne.

Z perspektywy ekonomii DAP przede wszystkim obniża koszty informacji. Tanieje gromadzenie, przetwarzanie i przesyłanie danych, maleją koszty wyszukiwania i weryfikacji, łatwiej dopasować popyt do podaży, a rynki stają się bardziej przejrzyste. Jednocześnie zmienia się architektura konkurencji. Wysokie koszty stałe i bardzo niskie koszty krańcowe, silne efekty sieciowe

i rosnące koszty zmiany dostawcy sprzyjają szybkiemu skalowaniu liderów i koncentracji w węzłach platformowych. Punkt ciężkości przesuwa się z samej technologii na standardy, interoperacyjność i reguły konkurencji, które rozstrzygają, czy korzyści skali i uczenia będą szeroko dystrybuowane, czy zamkną się w kilku ekosystemach.

W dalszej części rozdziału porządkuję obraz gospodarki cyfrowej na poziomie makro. Najpierw wyjaśniam mechanizmy DAP i pokazuję różnicę między gotowością a dojrzałością cyfrową gospodarek, wskazując rolę aktywów niematerialnych, standardów oraz kompetencji w zamianie gotowości w trwałą przewagę. Następnie opisuję państwo jako architekta ładu nad danymi, który łączy role użytkownika, regulatora, zleceniodawcy i arbitra pomiaru. Na koniec buduję most do kolejnego rozdziału poświęconego asymetriom. Wprowadzam tam operacyjne ujęcie podziałów cyfrowych i na tej podstawie wyodrębniam klastry gospodarek: liderów, adaptujących i wykluczonych.

3.2. Od ICT i Przemysłu 4.0 do gospodarki cyfrowej

Punktem wyjścia do opisu gospodarki cyfrowej jest sektor technologii informacyjno-komunikacyjnych. To on dostarcza urządzeń, sieci, oprogramowania, chmury i usług danych, bez których cyfryzacja nie byłaby możliwa. Utożsamienie gospodarki cyfrowej wyłącznie z ICT jest jednak uproszczeniem. ICT tworzy infrastrukturę i „język” cyfrowej gospodarki, ale zasadnicze procesy tworzenia wartości i zmiany konkurencji rozgrywają się poza nim – w przemyśle, usługach i sektorze publicznym (Śledziwska, Włoch, 2021).

Sektor ICT obejmuje wytwórców sprzętu i urządzeń sieciowych oraz dostawców telekomunikacji, oprogramowania, przetwarzania danych i hostingu. W klasyfikacji OECD to zespół działów ISIC Rev.4: 26, 61, 62, 63. Funkcjonalnie odpowiada czterem warstwom gospodarki cyfrowej: sprzętowi, łączności, aplikacjom i danym (Śledziwska, Włoch, 2020). W tej architekturze uruchamia się logika DAP: dane stają się surowcem, algorytmy mechanizmem przetwarzania i przewidywania, a platformy – dominującym sposobem koordynacji wielu stron rynku (Śledziwska, Włoch, 2020; Śledziwska, Włoch, 2021).

W ekonomii innowacji ICT klasyfikuje się jako technologię ogólnego zastosowania (GPT). Takie technologie oddziałują międzysektorowo, wywołują fale innowacji komplementarnych i wymagają inwestycji w aktywa niematerialne – oprogramowanie, R&D, kapitał organizacyjny, dane. To tłumaczy, dlaczego firmy ICT osiągają wyższą produktywność całkowitą czynników, a jednocześnie dlaczego mierzenie ich wkładu do wzrostu jest trudne – znaczna część wartości powstaje w aktywach niematerialnych i efektach zewnętrznych (Biagi, 2013; Corrado i in., 2017; Nakatani, 2021).

W połowie minionej dekady cyfryzacja wyszła poza ICT wraz z koncepcją Przemysłu 4.0. W ujęciu pierwotnym oznaczała integrację systemów cyberfizycznych, internetu rzeczy, robotyzacji i zaawansowanej analityki w procesach produkcyjnych: urządzenia i linie wyposażono w czujniki, połączono w sieci, a dane z maszyn zaczęły sterować harmonogramami, konserwacją i jakością (Ustundag, Cevikcan, 2018). Szybko okazało się jednak, że o efektach decyduje nie sama automatyzacja, lecz systemowa zmiana: współdzielenie danych w całych łańcuchach wartości, przeprojektowanie ról i procesów, nowe modele współpracy dostawców i odbiorców (Schumacher i in., 2019).

Warto widzieć Przemysł 4.0 szerzej niż tylko jako katalog technologii. To strategia modernizacji „rozpięta” między firmami i instytucjami, która przenika także usługi: logistykę, zdrowie, finanse, marketing. Wspólnym mianownikiem jest praca na danych i decyzje wspierane algorytmami, a nie konkretna maszyna czy linia produkcyjna. Literatura wokół Przemysłu 4.0 wskazywała na znaczący potencjał wzrostu produktywności i jakości, ale też zróżnicowane rezultaty wdrożeń oraz bariery: trudną integrację z istniejącymi systemami, koszty reorganizacji, niedobór kompetencji, ryzyka w obszarze cyberbezpieczeństwa i niepewność regulacyjną (Singh i in., 2023; Zaevska i in., 2023; Chauhan i in., 2021). Kontekst polityczny tej narracji również miał znaczenie – Przemysł 4.0 mobilizował zasoby publiczne i uwagę aktorów wokół modernizacji przemysłu w Europie po kryzysie finansowym (Włoch, 2024; Schwab, 2016).

Z koncepcji Przemysłu 4.0 biorę to, co najważniejsze: pełną instrumentację procesów, integrację pionową i poziomą w przedsiębiorstwie, cyfrowe bliźniaki i sterowanie zdarzeniami, a w efekcie personalizację i serwicyzację oferty. Przemysł 4.0 nauczył nas myśleć o danych jako o ciągłym strumieniu z czujników i systemów, o konieczności zgodnych standardów w fabryce oraz o tym, że wartość powstaje w sprzężeniu technologii z procesami i kompetencjami.

Aby pójść dalej, trzeba wyjść poza perspektywę jednego zakładu i jednego sektora. Dziś kluczowe są przepływy danych między organizacjami, interoperacyjność ponad granicami firm, przenoszalność danych i tożsamości oraz zasady odpowiedzialnego użycia modeli. Taki horyzontalny ogląd porządkują w trzech ramach DAP, które kierują kolejną częścią wywodu: dane jako infrastruktura opisu i rozliczeń między podmiotami, algorytmy jako mechanizm przekładu informacji na działanie w czasie zbliżonym do rzeczywistego oraz platformy jako architektury współdziałania i skali. W tym układzie pytania o konkurencję, koszty koordynacji i dyfuzję innowacji stają się pytaniami o reguły DAP w całej gospodarce.

3.3. DAP jako trzy „ramy” gospodarki cyfrowej: dane, algorytmy, platformy

W literaturze ekonomicznej ta sama zmiana, czyli przejście od gospodarki opartej na aktywach materialnych do porządku informacyjnego, została opisana trzema wpływowymi ujęciami: *data economy*, *AI economy* i *platform economy*. Każde z nich wyławia inny mechanizm: dane jako nowy czynnik produkcji i źródło przewidywalności, algorytmy jako technologia ogólnego zastosowania obniżająca koszt predykcji oraz platformy jako architektury koordynacji i reguł gry w usieciowanych ekosystemach. Razem tworzą triadę DAP i pozwalają porządkować materiał empiryczny bez redukcji złożoności (Agrawal, Gans, Goldfarb, 2019; Goldfarb, Tucker, 2019; Śledziwska, Włoch, 2021; May, 2024).

3.3.1. *Data economy*: jak ekonomiści „zobaczyli” dane

Najpierw zwrócono uwagę na rosnącą rolę aktywów niematerialnych i trudność ich ujęcia w statystyce makro. Nurt „kapitału niematerialnego” pokazał, że oprogramowanie, organizacja, własność intelektualna i same dane tworzą odrębny strumień inwestycji oraz źródło TFP (Corrado i in., 2017; Biagi, 2013). Kolejny krok przesunął akcent z „posiadania IT” na właściwości ekonomiczne informacji. Goldfarb i Tucker opisali, jak bitowość obniża koszty wyszukiwania, replikacji, transportu, śledzenia i weryfikacji, a więc tarcia, które w klasycznej ekonomii ograniczały wymianę i koordynację (Goldfarb, Tucker, 2019).

Varian ujął to operacyjnie: wartość danych mierzy się zdolnością do lepszego przewidywania, bo predykcja jest wejściem do decyzji. Dane nie mówią „prawdy”, lecz statystycznie zmniejszają niepewność popytu, ryzyka i jakości, przesuając decyzje bliżej optimum (Varian, 2019). Baley i Veldkamp dodali dynamikę pętli sprzężeń zwrotnych: więcej użytkowników to lepsze dane, lepsze modele i lepszy produkt, co przyciąga kolejnych użytkowników (mechanizm „*superstar firms*” w wersji informacyjnej) (Baley, Veldkamp, 2025). Shukla i współautorzy dopytują o infrastrukturę tego mechanizmu: przestrzenie danych, przenoszalność i interoperacyjność. Bez nich przewagi informacyjne zamieniają się w bariery wejścia, a dyfuzja innowacji zatrzymuje się u liderów (Shukla i in., 2023). W tym ujęciu gospodarka danych to zestaw własności ekonomicznych informacji oraz instytucje ich obiegu, które decydują o produktywności i o rozkładzie korzyści.

3.3.2. *AI economy*: algorytm jako technologia obniżająca koszt przewidywania

Drugie ujęcie przesuwania ciężar z zasobu na zdolność jego wykorzystania. Agrawal, Gans i Goldfarb proponują proste rozróżnienie: AI radykalnie obniża koszt predykcji, dlatego działa jak technologia ogólnego zastosowania i uruchamia fale innowacji komplementarnych w organizacji, procesach i modelach biznesu (Agrawal, Gans, Goldfarb, 2019). W praktyce algorytmizacja to automatyzacja wielu mikropredykcji w czasie zbliżonym do rzeczywistego, od cen i zapasów po utrzymanie ruchu, *underwriting* i detekcję nadużyć.

Warunkiem efektów są komplementarności: jakość i dostępność danych, moc obliczeniowa, kompetencje oraz gotowość do reorganizacji pracy wyznaczają granice produktywności (Brynjolfsson, Rock, Syverson, 2019; Cockburn, Henderson, Stern, 2019). W perspektywie makro AI jako GPT tłumaczy opóźnienia i „paradoks produktywności”, to znaczy zmiany we wskaźnikach makroekonomicznych pojawiają się dopiero po inwestycjach w zasoby komplementarne i zmianach organizacyjnych. Jednocześnie generatywna AI wzmacnia trzy wejścia do konkurencji, czyli dane, moc obliczeniową i modele bazowe, a ich koncentracja tworzy nowe asymetrie i ryzyka (May, 2024). Stąd agenda przejrzystości, audytowalności i odpowiedzialności algorytmicznej jako warunek inkluzywnej skali (Liu, 2022; Tucker, 2019).

3.3.3. *Platform economy*: od rynku wielostronnego do porządku koordynacji

Trzecie ujęcie traktuje gospodarkę cyfrową jako problem koordynacji. Punkt wyjścia to rynki wielostronne i efekty sieciowe, które tworzą silne korzyści skali i naturalne tendencje do koncentracji; klasyczna ekonomia informacji podkreśla koszty przełączenia, zamykanie standardów i strategie *lock-in* (Varian, Farrell, Shapiro, 2005).

W nowszych pracach platformy przestają być tylko rynkami, a stają się architekturami. Definiują formaty danych, interfejsy i rytm aktualizacji. Tak rozumiana platformizacja zamienia liniowe łańcuchy wartości w sieci, gdzie koordynacja odbywa się przez API i reguły dostępu do informacji. Zekos wiąże to z e-globalizacją: obniżenie kosztów koordynacji pozwala centralom decyzyjnym zarządzać rozproszonymi procesami ponad granicami, co zmienia geografie korzyści i zależności (Zekos, 2021). Shukla i współautorzy pokazują, że to, czy platformy przyspieszają dyfuzję, zależy od otwartości interfejsów i przenoszalności danych. Otwarte standardy skracają wejście MŚP i wzmacniają lokalne uczenie się; zamknięte – kumulują marże w węzłach (Shukla i in., 2023).

W tym sensie *platform economy* to nie katalog firm-platform, lecz opis porządku instytucjonalnego, w którym reguły wymiany informacji stają się

elementem konkurencji. To tłumaczy szybkie skalowanie i pozycje oligopolowe, ale także wagę polityk interoperacyjności i przenoszalności dla inkluzywnej dyfuzji DAP (May, 2024).

Przedstawione trzy ramy nie konkurują ze sobą. Każda opisuje inny wymiar tej samej zmiany: *data economy* odpowiada, skąd bierze się nowa produktywność informacji; *AI economy* wyjaśnia, jak zamienia się ją w decyzje i wyniki; *platform economy* pokazuje z kolei, jak koordynuje się wielu aktorów na wspólnych zasadach. Razem dają spójny język opisu gospodarki cyfrowej w skali makro i wskazują, gdzie rodzą się asymetrie oraz dlaczego bez otwartych standardów, kompetencji i zasobów komplementarnych korzyści kumulują się w nielicznych węzłach rynku.

3.4. Makromechanika gospodarki cyfrowej

Gospodarka cyfrowa działa jak porządek techniczno-instytucjonalny. Jego rdzeń tworzą trzy sprzężone mechanizmy DAP poprzez dwa kanały oddziaływania. Kanał bezpośredni to spadek kosztów informacji oraz przewidywania, lepsze dopasowanie podaży do popytu, krótsze cykle wprowadzania produktów, mniejsze rozproszenie cen i większa przejrzystość rynków. Ta poprawa idzie w parze z większą nadwyżką konsumenta dzięki jakości i różnorodności, którą statystyka makro nie zawsze rejestruje wprost (Brynjolfsson, Smith, 2000; Triplett, Bosworth, 2003; Goldfarb, Tucker, 2019). Kanał pośredni pojawia się wtedy, gdy technologiom towarzyszą komplementarności organizacyjne i kompetencyjne. To one pozwalają skalować rozwiązania poza pojedyncze firmy i przekładają wydajność procesów na wzrost produktywności całkowitej czynników oraz lepszą alokację zasobów (Corrado i in., 2017; Biagi, 2013; Manynika i in., 2018).

Mechanizmy DAP tworzą w skali gospodarki pętle samowzmacniające. Więcej użytkowników to więcej danych, lepsze modele i trafniejsze decyzje, co przyciąga kolejnych użytkowników i partnerów. Ten mechanizm jest silny tam, gdzie dane są przenoszalne, a standardy interoperacyjne stabilne i otwarte. Słabnie w gospodarkach z silosami informacyjnymi oraz zamkniętymi interfejsami. Właśnie dlatego decyzje o standardach i przenoszalności współokreślają koszty przełączania, barierę wejścia i rozkład renty w ekosystemach (Varian, Farrell, Shapiro, 2005; Śledziwska, Włoch, 2021; Richard, 2024).

Wysokie koszty stałe wytworzenia oprogramowania i modeli przy niemal zerowych kosztach krańcowych, połączone z efektami sieciowymi popytu i przewagą informacji, sprzyjają powstawaniu pozycji węzłowych. Zyski akumulują się w wąskich odcinkach rynku, co może podnosić średnią efektywność, ale utrudniać dyfuzję korzyści na pozostałą część gospodarki. Stąd rola reguł konkurencji, dostępu do danych i obowiązków interoperacyjności jako

elementów samej architektury technicznej gospodarki, a nie dodatku prawnego obok niej (Zekos, 2021; Varian, Farrell, Shapiro, 2005).

W danych makro te zjawiska widać z opóźnieniem. Część korzyści ma charakter jakościowy i trafia do nadwyżki konsumenta, a nie do wartości dodanej. Inna część kumuluje się w aktywach niematerialnych, których ujęcie w statystyce bywa opóźnione. Dodatkowo technologie ogólnego przeznaczenia, takie jak AI, wymagają czasu na reorganizację procesów, zmianę ról i nabycie kompetencji, zanim pojawią się wyraźne efekty produktywnościowe w agregatach. To tłumaczy trwałość paradoksu produktywności mimo postępu technicznego (Triplett, Bosworth, 2003; Brynjolfsson, Rock, Syverson, 2019; Corrado i in., 2017; May, 2024).

Istotne są przesunięcia w strukturze inwestycji. Tam, gdzie rośnie udział aktywów niematerialnych i zdolność do wtórnego użycia danych, łatwiej replikować rozwiązania między sektorami i wzdłuż łańcuchów wartości. Gdzie dominuje zakup sprzętu bez porządku nad danymi, interoperacyjności i kompetencji, wdrożenia pozostają lokalne i nietrwałe. W praktyce o wyniku decyduje pakiet: łączność i usługi chmurowe, dane dostępne na przejrzystych zasadach, standardy i przenoszalność, a obok nich kompetencje i reorganizacja procesów po stronie użytkowników publicznych i prywatnych (Bianchi, Labory, 2018).

Rola państwa rośnie wraz ze skalą zjawiska i przejściem z ujęć sektorowych do horyzontalnej gospodarki opartej na DAP. Jako duży użytkownik i zleceniodawca państwo tworzy trwały popyt na interoperacyjność: spójne rejestry, identyfikatory, słowniki i udokumentowane interfejsy zamieniają informację publiczną w infrastrukturę możliwą do wtórnego użycia przez firmy i instytucje, skracając drogę od pilotażu do wdrożeń masowych. Jednocześnie państwo jako regulator kształtuje warunki konkurencji na rynkach o wysokich kosztach stałych i silnych efektach sieciowych: obowiązki interoperacyjności i przenoszalności, przejrzystość modeli decyzyjnych oraz zasady dostępu do danych przemysłowych ograniczają blokady standardów i bariery wejścia. W roli zleceniodawcy i inwestora państwo może przekuć standardy w praktykę rynkową, premiując w zamówieniach publicznych otwarte interfejsy, dokumentację API i przenoszalność danych oraz współfinansując aktywa niematerialne, w tym z funduszy strukturalnych. Wreszcie jako edukator i arbiter pomiaru buduje kompetencje analityczne w administracji i dostarcza metryk jakości usług, kapitalizacji aktywów niematerialnych, realnego użycia danych i monitoringu interoperacyjności. Tam, gdzie te funkcje są prowadzone spójnie, dyfuzja DAP przyspiesza, a gospodarka przechodzi od gotowości do dojrzałości; tam, gdzie ich brakuje, korzyści kumulują się w węzłach platformowych, a dystans cyfrowy rośnie (Bianchi, Labory, 2018; OECD, 2019a; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019).

3.5. Produktywność i pomiar

Debata o gospodarce cyfrowej wraca do jednego pytania: gdzie jest produktywność. W firmach widać krótsze cykle, lepsze dopasowanie podaży i popytu oraz automatyzację decyzji. W agregatach makro sygnał bywa słabszy lub spóźniony. To nie sprzeczność, lecz efekt natury technologii ogólnego przeznaczenia i sposobu, w jaki mierzymy wartość.

Po pierwsze, część korzyści ma charakter jakościowy. Cyfryzacja zwiększa różnorodność i jakość usług, skraca czas oczekiwania i ułatwia porównywanie ofert. Zyski rosną w nadwyżce konsumenta, a niekoniecznie w wartości dodanej, więc nie w pełni trafiają do standardowych wskaźników produktywności. Dodatkowo wycena aktywów niematerialnych jest opóźniona i niejednolita. Oprogramowanie, dane i kapitał organizacyjny często nie są ujęte w pełni, co zaniża krótkookresowy obraz produktywności, zwłaszcza w usługach o wysokiej intensywności cyfrowej (Corrado i in., 2017).

Po drugie, technologie ogólnego przeznaczenia wymagają czasu. AI obniża koszt przewidywania, ale wzrost TFP pojawia się dopiero po przeprojektowaniu procesów, zmianie ról i nabyciu nowych kompetencji. Podobne opóźnienia obserwowano przy elektryfikacji i wprowadzaniu komputerów. Najpierw długi okres adaptacji, potem skokowe efekty w agregatach (David, 1991; Brynjolfsson, Rock, Syverson, 2019). Tam, gdzie inwestycjom technicznym towarzyszą komplementarności organizacyjne i kompetencyjne, przejście od usprawnień lokalnych do wzrostu TFP jest szybsze (Manyika i in., 2018; Biagi, 2013).

Po trzecie, korzyści kumulują się nierówno. Wysokie koszty stałe tworzenia i niemal zerowe koszty krańcowe, połączone z efektami sieciowymi i kosztami przełączania, sprzyjają powstawaniu pozycji węzłowych. Zyski rosną w wąskiej grupie firm, co podnosi średnią efektywność, ale osłabia widoczność w przeciętnych wskaźnikach i spowalnia dyfuzję korzyści do MŚP oraz sektorów o niższej intensywności cyfrowej (Varian, Farrell, Shapiro, 2005; May, 2024).

Po czwarte, zmieniają się bodźce inwestycyjne. Szybka dostępność rozwiązań cyfrowych potrafi obniżać oczekiwane prywatne korzyści wynikające z czasowej przewagi technologicznej, co w dłuższym okresie może tłumić nakłady na badania i rozwój, mimo powszechności narzędzi. To jeszcze bardziej odsuwa w czasie silne efekty w agregatach (Trammell, Korinek, 2023).

Paradoks produktywności nie podważa potencjału cyfryzacji; odsłania raczej niedopasowanie między adopcją technologii, brakującymi komplementarnościami organizacyjno-instytucjonalnymi i sposobem liczenia efektów w statystyce makro. Z tego wynika potrzeba uporządkowania pomiaru w trzech obszarach. Po pierwsze, konsekwentna kapitalizacja aktywów niematerialnych w rachunkach narodowych, w tym danych, oprogramowania i kapitału organizacyjnego, tak aby TFP nie „karała” sektorów inwestujących w zasoby

niematerialne (Corrado i in., 2017). Po drugie, lepsze ujęcie jakości i różnorodności usług poprzez ceny hedoniczne, miary pojawiania się nowych odmian oraz uzupełniające szacunki nadwyżki konsumenta, także dla dóbr cyfrowych oferowanych użytkownikom bez opłat. Po trzecie, systematyczne śledzenie dyfuzji i komplementarności DAP, bo to one zamieniają mikrozyki w wyniki makro: stałe nakłady na aktywa niematerialne, decyzje oparte na danych w operacjach i strategii, interoperacyjność i przenoszalność, dojrzałe praktyki cyberbezpieczeństwa oraz włączanie MŚP do branżowych przestrzeni danych i usieciowanych łańcuchów wartości (Manyika i in., 2018). Tylko po spełnieniu tych trzech warunków efekty cyfryzacji stają się widoczne w statystyce makro, zamiast ginać w rachunkach jako „niewyjaśniona” produktywność.

Pomiar powinien łączyć klasyczne rachunki z obserwacją infrastruktury informacyjnej i mechanizmów DAP. Gospodarki, które traktują dane jak dobro o cechach infrastruktury, porządkują interoperacyjność i finansują standardy, szybciej przechodzą od pilotaży do efektów w agregatach. Tam, gdzie dane pozostają w silosach, a interfejsy są zamknięte, korzyści pozostają punktowe i nierówne, a statystyka długo nie rejestruje postępu (Bianchi, Labory, 2018).

W praktyce warto rozdzielić dwa pytania. Czy technologia działa w procesach i na rynkach oraz czy nasze miary potrafią uchwycić jej efekty w czasie i przestrzeni. Odpowiedź na pierwsze pytanie wymaga komplementarności i skalowania DAP. Odpowiedź na drugie – dostrojenia statystyki do gospodarki, w której coraz większa część wartości powstaje w zasobach niematerialnych i jakości, a nie w tradycyjnej produkcji towarów i usług. Dzięki tej ramie widać, dlaczego różnice w gotowości i dojrzałości cyfrowej rozszczepiają trajektorie produktywności i dlaczego cyfrowa luka rozwojowa to kwestia nie tylko dostępu do technologii, lecz także pomiaru i instytucji.

3.6. Warunki absorpcji technologii w skali gospodarki

Absorpcja technologii cyfrowych w agregacie nie jest sumą wdrożeń w firmach. To zdolność całego systemu do przełożenia procesów DAP na powtarzalne reguły działania, które podnoszą produktywność i odporność. O powodzeniu decydują warunki systemowe, a nie sama dostępność narzędzi.

Cyfrowa gotowość gospodarki opiera się na kilku współzależnych warunkach. Zasadniczym z nich jest potraktowanie łączności i danych jako dobra infrastrukturalnego. Obejmuje to nie tylko szerokopasmowy internet, sieci 5G, zasoby obliczeniowe i chmurę, lecz także rejestry, identyfikatory, słowniki i branżowe przestrzenie danych, które umożliwiają wtórne wykorzystanie informacji w wielu zastosowaniach. Techniczna i semantyczna interoperacyjność oraz przenoszalność obniżają koszty transakcyjne, a stabilne, udokumentowane interfejsy pozwalają łączyć rozwiązania ponad sektorami. Tam, gdzie dane

pozostają w silosach, korzyści zatrzymują się na poziomie lokalnych projektów i kumulują w węzłach kontrolujących dostęp do informacji (Goldfarb, Tucker, 2019; Shukla i in., 2023; Varian, Farrell, Shapiro, 2005; Bianchi, Labory, 2018).

Drugim filarem są komplementarności kompetencyjne i organizacyjne. Sama algorytmizacja obniża koszt przewidywania, lecz wartość ujawnia się dopiero po przeprojektowaniu procesów, uporządkowaniu danych i zbliżeniu analityki do decyzji. Kluczowe pozostają cztery grupy kompetencji: powszechna alfabetyzacja danych wraz z bezpieczeństwem i etyką; role pomostowe łączące biznes z analityką; ład nad danymi i inżynieria danych, obejmujące standardy, jakość i przenoszalność; wreszcie przywództwo i zarządzanie portfelem inicjatyw, z nowymi miernikami decyzji i klarowną odpowiedzialnością w zespołach. Tam, gdzie te kompetencje wspierają inwestycje w aktywa niematerialne (oprogramowanie, dane jako zasób, kapitał organizacyjny i wiedzę), decyzje oparte na danych stają się codzienną praktyką, a wzrost jest trwały (Corrado i in., 2017; Manyika i in., 2018; Brynjolfsson, Rock, Syverson, 2019).

Kolejny warunek dotyczy zdolności finansowania i skalowania. Przejście od pilotaży do zastosowań krajowych wymaga miksu kapitału publicznego i prywatnego oraz instrumentów ograniczających ryzyko inwestycji w aktywa niematerialne i integracje międzyorganizacyjne. Zamówienia publiczne i przedkomercyjne, a także partnerstwa publiczno-prywatne mogą generować popyt na rozwiązania interoperacyjne i wymuszać otwarte interfejsy. Sprawne rynki finansowe i kapitał podwyższonego ryzyka skracają ścieżkę komercjalizacji rozwiązań opartych na danych i AI. W przeciwnym razie projekty pozostają rozproszone i nie tworzą efektów sieciowych w skali gospodarki (Bianchi, Labory, 2018; OECD, 2019c; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019; Shukla i in., 2023).

Nie mniej istotny jest ład konkurencji i reguły zarządzania danymi, dostosowane do specyfiki rynków cyfrowych. Wysokie koszty stałe, niskie koszty krańcowe i silne efekty sieciowe sprzyjają koncentracji i zamykaniu interfejsów. Wymogi interoperacyjności i przenoszalności, uczciwe zasady dostępu do danych przemysłowych, przejrzystość modeli oraz nadzór nad przejściami motywowanymi przewagą danych ograniczają ryzyko blokady standardów i umożliwiają dyfuzję korzyści poza liderów platformowych (Varian, Farrell, Shapiro, 2005; Richard, 2024; OECD, 2019a; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019).

Kolejna grupa czynników odnosi się do bezpieczeństwa i odporności. Minimalne standardy cyberbezpieczeństwa, certyfikacja, raportowanie incydentów i zdolności operacyjne do ochrony danych oraz infrastruktury są niezbędne, aby dane mogły pełnić funkcję infrastrukturalną. W wymiarze strategicznym kluczowa staje się suwerenność cyfrowa – w chmurze, półprzewodnikach i oprogramowaniu – ponieważ przerwy w tych łańcuchach dostaw błyskawicznie przekładają się na ryzyka makroekonomiczne (OECD, 2019b; Shukla i in., 2023).

Równocześnie konieczne jest włączenie MŚP oraz peryferyjnych ogniw łańcuchów wartości. To tam rozstrzyga się, czy korzyści z DAP rozleją się szeroko. Otwarte standardy, wspólne słowniki, niskokosztowe interfejsy i dostęp do branżowych przestrzeni danych obniżają koszty integracji. Programy finansujące aktywa niematerialne i reorganizację procesów, w połączeniu z rozwojem kompetencji menedżerskich i analitycznych, skracają drogę od pilotażu do wdrożeń w skali całych łańcuchów wartości (Manyika i in., 2018; Bianchi, Labory, 2018; OECD, 2019b).

Na końcu niezbędny jest spójny system pomiaru komplementarności. W statystyce publicznej wydatki na oprogramowanie, dane, modele i kapitał organizacyjny powinny być traktowane jako inwestycje, a nie koszty operacyjne. Potrzebne jest również mierzenie jakości i różnorodności usług oraz monitorowanie, w jakim stopniu dane są faktycznie wykorzystywane w decyzjach i jak rośnie integracja międzyorganizacyjna. Taki system pozwala wcześniej rozpoznać, czy gospodarka wchodzi na ścieżkę dojrzałości oraz gdzie ujawniają się luki wymagające wsparcia. Brak tego rodzaju pomiaru sprawia, że polityka publiczna reaguje z opóźnieniem, a paradoks produktywności utrzymuje się dłużej, niż to konieczne (Corrado i in., 2017; Triplett, Bosworth, 2003).

W praktyce te warstwy wzmacniają się wzajemnie. Infrastruktura i dane tworzą podłoże dla komplementarności organizacyjnych. Reguły konkurencji i bezpieczeństwa umożliwiają skalowanie bez blokad i przerw. Finansowanie i popyt publiczny zamieniają standardy w praktykę rynkową. Włączenie MŚP decyduje, czy korzyści staną się makro, a nie punktowe. Taki układ skracca drogę od gotowości do dojrzałości cyfrowej i wyjaśnia, dlaczego podobna technologia daje różne wyniki w zależności od instytucji i standardów, w ramach których jest wykorzystywana.

3.7. Państwo jako architekt ładu cyfrowego

W gospodarce cyfrowej państwo przestaje być wyłącznie regulatorem i strażnikiem porządku. Wpływa na to, które standardy i interfejsy stają się powszechne, jaką jakość mają dane w obiegu, jakie kompetencje rozwijają instytucje i przedsiębiorstwa oraz czy inwestycje w aktywa niematerialne rzeczywiście przekładają się na produktywność. Od decyzji publicznych zależy, czy datafikacja, algorytmizacja i platformizacja tworzą mechanizm wzrostu w skali gospodarki, czy też pozostają zbiorem wyspowych wdrożeń u nielicznych liderów (Śledziewska, Włoch, 2021; Corrado i in., 2017).

Jednym z wymiarów tego wpływu jest rola państwa jako użytkownika i projektanta popytu na interoperacyjność. Administracja publiczna generuje i wykorzystuje dane w procesach o ogromnej skali – od rejestrów i identyfikatorów

po słowniki i branżowe przestrzenie danych. Spójność i standaryzacja tych zasobów sprawiają, że informacja zaczyna funkcjonować jak infrastruktura, możliwa do wtórnego wykorzystania przez sektor prywatny i inne instytucje. Tak zaprojektowane usługi publiczne, chmura dla administracji i wspólne przestrzenie danych obniżają koszty transakcyjne i skracają drogę od pilotażu do zastosowań masowych (Manyika i in., 2018; Shukla i in., 2023).

Równoległe państwo odgrywa rolę regulatora rynków opartych na wysokich kosztach stałych, niskich kosztach krańcowych i silnych efektach sieciowych. W takich warunkach brak reguł sprzyja koncentracji i zamykaniu standardów wokół dominujących platform. Stąd wynika duże znaczenie obowiązków interoperacyjności i przenoszalności, zasad uczciwego dostępu do danych przemysłowych, przejrzystości modeli decyzyjnych oraz kontroli przejęć motywowanych przewagą informacyjną. Celem jest nie zastąpienie rynku, lecz ograniczenie trwałych blokad standardów i asymetrii wynikających z pozycji węzłowej (Varian, Farrell, Shapiro, 2005; Zekos, 2021; OECD, 2019a; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019; May, 2024).

Państwo występuje też jako zleceniodawca i inwestor. Zamówienia publiczne, granty i instrumenty współfinansowania mogą stać się dźwignią dla otwartych, interoperacyjnych rozwiązań. Kryteria premijące przenoszalność danych, dokumentację API czy standardy jakości obniżają koszty integracji i ułatwiają MŚP włączenie się w usieciwione łańcuchy wartości. Finansowanie aktywów niematerialnych (danych jako zasobu, oprogramowania i kapitału organizacyjnego) pozwala przekształcać inwestycje techniczne w trwałe wzrost produktywności (Bianchi, Labory, 2018; Corrado i in., 2017; OECD, 2019c; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019).

Nie mniej istotny jest wymiar edukacyjny. Reguły i instrumenty finansowe nie zadziałają bez pracowników, którzy potrafią projektować procesy oparte na danych i łączyć analitykę z decyzjami. Polityka publiczna tworzy podaż kompetencji w trzech komplementarnych warstwach: powszechnej alfabetyzacji danych (miary, jakość, bezpieczeństwo, etyka), specjalistycznych umiejętności technicznych (inżynieria danych, uczenie maszynowe, ład nad danymi) oraz przywództwa strategicznego (projektowanie ról, odpowiedzialności i mierników pracy). Dopiero ich połączenie z inwestycjami w aktywa niematerialne umożliwi absorpcję i skalowanie (Corrado i in., 2017; Manyika i in., 2018; Brynjolfsson, Rock, Syverson, 2019).

Kolejna rola państwa to bycie strażnikiem bezpieczeństwa i odporności systemowej. Minimalne standardy cyberbezpieczeństwa, obowiązki raportowania incydentów i rozwój zdolności operacyjnych w instytucjach publicznych stanowią warunek zaufania do usług cyfrowych. Na poziomie makroekonomicznym o stabilności decyduje suwerenność cyfrowa – dywersyfikacja dostaw chmury, kompetencje w zakresie kluczowych technologii cyfrowych, kontrola nad kluczowym oprogramowaniem i odporne łańcuchy dostaw. Zakłócenia w tych warstwach szybko rozlewają się na całe sektory (OECD, 2019b; Shukla i in., 2023).

Znaczenie ma również spójność reguł z logiką DAP. W warstwie danych potrzebne są jasne zasady jakości, odpowiedzialności i dostępu, które pozwalają na wtórne wykorzystanie informacji i ograniczają asymetrię: w warstwie algorytmów – przejrzystość, audytowalność i zarządzanie ryzykiem, umożliwiające bezpieczne włączenie modeli do procesów operacyjnych i nadzorczych; w warstwie platform – neutralność dostępu i przenoszenie danych oraz tożsamości między usługami, co wspiera konkurencję opartą na jakości (Goldfarb, Tucker, 2019).

Ostatecznie rolą państwa pozostaje pomiar i egzekwowanie. Potrzebne są metryki kapitalizacji aktywów niematerialnych, jakości usług i realnego wykorzystania danych w decyzjach, a także monitoring interoperacyjności i przenoszalności. Bez tego polityka reaguje z opóźnieniem, a paradoks produktywności utrzymuje się mimo rosnących nakładów na technologie (Corrado i in., 2017). W tym sensie państwo jako architekt ładu cyfrowego łączy role użytkownika, regulatora, zleceniodawcy, edukatora, strażnika bezpieczeństwa i arbitra pomiaru. Tam, gdzie funkcje te są prowadzone spójnie i oparte na otwartych standardach, dyfuzja przyspiesza, a gospodarka przechodzi od gotowości do dojrzałości. Tam, gdzie którejś z warstw brakuje, korzyści kumulują się w węzłach rynku, a luka wobec liderów rośnie.

3.8. Gotowość cyfrowa gospodarki

W analizie makro różnicują dwa porządki. Gotowość cyfrowa to zdolność do rozpoczęcia wdrożeń dzięki istnieniu podstawowych zasobów wejściowych. Dojrzałość cyfrowa to stan scalania i skali, w którym te zasoby są spięte z komplementarnościami organizacyjnymi i instytucjonalnymi, a datafikacja, algorytmizacja i platformizacja działają równolegle w wielu sektorach i wzdłuż łańcuchów wartości. Efekty widać w produktywności, jakości usług i odporności makroekonomicznej (Śledziwska, Włoch, 2021; Agrawal, Gans, Goldfarb, 2019).

Gotowość cyfrową traktuję jako stan zasobów i reguł, który pozwala efektywnie wdrażać technologie cyfrowe w sektorze prywatnym i publicznym. Obejmuje to infrastrukturę łączności i chmurę, kapitał ludzki i kompetencje kapitału ludzkiego, zdolności B+R, dostęp do finansowania inwestycji oraz przepisy i standardy umożliwiające bezpieczne przetwarzanie, interoperacyjność i przenoszalność. Innymi słowy, gotowość mówi, czy gospodarka potrafi sensownie łączyć technologię z decyzjami i realizować projekty bez utknięcia na barierach bazowych.

Dojrzałość cyfrowa to kolejny etap: skoordynowane skalowanie. Zasoby techniczne są spięte z komplementarnościami organizacyjnymi i instytucjonalnymi; datafikacja, algorytmizacja i platformizacja działają równolegle

wzdłuż łańcuchów wartości i między sektorami; interoperacyjność i przenoszalność są wdrożone na tyle, że decyzje oparte na danych stają się powtarzalne w skali. Efekty widać w produktywności, jakości usług i odporności całego systemu (Corrado i in., 2017; Manyika i in., 2018).

To rozróżnienie dobrze tłumaczy paradoks produktywności. W gospodarce gotowej technologicznie, lecz niedojrzałej organizacyjnie i instytucjonalnie efekty projektów cyfrowych nie kumulują się we wskaźnikach makroekonomicznych. Brakuje komplementarności, które pozwalają internalizować korzyści skali i uczenia, a dane pozostają w silosach. Wraz z wzrostem dojrzałości rośnie TFP, ponieważ inwestycjom technicznym systematycznie towarzyszą reorganizacja procesów, zmiana ról i odpowiedzialności, standardy przenoszalności informacji i praktyki zarządzania cyklem życia modeli.

Przejście od gotowości do dojrzałości jest zależne od ścieżki. We wczesnej fazie kluczowe są decyzje o standardach i interoperacyjności, które wyznaczają przyszłe koszty przełączania i tempo dyfuzji między sektorami. Gospodarki z otwartymi interfejsami, spójnymi identyfikatorami i słownikami danych szybciej replikują rozwiązania i łatwiej włączają MŚP do usieciowionych łańcuchów wartości. Tam, gdzie dominują zamknięte architektury, korzyści kumulują się u podmiotów kontrolujących kluczowe elementy platformy, a dyfuzja spowalnia mimo podobnej dostępności technologii.

Na poziomie polityk publicznych dojrzałość wymaga równoległego działania w trzech sferach. Po pierwsze, w sferze danych i infrastruktury traktowanych jak dobro o charakterze infrastrukturalnym, z regułami przenoszalności i otwartymi interfejsami dla wtórnego użycia informacji. Po drugie, w obszarze komplementarności kompetencyjnych i organizacyjnych po stronie użytkowników, czyli inwestycji w kapitał ludzki, zarządzania danymi i w modelach decyzyjnych osadzonych w procesach. Po trzecie, w sferze finansowania i skalowania, które łączą zamówienia publiczne, partnerstwa i rynek kapitału z premiowaniem aktywów niematerialnych i integracji międzyorganizacyjnych. Taki układ przesuwa gospodarkę z fazy pilotaży do skali sektorowej i makro (Bianchi, Labory, 2018; OECD, 2019c; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019).

3.9. Podsumowanie

W tym rozdziale przeszłam z ujęć sektorowych do obrazu gospodarki cyfrowej jako porządku techniczno-instytucjonalnego. Pokazałam, że dane, algorytmy i platformy współdziałają jako mechanizmy DAP, które zmieniają logikę tworzenia wartości, koordynacji i konkurencji w całym systemie, a nie tylko w sektorze ICT czy w ramach narracji o Przemysle 4.0.

U ujęciu zagregowanym cyfryzacja działa dwutorowo. W kanale bezpośrednim obniża koszty informacji i przewidywania, skraca czas reakcji i poprawia

dopasowanie popytu i podaży. W kanale pośrednim uruchamia komplementarne innowacje, realokację zasobów i efekty sieciowe, które wzmacniają koordynację między podmiotami. Te same mechanizmy niosą jednak ryzyko koncentracji korzyści w węzłach platformowych, gdy interoperacyjność i przenoszalność danych są słabe, a koszty przełączania wysokie.

Wyjaśniłam, skąd bierze się rozbieżność między skalą inwestycji cyfrowych a powolnym ruchem wskaźników makro. Część efektów jest słabo widoczna w rachunkach narodowych, a technologie ogólnego przeznaczenia wymagają czasu na reorganizację procesów i budowę komplementarności. Dodatkowo renty informacyjne kumulują się w wąskiej grupie firm, co osłabia widoczność efektów w średnich zagregowanych.

Kluczowym wnioskiem jest rozróżnienie gotowości i dojrzałości cyfrowej. Gotowość to stabilny zasób wejściowy gospodarki: powszechna łączność i chmura, podstawowe rejestry i zbiory danych do wtórnego użycia, kompetencje cyfrowe oraz ramy prawne i organizacyjne, które pozwalają wiązać technologię z decyzjami. Dojrzałość to etap skoordynowanego skalowania: zasoby techniczne są spięte z aktywami niematerialnymi i zmianami organizacyjnymi, a mechanizmy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji działają równolegle w wielu sektorach i wzdłuż łańcuchów wartości. Jej sygnałami są decyzje oparte na danych, interoperacyjność i przenoszalność, dojrzałe praktyki cyberbezpieczeństwa oraz obecność MŚP w branżowych przestrzeniach danych; efekty widać w produktywności, jakości usług i odporności makro. Warunki absorpcji w skali makro układają się w trzy warstwy. Pierwsza to dane i infrastruktura traktowane jak dobro o charakterze infrastrukturalnym, z regułami przenoszalności i otwartymi interfejsami. Druga to komplementarności kompetencyjne i organizacyjne po stronie użytkowników, w tym kapitał ludzki, porządek nad danymi i osadzenie modeli decyzyjnych w procesach. Trzecia to finansowanie i skalowanie, które łączą zamówienia publiczne, partnerstwa i kapitał prywatny z premiovaniem aktywów niematerialnych i integracji międzyorganizacyjnych. Od tej konfiguracji zależy, czy efekty nie zatrzymają się na etapie pilotaży.

Państwu przypisałam zintegrowaną rolę architekta ładu cyfrowego. Jako użytkownik tworzy ono popyt na interoperacyjność i wtórne użycie danych. Jako regulator ogranicza blokady i asymetrie oraz porządkuje rynki platform. Jako zleceniodawca i inwestor nadaje skalę rozwiązaniom o charakterze publicznym. W tej perspektywie edukacja cyfrowa, kształcenie ustawiczne i rozwój kompetencji menedżerskich oraz analitycznych są równie ważne jak inwestycje w sieci, chmurę i rejestry, bo to one przesądzają o przejściu od gotowości do dojrzałości.

4. Nowe podziały cyfrowe w gospodarce globalnej

4.1. Wprowadzenie

Pisząc o globalizacji, wychodzę z założenia, że jej współczesny „mechanizm napędowy” przesunął się z fizycznych łańcuchów dostaw na infrastrukturę informacyjną. To dane, algorytmy i platformy (DAP) tworzą dziś sieć połączeń o zasięgu globalnym, a jednocześnie stają się głównym polem sporów regulacyjnych i geopolitycznych. W tym sensie nie opisuję „końca globalizacji”, lecz jej recompozycję: intensywne przepływy informacji, usług cyfrowych i wiedzy współlistnieją z procesami reglamentacji, lokalizacji danych i budowy bloków zaufania. Ta perspektywa dobrze podprowadza pod główną tezę rozdziału 4: współczesne podziały cyfrowe nie są już różnicą w samym dostępie do internetu, ale strukturalną dyferencją zdolności państw do tworzenia wartości w logice DAP oraz do utrzymania kompatybilności instytucjonalno-regulacyjnej z globalną infrastrukturą cyfrową.

Celem rozdziału jest analityczne uchwycenie i konceptualizacja tych podziałów w gospodarce światowej. Proponuję odejście od prostych metryk „dostęp-używanie-umiejętności” na rzecz podejścia kompetencyjnego: mierzę, w jakim stopniu państwa potrafią przejść od bazowej infrastruktury ICT, przez absorpcję technologii i organizacyjne wdrożenia, do stabilnego wytwarzania wartości na styku danych, algorytmów i platform. W tym ujęciu *digital divide* staje się różnicą zdolności przechodzenia przez kolejne progi transformacji cyfrowej oraz utrzymywania interoperacyjności z globalnymi regułami obiegu danych. Taki zwrot jest spójny zarówno z literaturą o „*globotics*” i reorganizacji przewag komparatywnych (Baldwin, 2016, 2022), jak i z nowszymi ujęciami polityk i ładu globalizacji cyfrowej (Weymouth, 2023) oraz z moją wcześniejszą perspektywą gospodarki cyfrowej (Śledziwska, Włoch, 2021).

W pierwszej części porządkuję pojęcia i definicje globalizacji cyfrowej, zestawiając ujęcia Baldwina, Weymoutha, St. Amanta i Olanirana. Przyjmuje perspektywę, w której DAP jest mechanizmem reorganizacji gospodarki

światowej w dwóch wymiarach: rynkowym (nowa ekonomia skali i zakresu oparta na danych, algorytmach i platformach) i regulacyjnym (nowe granice transferu informacji, suwerenność danych, standardy audytowalności modeli). Wyróżniam trzy historyczne fazy: (1) cyfryzację infrastruktury (lata 80.–90.), (2) ekspansję platform i usług cyfrowych (pierwsza dekada XXI wieku) oraz (3) fazę automatyzacji i „*globotics*”, czyli globalizacji pracy umysłowej i usług opartych na AI (po 2010 roku). W każdej z nich identyfikuję specyficzne mechanizmy włączania i wykluczania, co pozwala pokazać, że cyfryzacja może równocześnie integrować i fragmentaryzować system światowy.

Druga część rozwija nową definicję *digital divide* jako różnicy zdolności do przechodzenia progów DAP i operacjonalizuje ją poprzez ramę trzech stanów: cyfrowego wykluczenia, gotowości i dojrzałości. Odwołuję się tu do ekonomicznej i instytucjonalnej literatury o transformacji (Baldwin, 2016; Bianchi, Labory, 2018), wyraźnie odróżniając proponowane ujęcie od klasycznych podejść skoncentrowanych na dostępie lub intensywności użytkowania (Castells, 2002; Pereira i in., 2024). Kluczowe jest tu także uwzględnienie procesów deglobalizacji cyfrowej: lokalizacji danych, reglamentacji transferów, selektywnego protekcyjizmu technologicznego oraz geopolitycznego rozszczepiania infrastruktury. Włączam tym samym perspektywę zależności centrum–peryferie i tezę o „cyfrowym kolonializmie”, rozumianym jako podporządkowanie peryferii platformowemu i infrastrukturalnym rdzeniom (Kwet, 2019).

Trzecia część stanowi zasadniczy wkład empiryczny. Na danych ITU, UNCTAD, World Bank i UN Comtrade buduję wielowymiarowy wskaźnik zdolności DAP (cztery wymiary: kapitał ludzki, aktywność gospodarcza, gotowość instytucjonalna oraz integracja w cyfrowych łańcuchach wartości) i przeprowadzam analizę skupień metodą k-średnich. Otrzymuję trzy względnie stabilne klastry państw: liderów cyfrowych, państwa adoptujące oraz państwa wykluczone cyfrowo (metodologia: Śledziewska, Łebkowska, 2025). Co istotne, ta mapa nie pokrywa się z prostymi podziałami dochodowymi: wśród liderów obok gospodarek wysoko rozwiniętych znajdują się części Azji Południowo-Wschodniej (np. Singapur), a część państw rozwiniętych pozostaje w grupie adoptujących. Wiele krajów Globalnego Południa jest nadal odciętych od głównych strumieni wartości cyfrowej.

W czwartej części analizuję warunki stabilności i zmienności tych podziałów. Argumentuję, że siły dywergencji – koncentracja danych i mocy obliczeniowej, blokady technologiczne, reglamentacja transferów, a wreszcie dominacja platform w łańcuchach wartości – przeważają obecnie nad siłami konwergencji. Pokazuję także mechanizmy przeciwdziałania, jak: leapfrogging technologiczny i budowa kompetencji, regionalna integracja cyfrowa, rozwój lokalnych platform oraz polityki przemysłowe ukierunkowane na zdolności DAP.

Wartość dodana rozdziału jest potrójna. Po pierwsze, przesuwam definicję *digital divide* z poziomu dostępu i użytkowania na poziom zdolności tworzenia wartości w logice DAP i kompatybilności regulacyjnej. Po drugie,

dostarczam empiryczną klasyfikację państw na podstawie danych ilościowych i wielowymiarowej analizy, wskazując ścieżki awansu oraz bariery instytucjonalne i kapitałowe. Po trzecie, spinam poziomy analizy – mikro (przedsiębiorstwa), mezo (łańcuchy wartości) i makro (polityki publiczne) – aby pokazać, jak układ globalizacji cyfrowej rzutuje na przewagi konkurencyjne i pozycję handlową państw.

4.2. Globalizacja cyfrowa

Globalizacja nie zniknęła – zyskała nowy nośnik. Do kontenera i łańcuchów dostaw dołączyły pakiety danych, modele algorytmiczne i platformy cyfrowe. Ilustrują to dwa przykłady. W procesie serwicyzacji przemysłu producent maszyn sprzedaje w wielu krajach i rozlicza klienta za rzeczywiste użycie urządzeń, monitorując je w trybie ciągłym i w czasie rzeczywistym. Czujniki dostarczają dane z różnych państw, wspólne rejestry porządkują zapisy, algorytmy przewidują awarie, a platforma spina partnerów serwisowych i finansowych niezależnie od ich lokalizacji. Drugi przykład to ekspansja marek konsumenckich za pośrednictwem platform e-commerce. Strumienie danych łączą zamówienia, stany magazynowe operatorów logistycznych, śledzenie przesyłek i opinie klientów z różnych krajów. Algorytmy różnicują ofertę i ceny między rynkami, a platforma zapewnia wspólne reguły płatności, rozliczeń i obsługi sporów. W sprzyjających warunkach skraca się cykl gotówkowy i maleje koszt akwizycji, a decyzje marketingowe zapadają niemal w czasie rzeczywistym – niezależnie od fizycznej odległości odbiorców.

Globalizację cyfrową rozumiem jako rekompozycję dotychczasowych form integracji, w której nośnikiem stają się dane, reguły ich przetwarzania i platformy koordynujące współpracę. W literaturze przesunięcie to wiąże się z przejściem od gospodarki opartej na aktywach materialnych do porządku informacyjnego. Procesy DAP generują nowe źródła przewagi konkurencyjnej, ale też nowe wąskie gardła integracji ponad granicami. W tym ujęciu globalizacja cyfrowa nie znosi odległości – redefiniuje ją. Mniej liczą się kilometry, bardziej kompatybilność standardów, dojrzałość danych i przewidywalność ładu regulacyjnego. Równocześnie rośnie znaczenie polityk nad danymi: bez koordynacji w obszarach prywatności, podatków i konkurencji globalny ekosystem ulega selektywnej fragmentacji.

W tym podrozdziale omawiam istotę globalizacji cyfrowej. Najpierw przedstawiam mechanizm DAP i wyjaśniam, w jaki sposób datafikacja, optymalizacja i platformizacja przesuwać koszty decyzji oraz umożliwiają skalowanie współpracy ponad granicami. Następnie przechodzę od klasycznych łańcuchów wartości do ich cyfrowych odpowiedników, pokazując, że dane stają się dobrem pośrednim naturalnie tworzącym przepływy transgraniczne.

Kolejna część porządkuje pojęcie handlu cyfrowego w ujęciu procesowym. W końcowej analizuję reakcję państw na rosnące strumienie danych, źródła fragmentacji oraz ich konsekwencje dla kosztów prowadzenia działalności międzynarodowej.

4.2.1. Globalizacja cyfrowa: różne podejścia definicyjne

W tym podrozdziale porządkuję główne sposoby rozumienia globalizacji cyfrowej w ekonomii, naukach o zarządzaniu i naukach politycznych, a następnie osadzam je w przyjętej w książce logice DAP oraz w warstwowej architekturze technologii. Dzięki temu definicje zyskują operacyjny sens w dalszej analizie podziałów cyfrowych i handlu.

W ujęciu kulturowo-społecznym, reprezentowanym przez Kirk St. Amant i Bolanle Olaniran, globalizacja cyfrowa jest przede wszystkim procesem, który różnicuje dostęp do informacji i technologii oraz pogłębia nierówności uczestnictwa w sferze gospodarczej i publicznej. Ta perspektywa przesuwając uwagę z samej integracji rynkowej na bariery włączania się w obieg informacji i kompetencji cyfrowych, co pozwala uchwycić trwałość luki między krajami i społecznościami (St. Amant, Olaniran, 2011).

W ujęciu regulacyjno-instytucjonalnym globalizacja cyfrowa to przede wszystkim gwałtowny wzrost transgranicznych przepływów danych i ekspansja platform, ale także zróżnicowane modele regulacji oraz polityki, które decydują o warunkach tej integracji. Stephen Weymouth zwraca uwagę na fakt, że bez koordynacji regulacyjnej w obszarach prywatności, opodatkowania i konkurencji pojawia się ryzyko selektywnej fragmentacji rynku cyfrowego. W jego typologii wyodrębniają się trzy dominujące podejścia do zarządzania danymi, co przekłada się na nowe linie podziału i na koszty współpracy międzynarodowej (Weymouth, 2023).

W podejściu ekonomicznym Richard Baldwin interpretuje globalizację cyfrową jako kontynuację drugiego rozdzielania, które umożliwiło przestrzenną separację projektowania, zarządzania i własności intelektualnej od fizycznej produkcji. Cyfryzacja obniżyła koszty komunikacji i przetwarzania informacji, co otworzyło drogę do globalizacji usług i pracy umysłowej oraz do zdalnego wykonywania zadań profesjonalnych. Ta faza, rozwijana dalej w koncepcji *globoitics*, pokazuje przesunięcie wartości w stronę usług i kompetencji niematerialnych, a więc w stronę tych miejsc łańcucha wartości, które są trudniej przenoszalne (Baldwin, 2016; Baldwin, 2019).

W książce przyjmuję perspektywę, w której globalizacja cyfrowa jest najlepiej opisana przez sprzężenie trzech procesów. Datafikacja zamienia działania gospodarcze w strumienie danych i czyni je zasobem organizacyjnym. Algorytmizacja przekłada te dane na klasyfikacje, prognozy i reguły decyzji. Platformizacja koordynuje wielu uczestników na wspólnych standardach

i interfejsach oraz pozwala skalować współpracę ponad granicami. Tak rozumiane DAP spina warstwy urządzeń, sieci, usług oraz treści i danych w jeden mechanizm tworzenia wartości i tłumaczy, dlaczego podobny zestaw technologii daje różne efekty w zależności od instytucji, standardów i kompetencji.

Zestawiając te podejścia, traktując globalizację cyfrową jako dynamiczną równowagę między tendencją do integracji poprzez przepływy danych i rozwój platform a tendencją do selektywnego rozszczepiania się porządku cyfrowego poprzez zróżnicowane reżimy regulacyjne i kontrolę nad infrastrukturą oraz danymi. Taki obraz jest spójny z ramą DAP i z wcześniejszym opisem warstw architektury, wskazujących punkty, w których powstaje wartość i w których tworzą się nowe wąskie gardła. Ta operacyjna definicja będzie podstawą do periodyzacji globalizacji cyfrowej i do dalszej analizy nowych podziałów w kolejnych podsekcjach.

4.2.2. Digitalizacja infrastruktury komunikacyjnej jako impuls globalizacji gospodarczej (lata 80. XX wieku – połowa lat 90.)

Pierwszy etap globalizacji cyfrowej (lata 80. XX wieku – połowa lat 90.) był okresem intensywnej rozbudowy cyfrowej infrastruktury komunikacyjnej, która stworzyła technologiczny fundament pod dalsze pogłębianie globalizacji gospodarki światowej. Upowszechnienie komputerów osobistych, telefonii cyfrowej oraz wczesnych rozwiązań internetowych radykalnie przyspieszyło przekaz informacji między podmiotami z różnych krajów i zmniejszyło jego koszty.

Spadek kosztów komunikacji znacząco przyspieszył międzynarodową współpracę gospodarczą. Jak podkreśla Baldwin (2016), technologie informacyjne stały się katalizatorem głębszej integracji gospodarki światowej. Przedsiębiorstwa mogły sprawniej koordynować działania operacyjne, zarządzać produkcją i logistyką na odległość oraz efektywniej organizować globalne łańcuchy wartości.

Równolegle tworzone pierwsze ramy regulacyjne i standardy cyfrowe wspierające kompatybilność ponad granicami państw. Globalizacja cyfrowa sprzyjała standaryzacji norm i regulacji, co zwiększało interoperacyjność systemów i ułatwiało transgraniczną współpracę (Gnangnon, Iyer, 2018). Już w latach 80. rozpoczęły się prace nad regulacjami obejmującymi m.in. zasady przepływu danych transgranicznych, ochronę danych osobowych oraz standaryzację technologii, co obniżało bariery technologiczne i prawne dla międzynarodowej wymiany informacji (Weymouth, 2023).

Cyfryzacja podstawowej infrastruktury stała się impulsem dla dalszej ekspansji handlu i inwestycji. Szybsza i tańsza komunikacja oraz rosnąca dostępność technologii sprzyjały integracji rynków, a wraz z tym wzrastało znaczenie aktywów niematerialnych – oprogramowania, wiedzy technologicznej

i własności intelektualnej – jako źródeł przewagi konkurencyjnej. W warunkach globalnej konkurencji przedsiębiorstwa intensywnie inwestowały w badania i rozwój (R&D), co zwiększało ich zdolność absorpcji i efektywnego wykorzystania technologii cyfrowych (Nakatani, 2021).

Jednocześnie ujawniły się pierwsze symptomy nierówności cyfrowych. Nierównomierny rozwój infrastruktury telekomunikacyjnej powodował, że państwa o lepszym zapleczu szybciej adaptowały nowe technologie, podczas gdy kraje mniej rozwinięte pozostawały w tyle (Baldwin, 2016).

Podsumowując, pierwszy etap globalizacji cyfrowej opierał się na digitalizacji podstawowej infrastruktury i przyniósł przyspieszenie transgranicznego obiegu informacji, powstanie wczesnych standardów i regulacji oraz zacieśnienie powiązań w globalnych łańcuchach wartości. Był to jednak dopiero początek przemian, które w kolejnych latach uległy dalszej intensyfikacji.

4.2.3. Platformizacja gospodarki i formowanie się globalnych sieci (połowa lat 90. XX wieku – pierwsza dekada XXI wieku)

W poprzednim podrozdziale pokazałam, że cyfryzacja infrastruktury obniżyła koszty komunikacji i stworzyła warunki do globalnej koordynacji działań. Teraz przechodzę do momentu, gdy to nie łączy sprzęt, lecz dane, algorytmy i platformy stały się właściwym mechanizmem integracji. Ta zmiana logicznie domyka opis warstw architektury i wpisuje się w ramę DAP, którą konsekwentnie stosuję w całej książce.

Drugi etap globalizacji cyfrowej, rozpoczęty w połowie lat 90. i trwający do końca pierwszej dekady XXI wieku, przyniósł zasadniczą zmianę sposobu organizacji współpracy gospodarczej. Technologie informacyjno-komunikacyjne umożliwiły powstanie globalnych sieci i platform, a tym samym przejście od usprawnionej komunikacji do gospodarki, w której kluczowym zasobem są dane i zdolność ich algorytmicznej analizy. W tym okresie ukształtowała się gospodarka platformowa, którą opisuję w Śledziwska i Włoch (2020).

W odróżnieniu od pierwszego etapu, gdy cyfryzacja głównie przyspieszyła przepływ informacji, platformy zaczęły koordynować wymianę w skali globalnej. Firmy mogły działać na rynkach zagranicznych bez rozbudowanej infrastruktury fizycznej i bez trwałej obecności operacyjnej. Z perspektywy DAP oznaczało to sprzężenie trzech procesów: datafikacji, która przekształca aktywności w wiarygodne strumienie danych, algorytmizacji, która zamienia dane w przewidywania i reguły działania, oraz platformizacji, która przenosi koordynację między wieloma uczestnikami na wspólne standardy i interfejsy.

Cyfryzacja wyraźnie obniżyła bariery wejścia dla małych i średnich przedsiębiorstw. Dostęp do platform e-commerce, narzędzi komunikacji online, systemów płatności i kanałów promocji umożliwił szybkie docieranie do klientów i partnerów za granicą, a także elastyczne dopasowanie ofert do lokalnych

preferencji. Badania potwierdzają, że cyfryzacja zwiększa prawdopodobieństwo podjęcia eksportu i importu zarówno bezpośrednio, przez ułatwienie dotarcia do odbiorców, jak i pośrednio, przez wzrost produktywności (Añón Higón, Bonvin, 2024; Rosyidah i in., 2023). To ważne uzupełnienie logiki heterogenicznych firm: cyfrowe narzędzia obniżają koszty transakcyjne i jednocześnie wzmacniają przewagi produktywnych podmiotów.

Platformizacja stworzyła także warunki do telemigracji pracy rozumianej jako zdalna realizacja zadań intelektualnych i usług profesjonalnych ponad granicami. Baldwin opisuje ten proces jako część szerszej dynamiki *globotics*, w której globalizacja usług łączy się z automatyzacją zadań poznawczych. W praktyce coraz więcej czynności biurowych, projektowych i analitycznych wykonuje się na odległość, a jakość pracy monitoruje się na podstawie danych. Konkurencja na rynkach profesjonalnych traci lokalny charakter, a przewagi rosną tam, gdzie procesy są wystandaryzowane, dane mają wysoką jakość, a decyzje są osadzone w powtarzalnych regułach (Baldwin, 2022).

Wraz z upowszechnieniem platform rośnie znaczenie aktywów niematerialnych, takich jak oprogramowanie, modele algorytmiczne, wiedza technologiczna i kompetencje cyfrowe. Te zasoby stały się podstawowym źródłem wartości i głównym polem rywalizacji. Jednocześnie pojawiły się nowe formy nierówności cyfrowych związane już nie z samym dostępem do technologii, lecz ze zdolnością do ich efektywnego wykorzystania i skalowania w ekosystemach platformowych.

Drugi etap ujawnił również napięcia regulacyjne wynikające z globalnej ekspansji platform i transgranicznych przepływów danych. Wzrosło znaczenie sporów o ochronę prywatności i suwerenność cyfrową, co dobrze ilustrują europejsko-amerykańskie debaty wokół ram legalności transferu danych, od *Safe Harbor* po *Privacy Shield*. Równolegle narastała świadomość koncentracji rynkowej w sektorze platform i potrzeby działań antymonopolowych, co wzmacniało presję na budowę międzynarodowych zasad równoważących interesy globalnych platform z potrzebami rynków lokalnych i polityką publiczną (Weymouth, 2023).

Platformizacja nie tylko zmieniła kanały dystrybucji, ale przekształciła samą logikę udziału w handlu międzynarodowym. Otworzyła rynki dla nowych aktorów, przeniosła akcent z przewag kosztowych i skali produkcji na umiejętność zarządzania danymi i responsywność algorytmiczną, a także wprowadziła do gry instytucjonalny wymiar reguł narzucanych przez architekturę platform. To właśnie te mechanizmy przygotowały grunt pod kolejny etap globalizacji cyfrowej, w którym automatyzacja i telemigracja usług przyspieszają, a przepływy danych stają się podstawowym nośnikiem integracji gospodarczej.

4.2.4. Zaawansowana automatyzacja i telemigracja usług. Globalizacja danych, algorytmów i platform po 2010 roku

Globalizacja po 2010 roku przedłuża logikę opisaną wcześniej: datafikacja zamienia działania w strumienie danych, algorytmizacja obniża koszt prognozowania i automatyzuje decyzje, a platformizacja przenosi koordynację między wieloma stronami na wspólne standardy i interfejsy. W wymiarze międzynarodowym prowadzi to do gwałtownego spadku kosztów koordynacji i przejścia od cyfryzacji pojedynczych procesów do cyfryzacji całych przepływów pracy i wiedzy. Mobilny internet, chmura obliczeniowa i dojrzałe usługi danych tworzą ciągłą infrastrukturę współpracy, pozwalając łączyć moduły łańcuchów wartości rozproszone po świecie. Platformy stają się układem nerwowym wymiany usług i kompetencji: firmy skalują działalność bez fizycznej obecności, a transgraniczne przepływy danych zastępują część tradycyjnych przepływów towarów, wzmacniając integrację rynków usług i przyspieszając obieg informacji (Śledziwska, Włoch, 2021; Baldwin, 2022).

Nowy podział pracy wynika ze splotu telemigracji i automatyzacji zadań poznawczych. Coraz więcej czynności biurowych, projektowych i analitycznych wykonuje się zdalnie albo wspiera algorytmami generującymi mikroprzewidywania w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Konkurencja na rynkach profesjonalnych traci lokalny charakter: zadania można zlecać globalnie i monitorować ich jakość na podstawie danych. Przewagi rosną tam, gdzie procesy są wystandaryzowane, dane wysokiej jakości, a decyzje – osadzone w powtarzalnych regułach. Baldwin określa tę konstelację mianem *globotyki*: połączenia globalizacji usług intelektualnych z automatyzacją biurową. Zmiana obejmuje nie tylko sektory tradycyjnie handlowe, lecz także usługi profesjonalne wcześniej chronione koniecznością bezpośredniego kontaktu (Baldwin, 2022; Weymouth, 2023).

Perspektywa ekonomii handlu porządkuje skutki dla płac i zatrudnienia. Baldwin, Haaland i Venables pokazują, że wynik zależy od: charakteru zmiany technicznej, elastyczności popytu na dobra i usługi poddającej się handlowi, sposobu, w jaki praca realokuje się między sektorami w odpowiedzi na zmiany technologiczne i handlowe. Z tego wynika, że płace i udziały w zatrudnieniu nie muszą wykazywać zbieżnych tendencji. Możliwy jest wzrost premii płacowej dla określonych kompetencji przy spadku ich udziału w zatrudnieniu, jeśli substytucja w zadaniach przeważa nad ekspansją popytu. Gdy innowacja obejmuje wiele sektorów jednocześnie, coraz większą rolę odgrywa substytucja czynników wewnątrz sektorów, a nie tylko przesunięcia między krajami. Włączenie usług niehandlowych tłumi wahania względnych płac, bo część dostosowania przechwytywać rynki lokalne. To wyjaśnia, dlaczego ścieżki krajów będą różne mimo podobnej dostępności technologii – rezultaty zależą od struktury popytu i łatwości rozdzielania oraz standaryzowania zadań (Baldwin, Haaland, Venables, 2025).

Architektura platform pełni funkcję porządku instytucjonalnego: definiuje formaty danych, zasady identyfikacji, rytm aktualizacji modeli i reguły rozliczeń. Tam, gdzie interfejsy są otwarte, dane przenoszalne, a standardy spójne, maleją koszty przełączania i łatwiej włączać MŚP do globalnych łańcuchów usług. Tam, gdzie interfejsy są zamknięte, przewaga kumuluje się w węzłach, a dyfuzja spowalnia mimo identycznych narzędzi po stronie użytkowników. To ta sama mechanika, którą wcześniej opisałam jako sprzężenia zwrotne danych, algorytmów i platform, tyle że działają one w poprzek granic państw i w środowisku zróżnicowanych jurysdykcji (Goldfarb, Tucker, 2019; Varian, Farrell, Shapiro, 2004).

Wraz z rozszerzaniem tej architektury narasta napięcie regulacyjne. Globalne rynki danych i modeli zderzają się z lokalnymi reżimami prywatności, bezpieczeństwa i konkurencji. Weymouth opisuje to jako paradoks globalizacji cyfrowej: by utrzymać otwartość przepływów i skalowalność ekosystemów, potrzebne są mocniejsze i spójniejsze zasady dotyczące transparentności, przenoszalności i transgranicznego transferu danych. Bez takich ram rośnie skłonność do lokalizacji danych, podatków od usług cyfrowych i rozchodzenia się standardów, co podnosi koszty koordynacji i tłumi efekty uczenia się w skali międzynarodowej (Weymouth, 2023).

O pozycji kraju w tej fali decydują warstwy absorpcji: infrastruktura łączności, chmury i mocy obliczeniowych oraz rejestry, identyfikatory i słowniki umożliwiające wielokrotne wykorzystanie informacji; kompetencje – alfabetyzacja danych, inżynieria danych i ML, role pomostowe łączące biznes z analityką, przywództwo zdolne przeprojektować procesy i miary pracy; ład konkurencji i danych – interoperacyjność, przenoszalność, uczciwy dostęp do danych przemysłowych; integracja międzyorganizacyjna – udział w branżowych przestrzeniach danych i praktyka pracy na otwartych interfejsach. Tam, gdzie te warstwy są spójne, efekty skali i uczenia rozlewają się poza liderów i stają się widoczne w agregatach; gdzie ich brakuje, korzyści pozostają punktowe, a paradoks produktywności utrzymuje się dłużej, choć narzędzia są podobne (Manyika i in., 2018; Corrado i in., 2017; OECD, 2019b; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019).

W tym sensie globalizacja po 2010 roku to globalizacja decyzji i zadań, a nie tylko towarów. Dane, algorytmy i platformy obniżają koszty koordynacji i czynią usługi skalowalnymi, ale zarazem przenoszą ciężar konkurencji na standardy danych, otwartość interfejsów, zarządzanie ryzykiem algorytmicznym i kapitał ludzki. Taki układ domyka most między makromechaniką gospodarki cyfrowej a dalszą analizą tego, od czego zależy krajowa absorpcja tej fali i jak polityki publiczne mogą skracać drogę od gotowości do dojrzałości w handlu usługami i towarami.

4.2.5. Deglobalizacja cyfrowa – mechanizmy fragmentacji technologicznej

Deglobalizacja cyfrowa to odwracanie lub osłabianie wcześniejszych trendów integracji, które przez dekady sprzyjały globalnej unifikacji rynków, standardów i strumieni danych. Nie oznacza to zerwania więzi, lecz przesunięcie akcentów w stronę ochrony interesów krajowych oraz suwerenności cyfrowej, a w praktyce – częściową reterytorializację infrastruktury, danych i kompetencji technologicznych (Weymouth, 2023). Zjawisko to ma charakter selektywny i najbardziej widoczne jest tam, gdzie stawką są przewagi bezpieczeństwa, władzy regulacyjnej i kontroli nad węzłami krytycznych łańcuchów wartości. W literaturze i praktyce politycznej częściej mówi się więc o *derisking* i regionalizacji niż o pełnej deglobalizacji, co lepiej oddaje ograniczony zasięg i celowy charakter tych działań (Bradford, 2023; Baldwin, 2022).

Główną siłą napędową są napięcia geopolityczne oraz rosnąca geostrategiczna polityka przemysłowa w technologiach krytycznych. Instrumenty takie jak amerykański *CHIPS and Science Act*, europejski Akt o chipach i chińskie *Made in China 2025* odwracają logikę czystej efektywności kosztowej ku logice odporności i bezpieczeństwa dostaw. W rdzeniowych warstwach DAP pojawia się selektywna fragmentacja obejmująca kontrolę transferu technologii, obowiązki lokalizacyjne dla inwestycji i danych oraz rozchodzenie się standardów technicznych i protokołów. Budowanie koalicji zaufania i partnerstw regionalnych zastępuje wcześniejszą wiarę w pełną otwartość globalną, co redukuje ryzyko zaburzeń, ale podnosi koszty koordynacji i może spowalniać dyfuzję innowacji poza nielicznych liderów. Ujęcie to współgra z koncepcją uzbrojonej współzależności, zgodnie z którą węzły sieci i punkty dławienia stają się narzędziem nacisku w polityce gospodarczej i bezpieczeństwa (Farrell, Newman, 2019; Miller, 2022; OECD, 2019b; Crémer, Montjoye, Schweitzer, 2019; Weymouth, 2023).

Istotnym mechanizmem deglobalizacji są reżimy dotyczące danych (Słok-Wódkowska, Mazur, 2024). Coraz częściej wprowadzane są ograniczenia transgranicznego przepływu danych oraz obowiązki ich lokalizacji, motywowane ochroną bezpieczeństwa narodowego, prywatności obywateli i pozycji konkurencyjnej gospodarki. Rozwiązania te hamują skalowalność modeli opartych na globalnych strumieniach danych i osłabiają efekty sieciowe, które przez lata stanowiły rdzeń przewag firm cyfrowych działających ponad granicami jurysdykcji (Weymouth, 2023).

Kolejny obszar to zaostrzenie ram konkurencji i opodatkowania platform globalnych. Wdrażane podatki od usług cyfrowych oraz silniejsze egzekwowanie przepisów antymonopolowych mają chronić konkurencję i zapewnić sprawiedliwy udział w opodatkowaniu, ale równocześnie zwiększają niejednorodność wymogów regulacyjnych między jurysdykcjami. W efekcie rośnie koszt zgodności, a modele działania platform częściej są dopasowywane do wymogów poszczególnych rynków niż budowane z myślą o jednolitej, globalnej architekturze usług (Weymouth, 2023).

Na dynamikę deglobalizacji cyfrowej wpływają także czynniki społeczne związane z automatyzacją i telemigracją. Wzrost znaczenia *globotics*, czyli połączenia robotyzacji z transgranicznym świadczeniem pracy zdalnej, generuje presję społeczną i polityczną na ograniczanie otwartości oraz na ochronę krajowych rynków pracy. Tego rodzaju reakcje przekładają się na regulację utrudniającą swobodny przepływ technologii, usług i danych oraz na większą skłonność do interwencjonizmu (Baldwin, 2019).

Deglobalizację wzmacniają wreszcie asymetrie rozwojowe i obawy przed cyfrowym kolonializmem. Państwa o niższym poziomie zaawansowania cyfrowego w obawie przed marginalizacją sięgają po instrumenty cyfrowego protekcjonizmu. Ograniczają działalność globalnych platform, stawiają bariery dla przepływów danych i preferują lokalne ekosystemy, co ma budować zdolności endogeniczne i ograniczać zależność od technologii importowanych z bardziej zaawansowanych gospodarek. Tego typu działania zwiększają regionalizację rozwiązań i pogłębiają niekompatybilność standardów.

Wypadkową opisanych procesów jest spleciona i niejednorodna mapa integracji cyfrowej. Tam, gdzie stawką jest bezpieczeństwo i kontrola nad wąskimi gardłami łańcuchów wartości, rośnie gęstość barier i zróżnicowanie regulacyjne. Tam, gdzie kluczowa jest interoperacyjność i korzyści skali, utrzymują się wyspy współpracy i stopniowe porozumienia oparte na adekwatności reżimów ochrony danych oraz na wspólnych standardach technicznych. Dlatego właściwą diagnozą wydaje się kierunek *derisking* i regionalizacji, a nie teza o pełnym rozpadzie porządku cyfrowego, choć trwała presja na bezpieczeństwo i suwerenność zapowiada utrzymanie trendów deglobalizacji w technologiach wrażliwych i strategicznych sektorach gospodarki cyfrowej (Bradford, 2023; Baldwin, 2022; Weymouth, 2023).

4.3. Cyfrowe podziały gospodarek: od wykluczenia do dojrzałości

Cyfryzacja nie prowadzi do równomiernego rozwoju. Przeciwnie – wraz z globalizacją cyfrową utrwalają się i pogłębiają różnice między państwami, regionami i społeczeństwami. W tym rozdziale analizuje zjawisko podziału cyfrowego (*digital divide*) w ujęciu gospodarki cyfrowej. Pokazuję, że współczesne różnice nie wynikają jedynie z braku dostępu do internetu, ale mają głębokie podstawy strukturalne, instytucjonalne i organizacyjne. W efekcie powstaje nowa mapa cyfrowych nierówności, która pozwala klasyfikować państwa według ich pozycji w procesie transformacji cyfrowej. Celem tego rozdziału jest zbudowanie nowej ramy pojęciowej *digital divide*, która uwzględni trzy poziomy zaawansowania cyfrowego gospodarek: cyfrowe wykluczenie, gotowość cyfrową i dojrzałość cyfrową.

4.3.1. Definicje *digital divide*

Podział cyfrowy (*digital divide*) oznacza nierówności w dostępie do technologii cyfrowych, sposobach ich używania oraz w zdolności do czerpania z nich korzyści występujące między grupami społecznymi, regionami lub państwami. To zjawisko o charakterze społeczno-gospodarczym, wynikające z nakładania się wielu czynników: poziomu rozwoju infrastruktury, zróżnicowanych kompetencji i motywacji użytkowników oraz zdolności do strategicznego wdrażania technologii. W literaturze funkcjonują różne podejścia do jego definiowania i analizy.

Pereira i in. (2024) pokazują, że podziały cyfrowe wykraczają poza samą dostępność infrastruktury. Autorzy konstruują szczegółowe wskaźniki użytkowania (*digital usage*) na podstawie danych telemetrycznych z urządzeń z systemem Windows, wyróżniając dwa podstawowe typy aktywności: konsumpcję informacji oraz tworzenie treści i realizację zadań obliczeniowych. Wyniki wskazują, że nawet w obszarach o dobrej infrastrukturze występują znaczące różnice w intensywności i różnorodności wykorzystania technologii, silnie skorelowane z czynnikami społeczno-ekonomicznymi (dochód, poziom wykształcenia).

Inne, systemowe ujęcie proponują Guillen i Suarez (2005), wiążąc podziały cyfrowe z cechami ekonomicznymi, regulacyjnymi i politycznymi państw oraz ich pozycją w globalnym systemie gospodarczym. W tym ujęciu kraje rdzenia mają lepszy dostęp do technologii niż peryferie. Istotną rolę odgrywają regulacje sektora telekomunikacyjnego (prywatyzacja, konkurencja), które mogą zwiększać dostępność usług internetowych, oraz uwarunkowania polityczne: demokracje zwykle szybciej rozwijają infrastrukturę cyfrową niż reżimy autorytarne.

Weymouth (2023) zwraca uwagę na rosnącą fragmentację zarządzania cyfrowego. Rozbieżne regulacje w obszarach prywatności, opodatkowania i konkurencji ograniczają transgraniczne przepływy danych, komplikują globalizację cyfrową i poszerzają luki między państwami. Z kolei Kwet (2019) interpretuje *digital divide* jako przejaw „cyfrowego kolonializmu”, w którym korporacje z krajów rozwiniętych dominują nad globalnym ekosystemem cyfrowym, utrwalając nierówności społeczne i ekonomiczne w krajach rozwijających się.

Zjawisko podziału cyfrowego jest więc wielowymiarowe i zakorzenione w różnorodnych uwarunkowaniach ekonomicznych, społecznych, politycznych i infrastrukturalnych. W niniejszym opracowaniu przyjmujemy perspektywę gospodarki cyfrowej i globalnej: kluczowe są nie tylko różnice w dostępie, lecz przede wszystkim zróżnicowana gotowość technologiczna gospodarek.

Proponuję rozumieć *digital divide* jako zróżnicowanie zdolności gospodarek do przechodzenia przez kolejne etapy transformacji cyfrowej: od zapewnienia podstawowej infrastruktury ICT, przez skuteczną adopcję technologii

w sektorze przedsiębiorstw, aż po strategiczne tworzenie wartości z wykorzystaniem danych, algorytmów i platform. Tym samym podział cyfrowy nie sprowadza się ani do braku dostępu do internetu, jak w ujęciu klasycznym (Castells, 2002; Rice, Katz, 2003), ani tylko do różnic w intensywności użytkowania (Pereira i in., 2024). Obejmuje również nierówności w kompetencjach organizacyjnych, instytucjonalnych i regulacyjnych, które determinują stopień zaawansowania cyfryzacji całej gospodarki.

W odróżnieniu od podejść akcentujących głównie wymiar społeczny (Norris, 2001), geopolityczny (Guillen, Suarez, 2005) czy instytucjonalno-regulacyjny (Weymouth, 2023), proponowane ujęcie opiera się na logice trzech poziomów funkcjonalnych gospodarki cyfrowej, a są to: (1) dostęp do technologii, (2) zdolność wdrażania oraz (3) zdolność produktywnego wykorzystania. W tym sensie *digital divide* jest miarą różnic w gotowości i dojrzałości cyfrowej gospodarek – różnic, które przekładają się na ich pozycję w globalnym systemie i cyfrowych łańcuchach wartości (Śledziwska, Włoch, 2021; Bianchi, Labory, 2018).

4.3.2. Poziomy rozwoju cyfrowego jako miara podziału cyfrowego między państwami

Współczesna literatura podkreśla, że różnice między państwami w zakresie uczestnictwa w gospodarce cyfrowej nie wynikają wyłącznie z dostępu do infrastruktury ICT. Zdolność do korzystania z technologii cyfrowych jest uwarunkowana historycznie, politycznie, instytucjonalnie i organizacyjnie (patrz podrozdział 3.4). Klasyczne ujęcia *digital divide*, koncentrujące się na dostępie do internetu (Castells, 2002; Rice, Katz, 2003), nie wystarczają w kontekście gospodarki cyfrowej, w której znaczenie ma nie tylko sam dostęp, lecz także sposób i zakres wykorzystania technologii (patrz podrozdział 4.6).

Proponowane w niniejszym opracowaniu podejście wyróżnia trzy poziomy rozwoju cyfrowego gospodarki: cyfrowe wykluczenie, gotowość cyfrową oraz dojrzałość cyfrową. Każdy z tych poziomów można traktować jako odrębny stan określający miejsce państwa w globalnym podziale cyfrowym.

Cyfrowe wykluczenie oznacza sytuację, w której państwo nie posiada podstawowych warunków technologicznych i instytucjonalnych koniecznych do uruchomienia procesów prowadzących do transformacji cyfrowej. Brakuje infrastruktury, kompetencji, świadomości oraz ram regulacyjnych. Takie państwa, określane tutaj jako wykluczone cyfrowo, nie dysponują zdolnościami pozwalającymi uczestniczyć w gospodarce cyfrowej i nie są w stanie włączyć się w globalne łańcuchy wartości cyfrowych. Nierówności nie tylko się utrwalają, ale także wzmacniają w wyniku dominacji firm z krajów rozwiniętych nad infrastrukturą cyfrową i przepływami danych (Garcia-Murillo, MacInnes, 2025; Murthy, Kalsie, Shankar, 2021). Kwet (2019) opisuje ten proces jako

formę cyfrowego kolonializmu, w którym kraje rozwijające się stają się dostawcami danych bez zdolności przekształcania ich w wartość.

Gotowość cyfrowa oznacza, że państwo rozwinęło infrastrukturę techniczną, organizacyjną i instytucjonalną pozwalającą na wdrażanie technologii cyfrowych w procesy gospodarcze. Takie państwa, określane tutaj jako adoptujące, mają dostęp do internetu, rozwiniętą infrastrukturę chmurową, inwestują w edukację cyfrową i rozwijają kompetencje wśród pracowników oraz menedżerów (patrz podrozdział 4.8). Sama gotowość nie zawsze jednak przekłada się na pełne wykorzystanie potencjału cyfryzacji ani na tworzenie wartości opartej na danych, algorytmach i platformach, czyli DAP. Wiele państw wciąż nie posiada zdolności do strategicznego i skutecznego zarządzania technologiami w sposób umożliwiający zmianę modelu funkcjonowania.

Dojrzałość cyfrowa to stan zaawansowanego rozwoju, w którym gospodarka integruje technologie cyfrowe w sposób systemowy i czerpie korzyści z procesów opartych na DAP. Państwa, które osiągnęły ten poziom, określane tutaj jako liderzy cyfrowi, charakteryzują się tym, że przedsiębiorstwa potrafią analizować dane, automatyzować procesy decyzyjne i działać w modelach platformowych (Agrawal, Gans, Goldfarb, 2019). Kluczowa staje się adaptacyjność organizacyjna, rozwój innowacji komplementarnych oraz zarządzanie ryzykiem cyfrowym, w tym cyberbezpieczeństwem (Cockburn, Henderson, Stern, 2019; Korinek, Stiglitz, 2019). Systemowe wykorzystanie technologii wspierają spójne regulacje i stabilne instytucje (Varian, 2019; Tucker, 2019).

Taki podział wyjaśnia, dlaczego nawet intensywne cyfryzacja na poziomie infrastruktury nie zawsze prowadzi do konwergencji rozwojowej. Jak wskazuje Baldwin (2016), koncentracja wiedzy, danych i zdolności przetwarzania utrzymuje się w krajach rdzenia gospodarki światowej. Z kolei państwa peryferyjne, mimo formalnego dostępu do technologii, nie uczestniczą w pełni w cyfrowych strumieniach wartości. De Mildt, Verbrugge i Colle (2025) zwracają uwagę, że wiele krajów nadal pozostaje jedynie dostawcami danych, nie dysponując kompetencjami niezbędnymi do ich przetwarzania i praktycznego wykorzystania.

W tym ujęciu *digital divide* to nie tylko nierówność w dostępie do zasobów technologicznych, lecz przede wszystkim różnice w etapach, które konkretne państwa zajmują w procesie transformacji cyfrowej. Podejście oparte na analizie strukturalnych i instytucjonalnych przyczyn zróżnicowania pozwala precyzyjnie ocenić, na jakim poziomie cyfryzacji znajduje się dana gospodarka oraz jakie działania mogą prowadzić do przewyżczenia nierówności. *Digital divide* staje się zatem nie tylko wskaźnikiem wykluczenia, lecz także miarą stopnia gotowości i dojrzałości cyfrowej państw. Umożliwia to wprowadzenie formalnych grup różniących się zakresem integracji technologii cyfrowych: liderów cyfrowych, którzy osiągnęli pełną dojrzałość; państw adoptujących, znajdujących się na etapie wdrażania technologii i budowania zdolności ich wykorzystania; oraz państw wykluczonych cyfrowo, które nie spełniają podstawowych warunków uczestnictwa w gospodarce cyfrowej.

4.4. Mapowanie globalnych nierówności cyfrowych

Skoro redefiniuję globalizację jako proces oparty na danych, algorytmach i platformach, to potrzebujemy też nowego ujęcia podziałów. Klasyczne rozumienie luki cyfrowej jako braku dostępu do internetu nie tłumaczy, jak w warunkach globalizacji cyfrowej świat faktycznie się dzieli. Proponuję więc patrzeć na *digital divide* jak na zróżnicowanie zdolności gospodarek do przechodzenia od samej łączności, przez skuteczną adopcję w firmach, aż po tworzenie wartości na logice DAP. Taki podział pozwala uchwycić, dlaczego w jednych krajach dane i platformy budują przewagi, a w innych pozostają zasobem niewykorzystanym. Łączy też wymiar techniczny z instytucjonalnym. Porządkuje literaturę i praktykę. Przy czym nie chodzi mi wyłącznie o dostęp, lecz o zdolność do produktywnego wykorzystania, która zależy od infrastruktury, kompetencji, standardów i regulacji.

W literaturze dotyczącej cyfrowych podziałów (*digital divide*) w światowej gospodarce cyfrowej dominują dwa komplementarne nurty klasyfikowania państw: regulacyjny oraz ekonomiczny. Pierwszy akcentuje modele zarządzania danymi i architekturę regulacyjną, drugi – zasoby, infrastrukturę i kompetencje technologiczne. Poniżej syntetycznie porządkuję oba podejścia, uzupełniając je perspektywą funkcjonalną (rola państw w globalnych łańcuchach wartości) oraz proponując własną, trójpoziomą typologię rozwoju cyfrowego. Taki układ ułatwia czytelnikowi szybkie „zmapowanie” zróżnicowań oraz zrozumienie trajektorii przejść między poziomami.

W podejściu regulacyjnym państwa grupuje się według przyjętych modeli zarządzania procesami cyfryzacji, ochroną danych i kształtowaniem ładu platformowego. W ujęciu ekonomicznym klasyfikacja opiera się na wskaźnikach infrastruktury, nakładach na B+R i kompetencjach cyfrowych społeczeństw. Oba podejścia objaśniają różne wymiary tej samej rzeczywistości, ale stosowane oddzielnie nie dostarczają pełnej diagnozy – pomijają bowiem albo instytucje i politykę, albo dynamikę włączania się w cyfrowe łańcuchy wartości.

4.4.1. Dwa podstawowe podejścia klasyfikacyjne: regulacyjne i ekonomiczne

Podejście regulacyjne reprezentuje m.in. Weymouth (2023), który grupuje państwa w zależności od przyjętych modeli zarządzania cyfrowego. Weymouth (2023) prezentuje jedną z najważniejszych propozycji analizy globalnych nierówności cyfrowych, wskazując, że dane stają się dziś kluczowym zasobem warunkującym pozycję państw w gospodarce światowej. Jego ujęcie opiera się na rozróżnieniu między epoką globalizacji opartej na handlu dobrami a nową fazą globalizacji cyfrowej, w której podstawą są przepływy danych

oraz tworzenie i dystrybucja wartości za pośrednictwem cyfrowych łańcuchów wartości. Zdaniem autora dane – w przeciwieństwie do towarów – nie przepływają neutralnie. Zawsze podlegają kontroli, są lokalizowalne i podatne na centralizację, co tworzy nowe formy zależności i asymetrii między państwami (Weymouth, 2023).

W swojej analizie Weymouth pokazuje, że podziały między państwami pogłębiają się w wyniku nie tylko różnic technologicznych, ale także coraz bardziej rozbieżnych modeli zarządzania danymi. Wyróżnia trzy dominujące modele: podejście aktywistyczne (charakterystyczne dla Unii Europejskiej, w którym nacisk kładzie się na ochronę prywatności i prawa jednostki), podejście liberalne (w którym główną rolę odgrywają firmy technologiczne, jak w Stanach Zjednoczonych), oraz podejście restrykcyjne (gdzie to państwo sprawuje kontrolę nad przepływem danych, jak w Chinach czy Rosji). Te różnice wpływają nie tylko na kształt regulacji krajowych, lecz także na możliwości współpracy międzynarodowej, w tym integrację w ramach cyfrowych łańcuchów wartości (Weymouth, 2023).

Weymouth zwraca uwagę, że brak globalnie uzgodnionych zasad dotyczących własności danych, opodatkowania działalności platform cyfrowych czy kontroli konkurencji może prowadzić do fragmentacji rynku cyfrowego. Pokazuje także, że globalizacja cyfrowa – w odróżnieniu od wcześniejszych etapów globalizacji – wymaga aktywnego zarządzania i koordynacji regulacyjnej. W przeciwnym razie narastające napięcia między państwami mającymi odmienne interesy i o różnych modelach zarządzania technologią będą osłabiać zarówno zaufanie do technologii, jak i zdolność tych państw do uczestnictwa w cyfrowej gospodarce.

Warto podkreślić, że Weymouth nie ogranicza się do prostego opisu różnic regulacyjnych, lecz proponuje ramy analizy, które uwzględniają także polityczne i geopolityczne konsekwencje *digital divide*. W jego ujęciu państwa cyfrowo wykluczone nie tylko nie uczestniczą w tworzeniu globalnych reguł gry, ale również stają się przedmiotem polityki innych – dominujących – podmiotów. To podejście dobrze koresponduje z wcześniejszymi analizami cyfrowego kolonializmu (Kwet, 2019), ale osadza je w konkretnym kontekście współczesnych napięć międzynarodowych i walki o kontrolę nad przepływami danych.

Z perspektywy niniejszego opracowania ujęcie Weymoutha dostarcza silnego uzasadnienia dla przyjęcia typologii państw, która nie opiera się wyłącznie na różnicach technologicznych czy ekonomicznych, ale integruje także wymiar regulacyjny i instytucjonalny. Globalne nierówności cyfrowe są bowiem nie tylko skutkiem różnic w zasobach, ale także efektem świadomych decyzji politycznych, strategii regulacyjnych i międzynarodowego układu sił, który wyznacza reguły gry w gospodarce cyfrowej.

Drugie podejście, ekonomiczne, reprezentują Kumara, Wijerathna i Jayathilaka (2025), którzy klasyfikują państwa za pomocą indeksu cyfryzacji, oparte go na infrastrukturze cyfrowej, poziomie inwestycji w badania i rozwój

oraz kompetencjach cyfrowych społeczeństw. W analizie czynnikowej wyodrębniają trzy grupy: pionierów, adapterów i naśladowców. To podejście dobrze obrazuje technologiczne zróżnicowanie, ale pomija czynniki instytucjonalne, regulacyjne i polityczne. Autorzy nie analizują też dynamiki przejścia między grupami, a jedynie porównują je statycznie.

Jeszcze inne podejście przedstawia Baldwin (2016), który proponuje podział oparty na dostępie do technologii, integracji z globalnymi łańcuchami wartości oraz zdolności do przetwarzania wiedzy. Zamiast tradycyjnego podziału na gospodarki rozwinięte i rozwijające się Baldwin proponuje bardziej dynamiczne podejście, opierające się na tym, jakie funkcje pełnią państwa w globalnej gospodarce oraz kiedy i w jaki sposób zostały w nią włączone.

Po pierwsze, Baldwin zestawia ze sobą dwie grupy: G7, czyli kraje uprzemysłowione (Stany Zjednoczone, Japonia, Niemcy, Francja, Wielka Brytania, Kanada i Włochy) oraz A7, czyli grupę siedmiu wielkich cywilizacji historycznych (Chiny, Indie, Iran, Irak, Egipt, Turcja i Grecja/Włochy). Zestawienie to służy pokazaniu zjawiska Wielkiej Dywergencji – historycznego momentu, gdy przewaga technologiczna i produkcyjna przesunęła się w kierunku Zachodu. To z tej nierównowagi, jak argumentuje Baldwin, wyłoniła się XIX-wieczna dominacja G7 (Baldwin, 2016).

Następnie Baldwin identyfikuje grupę I6 – sześciu krajów rozwijających się, które szczególnie skorzystały z globalnego rozdzielenia procesów produkcji po 1990 roku. Są to Chiny, Indie, Indonezja, Korea Południowa, Polska i Tajlandia. Kraje te przyciągnęły duże inwestycje przemysłowe i stały się kluczowymi ogniwami globalnych łańcuchów dostaw, szczególnie w ramach tzw. Factory Asia i Factory Europe – czyli regionalnych systemów produkcyjnych opartych na podziale funkcji w obrębie jednego kontynentu (Baldwin, 2016).

Uzupełnieniem tego podziału jest kategoria R11 – jedenastu krajów, które między 1990 a 2010 rokiem przejęły większość udziału w globalnym PKB utraconego przez G7. Są to Chiny, Indie, Brazylia, Indonezja, Nigeria, Korea Południowa, Australia, Meksyk, Wenezuela, Polska i Turcja. Baldwin pokazuje, że to właśnie te państwa najbardziej skorzystały na nowym modelu globalizacji, w którym dzięki spadkowi kosztów komunikacji, ale przy zachowaniu wysokich kosztów interakcji bezpośrednich możliwe było rozdzielenie projektowania i zarządzania (pozostających w G7) od produkcji (przenoszonej do I6 i R11) (Baldwin, 2016).

Baldwin nie tworzy formalnej klasyfikacji państw w sensie statystycznym, wyraźnie jednak dokonuje podziału krajów na podstawie ich roli i miejsca w zmieniającym się systemie globalnym. Podziały te opierają się na spójnej ramie teoretycznej oraz analizie danych empirycznych, przede wszystkim dotyczących handlu, udziału w globalnym PKB oraz integracji z globalnymi łańcuchami wartości. Podziały te są funkcjonalne, oparte na roli, jaką dany kraj pełni w globalnym systemie gospodarczym, a nie statyczne czy wyłącznie dochodowe. Kluczowe znaczenie mają tu takie kryteria jak: moment wejścia w globalne sieci,

specjalizacja przemysłowa, zdolność do adaptacji technologii oraz integracja z regionalnymi „fabrykami świata”. Baldwin nie tworzy jednej zamkniętej typologii, ale jego analiza wyraźnie wskazuje na strukturę rdzenia i peryferii w cyfrowej globalizacji, opartą na przepływach wiedzy, danych i funkcji zarządzania.

Przedstawione podejścia dostarczają użytecznych ram analizy, ale nie pozwalają w pełni uchwycić, na jakim etapie cyfrowego rozwoju znajduje się dana gospodarka i co warunkuje jej dalszy postęp. Modele instytucjonalne uwzględniają różnice w zarządzaniu danymi, prywatnością i suwerennością cyfrową. Ujęcia ekonomiczne skupiają się na zasobach i infrastrukturze. Żadne z nich nie oferuje jednak pełnej diagnozy złożoności procesów transformacji cyfrowej.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę integracji trzech perspektyw i zaproponowano własną typologię państw. Nowe podejście opiera się na koncepcji trzech poziomów rozwoju cyfrowego: cyfrowego wykluczenia, gotowości cyfrowej i dojrzałości cyfrowej. Obejmuje nie tylko poziom zasobów technologicznych i kompetencji cyfrowych, ale także zdolność państw do wdrażania technologii, ich adaptacji do lokalnych warunków oraz tworzenia wartości gospodarczej i instytucjonalnej w oparciu o dane, algorytmy i platformy.

W oparciu o tę koncepcję wyróżniono trzy grupy państw. Liderzy cyfrowi to państwa, które osiągnęły wysoki poziom dojrzałości cyfrowej. Ich gospodarki są zdolne do strategicznego wykorzystania technologii cyfrowych w różnych sektorach, a system regulacyjny wspiera procesy cyfryzacji. Państwa adoptujące znajdują się na etapie wdrażania technologii i budowania zdolności ich efektywnego wykorzystania. Ich rozwój jest często nierównomierny i zależy od jakości instytucji oraz dostępności kapitału ludzkiego i infrastruktury. Państwa wykluczone cyfrowo nie spełniają podstawowych warunków uczestnictwa w gospodarce cyfrowej. Ich słabości są zarówno technologiczne, jak i instytucjonalne – brakuje nie tylko infrastruktury, ale także kompetencji oraz ram umożliwiających trwałe włączenie się w cyfrowe łańcuchy wartości.

Proponowana typologia nie tylko pozwala zatem uchwycić statyczne różnice między państwami, ale także wskazuje możliwe trajektorie przejścia między poziomami. Umożliwia identyfikację barier i potencjałów rozwoju oraz wspiera projektowanie polityk publicznych ukierunkowanych na zmniejszanie globalnych nierówności cyfrowych.

4.4.2. Metodologia: operacjonalizacja wielowymiarowych podziałów cyfrowych poprzez analizę skupień

W poprzednich częściach wskazałam ograniczenia klasycznych podziałów państw według poziomu dochodu i PKB; pokazałam także, że w gospodarce cyfrowej nie oddają one złożoności procesów transformacji. Cyfrowe podziały mają charakter wielowymiarowy i wynikają nie tylko z dostępu do

infrastruktury, ale także z jakości instytucji, kompetencji oraz pozycji przedsiębiorstw w globalnych łańcuchach wartości. Aby uchwycić tę strukturę, zastosowałam analizę skupień, która pozwala identyfikować zbiory krajów podobnych pod względem gotowości i dojrzałości cyfrowej bez narzucania z góry progów i arbitralnych granic (Baldwin, 2016; Murthy i in., 2021).

Punktem odniesienia jest metodologia przedstawiona w artykule Śledziewska, Łebkowska (2025), w której gotowość cyfrowa państw operacjonalizowana jest jako układ czterech spójnych wymiarów zgodnych z logiką DAP i z ramą absorpcji wykorzystywaną wcześniej w książce. Pierwszy wymiar to kapitał ludzki rozumiany jako zasób kompetencji cyfrowych, umiejętności analitycznych i zdolności uczenia się, które warunkują tempo przyswajania technologii. Drugi wymiar obejmuje transformację cyfrową przedsiębiorstw, czyli faktyczną adopcję technologii i integrację danych w procesach, łańcuchach dostaw i modelach biznesowych. Trzeci wymiar to otoczenie instytucjonalno-regulacyjne, które łączy jakość regulacji, ład nad danymi oraz dostęp do nowoczesnej łączności i zasobów obliczeniowych; infrastruktura cyfrowa nie stanowi osobnej kategorii, lecz element warunków instytucjonalnych i regulacyjnych. Czwarty wymiar odzwierciedla integrację z cyfrowymi łańcuchami wartości i handel, czyli włączenie w przepływy danych, wiedzy i usług oraz w transgraniczną koordynację procesów. Każdy wymiar mierzony jest zestawem wskaźników zaczerpniętych z porównywalnych i uznanych źródeł, takich jak UNCTAD FTRI, ITU (ICT Regulatory Tracker), World Bank WDI czy UN Comtrade, a następnie standaryzowany, aby zapewnić porównywalność i ograniczyć wpływ skali poszczególnych zmiennych.

Na tak przygotowanej macierzy cech zastosowano metodę k-średnich. Liczbę klastrów ustalono na trzy, co odpowiada przyjętej w całym rozdziale typologii poziomów rozwoju cyfrowego i pozwala oddzielić kraje wykluczone cyfrowo od państw adoptujących oraz liderów dojrzałości cyfrowej. Klaster liderów grupuje gospodarki, w których przedsiębiorstwa tworzą wartość na bazie danych, algorytmów i platform, a otoczenie regulacyjne wspiera interoperacyjność, przenoszalność danych i uczciwą konkurencję. Klaster państw adoptujących to gospodarki, które rozbudowały zasoby i rozwijają wykorzystanie technologii, ale nie osiągnęły jeszcze spójności między kompetencjami, procesami i regułami rynku. Klaster wykluczonych obejmuje kraje niespełniające podstawowych warunków uczestnictwa w gospodarce cyfrowej, w których ograniczenia instytucjonalne i kompetencyjne uniemożliwiają wejście na ścieżkę dojrzałości (Śledziewska, Łebkowska, 2025).

Tak skonstruowana operacjonalizacja porządkuje rozdział wokół czterech wymiarów gotowości i dojrzałości, zgodnie z ramą DAP i warstwami absorpcji omawianymi wcześniej, i pozwala przejść od opisowych ujęć *digital divide* do empirycznej klasyfikacji państw. W kolejnych partiach rozdziału wykorzystuję wyniki grupowania do przedstawienia mapy nierówności cyfrowych oraz do dyskusji o warunkach stabilności i możliwości awansu między klastrami.

Dzięki temu pokazują, że różnice między krajami wynikają nie tylko z poziomu zasobów, ale także z ich zdolności do spójnego łączenia kompetencji, procesów i reguł rynku w architekturze danych, algorytmów i platform.

4.4.3. Analiza skupień w badaniach ekonomicznych

Analiza skupień ma ugruntowaną pozycję w badaniach ekonomicznych, zwłaszcza tam, gdzie potrzebna jest empiryczna klasyfikacja złożonych zjawisk. Monfort, Cuestas i Ordóñez (2013) zastosowali ją do badania konwergencji realnej w Europie, identyfikując „kluby konwergencji” – wyraźne grupy państw zbliżających się do odmiennych punktów równowagi, co wskazuje na trwałe różnice strukturalne w poziomie rozwoju. Z kolei Pelau i Chinie (2018) wykorzystali analizę skupień do wyodrębnienia klastrów krajów europejskich w wymiarze innowacyjności i zrównoważenia; wyróżnione trzy grupy różniły się natężeniem aktywności innowacyjnej oraz orientacją środowiskową, co pozwoliło precyzyjniej adresować wsparcie polityczne i gospodarcze. Kumara, Wijerathna i Jayathilaka (2025) połączyli analizę skupień z analizą głównych składowych (PCA), konstruując globalny indeks cyfryzacji oraz typologię „pionierów”, „adopterów” i „naśladowców”, zróżnicowanych pod względem infrastruktury cyfrowej, nakładów na B+R i kompetencji cyfrowych.

Mimo ograniczeń, takich jak brak jednoznacznego kryterium doboru liczby klastrów czy ryzyko arbitralnej interpretacji, technika ta pozwala uchwycić złożoność badanych zjawisk i formułować wnioski użyteczne dla polityk publicznych (por. Monfort, Cuestas, Ordóñez, 2013; Pelau, Chinie, 2018). Postęp metodologiczny ostatnich lat dodatkowo zwiększył jej wiarygodność: szerzej stosuje się wskaźniki walidacji i testy stabilności, a także podejścia dynamiczne.

Zbliżone podejście łączenia grupowania z metodami optymalizacyjnymi proponuje Tyazhelnikov (2022), analizując decyzje lokalizacyjne w warunkach realistycznych struktur produkcyjnych (*tree technology*) i pokazując, jak koszty handlu wpływają na formowanie się klastrów w globalnych łańcuchach wartości. W konsekwencji analiza skupień stanowi użyteczne narzędzie badania złożonych, wielowymiarowych procesów rozwojowych, takich jak gotowość cyfrowa czy zaawansowanie gospodarki cyfrowej. Umożliwia ona precyzyjne ujęcie heterogeniczności między krajami oraz identyfikację realistycznych ścieżek rozwoju.

4.4.4. Wymiary podziałów cyfrowych we współczesnej gospodarce.

Przyjęta w tym rozdziale klasyfikacja państw opiera się na założeniu, że o miejscu gospodarki w globalnym układzie cyfrowym decyduje nie tylko sam dostęp do technologii, lecz także spójny zestaw warunków pozwalających

te technologie wdrażać, łączyć z procesami w przedsiębiorstwach i przekładać na wartość ekonomiczną.

Pierwszym wymiarem są zasoby i kompetencje ludzkie. Bez odpowiednio szerokiej i zróżnicowanej puli umiejętności cyfrowych nie da się ani wdrożyć rozwiązań opartych na danych, ani zaprojektować procesów, w których algorytmy realnie obniżają koszt przewidywania. Kluczowe znaczenie ma zarówno powszechna alfabetyzacja danych potrzebna do pracy operacyjnej, jak i potencjał badawczo-rozwojowy, który umożliwi współtworzenie i adaptację rozwiązań na wyższym poziomie złożoności. Wskaźniki opisujące te dwie warstwy pozwalają sprawdzić, czy gospodarka ma dość szeroką podstawę do absorpcji narzędzi cyfrowych i czy potrafi je dalej rozwijać. W praktyce to tutaj najczęściej ujawnia się rozbieżność między szybkością napływu technologii a zdolnością organizacji do ich sensownego włączenia w codzienną pracę. Tam, gdzie brakuje kapitału ludzkiego, narzędzia pozostają kosztowną obietnicą, a nie źródłem efektywności.

Drugi wymiar dotyczy aktywności gospodarczej rozumianej jako zdolność przekształcania technologii w skalowalne przedsięwzięcia rynkowe. Z jednej strony jest to dostęp do finansowania, który warunkuje tempo inwestycji w transformację procesów i w rozwiązania komplementarne, takie jak porządek nad danymi, integracja systemów czy kompetencje po stronie zarządzania. Z drugiej strony jest to struktura gospodarki, w której sektor usług staje się naturalnym środowiskiem dyfuzji rozwiązań cyfrowych oraz generatorem popytu na analizę danych i automatyzację decyzji. Uzupełnia to udział eksportu produktów i usług zaawansowanych technologicznie w całości sprzedaży zagranicznej. Taka kombinacja miar pokazuje, czy gospodarka faktycznie potrafi komercjalizować przewagi opierające się na danych i algorytmach. Wysoka dostępność kapitału przy jednoczesnym braku zdolności usługowych nie przyspieszy cyfryzacji, podobnie jak rozwinięte usługi nie przyniosą skali bez zaplecza inwestycyjnego i kanałów umiędzynarodowienia.

Trzeci wymiar obejmuje gotowość instytucjonalną. W gospodarce opartej na danych i platformach reguły gry stają się równie ważne jak same narzędzia. Dojrzałe regulacje rynku telekomunikacyjnego, przejrzystość zasad konkurencji, jasne reguły udostępniania i przenoszalności danych oraz zdolność administracji do realizacji polityk publicznych wyznaczają tempo, w jakim prywatni i publiczni aktorzy mogą budować rozwiązania działające w szerszych ekosystemach. W tym ujęciu infrastruktura łączności nie jest tylko technicznym zasobem, lecz materialnym efektem sprawnych instytucji, planowania i długofalowych inwestycji. Dopiero zestawienie jakości ładu regulacyjnego z parametrami dostępu do internetu tworzy miarę realnej zdolności państwa do wspierania transformacji. Państwa o podobnym poziomie nasycenia technologią różnią się tempem postępu, jeśli jeden system zapewnia interoperacyjność i przenoszalność, a drugi zamyka dane w silosach i utrwała koszty przełączania.

Czwarty wymiar to integracja z globalnymi łańcuchami wartości cyfrowej. Pokazuje on, czy gospodarka jest odbiorcą gotowych rozwiązań, czy współtwórcą infrastruktury i usług, które napędzają przepływy danych i wiedzy. Miary udziału elektroniki i komponentów półprzewodnikowych w handlu zagranicznym oraz udziału produktów wysokiej techniki i usług cyfrowych w eksporcie pozwalają oszacować, na ile kraj jest wpięty w strategiczne segmenty sieci wartości. Włączenie towarów i usług w jednej perspektywie pozwala dostrzec, że przewagi rosną tam, gdzie kompetencje wytwórcze łączą się ze zdolnością świadczenia usług opartych na danych, a nie w izolowanych wyspach specjalizacji.

Proponowane cztery wymiary odsłaniają logikę podziałów cyfrowych. Kapitał ludzki bez finansowania nie zyska zdolności do wdrożeń. Dobra infrastruktura bez przejrzystych reguł nie stanie się katalizatorem interoperacyjności. Solidne usługi bez integracji w łańcuchach wartości nie wygenerują efektów skali. Z kolei eksport produktów zaawansowanych technologicznie w oderwaniu od rodzimego zaplecza kompetencyjnego i porządku nad danymi nie tworzy trwałej przewagi. Z tego powodu interpretacja klastrów powinna konsekwentnie unikać prostych etykiet opisujących osiągnięty status i skupiać się na konfiguracjach warunków oraz prawdopodobnych trajektoriach. Gospodarki dojrzałe cyfrowo to te, w których warstwy absorpcji opisane wcześniej układają się w spójny porządek. Państwa adoptujące dysponują częściami tej układanki, ale ich połączenie wymaga jeszcze czasu i polityk publicznych. Gospodarki wykluczone cyfrowo pozostają poza strumieniami tworzenia wartości, ponieważ brakuje im równocześnie kompetencji, finansowania, ładu instytucjonalnego i przyłączenia do sieci.

Tak skonstruowana operacjonalizacja pozwala traktować *digital divide* nie jako różnicę punktową, lecz jako rozpiętość między warunkami niezbędnymi do wykorzystania logiki danych, algorytmów i platform a ich faktycznym połączeniem w praktyce gospodarczej. Umożliwia też precyzyjniejsze projektowanie interwencji. Tam, gdzie wąskim gardłem jest brak kompetencji i zarządzanie danymi, lepszą stopę zwrotu przyniosą inwestycje w edukację i infrastrukturę informacyjną niż subsydia sprzętowe. Tam, gdzie brakuje interoperacyjności i przenoszalności, priorytetem powinny być standardy oraz neutralne interfejsy. Tam, gdzie gospodarka nie jest wpięta w cyfrowe łańcuchy wartości, potrzebne są instrumenty umiędzynarodowienia usług i produktów wspierających obieg danych. W ten sposób wymiary, którymi mierzony jest podział cyfrowy, stają się jednocześnie mapą realistycznych ścieżek awansu od gotowości do dojrzałości.

4.5. Podziały cyfrowe w gospodarce światowej

Dzięki uwzględnieniu czterech wymiarów analiza skupień umożliwia identyfikację grup państw o podobnym profilu cyfrowym. Zastosowanie algorytmu k-średnich pozwoliło na przypisanie państw do trzech relatywnie stabilnych klastrów, do których w dalszej części stosujemy określenia: liderzy cyfrowi, państwa adoptujące oraz państwa wykluczone cyfrowo. Tak skonstruowana typologia pozwala na pełniejsze zrozumienie pozycji państw w globalnej gospodarce cyfrowej oraz identyfikację warunków, które sprzyjają awansowi cyfrowemu lub prowadzą do jego stagnacji.

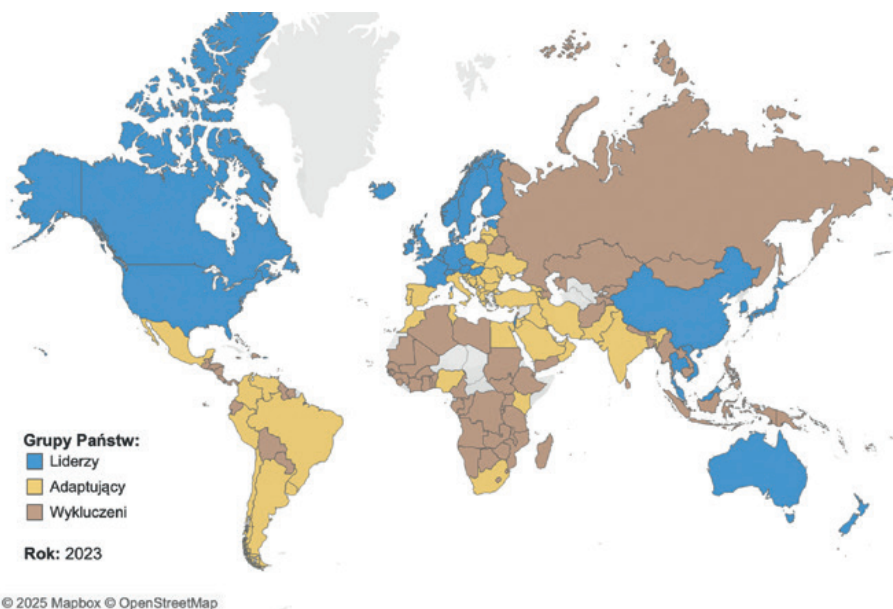
Tabela 7 przedstawia statystyki opisowe zidentyfikowanych klastrów, podsumowując średnie wartości kluczowych wskaźników technologicznych. Klasy są uporządkowane według poziomu zaawansowania cyfrowego, gdzie wyższe wartości zmiennych wskazują na lepszą infrastrukturę cyfrową, silniejsze zdolności instytucjonalne oraz głębszą integrację z cyfrowymi łańcuchami wartości. Wyraźnie ustalona jest następująca hierarchia klastrów: klastery 1 – liderzy cyfrowi, klastery 2 – państwa adoptujące, klastery 3 – państwa wykluczone cyfrowo.

Tabela 7. Statystyki opisowe klastrów (2010–2023) – wskaźniki

Wskaźniki	Liderzy	Adaptujący	Wykluczeni
FTRI (ogółem)	0,853	0,537	0,264
SITC77_udział	8,62%	4,91%	3,02%
Eksport_high-tech (%)	25,15%	8,4%	6,34%
Wartość dodana usług per capita	31 011,991	7 527,985	2 694,101
Regulacje	82,068	79,522	55,156

Źródło: Śledziwska, Łebkowska, 2025.

Rozkład geograficzny grup w 2023 roku przedstawiono na rysunku 1. Analiza ta podkreśla, że podział cyfrowy wykracza poza tradycyjne kategorie ekonomiczne i odzwierciedla złożoną, wielowymiarową strukturę globalną, kształtowaną przez inwestycje w technologie ICT, skuteczność regulacyjną, integrację z globalnym handlem cyfrowym oraz dostęp do zasobów finansowych.



Rysunek 1. Mapa podziału cyfrowego świata

Źródło: opracowanie własne w programie Tableau.

4.5.1. Liderzy

Grupa liderów obejmuje państwa osiągające najwyższy poziom gotowości cyfrowej w ujęciu wielowymiarowym. Łączy je nie tylko rozwinięta infrastruktura technologiczna, lecz przede wszystkim zdolność do systemowego integrowania kapitału ludzkiego, innowacyjności, dojrzałości instytucjonalnej oraz udziału w cyfrowych łańcuchach wartości. Wśród liderów znajdują się zarówno największe gospodarki (Stany Zjednoczone, Niemcy, Wielka Brytania), jak i mniejsze, wysoko wyspecjalizowane kraje (Luksemburg, Malta, Estonia). Do tej grupy należą również liderzy z Azji, tacy jak Singapur i Korea Południowa, a także część gospodarek ASEAN (np. Wietnam, Filipiny), które – mimo nierównomiernego rozwoju wewnętrznego – odgrywają kluczowe role w globalnych łańcuchach dostaw technologii cyfrowych.

Wskaźniki szczegółowe pozwalają uchwycić charakterystyczne cechy tej grupy. Po pierwsze, liderzy osiągają bardzo wysokie wartości w zakresie infrastruktury cyfrowej, kompetencji cyfrowych i potencjału badawczo-rozwojowego. Większość tych państw dysponuje gęstą siecią szerokopasmową i wysokim odsetkiem użytkowników internetu, a jakość edukacji oraz siła sektora nauki znajdują odzwierciedlenie w liczbie publikacji i zgłoszeń patentowych.

Po drugie, wyróżnia je silny sektor usługowy: wartość dodana usług per capita często przekracza 30 tys. USD, a w Luksemburgu – 100 tys. USD.

Wskazuje to nie tylko na wysoką produktywność, lecz także na zdolność do generowania wartości w branżach intensywnie wykorzystujących technologie cyfrowe.

Po trzecie, kraje-liderzy charakteryzują się wysoką jakością regulacji i instytucji. W większości przypadków wskaźnik regulacyjny przekracza 85 pkt, nierzadko osiągając wartości powyżej 90 pkt. Oznacza to stabilne, sprzyjające innowacjom otoczenie, które redukuje bariery transformacji cyfrowej i wspiera przedsiębiorstwa w adaptacji do zmian technologicznych.

Wreszcie państwa te są silnie zintegrowane z cyfrowymi łańcuchami wartości. Wysoki udział eksportu zaawansowanych technologii oraz produktów z grupy SITC 77 (elektronika, w tym półprzewodniki) pokazuje, że nie tylko korzystają one z rozwiązań cyfrowych, lecz także aktywnie uczestniczą w ich globalnej produkcji i dystrybucji. Przykładami są Singapur i Hongkong, które notują bardzo wysokie wartości zarówno eksportu high-tech, jak i obrotów półprzewodnikami.

Grupa liderów nie jest jednak jednorodna. Można wyróżnić różne ścieżki dojścia do czołowej pozycji cyfrowej: model równowagi między wszystkimi wymiarami (np. Holandia, Dania, Szwecja), model specjalizacji eksportowej i atrakcyjności dla BIZ w sektorze technologicznym (np. Irlandia, Malta) oraz model oparty na głębokiej integracji z regionalnymi i globalnymi łańcuchami produkcji (np. Korea Południowa, Wietnam, Filipiny), nierzadko współwystępujący z relatywnie słabszą jakością instytucjonalną lub niższym poziomem dochodu per capita.

Tym samym pozycja lidera w gospodarce cyfrowej nie wynika z jednej ścieżki do sukcesu, lecz pokazuje, że państwa mogą budować przewagi na podstawie różnych zasobów i strategii – pod warunkiem prowadzenia spójnej, długofalowej polityki związanej z inwestowaniem w technologię, kompetencje i instytucje. Wspólnym mianownikiem pozostaje zdolność do tworzenia, skalowania i eksportowania rozwiązań cyfrowych w złożonej, opartej na wiedzy gospodarce światowej.

4.5.2. Adaptujący

Grupa „adaptujących” obejmuje państwa będące w trakcie aktywnego wdrażania rozwiązań cyfrowych, które nie przewodzą w żadnym z kluczowych wymiarów gotowości cyfrowej. Gospodarki te dysponują częściowo rozwiniętą infrastrukturą ICT, umiarkowanym poziomem kompetencji cyfrowych oraz selektywną obecnością w cyfrowych łańcuchach wartości. Ramy regulacyjne coraz bardziej sprzyjają gospodarce cyfrowej, jednak sprawność instytucjonalna i zdolność do tworzenia innowacji pozostają ograniczone.

Do tej grupy należą m.in. Włochy, Hiszpania, Czechy, Litwa, Polska, Rumunia, Portugalia, Grecja, Węgry, Meksyk, Brazylia, Malezja, Turcja i Serbia.

Wiele z tych państw osiąga dobre wyniki w jednym lub dwóch obszarach (np. jakość regulacji, przyzwoita wartość dodana sektora usług, dostęp do finansowania), jednocześnie notując słabe rezultaty w zakresie badań i rozwoju, umiejętności cyfrowych czy eksportu high-tech.

Wskaźnik mierzący udział handlu elektroniką i półprzewodnikami w całkowitym handlu zagranicznym w większości krajów „adaptujących” (np. Czechy, Węgry, Polska) pozostaje umiarkowany – zwykle 4–8%. Dla porównania, w gospodarkach silnie zintegrowanych z cyfrowymi łańcuchami wartości, takich jak Hongkong (31,8%) czy Singapur (23,6%), jest on kilkukrotnie wyższy. Wskazuje to, że państwa „adaptujące” nie pełnią funkcji kluczowych węzłów w globalnym obrocie komponentami strategicznymi dla gospodarki cyfrowej (układy scalone, podzespoły elektroniczne, sprzęt telekomunikacyjny). Ich udział w łańcuchach wartości ma częściej charakter montażowo-przetwórczy lub realizowany „na zlecenie”, rzadziej zaś projektowo-badawczy i związany z eksportem technologii o wysokiej wartości dodanej. Innymi słowy, niski udział handlu elektroniką i półprzewodnikami w eksporcie sugeruje, że takie państwa są przede wszystkim odbiorcami technologii, a nie jej twórcami czy dostawcami w strategicznych punktach globalnych sieci.

Wartość dodana sektora usług per capita w tej grupie zazwyczaj mieści się w przedziale 7–20 tys. USD, co odzwierciedla ograniczony rozwój wysoko produktywnego segmentu usług cyfrowych. Wskaźniki sygnalizują stopniową poprawę infrastruktury oraz orientacji przemysłowej, natomiast komponenty badawcze i edukacyjne pozostają w fazie kształtowania.

Państwa „adaptujące” są więc w fazie przejściowej: posiadają kluczowe elementy umożliwiające transformację cyfrową, ale wymagają dalszych reform, inwestycji i budowy ekosystemów innowacji. Dalszy postęp będzie zależeć od zdolności do lepszej integracji polityk cyfrowych z polityką przemysłową, edukacyjną i inwestycyjną, a także od ukierunkowanych działań na rzecz zwiększenia nakładów na B+R i sprawnego transferu technologii; od rozwoju kompetencji cyfrowych na wszystkich poziomach edukacji i wśród pracowników; od wejścia w bardziej zaawansowane segmenty łańcuchów wartości (R&D, projektowanie, oprogramowanie, analityka danych). Grupa ta odgrywa istotną, choć nadal pośrednią, rolę w kształtowaniu regionalnych i sektorowych struktur gospodarki cyfrowej; aby jednak uniknąć pogłębiania się luki w porównaniu z liderami, potrzebne są skoordynowane, długofalowe działania podnoszące zaawansowanie technologiczne.

4.5.3. Wykluczeni

Grupa wykluczonych obejmuje państwa o najniższym poziomie gotowości cyfrowej, pozostające poza głównym nurtem globalnej transformacji cyfrowej. To gospodarki zmagające się z poważnymi barierami strukturalnymi:

ograniczonym dostępem do technologii, słabą infrastrukturą cyfrową oraz chronicznym niedofinansowaniem edukacji i badań. Często towarzyszą temu niestabilność polityczna, słabe instytucje i ograniczona zdolność państwa do prowadzenia spójnej polityki cyfrowej.

Do tej grupy należą przede wszystkim kraje Afryki Subsaharyjskiej (np. Etiopia, Mali, Burundi, Sudan, Mozambik), część państw Azji Południowej i Południowo-Wschodniej (np. Bangladesz, Laos, Kambodża, Papua-Nowa Gwinea) oraz państwa o niskich dochodach w Ameryce Łacińskiej i na Karaibach. Wspólnym mianownikiem jest bardzo niski poziom wskaźników FTRI – zarówno w obszarze infrastruktury ICT, jak i kompetencji cyfrowych, innowacyjności oraz dostępu do finansowania. Przykładowo wartości wskaźników dla infrastruktury ICT czy kompetencji cyfrowych często nie przekraczają 0,2, a w niektórych przypadkach spadają do 0,0-0,1. Z kolei wskaźniki dla badań i rozwoju (B+R) niemal we wszystkich przypadkach pozostają bliskie zera, co oznacza minimalną aktywność badawczo-rozwojową i bardzo ograniczoną zdolność tworzenia lub adaptacji nowych technologii.

W tych krajach wartość dodana sektora usług per capita jest bardzo niska – często nie przekracza 1000 USD – co świadczy o niskiej produktywności i o braku cyfryzacji podstawowych usług publicznych oraz rynkowych. Również wskaźnik odzwierciedlający udział handlu elektroniką i półprzewodnikami pozostaje symboliczny, zwykle poniżej 2%, wskazując na marginalną pozycję w globalnych łańcuchach wartości opartych na technologii.

Państwa zaliczane do grupy wykluczonych wymagają fundamentalnych reform i wsparcia zewnętrznego, aby w ogóle można było zainicjować proces integracji z globalną gospodarką cyfrową. Niezbędne są inwestycje nie tylko w infrastrukturę technologiczną, lecz także, a często przede wszystkim, w edukację, wzmocnienie instytucji, systemy zarządzania oraz podstawowe zdolności regulacyjne. Transformacja cyfrowa w tych gospodarkach nie nastąpi spontanicznie; wymaga to skoordynowanego wsparcia politycznego, finansowego i instytucjonalnego ze strony społeczności międzynarodowej. W przeciwnym razie kraje te pozostaną trwale wykluczone z procesów globalnej produkcji i wymiany wiedzy, co będzie dodatkowo pogłębiać istniejące nierówności rozwojowe.

4.5.4. Stabilność cyfrowego podziału świata

Podział na liderów, adaptujących i wykluczonych nie jest układem raz na zawsze danym, lecz równowagą dynamiczną, która powstaje w wyniku przeciągania liny między mechanizmami dywergencji a ścieżkami konwergencji. W literaturze i danych, które stoją za naszą klasyfikacją, widać współwystępowanie obu procesów, przy czym obecnie przeważają siły utrwalające asymetrię. Po stronie dywergencji działają cechy gospodarki opartej na danych,

algorytmach i platformach. Wysokie koszty stałe i niskie koszty krańcowe, silne efekty sieciowe, rosnące koszty przełączania oraz strategie zamykania standardów sprzyjają koncentracji w węzłach platformowych, jeśli brakuje reguł przenoszalności danych i interoperacyjności. Taki układ wzmacnia przewagę w krajach, które wcześniej zgromadziły zasoby danych, wypracowały zdolności obliczeniowe i osadziły decyzje w algorytmach, a utrudnia awans państwom spóźnionym, nawet gdy poprawiają one pojedyncze wskaźniki infrastrukturalne czy edukacyjne (Varian, Farrell, Shapiro, 2005; Śledziwska, Włoch, 2021; Baldwin, 2016).

Dywergencję pogłębia także polityczna i regulacyjna fragmentacja globalizacji cyfrowej. Ograniczenia w transgranicznym przepływie danych, lokalizacja przetwarzania, rozchodzenie się standardów, a także selektywna polityka przemysłowa w technologiach krytycznych zmniejszają korzyści skali i uczenia, które są niezbędne dla konwergencji. W praktyce oznacza to zacieśnianie współpracy w obrębie bloków regulacyjnych i łańcuchów dostaw oraz większe bariery wejścia dla państw spoza rdzenia, co sprzyja raczej deriskingowi i regionalizacji niż pełnej deglobalizacji, ale i tak podnosi koszty koordynacji po stronie spóźnionych (Ciuriak, Ptashkina, 2021; Weymouth, 2023; Baldwin, 2022). Na to nakładają się zależności opisane jako cyfrowy kolonializm, czyli podporządkowanie peryferii architekturze danych i oprogramowania podmiotów z centrum, co ogranicza możliwość budowania własnych ekosystemów i sprawia, że część gospodarek pozostaje dostawcą surowych danych bez zdolności ich przetwarzania i monetyzacji (Kwet, 2019; Garcia-Murillo, MacInnes, 2025).

Po stronie konwergencji istnieją jednak realne kanały zmiany. Najważniejszym z nich jest przeskok technologiczny oparty na zestawie komplementarności, a nie na pojedynczym wdrożeniu. Tam, gdzie łączność, chmura i moc obliczeniowa spotykają się z porządkiem nad danymi, kompetencjami analitycznymi i otwartymi interfejsami, koszty koordynacji gwałtownie spadają, a małe rynki mogą uzyskiwać nieproporcjonalne korzyści z włączenia do międzynarodowych przepływów usług i wiedzy. Doświadczenia Estonii, Singapuru czy Indii pokazują, że konsekwentna polityka publiczna w obszarze identyfikacji cyfrowej, przenoszalności danych, neutralności interfejsów oraz inwestycji w kapitał ludzki potrafi uruchomić efekt domina od gotowości do dojrzałości, także w krajach bez silnego zaplecza przemysłowego (Lee, 2013; Fuller, 2019). Wzmacnia to również budowa własnych platform i przestrzeni danych, które pozwalają zachować większą autonomię nad zasobami i standardami oraz obniżają bariery wejścia dla MŚP do globalnych łańcuchów usług.

Z perspektywy wyników przedstawionych w tej książce kluczowe jest, że klasyfikacja opiera się na wymiarach, które są przede wszystkim determinantami zdolności do transformacji, a nie pełnym zestawem wyników tej transformacji. Mówię więc o potencjale do wejścia na wyższy poziom, a nie o gwarancji jego osiągnięcia. Państwa o sprzyjających parametrach infrastrukturalnych,

instytucjonalnych i kompetencyjnych mogą nie wykorzystać swojego okna możliwości, jeśli nie uruchomią komplementarności między warstwami absorpcji i nie przełożą gotowości na decyzje organizacyjne w przedsiębiorstwach. Z drugiej strony gospodarki bez pełnego zestawu zasobów mogą zredukować dystans dzięki dobrze zaprojektowanym regułom dotyczącym danych, inicjatywom współdzielonych przestrzeni danych i selektywnemu wejściu w nisze łańcuchów wartości. Tym samym stabilność podziału jest warunkowa i zależy od tego, czy poszczególne warstwy architektury cyfrowej i polityki publicznej zostaną domknięte w spójny system, który zamienia dostęp i adopcję w trwałe wykorzystanie wartości z danych, algorytmów i platform.

Z punktu widzenia dynamiki rozwoju ścieżki mają charakter progowy i wykazują silną inercję. Przejścia między klastrami stają się bardziej prawdopodobne, gdy kraj przekracza kilka progów jednocześnie – np. łączy wzrost kompetencji zaawansowanych z poprawą jakości regulacji i większym udziałem w cyfrowych łańcuchach wartości. Pojedyncze impulsy, takie jak wzrost penetracji internetu, rzadko wystarczają do przejścia na wyższy poziom bez równoczesnych zmian w ładzie nad danymi, interoperacyjności i otwartości interfejsów. Dlatego obserwujemy trwałość pozycji liderów oraz większą ruchliwość wewnątrz grupy adaptujących, gdzie przekroczenie takich progów jest możliwe, ale wymaga skoordynowanych działań w polityce przemysłowej, edukacyjnej i regulacyjnej. Mechanizmy koncentracji po stronie liderów oraz selektywna fragmentacja otoczenia międzynarodowego zwiększają natomiast ryzyko, że część gospodarek pozostanie w stanie wykluczenia mimo poprawy wybranych wskaźników, ponieważ nie potrafi zamknąć pętli komplementarności DAP w skali całej gospodarki.

W książce tej domykam ramę DAP na poziomie makro i pokazuję stabilność cyfrowych podziałów jako efekt interakcji między warstwami architektury gospodarki cyfrowej a logiką globalizacji usług i danych. Klasyfikacja oparta na determinantach pozwala wyjaśnić różnice, które nie są widoczne w tradycyjnych podziałach dochodowych, oraz formułuje testowalne hipotezy o trajektoriach przejść między stanami wykluczenia, gotowości i dojrzałości. W praktyce oznacza to dwie konsekwencje dla polityk i dalszych badań. Po pierwsze, ocena postępu powinna łączyć miary wejścia i procesów z miarami wyników, takimi jak produktywność sektorów intensywnie korzystających z danych, udział w eksporcie usług cyfrowych czy pozycja w półprzewodnikowych łańcuchach dostaw, aby odróżniać potencjał od faktycznego wykorzystania. Po drugie, skuteczność interwencji zależy od koordynacji między warstwami, a więc od zdolności państwa do projektowania reguł interoperacyjności, wzmacniania przenoszalności danych i wspierania kapitału ludzkiego na poziomie kompetencji zaawansowanych, które pozwalają przełożyć infrastrukturę i regulacje na decyzje w firmach.

W tym sensie stabilność nie oznacza bezruchu. Jest raczej wynikiem gry komplementarności i standardów, w której przewagi utrwala się tam, gdzie

warstwy są spójne, a przełomy następują tam, gdzie polityki i organizacje potrafią złożyć z dostępnych elementów działający system. Taka interpretacja przygotowuje grunt pod dalszą część analizy, w której przechodzimy od klasyfikacji do skutków dla handlu i przewag konkurencyjnych, pokazując, jak różnice w gotowości i dojrzałości cyfrowej przekładają się na miejsce, które poszczególne kraje zajmują w międzynarodowych sieciach wartości.

4.6. Podsumowanie

Przegląd literatury przedstawiony w tym rozdziale pozwala uchwycić, czym jest współczesna globalizacja cyfrowa i w jaki sposób wpisuje się ona w mechanizmy tworzenia wartości oparte na datafikacji, algorytmizacji i platformizacji. Globalizacja cyfrowa nie jest prostym rozszerzeniem. To nowa infrastruktura współpracy, w której strumienie danych, reguły algorytmiczne i platformowe interfejsy koordynacji obniżają koszty pomiaru, komunikacji, przewidywania i egzekwowania, a jednocześnie ustanawiają nowe progi wejścia oraz nowe rodzaje dystansów między partnerami. W handlu oznacza to sprzedaż, zamawianie i dostarczanie w trybie cyfrowym oraz wymianę przez platformy i interfejsy API. Wartość tworzą cyfrowe łańcuchy wartości, w których dane pełnią funkcję dobra pośredniego monetyzowanego przez analitykę i modele.

Redefinicja globalizacji przyniosła potrzebę nowego podejścia do podziałów w gospodarce globalnej. *Digital divide* pokazałam jako różnice w zdolności do wykorzystania i adopcji technologii cyfrowych, a nie tylko w samym dostępie do sieci. Taki opis wyjaśnia, dlaczego jedne gospodarki potrafią skalować współpracę i tworzyć wartość, a inne grzęzną w kosztach koordynacji. Łączy warunki techniczne z instytucjonalnymi i pozwala projektować trafniejsze interwencje. Dzięki temu otrzymujemy spójną mapę globalizacji cyfrowej, która pokazuje zarówno rdzeń integracji, jak i miejsca pęknięć. Wymiary, które wzięłam pod uwagę, tworzą profil funkcjonalny państw: od gęstości i jakości infrastruktury komunikacyjnej, przez kompetencje cyfrowe społeczeństwa i przedsiębiorstw oraz potencjał badań i rozwoju, aż po jakość instytucji i integrację z cyfrowymi łańcuchami wartości. Z tego właśnie powodu w grupie liderów znalazły się zarówno największe gospodarki, jak i mniejsze, ale wyspecjalizowane w łączeniu infrastruktury z kompetencjami oraz regulacją. W grupie adaptujących dominują układy niesymetryczne, gdzie silniejszym ogniwom towarzyszą nadal słabsze, np. dobra infrastruktura przy ograniczonych zdolnościach badawczo-rozwojowych. Grupa wykluczonych obejmuje gospodarki z kumulacją barier: niską jakością sieci, deficytami kompetencyjnymi, słabymi instytucjami i śladową aktywnością badawczo-rozwojową.

5. Międzynarodowe sieci wartości dodanej

5.1. Wprowadzenie

W tym rozdziale przenoszę punkt ciężkości z opisu cyfrowych mechanizmów i asymetrii rozwoju na międzynarodowe sieci wartości dodanej. Interesuje mnie, jak triada procesów – datafikacja, algorytmizacja i platformizacja (DAP) – przebudowuje architekturę współpracy ponad granicami państw i sektorów. W poprzednich częściach pokazałam, że cyfrowa transformacja nie jest równomierna: zależy od jakości infrastruktury, kompetencji i praktyk organizacyjnych oraz od reguł obrotu danymi. Teraz wykorzystuję te wnioski, aby zrozumieć, jak różnice w zdolnościach DAP przekładają się na pozycję krajów i branż w sieciach tworzenia wartości oraz na logikę samej wymiany. Z perspektywy handlu oznacza to przejście od łańcuchów kontraktów do ekosystemów danych, kodu i standardów, w których spójność przepływów informacyjnych staje się warunkiem przepływów towarów i usług.

Celem rozdziału jest rekonstrukcja mechanizmów, przez które DAP zmienia międzynarodową specjalizację i podział ról: po pierwsze – technologicznie, poprzez obniżenie kosztów koordynacji, standaryzację interfejsów i teleobecność; po drugie – organizacyjnie, przez platformizację funkcji pośrednictwa i serwityzację produktów; po trzecie – regulacyjnie, poprzez nowe reżimy przepływu danych, wymogi interoperacyjności i bezpieczeństwa. W tej ramie analitycznej nawiązuję do wcześniejszych rozdziałów, w których opisałam procesy DAP. W handlu międzynarodowym te trzy procesy działają w sprzężeniu zwrotnym: to, co dzieje się „po stronie firmy” i „po stronie technologii”, natychmiast materializuje się w strukturze i kierunkach wymiany.

Definiuję Handel międzynarodowy 4.0 jako integrujący procesy DAP do wymiany międzynarodowej, w której podstawową infrastrukturą są sieci i chmury obliczeniowe o wysokiej jakości i odpowiedniej topologii, kluczowym tworzywem są dane i algorytmy, głównymi mediatorami są platformy, a o kosztach transakcyjnych decydują reguły przepływu danych bardziej niż klasyczne bariery handlowe.

Punktem wyjścia jest hipoteza, że im wyższy poziom zdolności DAP po stronie przedsiębiorstw i instytucji oraz im bardziej otwarte i interoperacyjne otoczenie regulacyjne, tym większa skłonność gospodarki do zajmowania wysokich pod względem marży ról w sieciach wartości dodanej – od projektowania i integracji systemów, przez usługi cyfrowe, po zarządzanie standardami. Innymi słowy: kompetencje w obszarze danych, algorytmów i platform nie tylko obniżają koszty transakcyjne, lecz także stają się źródłem nowej, „informacyjnej” przewagi komparatywnej.

Układ rozdziału podporządkowuję tej hipotezie. Najpierw pokazuję, jak procesy transformacji cyfrowej modyfikują klasyczne kanały handlu, następnie identyfikuję nowe domeny wymiany – przede wszystkim serwityzację oraz handel cyfrowy – oraz ich konsekwencje dla wyceny ról w sieciach. W dalszej części analizuję wyzwania dla polityki handlowej, która musi jednocześnie zarządzać przepływami danych, chronić bezpieczeństwo i wspierać interoperacyjność – od WTO po porozumienia regionalne – oraz nowe spory handlowe wokół danych, algorytmów i platform. Rozdział zamykam podsumowaniem, które przygotowuje grunt pod modelowe ujęcie „dystansów cyfrowych” i ich empiryczną weryfikację w kolejnym rozdziale.

W ten sposób rozdział łączy wątki technologiczne, organizacyjne i regulacyjne w spójną narrację o globalizacji cyfrowej. W tle pozostaje ważny intuicyjny wniosek z dotychczasowych analiz: to, co widzimy po stronie rynku i konsumpcji – przejście do środowisk platformowych, personalizacja i serwityzacja – ma swoje odpowiedniki w handlu międzynarodowym, gdzie przepływy wartości coraz częściej towarzyszą przepływowi danych i regułom ich wykorzystania. Ta perspektywa pozwala zinterpretować współczesne przepływy nie tylko jako wymianę dóbr i usług, lecz także jako koordynację sieci wiedzy, standardów i oprogramowania, które osadzają się w globalnych łańcuchach i rozstrzygają o przewagach.

5.2. Procesy transformacji cyfrowej a handel międzynarodowy

W poprzednich rozdziałach pokazałam, że Gospodarka 4.0 opiera się na trzech sprzężonych procesach: datafikacji, algorytmizacji i platformizacji. W rozdziale o technologiach podkreśliłam, że znaczenie ma nie tylko posiadanie łączności, ale także jakość i architektura infrastruktury cyfrowej, które stają się nowym czynnikiem lokalizacji i warunkiem świadczenia usług w czasie rzeczywistym. W rozdziale o przedsiębiorstwach wykazałam zgodność obserwowanych efektów cyfryzacji z intuicją modeli heterogenicznych firm: technologie cyfrowe równocześnie obniżają koszty wejścia i podnoszą produktywność, przesuując w dół próg internacjonalizacji i zwiększając prawdopodobieństwo eksportu, przy czym mechanizm pośredni przez TFP jest na ogół silniejszy.

Niniejszy podrozdział przesuwa punkt ciężkości z opisu narzędzi i zdolności na ich skutki sieciowe. Wychodzę z założenia, że mechanizmy DAP nie tylko zmieniają poziom kosztów handlowych, ale przeformatowują także samą architekturę wymiany, tworząc międzynarodowe sieci wartości dodanej, w których przepływy towarów i usług są ściśle splecione z przepływami danych, modeli i reguł kodu. Dostęp do węzłów tej sieci – chmur, interfejsów programistycznych, rynków platformowych i standardów – decyduje o tym, które firmy stają się centralnymi koordynatorami, a które pozostają dostawcami peryferyjnymi. Ta intuicja dotyczy nowszych ujęć handlu jako zjawiska sieciowego: zarówno mikroekonomia wyszukiwania kontaktów i upowszechniania relacji handlowych (Chaney, 2014), jak i makroekonomia barier w gospodarkach złożonych z węzłów i połączeń pokazują, że niewielkie zmiany kosztów na określonych krawędziach mogą istotnie przeorganizować całą sieć i redystrybuować wartość (Baqae, Farhi, 2024).

5.2.1. Infrastruktura i architektura danych jako warunek wpięcia w międzynarodowe sieci wartości dodanej

W pierwszym przybliżeniu transformacja cyfrowa była opisywana przez pryzmat „posiadania internetu” i spadku kosztów komunikacji. W logice tej narracji łączność stanowiła tło, które ułatwia koordynację i obniża koszty transakcyjne. W Handlu międzynarodowym 4.0 potrzebujemy jednak innej ramy: interesuje nas nie tyle sam dostęp, ile jakość i topologia wpięcia w globalną sieć: przepustowość i redundancja łączy, obecność w węzłach wymiany ruchu i chmurze, a przede wszystkim reguły przepływu danych. To one przesądzą, czy firmy z danego kraju są w stanie świadczyć usługi w czasie rzeczywistym, trenować modele na rozproszonych zbiorach danych i skalować ofertę transgranicznie. Z tego powodu infrastruktura cyfrowa staje się czynnikiem lokalizacyjnym porównywalnym z portem morskim czy tanią energią, a jej wpływ na handel przekracza prostą redukcję „tarczy informacyjnej” między eksporterem a odbiorcą (Herman, Oliver, 2023).

W tak zarysowanej perspektywie powraca intuicja o „drugim rozdzielaniu” Baldwina: to jakość infrastruktury informacyjnej, a nie tylko jej dostępność, umożliwia trwałe rozparcelowanie etapów tworzenia wartości między lokalizacje i podmioty, a więc budowę rozproszonych, cyfrowo koordynowanych sieci produkcyjnych i usługowych. Spadek kosztów transmisji wiedzy jawnej umożliwił geograficzne rozproszenie zadań rutynowych i standaryzowanych, natomiast zadania wymagające intensywnego wykorzystania wiedzy ukrytej pozostały skoncentrowane wokół kluczowych węzłów, co tłumaczy, dlaczego geografia nie „umarła”, lecz zmieniła mechanikę działania w warunkach DAP (Baldwin, 2016).

Istotny jest także wymiar „miękkiej” infrastruktury: standardy identyfikacji i podpisu elektronicznego, jednolite okna administracyjne, interoperacyjne formaty dokumentów, a wreszcie reguły transgranicznego przepływu danych. To elementy cyfrowej facylitacji handlu, które obniżają bariery pozataryfowe, skracają czas odpraw i stabilizują łańcuchy dostaw, szczególnie dla mniejszych dostawców wchodzących do międzynarodowych sieci wartości. Jednocześnie te same reguły tworzą nowe „granice” na szlakach danych: wymogi lokalizacji, ograniczenia transferu czy obowiązki ujawniania kodu źródłowego kształtują zakres możliwej współpracy i realną dostępność rynków (Collins, Geist, 2023; Weymouth, 2023).

Dla uchwycenia mechanizmu przejścia od łączności do wartości kluczowe są dwie intuicje z nowszych teorii handlu w sieciach. Po pierwsze, handel rozchodzi się po sieciach kontaktów i pośredników, a nie wyłącznie po „gładkich” kanałach liniowych. Firmy wchodzą na rynki, gdzie mają wiarygodny kontakt; sieci relacyjne i pośrednictwo informacyjne tworzą ścieżki wejścia i kaskady rozszerzania zasięgu – to inny rodzaj tarcia niż klasyczne koszty ukryte (*iceberg*), ale decydujący dla marginesu ekstensywnego i dyfuzji eksportu (Chaney, 2014). Po drugie, w gospodarkach silnie powiązanych sieciami wejść i wyjść lokalne zmiany w przepustowości lub barierach na wybranych odcinkach mają nieproporcjonalny wpływ na wyniki całego systemu. Usprawnienie jednego kluczowego „korytarza” lub zniesienie istotnej bariery regulacyjnej może mnożnikowo zwiększać handel i dobrobyt. Jednocześnie jednak awaria albo ograniczenie w węzle o wysokiej centralności kaskadowo obniża zdolność świadczenia usług i eksportu w wielu sektorach. Tę logikę wzmocnienia i tłumienia efektów dobrze oddaje uogólnione ujęcie modeli handlu w sieciach produkcyjnych (Baqaee, Farhi, 2024).

Równolegle zmienia się sama treść „handlu cyfrowego”, co wymusza inny sposób projektowania i pomiaru. Dziś rozróżniamy transakcje cyfrowo zamawiane – niezależnie od sposobu dostawy – oraz cyfrowo dostarczane, czyli usługi świadczone w całości online. To rozróżnienie nie jest czysto statystyczne: pierwsza kategoria intensyfikuje znaczenie platform i standardów zamówieniowych, druga zależy od jakości i zgodności warstwy transmisji i obliczeń w czasie rzeczywistym. W obu przypadkach o skali uczestnictwa przesądza architektura danych, a nie tylko fizyczny handel dobrami ICT (IMF, OECD, UNCTAD, WTO 2023).

Z perspektywy niniejszej książki ta zmiana optyki prowadzi do kluczowej konkluzji. Infrastruktura cyfrowa nie jest pasywnym zapleczem technicznym, lecz fundamentem gospodarki DAP – warstwą, która określa, w jakim stopniu firmy są włączone w międzynarodowe sieci tworzenia wartości. O przewadze decyduje nie sama dostępność łączy, lecz pozycja w sieci – technologicznej i instytucjonalnej – umożliwiająca gromadzenie i przetwarzanie danych, rozwój i wdrażanie algorytmów oraz korzystanie z platform jako globalnych

rynków. W tym ujęciu „jakość wpięcia” staje się współczesnym odpowiednikiem dostępu do portu: wyznacza nie tylko koszty, ale też zakres możliwych specjalizacji i odporność na wstrząsy, a tym samym realny udział w tworzeniu wartości w Handlu międzynarodowym 4.0 (Baldwin, 2016; Herman, Oliver, 2023; Baqae, Farhi, 2024).

5.2.2. Transformacja cyfrowa firm a handel

W ujęciu zaproponowanym w tej książce transformacja cyfrowa przedsiębiorstw jest przede wszystkim mechanizmem włączania się firm w sieciową architekturę tworzenia wartości. Jej efekty dla handlu najlepiej widać wówczas, gdy osadzimy je w standardowej logice modeli z heterogenicznymi firmami: o wejściu na rynki międzynarodowe decyduje próg produktywności oraz koszty stałe ekspansji, a liberalizacja czy poprawa warunków rynkowych przesuwa ją rozkład firm powyżej tego progu. Cyfryzacja działa dokładnie w tych dwóch miejscach. Po pierwsze, podnosi całkowitą produktywność czynników i jakość oferty, co zwiększa odsetek firm zdolnych utrzymać się na rynkach zagranicznych. Po drugie, obniża koszty wejścia i koordynacji – w tym koszty wyszukiwania popytu, zawierania kontraktów oraz zgodności regulacyjnej – dzięki czemu więcej podmiotów przekracza barierę startu w eksporcie. W badaniach na panelu hiszpańskich MŚP pokazano, że oba kanały współwystępują, przy czym kanał produktywnościowy jest silniejszy, a wzrost cyfryzacji na poziomie firmy istotnie zwiększa prawdopodobieństwo eksportu i importu. Ten obraz dobrze wpisuje się w selekcyjny mechanizm znany z modeli firm heterogenicznych, w których liberalizacja lub technologia wzmacnia „silniejszych” i przesuwa masę firm powyżej progu eksportowego (Añón Higón, Bonvin, 2024; Melitz, Ottaviano, 2008).

W praktyce biznesowej ten mechanizm nie jest jednak tylko rachunkiem wewnątrzfirmowym, ale także efektem wpięcia w sieci kontaktów i informacji. Cyfryzacja zmienia naturę barier wejścia, a informacyjne i reputacyjne frykcje – dawniej rozstrzygane przez lokalnych dystrybutorów – są dziś przenieszone do środowiska platform i interfejsów API. W warunkach rosnącej roli wyszukiwania, rekomendacji i reputacji firmy, które potrafią zarządzać danymi i widocznością, obniżają „koszty poznania rynku”, czyli ten element kosztów stałych, który w klasycznych modelach decydował o kolejności wejścia na rynki. Teoria sieciowa handlu pokazuje, że właśnie bariery informacyjne determinują liczbę i kolejność rynków, na które wchodziły eksporterzy; cyfrowe kanały dystrybucji i algorytmy osłabiają te bariery, co zwiększa marginesy ekstensywny wymiany i przyspiesza dyfuzję między węzłami sieci (Chaney, 2014).

W firmach o wyższych zdolnościach organizacyjnych i technologicznych cyfryzacja działa jak akcelerator: pozwala szybciej uczyć się preferencji zagranicznych klientów, zarządzać wariantami produktów i prowadzić równolegle

eksperymenty na wielu rynkach. Badania koreańskie pokazują, że o sukcesie eksportowym w warunkach transformacji cyfrowej decyduje konfiguracja zdolności – zaplecze B+R, własność intelektualna, sieci współpracy i kompetencje cyfrowe, a nie sama obecność technologii. To przejście od „posiadania narzędzi” do „zdolności wykorzystywania narzędzi” dobrze tłumaczy, dlaczego cyfryzacja zwiększa rozwarstwienie między firmami, ale jednocześnie otwiera ścieżki ekspansji dla mniejszych graczy, którzy potrafią projektować skalowalne, zdalne modele obecności (Kim, Chung, 2024).

W domenach usług cyfrowych algorytmizacja bezpośrednio modyfikuje stronę popytową handlu. Wdrażanie sztucznej inteligencji zwiększa liczbę dostępnych odmian, przyspiesza twórczą destrukcję i poprawia dopasowanie produktów do niszy rynkowej, co wzmacnia zarówno margines ekstensywny, jak i intensywny wymiany transgranicznej. To nie tylko „tańsza informacja”, ale nowa jakość koordynacji – możliwość skalowania oferty na wielu rynkach jednocześnie bez proporcjonalnego wzrostu kosztów, a także kreacja nowych kategorii usług, które wcześniej nie były przedmiotem handlu. Widać to szczególnie w aplikacjach i usługach SaaS, gdzie zdalna dystrybucja zastępuje fizyczną obecność, a przewaga opiera się na umiejętności trenowania modeli i zarządzania cyklem danych (Sun, Trefler, 2022).

Platformizacja porządkuje te procesy w skali globalnej. Platformy obniżają koszty wejścia i zapewniają gotową infrastrukturę płatności, logistyki, weryfikacji i obsługi klienta, przez co działają jak instytucje pośredniczące w międzynarodowych sieciach wartości: standaryzują interakcje, ale zarazem wprowadzają własne reguły dostępu i rankingi, które stają się nowym źródłem przewagi i zależności. To tłumaczy, dlaczego digitalizacja może jednocześnie demokratyzować wejście i wzmacniać koncentrację w węzłach platformowych – efekty skali w danych i algorytmach sprzyjają „supergwiazdom” i przetasowują tradycyjne źródła przewagi komparatywnej w stronę zdolności do pracy na danych i projektowania modeli AI (Collins, Geist, 2023; Goldfarb, Trefler, 2019).

Z perspektywy budowy międzynarodowych sieci wartości dodanej kluczowa jest więc interpretacja DAP jako trzech uzupełniających się dźwigni przekroczenia progu eksportowego i utrzymania konkurencyjności. Datafikacja dostarcza paliwa dla uczenia się rynków i kontroli jakości relacji z partnerami; algorytmizacja zamienia dane na przewidywanie, personalizację i projektowanie odmian, które „przyklejają” relacje w sieci; platformizacja oferuje infrastrukturę i standardy, dzięki którym te procesy mogą być powtarzalne i skalowalne ponad granicami. W rezultacie cyfrowa transformacja firm nie tyle „ułatwia handel”, ile przełącza go na logikę sieci, w której przewaga zależy od miejsca w ekosystemie danych i od zdolności do orkiestracji modułów wartości rozproszonych w wielu jurysdykcjach. To właśnie ta zdolność – zgodna z intuicją modeli selekcji firm, ale rozszerzona o dynamikę sieci – decyduje, kto staje się węzłem, a kto tylko dostawcą na peryferiach globalnych łańcuchów wartości.

5.2.3. Datafikacja i algorytmizacja a handel międzynarodowy

W ujęciu przyjętym w tej książce datafikacja i algorytmizacja są mechanizmami „spinającymi” gospodarkę cyfrową: przekształcają działania rynkowe w strumienie danych i włączają je w systemy decyzyjne oparte na modelach uczenia maszynowego. To przesunięcie ma konsekwencje zarówno dla mikrofundamentów decyzji eksportowych firm, jak i dla struktury sieci, w których tworzy się wartość dodana. Z perspektywy mikro dane i algorytmy zmieniają rozkład kosztów handlowych, a z perspektywy sieciowej – przekształcają topologię połączeń między podmiotami i krajami.

W wymiarze decyzji firmowych logika datafikacji i algorytmizacji dobrze wpisuje się w paradygmat heterogenicznych przedsiębiorstw. W modelu Melitza wejście na rynek zagraniczny wymaga osiągnięcia odpowiednio wysokiej produktywności, umożliwia to bowiem pokrycie dodatkowych kosztów stałych i zmiennych. Cyfryzacja wpływa na oba te elementy: obniża koszty poszukiwania partnerów, zawierania kontraktów i obsługi klienta oraz podnosi całkowitą produktywność czynników produkcji dzięki lepszemu planowaniu, automatyzacji i analityce danych. Badania empiryczne potwierdzają, że efekt pośredni przez wzrost TFP jest silniejszy niż sam bezpośredni spadek kosztów transakcyjnych, co przekłada się na wyższe prawdopodobieństwo eksportu, zwłaszcza wśród mniejszych producentów (Añón Higón, Bonvin 2024). Podobnie w sektorach usług cyfrowych wdrożenie rozwiązań cyfrowych zwiększa różnorodność oferowanych odmian i ułatwia dopasowanie do nisz popytowych, co działa na korzyść firm zdolnych do szybkiej iteracji produktowej i skalowania algorytmu ponad granicami. Heterogeniczność zdolności jest tu kluczowa: eksportowe korzyści z algorytmizacji ujawniają się przede wszystkim w przedsiębiorstwach, które łączą inwestycje technologiczne z zapleczem organizacyjnym, własnością intelektualną i partnerstwami międzynarodowymi (Kim, Chung, 2024).

Algorytmy nie tylko wspierają decyzje firm, lecz współtworzą także strukturę rynków. Ujęcia sieciowe handlu pokazują, że przepływy między krajami są kształtowane przez relacje pośrednictwa i koszty wyszukiwania, a nie wyłącznie przez relacje bilateralne. W takim środowisku zmiana „oporu” na krawędziach sieci, wywołana działaniem cyfrowych mechanizmów wyszukiwania, ocen reputacyjnych czy systemów rekomendacji, może prowadzić do nieproporcjonalnych zmian całej macierzy handlu, wzmacniając węzły centralne i tworząc ścieżki dominujące (Chaney, 2014; Baqaee, 2024). Algorytmiczne rankingi i mechanizmy rekomendacyjne minimalizują tarcia informacyjne, ale zarazem faworyzują produkty i dostawców o już wysokiej widoczności przez mechanizm „preferencyjnego dołączania”, który sprzyja koncentracji popytu na produktach i dostawcach o już wysokiej widoczności. W efekcie międzynarodowe sieci wartości dodanej stają się bardziej hierarchiczne: korzyści ze skali danych oraz ich ponownego wykorzystania przepływają do nielicznych

podmiotów kontrolujących węzły dostępu i przepływu informacji (Goldfarb, Treffler, 2019; Weymouth, 2023).

Datafikacja przekształca też sam przedmiot przewagi komparatywnej. W klasycznym ujęciu specjalizacja opierała się na pracy, kapitale i zasobach naturalnych. W gospodarce opartej na danych znaczenia nabiera zdolność do ich gromadzenia, czyszczenia, łączenia i ponownego wykorzystywania w skalowalnych modelach, a także komplementarny dostęp do mocy obliczeniowych i talentów. Przewagi takie mają charakter kumulatywny, bo jakość predykcji rośnie wraz z wolumenem i różnorodnością danych, a koszty krańcowe replikacji modeli na kolejnych rynkach są niskie. W praktyce oznacza to, że kraje i firmy z „obfitością AI” szybciej różnicują ofertę usług transgranicznych i zajmują bardziej centralne pozycje w sieciach wartości (Sun, Treffler, 2022; Goldfarb, Treffler, 2019). Jednocześnie, ze względu na komplementarność danych z instytucjami ich obiegu, przewaga ta jest uwarunkowana lokalnie: zależy od reguł dostępu, interoperacyjności i ładu własnościowego.

Konsekwencją datafikacji na poziomie łańcuchów wartości jest pogłębienie serwityzacji i rozszczenie procesów na moduły zarządzane algorytmicznie. Koordynacja projektowania, kontroli jakości i obsługi posprzedażowej odbywa się w czasie zbliżonym do rzeczywistego, co pozwala przesuwac komponenty produkcyjne między lokalizacjami, utrzymując jednocześnie ośrodki wiedzy blisko centrów kompetencji. To przedłuża trend „drugiego rozdzielenia” i zwiększa udział usług wiedzochłonnych w eksporcie wartości dodanej, nawet jeśli fizyczne etapy wytwarzania są rozproszone geograficznie (Baldwin, 2016). W rezultacie eksport staje się mieszaniną przepływów towarowych i niematerialnych, a część wartości jest przenoszona przez aktualizacje oprogramowania, modele predykcyjne i kontrakty serwisowe, które wiążą odbiorców w długotrwałe relacje danych.

Datafikacja nie działa w próżni instytucjonalnej. Granice przebiegają dziś przez warstwę danych: reguły ich lokalizacji, zgodności i udostępniania wyznaczają realny dostęp do rynków. Rozbieżne standardy prywatności, cyberbezpieczeństwa, przenoszalności i ujawniania kodu źródłowego mogą amortyzować korzyści z algorytmizacji, rozdzielając globalny rynek na bloki regulacyjne, w których interoperacyjność jest zapewniana wewnętrznie, a relacje między blokami wymagają kosztownych translacji instytucjonalnych (Collins, Geist, 2023; Weymouth, 2023). W takim otoczeniu pozycja firm i krajów w sieciach wartości zależy nie tylko od zasobów technologicznych, lecz także od przestrzegania porządków regulacyjnych umożliwiających transgraniczną wymianę danych treningowych i zautomatyzowaną weryfikację zgodności.

Z perspektywy strategii przedsiębiorstw algorytmizacja wymusza nowe praktyki organizacyjne. Przewaga rośnie tam, gdzie firmy potrafią zamieniać lokalne interakcje z klientami w generatywne pętle danych, wykorzystywać modele do projektowania odmian produktowych pod kątem określonych rynków czy łączyć predykcje popytu z elastyczną logistyką i obsługą. Analizy

krajów o szybkim tempie zmian technologicznych pokazują, że eksportowa skuteczność rośnie wraz z umiejętnością integracji technologii cyfrowych z zarządzaniem portfelem innowacji i relacjami międzynarodowymi, co potwierdza komplementarność algorytmów z kapitałem organizacyjnym i sieciowym (Kim, Chung, 2024). Jednocześnie dane popytowe, cenowe, logistyczne, regulacyjne i reputacyjne oraz modele predykcyjne, rekomendacyjne, cenowe i ryzyka pełnią funkcję substytutów doświadczenia eksportowego. Umożliwiają mniejszym firmom ograniczanie niepewności wejścia na rynki zagraniczne pod warunkiem, że są w stanie zbudować minimalny, lecz kompletny zestaw zdolności cyfrowych (Añón Higón, Bonvin, 2024).

Włączenie perspektywy sieciowej pozwala wreszcie uporządkować intuicje dotyczące „nowych granic” w handlu. Jeżeli handel jest zbiorem połączeń, a bariery to opory na krawędziach, to datafikacja i algorytmizacja zmieniają zarówno wagi tych krawędzi, jak i centralność węzłów. Tam, gdzie algorytmy redukują koszty wyszukiwania i standaryzują wiarygodność, strumienie wartości przenoszą się do kanałów o najwyższej przejrzystości i jakości danych. Tam, gdzie regulacja ogranicza przepływy lub wymusza lokalizację danych, powstają „mosty o wysokim oporze”, które zniechęcają do tworzenia relacji transgranicznych o wysokiej intensywności danych. To dlatego międzynarodowe sieci wartości są dziś kształtowane równocześnie przez architekturę techniczną i architekturę regulacyjną – także dlatego polityki rozwojowe muszą myśleć o danych i algorytmach jak o infrastrukturze i czynniku produkcji.

5.2.4. Platformizacja w handlu międzynarodowym

Platformizacja jest nie tylko nowym kanałem sprzedaży, lecz także warstwą organizacyjno-technologiczną, która przejmuje funkcje kojarzenia popytu i podaży, budowania zaufania, obsługi płatności i logistyki oraz zarządzania reputacją. W praktyce oznacza to, że znacząca część handlu odbywa się dziś poprzez cyfrowych pośredników, których statystyka ujmuje jako dostawców usług zamawianych i/lub dostarczanych cyfrowo. W tej optyce platformy stają się instytucją Handlu międzynarodowego 4.0: włączają firmy w transgraniczny obieg danych, standaryzują procesy i umożliwiają eksport „jako usługę”, a więc bez konieczności budowania tradycyjnej infrastruktury wejścia na rynek. Tak rozumiana platformizacja jest spójna z obowiązującymi ramami pomiaru handlu cyfrowego oraz z literaturą, która traktuje platformy jako nowy typ infrastruktury wymiany (IMF, OECD, UNCTAD, WTO 2023; Collins, Geist, 2023; UNOHRLLS, WTO, 2022).

Ekonomicznie platformy działają na dwa sposoby, które dobrze wpisują się w intuicje heterogenicznych firm Melitza. Po pierwsze, obniżają koszty stałe i zmienne wejścia na obce rynki dzięki agregacji popytu, ustandaryzowanym interfejsom transakcyjnym, modułowym usługom realizacji zamówień

i wbudowanym mechanizmom wiarygodności. Próg produktywności wymagany do eksportu spada, co pozwala większej liczbie firm przekroczyć selekcyjną barierę wejścia. Po drugie, same platformy i narzędzia z nimi zintegrowane zwiększają produktywność poprzez lepszą informację rynkową, automatyzację i analitykę, wzmacniając mechanizm pośredni prowadzący do internacjonalizacji. Dowody mikroekonomiczne, w tym dla MŚP, potwierdzają, że oddziaływanie przez produktywność jest silniejsze niż czysto bezpośredni efekt obniżenia kosztów transakcyjnych (Añón Higón, Bonvin, 2024).

Jednocześnie platformy wprowadzają algorytmiczne reguły selekcji, które przesuwają oś konkurencji z ceny ku widoczności i jakości danych. Efekty skali i zakresu wynikające z mechanizmów datafikacji, algorytmizacji i platformizacji, zwłaszcza rola dużych zbiorów danych w podnoszeniu jakości predykcji, premiuje podmioty o największym zasięgu i dostępie do danych, co zwiększa koncentrację i sprzyja dominacji kilku graczy. W rezultacie przewagi komparatywne zaczynają zależeć od zdolności do budowy i skalowania rozwiązań AI oraz od dostępu do infrastruktury obliczeniowej, a nie wyłącznie od tradycyjnych zasobów (Goldfarb, Treffer, 2019; Weymouth, 2023).

Z perspektywy sieci handlowych platformy zmieniają topologię przepływów. Zamiast rozproszonej, dwustronnej wymiany między firmami rośnie udział handlu pośredniczonego przez kilka globalnych węzłów, które łączą dostawców i klientów w wielu jurysdykcjach. Wyniki badań nad handlem w sieciach sugerują, że taka „centralizacja” zwiększa znaczenie położenia w węzłach o wysokiej centralności i wzmacnia propagację szoków przez kanały pośrednie; platformy czynią te mechanizmy bardziej wyrazistymi, bo centralność jest tu w dużej mierze funkcją algorytmicznej widoczności. W tym sensie platformizacja wpisuje się w szerszą literaturę o sieciach i barierach w handlu, wskazując, że regulacje i koszty na poziomie węzła mogą mieć nieproporcjonalnie duże skutki dla całej sieci wymiany (Chaney, 2014; Baqaee, 2024).

Platformizacja przynosi również nową mapę kosztów zgodności. Warunki dostępu do rynków na platformach – od standardów danych i API, przez zasady przechowywania i transferu danych, po wymogi dotyczące przejrzystości algorytmów i ochrony konsumenta – stają się ekwiwalentem pozataryfowych barier i wchodzi do kanonu polityki handlowej. Tam, gdzie umowy handlowe wprowadzają gwarancje swobodnego przepływu danych, ochrony kodu źródłowego czy interoperacyjności, wejście i skalowanie działalności na platformach jest łatwiejsze. Tam, gdzie dominują lokalizacyjne wymogi dotyczące danych lub rozbieżne standardy, koszty te rosną i zmieniają decyzje firm o wyborze rynków i modeli obecności (Collins, Geist, 2023; Weymouth, 2023; Zekos, 2021).

W ujęciu organizacyjnym platformy umożliwiają modularyzację internacjonalizacji. Przedsiębiorstwo może zlecić elementy łańcucha wartości – płatności, logistykę, marketing, obsługę klienta – jako usługi w modelu *commerce-as-a-service*, zamieniając część kosztów stałych wejścia na koszty operacyjne skalowane wraz z popytem. Taka modularyzacja sprzyja szybkim eksperymentom

rynkowym i ułatwia budowanie zdalnej obecności, ale rodzi też zależność od reguł i rent pobieranych przez pośredników. Dla gospodarek i sektorów szukających wzrostu udziału w globalnych łańcuchach wartości oznacza to, że przewaga lokalizacyjna zaczyna wynikać nie tylko z logistyki czy kosztów pracy, lecz także z jakości wpięcia w infrastrukturę danych i węzły platformowe. W tym sensie platformizacja jest kontynuacją „drugiego rozdzielania” – rozproszenia produkcji i usług dzięki cyfrowej koordynacji – które Baldwin opisywał jako długofalowe źródło zmian struktury handlu (Baldwin, 2016).

Konsekwencją jest asynchroniczna inkluzja: dla części firm i krajów platformy otwierają szybkie ścieżki wejścia do międzynarodowych sieci wartości, dla innych wzmacniają zależności od globalnych węzłów i standardów. Aby minimalizować tę dychotomię, polityka gospodarcza musi łączyć wsparcie kompetencji i produktywności firm z działaniami regulacyjnymi na rzecz płynności transgranicznych przepływów danych, interoperacyjności oraz konkurencyjności ekosystemów platformowych. W kolejnych partiach książki pokażę, że to właśnie poprzez platformy materializuje się sprzężenie datafikacji i algorytmizacji z handlem, a także to, w jaki sposób pozycja względem platform decyduje o miejscu w międzynarodowych sieciach wartości dodanej (IMF, OECD, UNCTAD, WTO, 2023; Collins, Geist, 2023).

5.3. Nowe domeny wymiany międzynarodowej

Procesy DAP zmieniają mechanikę kosztów handlowych i strukturę przewagi. Równocześnie ta sama logika otwiera zupełnie nowe domeny wymiany: przesuwa wartość z samego aktu produkcji do usług towarzyszących oraz wyodrębnia obszar transakcji w pełni cyfrowych, które nie wymagają fizycznej dostawy. W tym ujęciu Handel międzynarodowy 4.0 nie polega już jedynie na szybszym obrocie istniejącymi dobrami, lecz na rozszerzeniu granic tego, co może być przedmiotem międzynarodowej wymiany – od usług osadzonych w produktach po strumienie danych i usługę dostarczoną w całości online (Baldwin, 2022; Collins, Geist, 2023).

5.3.1. Serwityzacja

Serwityzacja to zmiana modelu biznesowego polegająca na przejściu od sprzedaży samych produktów do sprzedaży systemów produktowo-usługowych (PSS) oraz na innowacyjnej przebudowie potencjału i procesów organizacji, tak aby wartość była wytwarzana poprzez zestaw usług towarzyszących produktowi (monitoring, utrzymanie, rozliczenia za efekt, subskrypcja/wynajem zamiast przeniesienia własności). W logice DAP serwityzacja nie jest

dotądkiem do produkcji, lecz zmianą sposobu tworzenia i przechwytywania wartości. Dane z użytkowania produktów przestają być odpadem informacyjnym i stają się podstawą ciągłych usług: zdalnego utrzymania, aktualizacji funkcji, personalizacji oferty, a w konsekwencji rozliczeń opartych na rezultacie. Algorytmy pozwalają przewidywać awarie i modelować popyt, a platformy otwierają interfejsy dla komplementariuszy, standaryzują przepływy i skalują relacje z klientem ponad granicami. W przeciwieństwie do klasycznego eksportu „jednorazowej” fabrykacji powstaje wiązka długookresowych połączeń usługowych wokół produktu, która wiąże producenta z odbiorcą, operatorem danych i dostawcami oprogramowania. W ujęciu całej książki serwityzacja domyka zatem trzy wcześniejsze poziomy analizy: jej materialną bazą jest infrastruktura łączności, organizacyjnym warunkiem – cyfrowe zdolności przedsiębiorstw, a mechanizmem skalowania – platformizacja.

Proces ten przyspieszył wraz z „drugim rozdzieleniem” produkcji: rozproszaniem zadań na wiele lokalizacji i instytucji oraz przesunięciem wysokiej wartości do etapów przed- i posprzedażowych. Baldwin opisał to jako przechylenie „krzywej uśmiechu”, w którym projektowanie, integracja systemów, marka i obsługa posprzedażowa kumulują rosnący udział wartości dodanej, a sama produkcja ulega standaryzacji i przenoszeniu do tańszych lokalizacji (Baldwin, 2016). W praktyce oznacza to, że międzynarodowe sieci wartości nie składają się dziś z ciągu transakcji towarowych, ale z warstw usług, danych i oprogramowania „nałożonych” na fizyczny produkt i dystrybuowanych transgranicznie w trybie czasu rzeczywistego. To właśnie w tych warstwach powstają nowe renty wiedzy i to one coraz częściej decydują o podziale zysków w łańcuchu.

Badania empiryczne potwierdzają tę zmianę wektorów wartości. W firmach przemysłowych udział usług w kosztach i przychodach systematycznie rósł, a w szwedzkich przedsiębiorstwach podwoił się w długim horyzoncie, współwystępując z wyższą intensywnością eksportu (Lodefalk, 2017). Zgodnie z analizami OECD usługi – jako nakłady pośrednie – stanowią ok. 37% wartości dodanej w eksporcie dóbr (Miroudot, Cadestin, 2017). W ujęciu TiVA łącznie usługi przekładają się przeciętnie na >50% wartości eksportu w gospodarkach OECD (OECD, 2021/2023). Z kolei przeglądy WTO wskazują, że rosnący udział usług w eksporcie przedsiębiorstw jest sprzężony z tańszą, bardziej przepustową łącznością i upowszechnieniem handlu cyfrowo zamawianego i/lub dostarczanego (UNOHRLLS, WTO, 2022).

Z perspektywy firmy serwityzacja jest wymagająca organizacyjnie, ale otwiera nowe drogi internacjonalizacji. Przesunięcie z *make-and-sell* do *sense-and-respond* wymaga zdolności łączenia danych produktowych z procesami obsługi klienta i rozwojem oprogramowania. Tam, gdzie takie zdolności istnieją, efekty są zbieżne z obserwacjami modeli heterogenicznych firm: cyfryzacja podnosi TFP i obniża koszty wejścia, co znacząco zwiększa prawdopodobieństwo eksportu, przy czym kanał produktywności bywa silniejszy niż bezpośrednie efekty kosztowe (Añón Higón, Bonvin, 2024). Badania nad

przedsiębiorstwami koreańskimi pokazują dodatkowo, że o sukcesie decydują konfiguracje zdolności – własne B+R, sieci współpracy i komplementarne kompetencje cyfrowe – które umożliwiają tworzenie i skalowanie usługowej otoczki produktów na rynkach zagranicznych (Kim, Chung, 2024).

Serwityzacja zmienia także geografie i organizację sieci wartości. Usługi zdalne, wsparcie w chmurze, utrzymanie i aktualizacje oprogramowania mogą być świadczone z dowolnej lokalizacji, ale są ograniczane przez reżimy danych, interoperacyjność i standardy platform. Umowy nowej generacji i praktyki platformowe stają się więc infrastrukturą handlu usługami „wokół” towarów: to w nich zapisuje się dostęp do danych, zasady przenoszenia oprogramowania, wymogi zgodności i mechanizmy rozliczeń, które realnie decydują o skalowalności modeli usługowych (Collins, Geist, 2023; Weymouth, 2023). Jednocześnie efekty skali i zakresu charakterystyczne dla usług opartych na danych faworyzują podmioty dysponujące szeroką bazą użytkowników i bogatymi strumieniami danych, co sprzyja koncentracji wokół platform integrujących popyt i podaż na globalną skalę. W tej konfiguracji mniejsze firmy włączają się w serwityzacyjne sieci wartości jako wyspecjalizowani dostawcy modułów, a dostęp do interfejsów platformowych zastępuje tradycyjne przedstawicielstwa i dystrybutorów.

Z punktu widzenia statystyki i polityki handlowej serwityzacja rozmywa granicę między handlem towarami i usługami. Ta sama transakcja obejmuje sprzedaż urządzenia, abonament na funkcje w chmurze, strumień aktualizacji i zdalne utrzymanie. W literaturze statystycznej przyjęto rozróżnienie na transakcje zamawiane cyfrowo oraz dostarczane cyfrowo, co pozwala wyodrębnić zarówno e-commerce z fizyczną dostawą, jak i usługi przekazywane w całości przez sieci komputerowe. Aby uniknąć podwójnego liczenia, transakcje spełniające oba kryteria zlicza się raz. Pomiar opiera się na standardowych statystykach handlu towarami i usługami, uzupełnianych o ankiety ICT i dane z platform (IMF, OECD, UNCTAD i WTO, 2023). Ujęcia oparte na sposobie zamówienia i sposobie dostarczenia – *digitally ordered* i *digitally delivered* – pozwalają lepiej uchwycić te przepływy, ale przenoszą ciężar na warstwę instytucjonalną: interoperacyjność dokumentów, e-fakturowanie, e-customs i zasady transgranicznego transferu danych stają się *de facto* barierami lub katalizatorami wzrostu.

W rezultacie serwityzacja stała się jednym z kluczowych mechanizmów, poprzez które procesy DAP przekształcają międzynarodowe sieci tworzenia wartości. Utrzymuje znaczenie kompetencji w fazach o najwyższej wartości dodanej, sprawia, że eksport nabiera bardziej ciągłego i usługowego charakteru, a o pozycji w łańcuchu decyduje dziś zdolność do gromadzenia i przetwarzania danych, projektowania algorytmów oraz zarządzania relacjami na platformach cyfrowych. Tam, gdzie te zdolności są słabe, krajowe firmy pozostają podwykonawcami; tam, gdzie są rozwinięte – stają się integratorami rozwiązań i eksporterami usług osadzonych w produktach. To przesunięcie

wymaga dostosowania zarówno strategii firm, jak i polityki handlowej, które decydują o tym, gdzie w globalnej sieci wartości powstaje i pozostaje marża.

5.3.2. Handel cyfrowy

Handel cyfrowy (*digital trade*) to wymiana towarów i usług, które są cyfrowe z natury (np. oprogramowanie, treści) lub są zamawiane, pośredniczone bądź dostarczane kanałami cyfrowymi (platformy, pobrania, streaming). To „nie tylko sprzedaż przez internet”, lecz także cyfrowe uzupełnienie towarów i usług o serwityzację i inne funkcje online (np. rozliczenia, wsparcie, aktualizacje).

Cyfryzacja wprowadziła do obiegu handlowego osobną domenę wymiany, w której kluczowy jest nie fizyczny przepływ dóbr, lecz sposób organizacji transakcji oraz możliwość zdalnego świadczenia usług. W literaturze statystycznej utrwalił się podział na transakcje zamawiane cyfrowo i dostarczane cyfrowo, który pozwala wyodrębnić zarówno e-commerce z tradycyjną dostawą, jak i usługi przekazywane w całości przez sieci komputerowe. Taka definicja porządkuje pomiar, bo skupia się na procesie transakcyjnym, a nie na naturze produktu czy profilu podmiotów, i dzięki temu da się włączyć handel cyfrowy w istniejące statystyki towarów i usług bez podwójnego liczenia (IMF, OECD, UNCTAD, WTO, 2023; Collins, Geist, 2023). W praktyce „handel cyfrowy” obejmuje trzy warstwy tego samego zjawiska: transakcyjną (zamówienia i płatności realizowane elektronicznie), produktową (usługi i dobra dostarczane w pełni cyfrowo, w tym dane jako przedmiot obrotu) oraz instytucjonalną, czyli zestaw standardów, protokołów i reguł przepływu danych, bez których nie byłoby możliwe skoordynowanie zdalnej wymiany na dużą skalę (IMF, OECD, UNCTAD, WTO, 2023; Collins, Geist, 2023).

Szacunki OECD wskazują, że w 2020 roku wartość transakcji zamawianych cyfrowo i/lub dostarczanych cyfrowo sięgnęła ok. 5 bln USD, czyli ~25% światowego handlu. Najszybciej rośnie segment usług dostarczanych w pełni online (chmura, streaming, zdalne usługi profesjonalne). Dane te pokazują, że rola cyfrowych kanałów w organizacji wymiany ma charakter systemowy, a nie peryferyjny (OECD, 2023). Dla przedsiębiorstw, zwłaszcza mniejszych, praktycznym skutkiem jest obniżenie barier wejścia: część kosztów stałych tradycyjnej internacjonalizacji zostaje „wypchnięta” do chmury lub przejęta przez wyspecjalizowane platformy, a firma może testować rynki zagraniczne w trybie zdalnym i skalować działalność w miarę popytu (UNOHRLLS, WTO, 2022; Collins, Geist, 2023). To przesunięcie dobrze wpisuje się w ramy DAP: datafikacja zasila precyzyjne targetowanie i dynamiczne ustalanie cen, algorytmizacja automatyzuje obsługę i logistykę, a platformizacja tworzy infrastrukturę pośrednictwa, która agreguje popyt i podaż w węzłach o zasięgu globalnym (Collins, Geist, 2023).

Cyfryzacja transakcji zmienia „geografię” oraz rachunkowość handlu. Po stronie towarów szybko rośnie wolumen drobnicowych przesyłek B2C, niewpisujących się w procedury hurtowe administracji celnej. W Japonii ich liczba wzrosła z 12,3 mln w 2010 roku do 63,4 mln w 2020 (OECD, 2023). Większość takich paczek mieści się poniżej progów *de minimis* (np. 150 euro w UE, 800 dolarów w USA), co ułatwia zakupy transgraniczne, ale utrudnia klasyfikację i zaniża tradycyjne statystyki towarowe. Odpowiedzią są e-faktury, przedgraniczne przekazywanie danych handlowych oraz systemy e-customs, które skracają odprawy i ograniczają błędy administracyjne (OECD, 2016; OECD, 2023, s. 4).

Warstwa instytucjonalna decyduje, czy potencjał handlu cyfrowego zostanie wykorzystany. Różnice w podejściu do transgranicznych przepływów danych, lokalizacji zasobów informacyjnych, standardów identyfikacji elektronicznej, rozliczeń i podatków tworzą „cyfrowe granice”, które mogą wzmacniać lub neutralizować korzyści skali osiągnane przez firmy. W praktyce to, jak państwa projektują zasady prywatności, interoperacyjności i dostępu do danych, rozstrzyga o tym, czy lokalne przedsiębiorstwa będą w stanie wpiąć się w międzynarodowe sieci wartości oparte na usługach i danych, czy też pozostaną zależne od reguł narzucanych przez globalne platformy. W tym sensie kod i regulacja działają jak nowe narzędzia polityki handlowej: kształtują warunki konkurencji, architekturę rynków i rozmieszczenie wartości dodanej między węzłami łańcucha (Collins, Geist, 2023; UNOHRLLS, WTO, 2022).

Dla ujęcia prezentowanego w niniejszej książce istotny pozostaje fakt, że handel cyfrowy nie jest „dodatkiem” do dotychczasowych kanałów, lecz mechanizmem integrującym warstwy gospodarki 4.0. W obszarze towarów handel cyfrowy zwiększa presję na cyfryzację logistyki, ujednolicanie standardów danych i automatyzację procedur celnych/odpraw. W obszarze usług przesuwają akcent ku świadczeniu usług w pełni zdalnie (transgranicznie, bez fizycznej obecności stron). W obszarze danych ustanawia dane jako odrębny przedmiot wymiany i źródło przewagi komparatywnej, opartej na zdolności gromadzenia, przetwarzania i łączenia zbiorów w skali ponadnarodowej. To właśnie na styku tych trzech warstw tworzą się dziś transgraniczne sieci wartości dodanej, w których przewagę wyznacza pozycja względem węzłów platformowych, jakość infrastruktury danych i dojrzałość instytucjonalna, a nie sama wielkość produkcji fizycznej (IMF, OECD, UNCTAD, WTO, 2023; OECD, 2023; Collins, Geist, 2023; UNOHRLLS, WTO, 2022).

5.4. Polityka handlowa wobec przełomu technologicznego: wyzwania i kierunki w dobie AI

W poprzednich częściach rozdziału przesunęłam punkt ciężkości z samego wyposażenia w technologie na zdolność firm i instytucji do wspinania się w cyfrowe sieci tworzenia wartości. Pokazałam, że w warunkach DAP handel przestaje być wyłącznie wymianą towarów i usług, a coraz częściej jest transferem modeli działania zakodowanych w danych i oprogramowaniu. Płyną z tego dwie konsekwencje dla polityki handlowej. Po pierwsze, źródła przewagi komparatywnej przesuwają się z tradycyjnych czynników na zdolności do gromadzenia, przetwarzania i skalowania danych oraz do budowy ekosystemów AI, co zostało już ujęte zarówno w perspektywie „drugiego rozdzielania” globalizacji, jak i w nowszych pracach o gospodarce opartej na danych (Baldwin, 2016; Goldfarb, Trefler, 2019; Weymouth, 2023). Po drugie, reguły dostępu do rynku są dziś w coraz większym stopniu funkcją architektury informacyjnej – standardów, interfejsów i algorytmów – a nie wyłącznie stawek celnych czy reguł pochodzenia (Collins, Geist, 2023).

Celem tego podrozdziału jest przełożenie powyższej diagnozy na język narzędzi polityki handlowej: zidentyfikowanie nowych obszarów sporów i koordynacji, ocena adekwatności rozwiązań WTO oraz pokazanie, w jaki sposób porozumienia regionalne stają się inkubatorami ładu cyfrowego. Wychodzimy od hipotezy, że w dobie AI polityka handlowa traci charakter wyłącznie liberalizacyjny i w coraz większym stopniu pełni funkcję polityki infrastrukturalnej, czyli współzarządzania globalnymi zasobami danych, modelami algorytmicznymi i dostępem do platform. Jeśli hipoteza ta jest trafna, to o trwałych pozycjach konkurencyjnych państw decydują nie tyle taryfy, ile reguły przepływu danych, interoperacyjność, standardy odpowiedzialności algorytmicznej i jakość implementacji tych zasad w prawie krajowym (Goldfarb, Trefler, 2019; Collins, Geist, 2023).

Analiza ma charakter wielopoziomowy. Najpierw porządkuję wyzwania regulacyjne wynikające z gwałtownego wzrostu handlu cyfrowego i usług dostarczanych zdalnie, w tym omawiam dylemat między ochroną danych a swobodą ich przepływu oraz rosnącą rolę platform jako strażników dostępu do rynków. Następnie konfrontuję te wyzwania z instrumentarium WTO, wskazując na ograniczenia historycznych kategorii GATS i tymczasowego moratorium na opodatkowanie transmisji elektronicznych, które nie przystają do natury obrotu danymi i kodem. W dalszej kolejności pokazuję, jak wybrane porozumienia regionalne – przede wszystkim CPTPP, USMCA i DEPA – testują rozwiązania dotyczące przepływu danych, lokalizacji zasobów, uznawalności podpisów elektronicznych i ram zaufania dla AI, w praktyce wyznaczając standardy poza systemem wielostronnym (Burri, 2021a; Collins, Geist, 2023).

5.4.1. Wyzwania dla polityki handlowej w dobie AI

Procesy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji wprowadzają nowe aspekty do polityki handlowej związane z zarządzaniem infrastrukturą danych, modelami opartymi na sztucznej inteligencji i standardami interoperacyjności. W miarę jak przewagi komparatywne wynikają coraz bardziej z dostępu do danych, kompetencji w trenowaniu modeli i zdolności ich skalowania, rośnie znaczenie ekosystemów cyfrowych, łączących infrastrukturę, talenty i regulacje jako źródła trwałej przewagi eksportowej i możliwości wyznaczania standardów wymiany (Goldfarb, Trefler, 2019; Weymouth, 2023). W tym sensie polityka handlowa staje się integralną częścią polityki cyfrowej, a warunki dostępu do rynku w coraz większym stopniu zależą od architektury informacyjnej, czyli algorytmów rekomendacji, reguł platform i uzgodnionych protokołów technicznych.

Napięcia regulacyjne koncentrują się wokół dylematu między ochroną danych a swobodą ich przepływu. Część państw promuje ideę *data free flow with trust*, jej wdrożenie wymaga jednak wiarygodnych mechanizmów audytu i wzajemnego uznawania norm, co utrudniają różnice w kulturach regulacyjnych i poziomie rozwoju instytucjonalnego (Collins, Geist, 2023). Dodatkowe spory wywołują obowiązki lokalizacji danych (wymóg trzymania i/lub przetwarzania danych lokalnie) czy rozbieżne definicje odpowiedzialności za decyzje podejmowane automatycznie, które bezpośrednio oddziałują na skalowalność modeli biznesowych opartych na AI (Zekos, 2021).

Nową osią asymetrii są platformy cyfrowe – prywatni pośrednicy, którzy nie tylko ułatwiają handel, lecz także kształtują do niego dostęp poprzez reguły rankingów, interfejsy API i standardy zgodności. Dla wielu firm, zwłaszcza z rynków wschodzących, „wejście na rynek” oznacza dziś zajęcie pozycji względem platformy i jej algorytmu, co osłabia skuteczność klasycznych narzędzi polityki handlowej opartych na cłach i kontyngentach (Collins, Geist, 2023). Skuteczność cyfrowych zapisów w umowach handlowych zależy przy tym od jakości krajowej implementacji: bez zgodnych systemów e-identyfikacji, uznawalnych podpisów elektronicznych, e-fakturowania i odpraw bezpapierowych trudno realnie obniżyć koszty transakcyjne i włączyć MŚP do międzynarodowych łańcuchów dostaw.

Warstwa identyfikacji, semantyki i interfejsów handlu cyfrowego – od uznawania tożsamości cyfrowej po minimalne standardy cyberbezpieczeństwa – staje się warunkiem funkcjonowania drobnicowych strumieni B2C oraz usług dostarczanych zdalnie. Brak interoperacyjności podpisów, formatów danych i protokołów bezpieczeństwa podnosi koszty zgodności, wydłuża odprawy i sprzyja fragmentacji procesów transakcyjnych (UNOHRLLS, WTO, 2022). To problem szczególnie dotkliwy dla krajów najmniej rozwiniętych, gdzie ograniczone zdolności administracyjne i luka kompetencyjna utrudniają wdrażanie zaawansowanych reżimów zgodności i monitorowanie ich efektów (UNOHRLLS, WTO, 2022).

Na tle tych napięć narasta geopolityczna fragmentacja infrastruktury cyfrowej. Spory o kluczowe technologie infrastrukturalne i przetwarzania danych prowadzą do odmiennych, nie w pełni kompatybilnych ekosystemów i wzmożonych kontroli eksportu technologii. Powstają „strefy zaufanego przepływu danych” budowane w ramach bloków regionalnych, które ułatwiają wymianę wewnątrz porozumień, ale pogłębiają podziały systemowe i zwiększają koszty utrzymania interoperacyjności na zewnątrz (Collins, Geist, 2023).

Dodatkowym źródłem niepewności jest niedopasowanie klasycznych kategorii prawnych do realiów handlu cyfrowego. W ramach WTO uzyskano tymczasowy kompromis na nakładanie ceł na elektroniczne transmisje, lecz spór o zakres pojęcia, tj. o to, czy regulować przede wszystkim „nośnik” transmisji czy „treść”, pozostaje nierozstrzygnięty. Spory o to, czy dany produkt ma charakter dobra czy usługi i jakie zobowiązania rynkowe mają zastosowanie, przenoszą się do sądów i paneli, gdzie brakuje jednoznacznych definicji technologicznie neutralnych (Burri, 2021b). W praktyce niepewność klasyfikacyjna zwiększa ryzyko regulacyjne firm i skłania państwa do przeniesienia negocjacji na poziom regionalny, gdzie łatwiej o zestrojenie zasad z bieżącą praktyką rynkową.

Wreszcie sama baza pomiarowa polityki publicznej nie nadąża za zmianą. Skoro coraz większa część wartości eksportu dóbr jest „usługą w towarze”, a rosnący segment wymiany ma charakter zamawiany i dostarczany cyfrowo, to ocena skutków regulacji wymaga zaplecza statystycznego oraz lepszego uchwycenia usług dostarczanych zdalnie. Bez ujednoczonego pomiaru handlu cyfrowego i usług pośrednich trudno projektować reguły, które realnie poprawiają konkurencyjność i włączają firmy do sieci wartości opartych na danych (OECD, 2023; Collins, Geist, 2023).

Wskazane wyżej wyzwania uzasadniają przesunięcie agendy z klasycznej liberalizacji w stronę negocjowania reguł ładu cyfrowego: przepływów danych, odpowiedzialności algorytmicznej, standardów interoperacyjności, uznawalności e-tożsamości i cyberbezpieczeństwa. W kolejnych podrozdziałach pokazujemy, dlaczego wielostronne ramy WTO pozostają niewystarczające wobec tych zjawisk oraz jak porozumienia regionalne stały się inkubatorami nowej ontologii umów handlowych – umów, które zarządzają dostępem do danych, kodu i interfejsów, a przez to współdecydują o globalnych przewagach w erze AI (Burri, 2021a; Baldwin, 2016; Collins, Geist, 2023; Weymouth, 2023; Goldfarb, Treffer, 2019).

5.4.2. Nowe cele i redefinicja narzędzi

Procesy DAP zmieniają cel polityki handlowej z liberalizacji przepływu towarów ku zarządzaniu infrastrukturą informacji i zaufaniem w obiegu danych. Wartość dodana powstaje coraz częściej w warstwach usługowych

i obliczeniowych, a dostęp do rynku staje się funkcją reguł dotyczących danych, modeli AI i interfejsów platform, a nie wyłącznie ceł czy kontyngentów. W tym sensie przewaga komparatywna zależy dziś od zdolności do pozyskania i przetwarzania danych, dostępu do mocy obliczeniowych i talentów oraz umiejętności ich wdrożenia w skalowalnych ekosystemach (Goldfarb, Trefler, 2019; Weymouth, 2023). Zmienia to punkt ciężkości polityki handlowej: z instrumentów cenowych na architekturę regulacyjną, która umożliwi bezpieczne i przewidywalne przepływy informacji.

Konsekwencją jest poszerzenie agendy negocjacyjnej. Umowy handlowe nowej generacji obejmują dziś przepisy o transgranicznym przepływie danych i zakazach lokalizacji, ochronie prywatności, uznawalności podpisów elektronicznych i tożsamości cyfrowej, interoperacyjności systemów, a także o dostępie do kodu źródłowego i przejrzystości algorytmów (Burri, 2021a; Collins, Geist, 2023). Te tzw. *digital trade provisions* stanowią rdzeń „narzędzi miękkiej infrastruktury”, która decyduje o widoczności, audytowalności i rozliczalności w handlu cyfrowym. Jednocześnie dostęp do rynku coraz częściej rozstrzygany jest w logice platform: pozycja w wynikach wyszukiwania, reguły rankingów, portowalność danych klientów i zasady *self-preferencing* wpływają na możliwość konkurowania w stopniu nie mniejszym, niż robią to taryfy. W rezultacie klasyczne instrumenty liberalizacyjne muszą być uzupełnione o politykę konkurencji i zasady niedyskryminacji w ekosystemach platformowych (Collins, Geist, 2023).

Narzędziownik polityki handlowej przesuwają zatem w stronę zarządzania ryzykiem informacyjnym. Obejmuje to mechanizmy przejrzystości modeli AI wykorzystywanych w transgranicznych usługach, standardy audytowalności i odpowiedzialności algorytmicznej, wspólne profile bezpieczeństwa cybernetycznego oraz uznawalność certyfikatów zgodności. W praktyce oznacza to, że państwa przestają negocjować wyłącznie otwieranie rynków, a zaczynają współtworzyć reżimy zgodności, które warunkują możliwość świadczenia usług zdalnych na skalę międzynarodową (Burri, 2022). Równoległe rośnie znaczenie polityki komplementarnej: standardyzacji technicznej, zamówień publicznych jako dźwigni popytu na rozwiązania zgodne z normami, mobilności talentów oraz wsparcia dla infrastruktury obliczeniowej i danych, bez których skalowanie modeli AI pozostaje iluzją (Goldfarb, Trefler, 2019; Weymouth, 2023).

Doświadczenie ostatnich lat pokazuje także, że skuteczność postanowień cyfrowych zależy od jakości implementacji krajowej. Te same zapisy o e-fakturowaniu, e-customs czy uznawalności podpisów elektronicznych mają różne efekty w jurysdykcjach o odmiennych systemach identyfikacji, dojrzałości administracji i zdolnościach nadzorczych. Tym samym regionalne porozumienia stają się laboratoriami interoperacyjności, ale ich oddziaływanie jest ograniczane, jeśli nie towarzyszy im harmonizacja praktyk administracyjnych i inwestycje w kompetencje instytucji, zwłaszcza w gospodarkach na

niższym poziomie rozwoju (Monteiro, Teh, 2017; Mattoo, Rocha, Ruta, 2020; UNOHRLLS, WTO, 2022). W Handlu międzynarodowym 4.0 to nie pojedynczy przepis liberalizacyjny decyduje o dostępie do rynku, lecz spójny zestaw reguł i zdolności wdrożeniowych, które razem tworzą infrastrukturę zaufania.

W rezultacie umowy handlowe stają się ramami współzarządzania cyfrową globalizacją. Cel polityki handlowej redefiniuje się jako zapewnienie bezpiecznych i przewidywalnych przepływów danych, interoperacyjności regulacyjnej i uczciwej konkurencji w środowisku platformowym, a narzędzia przesuwają się z taryf i kwot ku standardom, certyfikacji, obowiązkom przejrzystości oraz mechanizmom egzekwowania zgodności. To przesunięcie nie oznacza rezygnacji z klasycznych instrumentów, lecz ich podporządkowanie logice gospodarki opartej na danych, w której widoczność algorytmiczna i zgodność regulacyjna stają się nowymi warunkami dostępu do rynku (Burri, 2021a; Collins, Geist, 2023; Mattoo, Rocha, Ruta, 2020).

5.4.3. WTO w dobie AI

Architektura Światowej Organizacji Handlu powstawała w epoce handlu „przedcyfrowego”, dlatego w coraz mniejszym stopniu odpowiada na wymogi gospodarki opartej na danych, algorytmach i platformach. Choć GATS reguluje handel usługami, a porozumienie ITA obejmuje wybrane dobra ICT, brakuje spójnych zasad dotyczących przepływów danych, odpowiedzialności algorytmicznej, transakcji w pełni cyfrowych i usług świadczonych automatycznie. Ten deficyt pojęciowy i regulacyjny jest dobrze opisany w literaturze i powraca w sporach interpretacyjnych prowadzonych na forum WTO (Burri, 2015; Burri, 2021b).

Najbardziej widoczna jest niewydolność klasyfikacyjna GATS. Zobowiązania członkowskie oparto na dawnych schematach CPC (Central Product Classification) i czterech trybach świadczenia, które nie rozróżniają współczesnych modeli usług cyfrowych. Chmura, streaming, pośrednictwo platformowe czy usługi oparte na uczeniu maszynowym nie mieszczą się w prostych rubrykach „telekomunikacja” czy „usługi informatyczne”, a rozstrzygnięcie, czy dany produkt jest „dobrem cyfrowym” czy „usługą”, bywa kluczowe dla zakresu obowiązków państw. W praktyce panele i arbitrzy sięgają po analogie do kategorii sprzed dwóch dekad, co zwiększa niepewność regulacyjną oraz zachęca rządy i firmy do sporów o właściwą kwalifikację i tryb dostawy, a w konsekwencji do „forum shopping” poza WTO (Weber, 2012; Burri, 2015; Collins, Geist, 2023).

Doraźnym bezpiecznikiem pozostaje moratorium z 1998 roku na cła od elektronicznych transmisji. Jego okresowe odnawianie nie rozwiązuje jednak meritum: brak zgody co do zakresu pojęcia transmisji (w tym relacji między nośnikiem a treścią cyfrową) utrzymuje spór fiskalno-rozwojowy między

państwami, a koszty ewentualnej fragmentacji byłyby znaczące dla przepływów informacji (Burri, 2015; Wunsch-Vincent, 2020). Spór ma wymiar fiskalny i rozwojowy: część krajów rozwijających się postrzega moratorium jako ograniczenie przestrzeni dochodowej i przemysłowej w obszarach cyfrowych, podczas gdy zwolennicy podkreślają koszty fragmentacji i ryzyko powstania barier utrudniających przepływ informacji (Burri, 2015; Wunsch-Vincent, 2020).

Próby aktualizacji reguł handlu cyfrowego toczą się dziś przede wszystkim w ramach Joint Statement Initiative on E-Commerce – plurilateralnego procesu w WTO, prowadzonego przez grupę chętnych państw, poza głównym torem negocjacyjnym wymagającym konsensu wszystkich członków. Zakres rozmów – od swobody przepływu danych i lokalizacji zasobów, przez dostęp do kodu źródłowego, po uznawalność e-podpisów i paperless trading – potwierdza zbieżność agendy handlowej z polityką danych i bezpieczeństwa cyfrowego (Elsig, Klotz, 2021; Wunsch-Vincent, 2020; Burri, 2021b). Równolegle na poziomie wielostronnym przedłużono moratorium na cła od transmisji elektronicznych do MC14/31 marca 2026 roku, co pokazuje, że filar WTO trwa, ale ciężar regulacyjny przesuwają się ku formatom plurilateralnym.

W dobie AI napięcia narastają, bo przedmiotem obrotu stają się nie tylko usługi, lecz także zbiory treningowe, modele i interfejsy. WTO nie dysponuje dziś jasnymi regułami w sprawach przejrzystości modeli stosowanych w handlu transgranicznym, odpowiedzialności za decyzje automatyczne czy transgranicznego testowania i audytu systemów AI. Bez uzgodnienia nowych definicji i zasad – obejmujących przepływy danych, interoperacyjność i podstawowe gwarancje zaufania – system pozostanie reaktywny, a ciężar kształtowania ładu przesunie się w stronę porozumień regionalnych, co omawiam w kolejnym podrozdziale (Burri, 2023; Collins, Geist, 2023).

5.4.4. Regionalne porozumienia jako inkubatory nowego ładu

Choć Światowa Organizacja Handlu nie wypracowała dotąd spójnych i wiążących reguł w zakresie handlu cyfrowego, to jej struktura instytucjonalna odgrywa istotną rolę jako przestrzeń epistemiczna – forum, w którym państwa członkowskie nabywają wiedzę, formułują stanowiska i testują język negocjacyjny, który następnie przenoszą do porozumień bilateralnych i regionalnych. Analiza 347 PTAs wskazuje, że aktywność państw w programie prac WTO nad e-commerce oraz uczestnictwo w ITA korelują z większą głębiokością zobowiązań cyfrowych w umowach preferencyjnych, co autorzy interpretują jako spillover instytucjonalny z forów WTO do RTAs (Elsig, Klotz, 2021). Równocześnie doświadczenia wczesnych adopcji państw – takich jak Australia i Singapur – sugerują, że dyfuzja przebiega dwukierunkowo: państwa o procyfrowym profilu regulacyjnym są zarazem aktywne w Genewie i w negocjacjach RTAs, co wzmacnia efekt sprzężenia zwrotnego.

Z tej perspektywy WTO, mimo impasu negocjacyjnego, pełni funkcję inkubatora regulacji: choć nie produkuje wiążącego prawa, to umożliwia konwergencję stanowisk, która następnie materializuje się w umowach regionalnych i bilateralnych. Przykładem może być wspieranie zasad technologicznej neutralności, swobody transferu danych czy ugruntowanie roli standaryzacji jako warunku dostępu do rynku. Jak pokazują dane empiryczne, Stany Zjednoczone konsekwentnie wykorzystują swoje porozumienia handlowe do promowania modelu liberalnego – obejmującego zakaz lokalizacji danych, zakaz ujawniania kodu źródłowego oraz ochronę wolnego przepływu informacji. Unia Europejska stosuje podejście oparte na harmonizacji przez zgodność, promując zgodność regulacyjną z RODO i wprowadzając klauzule odwołujące się do ochrony danych osobowych jako warunku wymiany (Elsig, Klotz, 2021).

Najbardziej zaawansowane regulacyjnie rozwiązania pojawiły się jak dotąd w ramach trzech umów: CPTPP, USMCA i DEPA. Kompleksowe i Progresywne Porozumienie dla Partnerstwa Transpacyficznego (CPTPP) było pierwszym wielostronnym porozumieniem, które wprowadziło wiążące zasady dotyczące przepływu danych. Wprowadzono co do zasady zakaz obowiązkowej lokalizacji danych (art. 14.13), zakaz wymagania ujawnienia kodu źródłowego oprogramowania (art. 14.17) oraz obowiązek umożliwienia transgranicznego przepływu danych (art. 14.11), z zastrzeżeniem wyjątków dla uzasadnionych celów polityki publicznej. Warto podkreślić, że formuła ta wyznacza nowy standard równoważenia interesów gospodarczych i regulacyjnych, który staje się odniesieniem dla kolejnych porozumień.

Porozumienie USMCA (United States-Mexico-Canada Agreement) rozwija zapisy CPTPP, uzupełniając je o odniesienia do międzynarodowych ram ochrony prywatności (np. APEC CBPR, zalecenia OECD) oraz wprowadzając obowiązki dotyczące interoperacyjności systemów ochrony danych i uznawania zgodności regulacyjnej. Jak zauważa Burri (2021), USMCA stanowi próbę pogodzenia dwóch konkurujących logik regulacyjnych – amerykańskiej liberalizacji i europejskiego modelu ochrony danych – poprzez zastosowanie elastycznych mechanizmów równoważenia (Burri, 2021a).

Najbardziej kompleksowym i innowacyjnym podejściem charakteryzuje się natomiast DEPA (Digital Economy Partnership Agreement), zawarte między Singapurem, Chile i Nową Zelandią. Porozumienie to obejmuje nie tylko przepisy dotyczące przepływu danych i uznawalności podpisów elektronicznych, ale także kluczowe kwestie przyszłościowe, takie jak zaufanie do usług cyfrowych, interoperacyjność przepisów, uznawalność tożsamości cyfrowej oraz zarządzanie sztuczną inteligencją. DEPA może być interpretowane jako prototyp przyszłych umów regulujących cyfrową architekturę globalizacji – nie ogranicza się bowiem do liberalizacji, lecz kształtuje podstawy instytucjonalne dla zaufania, bezpieczeństwa i zrównoważonego wykorzystania technologii (Burri, 2021b).

Zarysowane rozwiązania wskazują, że kierunek ewolucji polityki handlowej w erze danych i sztucznej inteligencji będzie opierał się na porozumieniach regionalnych jako głównych forach testowania i wdrażania reguł. W obliczu braku konsensusu w WTO to właśnie RTAs i DTAs stają się przestrzenią, w której formułowane są nowe standardy, mające szansę przekształcić się z czasem w zasady o zasięgu globalnym.

5.4.5. Nowa ontologia umów handlowych

Wraz z upowszechnieniem DAP zmienia się sama istota porozumień handlowych. Coraz rzadziej są one wyłącznie instrumentem liberalizacji i znoszenia barier, a coraz częściej stają się ramą współzarządzania infrastrukturą danych, kodem i interfejsami, które warunkują udział w wymianie międzynarodowej. Umowy regionalne i cyfrowe – od CPTPP i USMCA po DEPA – redefiniują dostęp do rynku jako funkcję zgodności z regułami obiegu informacji, bezpieczeństwa cyfrowego i odpowiedzialności algorytmicznej, a nie tylko jako wynik obniżek ceł czy kwot (Burri, 2021b; Burri, 2023).

Nowa ontologia opiera się na dwóch splecionych warstwach regulacyjnych. Pierwsza – infrastrukturalna – obejmuje zasady transgranicznego przepływu danych, ograniczenia lokalizacyjne, uznawalność podpisów elektronicznych i tożsamości cyfrowej, cyfrowe ułatwienia handlu oraz minimalne standardy cyberbezpieczeństwa. Druga – algorytmiczna – dotyczy dostępu do kodu źródłowego, przejrzystości oraz audytowalności systemów AI, a także odpowiedzialności za decyzje podejmowane automatycznie. W wielu porozumieniach przyjmuje to formułę „domyślnej swobody przepływu z wyjątkiem” – przepływy danych są co do zasady dozwolone, o ile ograniczenia dają się uzasadnić ochroną porządku publicznego, bezpieczeństwa lub prywatności i są proporcjonalne do celu (Słok-Wódkowska, Mazur, 2020).

W konsekwencji rośnie znaczenie precyzyjnych zapisów o „technologicznej neutralności”, „niewymaganiu ujawnienia kodu źródłowego” oraz „uznawaniu równoważności” rozwiązań w zakresie ochrony danych i identyfikacji elektronicznej. To nie są już zapisy akcesoryjne: decydują o możliwości świadczenia usług chmurowych, korzystania z narzędzi analitycznych i zasilania modeli AI danymi napływającymi z wielu jurysdykcji, a więc o realnej zdolności firm do uczestnictwa w międzynarodowych łańcuchach wartości opartych na danych (Mattoo, Rocha, Ruta, 2020; Burri, 2021b).

Z perspektywy konstrukcji normatywnej rdzeniem współczesnych porozumień stają się DTA (*digital trade provisions*). Obejmują one – w różnych konfiguracjach – przepływy danych i lokalizację, prawa konsumenta oraz prywatność, cyfrowe ułatwienia handlowe (e-fakturowanie, cyfrowe procedury celne, elektroniczne certyfikaty), ochronę własności intelektualnej w środowisku sieciowym i harmonizację standardów technicznych. Ich funkcja jest

podwójna: z jednej strony redukują ryzyko regulacyjne i koszty transakcyjne w handlu cyfrowym, z drugiej – ustanawiają filtr zgodności, który de facto pełni funkcję nowej bariery wejścia i narzędzia projekcji wpływu regulacyjnego (Monteiro, Teh, 2017; Burri, Polanco, 2020; Peters, 2022).

Zmienia się także geografia głębi regulacyjnej. „Głębokie” porozumienia, zdolne do integracji regulacyjnej, są domeną państw o rozwiniętych ekosystemach cyfrowych, które posiadają instytucje zdolne do wdrażania złożonych reżimów zgodności. Kraje rozwijające się częściej zawierają umowy płytsze, z zapisami bardziej ogólnymi, co ogranicza ich zdolność do korzystania z efektów skali w danych i z interoperacyjności usług transgranicznych (Mattoo, Rocha, Ruta, 2020). W praktyce powstają cyfrowe bloki handlowe, w których „walutą” dostępu staje się zgodność z danym reżimem – od unijnego modelu ochrony danych po mechanizmy typu APEC CBPR – a nie preferencyjna stawka celna (Burri, 2023).

Z punktu widzenia firm ta reorientacja oznacza przesunięcie kosztów z cła na zgodność. Dostęp do rynku zależy od zdolności do spełnienia wymogów dotyczących ochrony danych, przechowywania i transferu informacji, audytu algorytmów, cyberbezpieczeństwa czy uznawalności tożsamości cyfrowej. Dla przedsiębiorstw z gospodarek wschodzących i MŚP rośnie znaczenie usług *compliance-as-a-service* oraz rola platform, które „opakowują” zgodność regulacyjną jako element wejścia na rynki zagraniczne. Zwiększa się zarazem ryzyko fragmentacji – firmy ponoszą koszty utrzymywania równoległych konfiguracji zgodności w odmiennych reżimach (Collins, Geist, 2023).

Nowa ontologia umów przedstawia także wektor sporów handlowych: z konfliktów o stawki i kontyngenty ku sporom o legalność obowiązków lokalizacyjnych, zakres wyjątków bezpieczeństwa, status danych jako „obiektu” zobowiązań handlowych czy dopuszczalność wymogów dotyczących algorytmów. Przy braku rozstrzygnięć wielostronnych to mechanizmy sporów w RTAs/DTAs stają się poligonem interpretacyjnym dla przyszłego ładu cyfrowego, choć literatura podkreśla, że wciąż brakuje systematycznych ocen skutków tych klauzul dla sektorów ICT i produktywności (Peters, 2022; Burri, Polanco, 2020).

W sumie porozumienia handlowe nowej generacji pełnią funkcję konstytucji gospodarki cyfrowej: łączą liberalizację z harmonizacją, a warunki dostępu do rynku z warunkami dostępu do infrastruktury informacyjnej. Rywalizacja między państwami toczy się coraz mniej o cła, a coraz bardziej o definicje zaufania, granice suwerenności cyfrowej i interpretacje klauzul wyjątków, które przesądzą o tym, jak będzie wyglądała przyszła architektura transgranicznych przepływów danych i usług opartych na AI (Burri, 2021a; Burri, 2023; Mattoo, Rocha, Ruta, 2020).

5.4.6. Dane, algorytmy i platformy nowym obszarem sporów handlowych

Cyfrowy rdzeń współczesnego handlu przesuwając oś sporów z ceł i kwot na reguły dostępu do danych, transparentności algorytmicznej i pozycji wobec platform. Zmienia się sama materia konfliktu: o ile w erze handlu towarowego spór dotyczył stawki i reguł pochodzenia, o tyle w erze DAP staje się nim pytanie, kto i na jakich zasadach może zbierać, przetwarzać oraz wykorzystywać informację, a także jakie obowiązki wobec partnerów handlowych mają podmioty kontrolujące interfejsy rynkowe. Skupienie władzy ekonomicznej węzłów platformowych wynika z rosnących efektów skali i zakresu danych oraz uczenia maszynowego, które kumulują przewagę u nielicznych graczy i podnoszą próg wejścia dla nowych dostawców usług transgranicznych. W praktyce spór o handel coraz częściej jest sporem o architekturę dostępu do zasobów niejawnych: zbiorów treningowych, sygnałów behawioralnych czy metryk rankingowych, bez których nie sposób uzyskać widoczności na rynku (Goldfarb, Trefler, 2019; Collins, Geist, 2023).

Konsekwencją są napięcia klasyfikacyjne i jurysdykcyjne, które w tradycyjnych ramach WTO nie znajdują jednoznacznego rozstrzygnięcia. Strumieniowanie treści, chmura, pośrednictwo platformowe i usługi SaaS wymykają się prostemu podziałowi na towary i usługi oraz na tryby dostarczania znane z GATS. Nie jest to wyłącznie spór terminologiczny, ponieważ od przyjętej kwalifikacji zależą obowiązki liberalizacyjne, zakres dopuszczalnych wyłączeń regulacyjnych oraz wzorzec egzekwowania zasad niedyskryminacji. Właśnie dlatego państwa przenoszą część sporów do porozumień regionalnych i cyfrowych, w których doprecyzowują, jak rozumieć przepływy danych, jak chronić kod źródłowy i modele, a kiedy względy polityki publicznej uzasadniają ograniczenia transgranicznych transferów informacji (Burri, 2021a; Collins, Geist, 2023).

Nowy wymiar przybierają spory o lokalizację danych i obowiązki udostępniania. Z perspektywy handlu transgranicznego wymogi przetwarzania danych wyłącznie na terytorium państwa mogą działać jak pozataryfowe bariery dostępu do rynku, ale równocześnie są uzasadniane ochroną prywatności, bezpieczeństwem czy nadzorem finansowym. W odpowiedzi w umowach nowej generacji pojawia się zasada swobody przepływu danych z klauzulami ochrony polityki publicznej, a także zakazy obowiązkowej lokalizacji i ujawniania kodu źródłowego, które mają ograniczać praktyki protekcyjnistyczne i przymus technologiczny. Skuteczność tych zapisów zależy jednak od ich implementacji w prawie krajowym oraz od realnych mechanizmów zgodności i audytu między jurysdykcjami, co czyni z DTPs nie tylko narzędzia liberalizacji, lecz także instrumenty budowy zaufania i interoperacyjności instytucjonalnej (USMCA, CPTPP, DEPA; Burri, 2021a; Monteiro, Teh, 2017; Peters, 2022).

Coraz częściej na agendę trafiają też spory o „widoczność” i neutralność interfejsów. Algorytmy rekomendacji i rankingi wyszukiwania mogą

faworyzować własne usługi platform lub partnerów strategicznych, co w ujęciu handlowym przekłada się na ograniczenie efektywnego dostępu do rynku dla zagranicznych dostawców. W tej sferze granice między prawem konkurencji, ochroną konsumenta i zobowiązaniami handlowymi ulegają zatarciu. Z perspektywy polityki handlowej rodzi to potrzebę ustanowienia wspólnych standardów przejrzystości modeli, audytowalności i zasad odpowiedzialności za decyzje podejmowane automatycznie, zwłaszcza gdy wpływają one na transgraniczne warunki konkurencji (Collins, Geist, 2023; Burri, 2022).

W tle sporów o dane i interfejsy narasta napięcie dotyczące praw własności intelektualnej w ekosystemie AI. Trening modeli na zbiorach danych pozyskanych w różnych jurysdykcjach, często z odmiennym reżimem wyjątków i ograniczeń w prawie autorskim, prowadzi do pytań o legalność pozyskania danych, zakres dozwolonego użytku na potrzeby analizy oraz odpowiedzialność za generowane treści. Wymaga to precyzowania w umowach handlowych kwestii relacji między swobodą obrotu informacją a ochroną posiadaczy praw, a także ustanowienia reguł przejrzystości dotyczących pochodzenia materiałów treningowych i możliwości ich audytu przez organy właściwe w państwach importera i eksportera usługi cyfrowej (Zekos, 2021).

Kolejny obszar sporów dotyczy bezpieczeństwa i zgodności. Przepisy o cyberbezpieczeństwie, certyfikacji oprogramowania, tożsamości cyfrowej czy podpisach elektronicznych pełnią funkcję niezbędnej „miękkiej infrastruktury” handlu cyfrowego, ale ich różnorodność wprowadza koszty zgodności i ryzyko fragmentacji. Kiedy wymogi techniczne stają się selektywne lub nadmiernie uciążliwe, mogą pełnić funkcję barier ukrytych. Stąd nacisk w nowych umowach na uznawalność standardów, interoperacyjność procedur i współdzielone ramy oceny zgodności, które mają ograniczyć arbitralność wymogów, zachowując jednocześnie legitymowane cele regulacyjne państw.

Wreszcie, spory o dane i algorytmy mają wymiar geopolityczny. Rywalizacja technologiczna i kontrole eksportu technologii kluczowych dla uczenia maszynowego nakładają się na agendę handlową i tworzą odrębne, częściowo niekompatybilne strefy wymiany. Powstają bloki zaufanego przepływu danych, w których łatwiej o zgodność regulacyjną i bezpieczeństwo, lecz trudniej o inkluzywność globalnych łańcuchów wartości. Dla krajów wschodzących oznacza to konieczność rozwijania kompetencji instytucjonalnych w obszarze nadzoru nad danymi, zgodności algorytmicznej i bezpieczeństwa sieci, to bowiem pozwoli im uczestniczyć w nowych sieciach wartości, a nie tylko świadczyć peryferyjne usługi niskiej wartości dodanej (Collins, Geist, 2023).

Podsumowując, dane, algorytmy i platformy przeniosły spory handlowe na poziom reguł rządzących cyfrową infrastrukturą globalizacji. Ich rozstrzyganie wymaga hybrydowego podejścia łączącego logikę liberalizacji z logiką regulacji: jasnych zasad przepływu danych i ochrony prywatności, standardów przejrzystości i audytowalności modeli, uznawalności rozwiązań identyfikacyjnych i certyfikacyjnych oraz mechanizmów współpracy egzekucyjnej.

Bez tak rozumianych zabezpieczeń Handel międzynarodowy 4.0 pozostanie polem rosnącej niepewności regulacyjnej, a przewagi komparatywne będą w jeszcze większym stopniu determinowane przez kontrolę nad ekosystemami danych i interfejsami platformowymi, a nie przez tradycyjne czynniki kosztowe (Goldfarb, Trefler, 2019; Zekos, 2021; Burri, 2021a; Collins, Geist, 2023).

5.5. Podsumowanie

W tym rozdziale pokazałam, że globalizacja cyfrowa nie stanowi dodatku do tradycyjnego handlu, lecz tworzy jego nową infrastrukturę – opartą na procesach DAP. Triada datafikacji, algorytmizacji i platformizacji zmienia sposób tworzenia i podziału wartości, ponieważ między krajami i firmami przepływają dziś nie tylko towary i kapitał, lecz przede wszystkim strumienie informacji, reguły ich przetwarzania oraz instytucje koordynujące współpracę. Zyskują ci, którzy potrafią łączyć zasoby informacyjne z kompetencjami algorytmicznymi i umiejętnością zarządzania interfejsami platformowymi; tracą natomiast ci, którzy pozostają wykonawcami wąskich zadań, pozbawieni dostępu do danych i standardów. Oznacza to, że przewagi komparatywne mają coraz częściej charakter informacyjny i instytucjonalny, a nie wyłącznie kosztowy.

Z tej perspektywy globalizacja cyfrowa układa się w kolejne fale: od cyfryzacji infrastruktury komunikacyjnej i obniżenia kosztów koordynacji, przez platformizację jako dominujący mechanizm organizacji wymiany, aż po etap przyspieszonej automatyzacji i telemigracji usług, w którym przepływy danych stają się głównym nośnikiem integracji gospodarczej. Ta ewolucja sprawia, że handel międzynarodowy coraz rzadziej przypomina linearny łańcuch kontraktów, a coraz częściej – ekosystem reguł, interfejsów API i metadanych, który spaja rozproszone moduły produkcji i usług w całość.

Konsekwencją jest pojawienie się nowych domen wymiany. Serwityzacja produktów i handel cyfrowy – definiowany przez sposób zamówienia i dostarczenia (*digitally ordered, digitally delivered*) – przesuwają punkt ciężkości z fizycznej dostawy na zdolność do utrzymania relacji posprzedażowych, ciągłych aktualizacji oprogramowania i zdalnego świadczenia usług. Pomiar tych przepływów przenosi akcent na warstwę instytucjonalną: interoperacyjność dokumentów, e-fakturowanie, e-customs oraz reguły transgranicznego transferu danych stają się faktycznymi barierami lub katalizatorami wzrostu.

Równocześnie DAP redefiniuje agendę polityki handlowej. Spory przesuwają się z cel i kontyngentów na reguły dostępu do danych, przejrzystości algorytmicznej i pozycji wobec platform. W tradycyjnych ramach WTO brakuje dziś jednoznacznych rozstrzygnięć dla usług chmurowych, pośrednictwa platformowego czy rozwiązań SaaS; dlatego ciężar tworzenia ładu przenosi się do porozumień regionalnych i cyfrowych, które łączą liberalizację dostępu do

rynku z zasadami interoperacyjności, ochrony prywatności i bezpieczeństwa. Coraz wyraźniej widać też napięcia wokół moratorium na cła od transmisji elektronicznych i wokół zasad lokalizacji danych, co potwierdza, że polityka handlowa zlewa się dziś z polityką danych i bezpieczeństwa cyfrowego. W tle tych procesów ujawniają się nie tylko klasyczne różnice rozwojowe, lecz także złożone podziały cyfrowe.

W kolejnym rozdziale wprowadzam i operacjonalizuję pojęcie dystansu cyfrowego – rozumianego jako relacyjna bariera współpracy wynikająca z różnic w infrastrukturze, kompetencjach organizacyjnych i ładzie regulacyjnym – oraz badam jego wpływ na wymianę handlową, wykorzystując model grawitacyjny. Interesuje mnie, czy i w jakim stopniu ten dystans, a także przynależność krajów do grup o zbliżonym profilu DAP wpływają na to, kto, z kim i na jakich zasadach handluje oraz gdzie w globalnych sieciach powstaje marża. To propozycja ramy analitycznej, która łączy wątki technologiczne, organizacyjne i regulacyjne, a zarazem umożliwia przejście od opisu mechanizmów do ich empirycznej weryfikacji.

6. Dystans cyfrowy jako nowa bariera w handlu międzynarodowym

6.1. Wprowadzenie

W tym rozdziale pokazuję, że we współczesnym handlu „odległość” mierzy się nie tylko w kilometrach, lecz także w kompatybilności cyfrowej. Dane, algorytmy i platformy (DAP) stanowią dziś infrastrukturę współpracy ponad granicami; nawet niewielkie asymetrie cyfrowe potrafią stać się realną barierą, podnosząc koszty interoperacyjności, zwiększając ryzyko koordynacyjne i spowalniając integrację łańcuchów wartości. Liczy się nie tyle sam poziom ucyfrowienia państw, ile relacyjne niedopasowania w gotowości cyfrowej i dostępie do infrastruktury cyfrowej między partnerami handlowymi.

Celem rozdziału jest osadzenie pojęcia dystansu cyfrowego w ramie modelu grawitacyjnego oraz empiryczna weryfikacja jego znaczenia dla wymiany międzynarodowej w segmentach najbardziej wrażliwych na DAP: w towarach zaawansowanych technologicznie oraz w usługach. Przyjmuję ujęcie dwuwarstwowe. Pierwsza warstwa ma charakter infrastrukturalny i odnosi się do rdzeniowej łączności i bezpieczeństwa sieci (zasięg/jakość łączy, rzeczywiste korzystanie z internetu, dostęp do bezpiecznych węzłów). Druga warstwa – gotowości cyfrowej – odzwierciedla zdolności organizacyjno-kompetencyjne i instytucjonalne niezbędne do produktywnego wykorzystania technologii (kompetencje, praktyki zarządcze i procesowe, B+R, otoczenie regulacyjne, finansowanie). Obie traktuję jak komponenty kosztów typu „góry lodowej”, które powiększają – bądź redukują – efektywne tarcie w relacji bilateralnej.

Wkład tego rozdziału ma charakter dwojaki. Po pierwsze, definiuję i mierzę dystans cyfrowy w sposób relacyjny – nie przez porównanie absolutnych poziomów rozwoju, lecz przez różnice między partnerami handlowymi, z rocznym opóźnieniem odzwierciedlającym inercję wdrożeń. Po drugie, włączam te miary do strukturalnego modelu grawitacyjnego i estymuję go metodą PPML (*Poisson Pseudo-Maximum Likelihood*) z pełnymi wielostronnymi oporami handlu (MRT), oddzielnie dla towarów i usług, a także z podziałem na trzy grupy państw: liderów, adaptujących i wykluczonych. Takie ujęcie pozwala

uchwycić zarówno efekt globalny, jak i zróżnicowanie reakcji w zależności od pozycji cyfrowej poszczególnych gospodarek.

Formułuję trzy tezy badawcze. Po pierwsze, dystans gotowości cyfrowej działa jak „twarde” tarcie i konsekwentnie obniża intensywność handlu, szczególnie w usługach; nie daje korzyści z różnorodności – im większe niedopasowanie cyfrowe, tym słabsza wymiana. Po drugie, dystans infrastruktury ma charakter nieliniowy: przy niewielkich różnicach może sprzyjać wymianie (komplementarność i specjalizacja), lecz po przekroczeniu progu kompatybilności asymetrii szybko podnoszą koszty i hamują handel – zwłaszcza w usługach. Po trzecie, wrażliwość na dystanse cyfrowe jest zróżnicowana między grupami państw i pokazuje znaczenie podziałów cyfrowych: u cyfrowych liderów kluczową barierą staje się gotowość partnera; u adaptujących najsilniejszy efekt ujawnia się w usługach; u wykluczonych nieliniowość infrastruktury najczęściej prowadzi do „rozłączenia” rynków przy dużych lukach.

W dalszej części rozdziału porządkuję definicje i konstrukcję miar, przedstawiam strategię identyfikacji i estymacji zgodną z dobrą praktyką strukturalnych modeli grawitacyjnych, a następnie prezentuję wyniki i ich interpretację – najpierw dla całej próby, potem w przekrojach grup ucyfrowienia. Pokazuję, że cyfrowe niedopasowania – zwłaszcza w wymiarze gotowości – stały się jedną z najbardziej uporczywych, choć ukrytych barier handlu. Konsekwencją jest przesunięcie akcentu z pytania: „ile mamy kabli i serwerów?” na pytanie: „czy potrafimy na ich podstawie zorganizować procesy oparte na DAP?”. Taki punkt widzenia spina rozdział z przyjętą w książce ramą DAP i przygotowuje grunt pod dalszą analizę kierunków i struktury wymiany w świecie cyfrowych podziałów.

6.2. Potrzeba rozwoju podejść teoretycznych

Kiedy próbuję opisać współczesny handel, widzę mapę narysowaną dla innego terenu. Zmienił się krajobraz i reguły ruchu: dane, algorytmy i platformy stały się infrastrukturą koordynacji ponad granicami. W poprzednich częściach książki uporządkowałam te procesy w triadzie DAP, którą traktuję jako kompas do czytania nowej gospodarki. Tu wracam do tej ramy, bo to ona najlepiej wyjaśnia, skąd biorą się nowe przewagi i gdzie pojawiają się wąskie gardła wymiany.

Procesy DAP zmieniają parametry startowe klasycznych modeli. Spadają koszty wyszukiwania informacji i ich przetwarzania, skraca się czas koordynacji, narastają efekty sieciowe, a dane zachowują się jak szczególny, nie-rywalizacyjny czynnik produkcji. Platformy stają się infrastrukturą rynku, standardy i interoperacyjność – instrumentami przewagi, a „bariery handlu” coraz częściej leżą „za granicą celną”: w regułach obiegu danych, zgodności regulacyjnej

i bezpieczeństwie cyfrowym. To wszystko przekłada się na logikę skalowania, strukturę kosztów, mechanizmy wejścia i – w konsekwencji – na mapę światowego handlu.

Nie proponuję unieważnienia dorobku teorii, lecz jego rozszerzenie. Klasyczna rama – przewagi komparatywne, różnorodność, korzyści skali i selekcja firm – pozostaje fundamentem. Potrzebujemy jednak „mapy o wyższej rozdzielczości”, w której obok geograficznego dystansu pojawia się odległość cyfrowa. W praktyce oznacza to jawne traktowanie kosztów informacyjnych, integracyjnych i regulacyjnych jako składowych kosztów handlu, które mogą działać jak dodatkowe tarcia w modelach grawitacyjnych i podnosić próg produktywności eksporterów w ujęciach firm heterogenicznych.

W dalszej części rozdziału porządkuję to przesunięcie krok po kroku. Na początku przypominam podstawy modeli grawitacyjnych i rolę wielostronnych oporów handlu, które implementuję poprzez odpowiednie efekty stałe. W kolejnym etapie przechodzę „od dystansu geograficznego do cyfrowego”, pokazując, że w epoce DAP to nie kilometr, lecz kompatybilność systemów, formatów i reguł w coraz większym stopniu decyduje o realnym dostępie do rynków. Na koniec rozbijam nową barierę na warstwy: infrastrukturę transmisji i przetwarzania danych, gotowość systemową po stronie organizacji i kompetencji, a także otoczenie regulacyjne. Każdą z nich da się opisać mierzalnymi wskaźnikami i włączyć do modelu bez utraty spójności z mikropodstawami.

W ostatnim podrozdziale przechodzę do operacjonalizacji: wprowadzam do równania grawitacyjnego dwie komplementarne, jawnie bilateralne miary – dystans infrastruktury cyfrowej i dystans gotowości cyfrowej – a także pokazuje, jak osadzam je w estymacji metodą PPML z pełną kontrolą wielostronnych oporów handlu. Dzięki temu dalej będę mogła weryfikować proste, ale ważne twierdzenie: że „odległość” w gospodarce danych mierzy się przede wszystkim kompatybilnością cyfrową, a jej brak jest nową, systemową barierą w handlu.

6.2.1. Klasyczne teorie handlu a technologia

Technologia była w teorii handlu od zawsze, choć długo wchodziła do modeli tylnymi drzwiami. W intuicji ricardiańskiej różnice technologiczne objawiają się jako różnice produktywności i to one tworzą przewagi komparatywne. W ujęciu Heckscher–Ohlin zakłada się wspólny, jednorodny zbiór technik produkcji, a kierunek wymiany wyznaczają proporcje czynników. Dopiero nowa teoria handlu dowartościowała zróżnicowanie produktów i korzyści skali, ale technologia nadal pełniła głównie funkcję parametru przesuwającego koszty krańcowe lub kształtującego popyt na różnorodność (Zhang, 2008).

Jednocześnie uporządkowano warsztat empiryczny. Równanie grawitacyjne przestało być prawem stylizowanym, bo otrzymało mikrofundamenty w preferencjach CES i różnicowaniu Armingtona, a następnie włączono

wielostronne opory handlu, które endogenizują położenie kraju w sieci cen i kosztów świata. W tej tradycji bariery opisuje się jako koszty typu *iceberg* (koszty ukryte), oraz jako stałe koszty wejścia na rynek zagraniczny. Taki zapis stał się standardem zarówno w modelach grawitacyjnych, jak i w kalibracjach modeli równowagi ogólnej (Anderson, 1979; Anderson, van Wincoop, 2003).

Przełom nowej teorii to zejście do poziomu firm i uczynienie heterogeniczności cechą pierwszego rzędu. W podejściu Melitza istnieje rozkład produktywności, są koszty wejścia do sektora oraz stałe koszty rozpoczęcia sprzedaży za granicą. Przy dodatnich kosztach typu *iceberg* (koszty ukryte) eksport utrzymują jedynie firmy powyżej progu produktywności. Otwarcie handlu przesuwając próg przetrwania, wywołuje selekcję i realokację udziałów rynkowych ku bardziej wydajnym podmiotom, co podnosi produktywność zagregowaną. Na podstawie literatury możemy wskazać trzy komplementarne źródła zysków z handlu: różnorodność, lepszą alokację i innowacje wyzwalane przez większy rynek (Baldwin, 2005; Melitz, Trefler, 2012).

Istotnym uzupełnieniem tej logiki jest powiązanie selekcji firm z prokonkurencyjnym kanałem na rynku produktu. W modelu Melitza i Ottavianiego marże stają się endogenne dzięki liniowemu systemowi popytu. Intensywność konkurencji zależy od liczby rywali, ich przeciętnej produktywności oraz rozmiaru i dostępności rynku. Wynika z tego mechanizm, w którym większe i lepiej zintegrowane rynki mają niższe marże, wyższą przeciętną produktywność i więcej odmian, a koszty handlu nie znoszą całkowicie istniejących barier. W efekcie różnice w wielkości rynków i ich dostępności przekładają się na trwałe różnice w marżach i cenach. Ujęcie zachowuje przejrzystość analityczną także w układzie wielokrajowym z asymetrycznymi kosztami handlu, co czyni je wygodną ramą do analiz polityk integracyjnych (Melitz, Ottaviano, 2008).

W tym kanonie koszty *iceberg* nie są wyłącznie przybliżeniem dla transportu fizycznego, lecz ogólnym klinem kosztowym obejmującym wszelkie tarcia proporcjonalne do strumienia wymiany. W modelach firm heterogenicznych działają jak mnożnik kosztu obsługi rynku zagranicznego i bezpośrednio podnoszą próg produktywności eksporterów; w ujęciach z liniowym popytem wzmocniają prokonkurencyjny spadek marż. Współczesne prace o sieciach produkcyjnych pokazują, że koszty *iceberg* propagują się wzdłuż łańcuchów dostaw, a ich znaczenie rośnie wraz z udziałem dóbr pośrednich i komplementarnością, co ma pierwszorzędne konsekwencje dobrobytowe (Baldwin, 2005; Baqaee, 2024).

Równolegle rozwija się spojrzenie na frykcje handlowe jako zjawiska informacyjne i sieciowe. Wejście firmy na nowy rynek zależy nie tylko od produktywności i kosztów, lecz także od pozycji w sieci kontaktów oraz od możliwości korzystania z pośredników i rekomendacji. Taki mechanizm pomaga wyjaśnić trwałość roli dystansu w grawitacji i rozkład wejść w przekroju firm, a jednocześnie stanowi naturalny pomost do analizy barier niematerialnych

i koordynacyjnych, które w klasycznym warsztacie ujmujemy jako komponenty kosztów ukrytych i stałych kosztów wejścia (Chaney, 2014).

Syntetycznie ujmując, technologia w tym kanonie występuje w trzech rolach. Po pierwsze, jako źródło różnic produktywności i tym samym przewagi komparatywnej, co wyznacza wzorce wymiany. Po drugie, jako mechanizm różnicowania produktów i korzyści skali, który uruchamia zyski z różnorodności oraz pozwala modelować wymianę wewnątrzgałęziową. Po trzecie, jako zestaw parametrów tarcia, które w modelach grawitacyjnych i modelach firm heterogenicznych zapisują jako koszty *iceberg* i stałe koszty wejścia. Ta rama jest spójna teoretycznie i empirycznie, ale pozostawia czarną skrzynkę w obszarze natury samych frykcji. W praktyce ich treścią bywa nie tylko odległość, cła i środki pozataryfowe, lecz także zgodność standardów, formatów danych i reguł gry. W dalszej części rozdziału wypełniam tę lukę, pokazując, jak włączyć asymetrie cyfrowe do mechaniki selekcji bez utraty zalet dotychczasowego aparatu (Melitz, Trefler, 2012; Melitz, Ottaviano, 2008; Anderson, van Wincoop, 2003).

6.2.2. Cyfryzacja jako wyzwanie dla teorii handlu

Cyfryzacja obnaża ograniczenia dotychczasowych ram, w których technologię traktowano jako bezpostaciowy parametr produktywności albo jako składnik kosztów handlu w postaci kosztów *iceberg* i stałych kosztów wejścia. W praktyce gospodarki cyfrowej decydują nie tylko moce obliczeniowe i łącza, lecz także instytucje i reguły obiegu danych, standardy interoperacyjności, formaty interfejsów oraz zasady dostępu do zasobów informacyjnych. Ten porządek, opisywany w monografii skrótem DAP, przesądza o tym, które podmioty są w stanie skutecznie włączyć się w globalne platformy, a kto jedynie konsumuje technologie bez uzyskania przewagi. W literaturze zwraca się uwagę, że regulacje typu *behind the border*, takie jak prywatność, lokalizacja danych, standardy branżowe czy dostęp do kodu, tworzą realne różnice kosztów i zmieniają handel dobrami oraz usługami (Goldfarb, Trefler, 2018). To one wyznaczają skalę działania, tempo uczenia algorytmów i efekty sieciowe, a więc bezpośrednio dotykają mechanizmów przewagi komparatywnej.

W podejściu z heterogenicznymi firmami cyfrowość działa jak selektywny filtr. W modelu Melitz spadkiem kosztów zmiennych podnosi próg produktywności konieczny do utrzymania się na rynku i przesuwają udziały rynkowe w stronę firm bardziej wydajnych. Cyfrowe kompetencje organizacyjne i budowanie przewag w oparciu o procesy DAP można traktować zarówno jako element stałych kosztów wejścia na rynki zagraniczne, jak i jako składnik kosztów *iceberg*, który podnosi próg efektywności eksporterów. Z normatywnego punktu widzenia asymetrie w dostępie do danych, kompetencjach cyfrowych i interoperacyjności są więc specyficzną klasą barier wzmacniających selekcję. Taki odczyt jest zgodny z testowalnymi własnościami modeli firm

heterogenicznych oraz z ujęciami zysków z handlu, w których kluczowa jest selekcja i realokacja między firmami (Baldwin, 2005; Melitz, Trefler, 2012).

Wersja z endogenicznymi marżami pogłębia ten obraz. W modelu Melitza i Ottavianiego rozkład marż i selekcja zależą od wielkości rynku oraz stopnia integracji. W gospodarce cyfrowej siła konkurencji zależy dodatkowo od zdolności do integracji z platformami, szybkości pozyskiwania i przetwarzania danych oraz zgodności ze standardami. Jeśli bariery cyfrowe dzielą rynek na odseparowane segmenty, to wówczas kanał prokonkurencyjny słabnie, a marże utrzymują się powyżej poziomu implikowanego przez sam obrót towarami. Pełna integracja wymaga zatem nie tylko niższych kosztów *iceberg*, lecz także spójnych standardów interoperacyjności i zasad wymiany danych (Melitz, Ottaviano, 2008).

Cyfryzacja wydobywa też wymiar sieciowy handlu. Handel rozwija się przez kontakt i uczenie się na drodze relacji; niższe koszty wyszukiwania kontrahentów rozszerzają zasięg sieci. Platformy cyfrowe ten mechanizm przyspieszają, ale wprowadzają zarazem nowe węzły kontrolne: algorytmiczne reguły dostępu do popytu, rankingi, interfejsy API. Nieprzejrzyste lub niespójne standardy działają jak bariery na granicach sieci i decydują, kto dociera do klienta, a kto pozostaje na peryferiach. Mechanizmy sieciowe oznaczają, że obniżenie tarć wyszukiwania i interoperacyjności przede wszystkim zwiększa liczbę powstających relacji handlowych (margines ekstensywny), a przewagi wypracowane na platformach utrzymują się, bo reputacja i algorytmiczne rankingi kumulują popyt wokół podmiotów już dobrze osadzonych w sieci (Chaney, 2014).

Struktura produkcji i handlu w świecie danych jest wielowarstwowa, dlatego lokalne tarcia mają poważne skutki makroekonomiczne. W modelach sieci produkcyjnych nawet niewielkie kliny kosztowe rozchodzą się wzdłuż łańcuchów wartości i multiplikują straty dobrobytu. Jeżeli bariery cyfrowe mają charakter trwały, np. obowiązek lokalizacji danych, niezgodne standardy lub asymetryczny dostęp do zasobów publicznych, to ich wpływ wykracza poza pojedyncze transakcje i może przesterowywać przepływy międzygałęziowe oraz osłabiać zyski z handlu na poziomie gospodarki (Baqaee, 2024).

Z tego wynikają dwie potrzeby modelowania. Po pierwsze, należy jawnie parametryzować techniczno-organizacyjne zdolności firm do datafikacji i algorytmizacji oraz do integracji z platformami, ponieważ wpływają one na produktywność, decyzje wejścia i selekcję w duchu Melitza. Po drugie, trzeba ująć reżimy danych i standardy jako elementy kosztów handlu, w tym specyficzne koszty ukryte dla strumieni informacyjnych. Takie rozdzielenie pomaga wyjaśnić, dlaczego geograficznie bliskie gospodarki mogą być odległe w sensie cyfrowym oraz dlaczego liberalizacja celna bez harmonizacji reguł danych nie przynosi oczekiwanych korzyści. Prace o międzynarodowych aspektach AI wskazują, że prywatność, lokalizacja i standardy decydują dziś o skali przewagi i mogą działać jak ukryta protekcja, jeśli nie zostaną ujęte w spójne porozumienia (Goldfarb, Trefler, 2018).

Cyfryzacja nie dodaje więc po prostu kolejnego czynnika do klasycznych modeli, lecz wymusza ich rekonstrukcję. Nowa treść przewagi komparatywnej wyrasta z kombinacji skalowalnych danych, kompetencji algorytmicznych i osadzenia w ekosystemach platformowych, a bariery przesuwają się z granicy celnej do warstwy standardów, interoperacyjności i dostępu do zasobów informacyjnych. Na tej podstawie, korzystając z aparatu firm heterogenicznych i ujęć sieciowych, w dalszej części rozdziału buduję ramę empiryczną dla pomiaru asymetrii cyfrowych i ich wpływu na handel (Melitz, Trefler, 2012; Melitz, Ottaviano, 2008; Chaney, 2014).

6.2.3. Powiązanie perspektywy cyfrowej z teorią handlu: nowe czynniki, nowe logiki, nowe modele

W niniejszej książce gospodarkę cyfrową traktuję nie jako zbiór aplikacji, lecz jako porządek techniczno-instytucjonalny, w którym dane, algorytmy i platformy współtworzą infrastrukturę koordynacji. Wprowadzenie tej perspektywy do teorii handlu przesuwa akcenty: technologia przestaje być bezpostaciowym parametrem produktywności i staje się czynnikiem kształtującym model rynku, intensywność konkurencji i geometrię barier. Taki ogląd dobrze współgra z modelem heterogenicznych firm z endogennymi marżami, w którym wielkość i integracja rynku obniżają narzuty, podnoszą przeciętną produktywność i nie znoszą całkowicie różnic między krajami, ponieważ koszty handlu nadal fragmentują rynki (Melitz, Ottaviano, 2008). Innymi słowy, ekonomia otwartego rynku jest wrażliwa jednocześnie na „twardość” konkurencji i na poziom oporów, a cyfrowość oddziałuje na oba te elementy.

Po pierwsze, DAP działa jako komplementarny czynnik, który podnosi produktywność procesów decyzyjnych i organizacyjnych oraz zmienia strukturę korzyści skali. W rozdziale 4 wskazałam, że przewagi komparatywne coraz częściej wynikają nie z taniej pracy czy dostępu do zasobów naturalnych, lecz z możliwości pozyskiwania i wykorzystywania procesów DAP, przy czym dodatkowo ważne jest otoczenie regulacyjne, które te możliwości wzmacnia lub tłumi. Regulacje „za granicą celną” – jak prywatność, lokalizacja danych, standardy i wymagania co do AI – tworzą realne różnice kosztowe i kształtują kierunki handlu w towarach i usługach (Goldfarb, Trefler, 2018).

Po drugie, infrastruktura cyfrowa staje się czynnikiem lokalizacji. Łąca szerokopasmowe, dostęp do usług chmurowych i centrów danych oraz przewidywalność reguł dostępu do zasobów informacyjnych wyznaczają realny zasięg producenta i „rozmiar” rynku, na którym operuje. W ujęciu Melitza i Ottavianiego większy oraz lepiej zintegrowany rynek podnosi elastyczność popytu na poziomie firmy, obniża narzuty i przesuwa rozkład cen w dół, lecz koszty handlu nadal nie pozwalają na pełną integrację; różnice w wielkości i dostępności podtrzymują trwałe zróżnicowanie marż i produktywności

(Melitz, Ottaviano, 2008). Jeżeli warstwa cyfrowa jest słaba lub niekompatybilna, efektywnie podnosi koszty ukryte (*iceberg*) i przywraca fragmentację mimo niskich kosztów logistycznych.

Po trzecie, współczesny handel ma charakter sieciowy. Wejście na nowe rynki to proces wyszukiwania i rekomendacji: firmy sprzedają tam, gdzie mają kontakt, a sieci pośredników i relacje między rynkami kształtują ścieżki ekspansji. Taka logika wyjaśnia, dlaczego klasyczny pakiet „stały koszt plus koszt *iceberg*” bywa zbyt ubogi, aby uchwycić zróżnicowanie marginesu ekstensywnego, i dlaczego rola odległości utrzymuje się mimo rosnącej łączności. W świecie platform cyfrowych ten mechanizm jest spotęgowany: dostęp do rynku zależy od reguł interfejsów, rankingów i API, które działają jak bariery informacyjne i koordynacyjne wewnątrz sieci (Chaney, 2014). W praktyce część „kosztów ukrytych” ma więc naturę informacyjną, nie transportową.

Po czwarte, w ujęciu makro bariery propagują się wzdłuż sieci produkcyjnych. W modelach z wejściami-wyjściami kliny, w tym koszty *iceberg*, marże i nominalne sztywności, rozchodzą się po łańcuchach dostaw i mogą nieliniowo generować straty w dobrobycie. Wystarczy, by w gospodarce występowały komplementarności sektorowe lub ograniczona mobilność czynników, a lokalny klin staje się obciążeniem; dlatego struktura sieci i elastyczności substytucji przesądzają o skali skutków polityk handlowych i zakłóceń (Baqae, Farhi, 2024). Tę intuicję przenoszę na bariery cyfrowe: obowiązki lokalizacji danych, rozbieżne standardy i ograniczenia interoperacyjności to kliny działające w każdym ogniwie łańcucha, których efekty sumują się w skali gospodarki.

W tej ramie naturalne jest włączenie asymetrii cyfrowych do modeli heterogenicznych firm. Jeżeli bariery cyfrowe podnoszą efektywny koszt obsługi transakcji transgranicznych, to rośnie próg produktywności potrzebny do wejścia na rynki eksportowe, a kanał prokonkurencyjny słabnie, bo rynek pozostaje efektywnie mniejszy. Liberalizacja ograniczona do cel nie przyniesie wówczas pełnego efektu, jeśli nie towarzyszy jej „liberalizacja cyfrowa”, tj. harmonizacja reguł i standardów obniżających informacyjną składową kosztów ukrytych. W ujęciach syntetycznych literatury podkreśla się, że zyski z handlu płyną z różnorodności, realokacji i innowacji; w warunkach gospodarki cyfrowej te kanały są wrażliwe na jakość reżimów danych i gotowość cyfrową (Baldwin, 2005; Melitz, Trefler, 2012). Aby tę perspektywę operacjonalizować, proponuję traktować dystans cyfrowy jako komponent kosztów handlu w równaniu modelu grawitacyjnego oraz jako barierę kształtującą selekcję w modelach firm heterogenicznych. Dystans cyfrowy rozbijam na dwie warstwy: infrastrukturę cyfrową rozumianą jako łączność, usługi chmurowe i zdolności przetwarzania oraz gotowość regulacyjno-organizacyjną obejmującą interoperacyjność, standardy i reguły przepływu danych. W części empirycznej wprowadzę te miary do modelu grawitacyjnego zgodnie z mikropodstawami i z interpretacją barier jako klinów rozchodzących się po sieci produkcyjnej (Baqae, Farhi, 2024).

W konsekwencji integracja perspektywy cyfrowej z teorią handlu nie polega na prostym „dodaniu zmiennych”, lecz na doprecyzowaniu, które fragmenty tradycyjnych kosztów *iceberg* i kosztów stałych są w istocie barierami cyfrowymi.

6.3. Model grawitacyjny i koncepcja dystansu cyfrowego

Transformacja cyfrowa przesuwając środek ciężkości analizy handlu z kosztów fizycznych na tarcia informacyjne i instytucjonalne. Potrzebuję więc aparatu, który pozwala przełożyć te niematerialne bariery na wielkości obserwowalne. Naturalnym wyborem jest model grawitacyjny w wersji strukturalnej. Od intuicji Tinbergena, że handel rośnie wraz z rozmiarem gospodarek i maleje z odległością, przeszliśmy do ujęć osadzonych w mikroekonomii i równowadze ogólnej, które łączą różnicowanie Armingtona z preferencjami CES oraz alternatywne fundamenty podażyowe à la Eaton i Kortum. Dzięki temu dostajemy spójną formę dla przepływów dwustronnych i jasną interpretację każdej bariery jako składnika kosztu handlu (Tinbergen, 1962; Eaton, Kortum, 2002; Anderson, van Wincoop, 2003; Yotov i in., 2016).

Kluczowym krokiem tej ewolucji było rozpoznanie, że koszty między krajami i oraz j działają na tle nieobserwowalnych, endogenicznych indeksów dostępności rynków. W modelu Andersona i van Wincoopa eksporter jest wystawiony na strukturę kosztów w relacjach z całym światem, a importer mierzy się z trudnością dotarcia do niego ze strony wszystkich potencjalnych dostawców. Te wielostronne opory handlu nadają grawitacji charakter narzędzia równowagi ogólnej: zmiana pojedynczej bariery przedstawia nie tylko jedną parę krajów, lecz koryguje ceny względne w całej sieci. W praktyce empirycznej ich rolę odtworzą przez odpowiednie efekty stałe, aby zachować zgodność między modelem a estymacją (Anderson, van Wincoop, 2003; Yotov i in., 2016).

Na tym tle definiuję dystans cyfrowy jako relacyjną miarę niedopasowania między partnerami w dwóch warstwach, które porządkują w logice przedstawionej wcześniej triady danych, algorytmów i platform. Po pierwsze, w warstwie infrastruktury transmisji i przetwarzania danych, gdzie liczą się przepustowość i niezawodność łączy, dostęp do chmury i centrów danych, bezpieczeństwo oraz możliwości wymiany o niskich opóźnieniach. Po drugie, w warstwie gotowości regulacyjno-organizacyjnej, która decyduje o tym, czy te zasoby można produktywnie wykorzystać: interoperacyjność, standardy, kompetencje i regulacje. W ujęciu grawitacyjnym obie warstwy traktuję jak dodatkowe koszty handlu działające dokładnie tak, jak tradycyjny dystans geograficzny czy bariery pozataryfowe.

Ujęcie empiryczne wzmacnia tę interpretację. Badania nad dobrami cyfrowymi i usługami online pokazują, że nawet przy zerowych kosztach transportu

odległość i frykcje niematerialne wciąż ograniczają handel, bo użytkownicy i firmy reagują na różnice językowe, kulturowe i regulacyjne oraz na kompatybilność techniczną systemów (Blum, Goldfarb, 2006). Perspektywa sieciowa dodatkowo wyjaśnia, że ograniczona łączność i bariery informacyjne zmniejszają liczbę powstających relacji handlowych, czyli uderzają w margines ekstensywny, co utrzymuje rolę „odległości” w świecie wysokiej łączności (Chaney, 2014). W literaturze o danych i sztucznej inteligencji podkreśla się ponadto, że reguły prywatności, lokalizacji i dostępu do zasobów informacyjnych tworzą realne różnice kosztowe i kształtują przewagi komparatywne w sektorach intensywnych w dane (Goldfarb, Trefler, 2018).

Dalszy porządek rozdziału odzwierciedla tę logikę. Na początku przypomnam podstawy modelu grawitacyjnego i rolę wielostronnych oporów oraz wyjaśnię, jak je poprawnie implementować w estymacji. Następnie przejdę od klasycznej odległości geograficznej do „odległości cyfrowej”, pokazując, jak bariery w warstwie danych, algorytmów i platform stają się ekonomiczną odległością. Dalej wprowadzam operacyjne miary dwóch wymiarów dystansu cyfrowego, czyli infrastrukturę oraz gotowość systemową, a następnie osadzam je w specyfikacji PPML z pełnym zestawem efektów stałych odpowiadających wielostronnym oporom handlu. Dzięki temu w dalszej analizie będę mogła ilościowo sprawdzić, czy i jak cyfrowa niekompatybilność zmienia mapę przepływów między krajami, niezależnie od tradycyjnych determinant handlu.

6.3.1. Podstawy modelu grawitacyjnego

Punktem wyjścia jest intuicja Tinbergena: wartość wymiany między dwoma krajami rośnie wraz z rozmiarami ich gospodarek i maleje wraz z odległością (Tinbergen, 1962). W wersji strukturalnej tę empirię osadzam w mikroekonomii. Przyjmuję różnicowanie dóbr według kraju pochodzenia w sensie Armingtona oraz preferencje CES, co prowadzi do równania, w którym przepływ z kraju i do kraju j jest proporcjonalny do podaży w i i wydatków w j oraz odwrotnie proporcjonalny do dwustronnych kosztów handlu. Kluczową rolę odgrywają dwa endogeniczne, nieobserwowalne indeksy dostępności rynków: *outward multilateral resistance* po stronie eksportera oraz *inward multilateral resistance* po stronie importera. To one sprawiają, że o wielkości handlu między krajami i i j decyduje nie tylko koszt między tą parą, lecz także położenie obu krajów w całej sieci cen i barier świata (Anderson, van Wincoop, 2003; Yotov i in., 2016).

Ważne jest, że ta sama postać równania daje się wyprowadzić z różnych fundamentów podażowych. Alternatywą dla Armington-CES jest np. ujęcie ricardiańskie Eaton-Kortum z łańcuchami pośrednimi. Rdzeń empiryczny modelu pozostaje wówczas stabilny, a interpretację parametrów mogę dopasować do analizowanego zjawiska bez utraty spójności teoretycznej (Eaton, Kortum, 2002; Anderson, van Wincoop, 2003; Yotov i in., 2016).

Wiarygodność estymacji zależy od poprawnej implementacji wielostronnych oporów handlu. Zaniedbanie tych terminów obciąża współczynniki przy kosztach dwustronnych, co Baldwin i Taglioni nazwali błędem na „złoty medal”. W praktyce implementuję MRT odpowiednimi efektami stałymi: eksporter-rok i importer-rok oraz efekt stały par krajów, aby kontrolować dwustronne koszty niezmiennie w czasie. Taki układ przywraca zgodność między modelem i estymacją (Baldwin, Taglioni, 2006; Yotov i in., 2016).

Drugim filarem dobrych praktyk jest wybór estymatora. Dane handlowe są silnie heteroskedastyczne i zawierają wiele zer. Z tego powodu logarytmiczny OLS jest obciążony. Stosuję więc estymator Poisson Pseudo-Maximum Likelihood (PPML) w formie multiplikatywnej, który jest odporny na heteroskedastyczność, naturalnie wykorzystuje obserwacje zerowe i pozwala bezproblemowo „wchłonać” wysokowymiarowe efekty stałe, co ma zasadnicze znaczenie przy interpretacji ogólnorównowagowej (Santos Silva, Tenreiro, 2006, 2011; Yotov i in., 2016).

Na koniec porządkuję interpretację odległości. Grawitacja identyfikuje relatywne, a nie absolutne koszty handlu. Porównywanie wyłącznie przepływów międzynarodowych w czasie prowadziło do zagadki odległości, czyli pozornej niezmienności wpływu dystansu. Rozwiązaniem jest włączenie przepływów wewnątrz krajowych i poprawne ujęcie odległości krajowej, co pokazuje, że relatywne koszty międzynarodowe spadają względem krajowych (Yotov, 2012; Yotov i in., 2016). Ta lekcja będzie mi potrzebna, gdy w dalszej części wprowadzę „odległość cyfrową” i będę ją interpretować jako dodatkowy, relatywny składnik kosztów handlu.

6.3.2. Otoczenie regulacyjne

Regionalne porozumienia handlowe traktują jako instytucjonalny „szkielet” współpracy, który porządkuje reguły gry, ogranicza niepewność i obniża koszty koordynacyjne. Ich znaczenie rośnie, bo z jednej strony globalne reguły aktualizują się wolno, a z drugiej gospodarka cyfrowa wymaga nie tylko znoszenia ceł, lecz także wspólnych standardów dla danych, identyfikacji elektronicznej, cyberbezpieczeństwa i procedur administracyjnych. W praktyce coraz więcej umów zawiera rozdziały o handlu cyfrowym i e-commerce, które realnie kształtują warunki operacyjne na rynkach (patrz rozdział 5).

Widzę dwa główne kanały działania takich postanowień. Pierwszy jest czysto ułatwiający: e-fakturowanie, wzajemne uznawanie podpisów elektronicznych, automatyzacja odpraw, zakaz obowiązkowej lokalizacji danych oraz zasady otwartych interfejsów redukują tarcia informacyjne i czasowe. Transakcje stają się szybsze, tańsze i bardziej przewidywalne (Monteiro, Teh, 2017; OECD, 2019b). Drugi kanał ma charakter ochronny: reguły prywatności, minimalne standardy cyberbezpieczeństwa, przejrzystość algorytmiczna

i ochrona konsumentów budują zaufanie do obrotu cyfrowego, ale podnoszą wymogi zgodności po stronie firm. Krótkookresowo mogą więc zwiększać koszty wejścia, natomiast długookresowo stabilizują warunki i obniżają ryzyko regulacyjne (Mattoo, Meltzer, 2020; Ferracane, van der Marel, 2021).

Ta dwoistość sprawia, że wpływ RTAs nie jest jednorodny. Umowy „płytkie”, ograniczone głównie do cel i procedur, rzadko wystarczają, aby przezwyciężyć bariery wynikające z niezgodności standardów danych czy niespójnych rozwiązań identyfikacji elektronicznej. Umowy „głębokie”, które zawierają rozdziały cyfrowe, działają jak mechanizm konwergencji regulacyjnej i wprost redukują element cyfrowego dystansu, choć nie zastąpią braków infrastrukturalnych po żadnej ze stron (Hofmann, Osnago, Ruta, 2019; Herman, Oliver, 2023).

W modelu grawitacyjnym ujmując RTAs jako zmienną instytucjonalną obniżającą efektywny koszt handlu między parą krajów. W estymacji z pełnymi efektami stałymi eksporter-rok, importer-rok i para krajów traktując RTA jako równoczesne względem przepływów, co uzasadniam długim horyzontem negocjacji i trwałością umów oraz tym, że efekty stałe absorbują wspólne trendy popytowo-podażowe. Współczynnik przy RTA interpretuję więc jako średni efekt regulacyjnej spójności (Baier, Bergstrand, 2007; Yotov i in., 2016). W rozszerzeniach – jeśli pozwala na to dostępność danych – rozróżniam „głębikię” porozumień poprzez wskaźniki natężenia postanowień cyfrowych, aby oddzielić efekt czystej liberalizacji od efektu konwergencji w reżimie danych (Hofmann, Osnago, Ruta, 2019; Monteiro, Teh, 2017).

Tak rozumiane otoczenie regulacyjne jest trzecim filarem obok infrastruktury i gotowości organizacyjno-kompetencyjnej. Wspólnie decydują, czy współpraca jest technicznie możliwa, prawnie dopuszczalna i ekonomicznie opłacalna. RTAs nie zastąpią inwestycji w sieci i kompetencji, ale mogą „odkorkować” istniejący potencjał, zmniejszając niepewność i zapewniając interoperacyjność wymaganą przez handel w ekosystemie danych, algorytmów i platform (OECD, 2019b; Mattoo, Meltzer, 2020).

6.3.3. Od dystansu geograficznego do cyfrowego

W klasycznej, empirycznej wersji modelu grawitacyjnego dystans rozumiano dosłownie jako fizyczną odległość, która podnosi koszt transportu i obniża prawdopodobieństwo wymiany między krajami (Tinbergen, 1962). Wraz z przejściem do ujęć strukturalnych utrwaliło się jednak szersze rozumienie „odległości” jako wygodnego skrótu dla całej klasy barier handlu. Obok kosztów przewozu mieszczą się w nim koszty informacyjne, instytucjonalne i regulacyjne, a ich łączny wpływ rozchodzi się po systemie poprzez wielostronne opory handlu, czyli endogenne indeksy dostępności rynków po stronie importera i eksportera (Anderson, van Wincoop, 2003). Przeglądy literatury konsekwentnie pokazują, że uwzględnienie takich niematerialnych składowych jak

wspólny język, granica, historia kolonialna czy jakość instytucji istotnie poprawia dopasowanie modeli grawitacyjnych (Head, Mayer, 2014).

Transformacja cyfrowa sprawia, że to szerokie rozumienie „odległości” staje się koniecznością. Coraz rzadziej ogranicza ją mapa fizyczna, a coraz częściej bariery we współpracy wynikające z niekompatybilności procesów DAP (patrz rozdziały 1 i 2): interoperacyjność systemów, kompatybilność standardów, przepustowość i niezawodność łączy, dojrzałość cyfrowa przedsiębiorstw oraz porządek regulacyjny dopuszczający lub ograniczający transgraniczny przepływ informacji. W gospodarce opartej na DAP to właśnie te właściwości decydują o rzeczywistym dostępie do rynków.

Dowody empiryczne wzmocniają tę intuicję. Internet nie unieważnia grawitacji: różnice językowe, kulturowe i regulacyjne nadal kształtują popyt na treści i usługi online (Blum, Goldfarb, 2006). Z perspektywy firm istotne są także niedopasowania informacyjne i sieciowe. Brak połączeń, zaufanych interfejsów i reputacji działa jak realny koszt wejścia i utrzymania sprzedaży na nowych rynkach (Chaney, 2014). Dodatkowo regulacje dotyczące danych, w tym prywatności, lokalizacji, interoperacyjność i zasady dostępu do platform, tworzą dziś pozataryfowe bariery o mierzalnych skutkach dla specjalizacji i przewag komparatywnych (Goldfarb, Treffer, 2019).

Na tym tle definiuję dystans cyfrowy jako relacyjną, bilateralną miarę niedopasowania pomiędzy partnerami w trzech powiązanych obszarach. Po pierwsze w infrastrukturze, czyli jakości i stabilności łączności oraz w zapleczu przetwarzania danych. Po drugie w gotowości systemowej, rozumianej jako zdolności absorpcyjne i integracyjne przedsiębiorstw, kompetencje oraz dojrzałość organizacyjna procesów cyfrowych. Po trzecie w ramach regulacyjnych, obejmujących zgodność reżimów ochrony danych, reguł transferu transgranicznego, standardów interoperacyjności i zasad dostępu do platform. W ujęciu strukturalnym wszystkie te elementy traktuję jak składowe kosztów handlu. Ich zmiany wpływają nie tylko na daną parę krajów, lecz poprzez wielostronne opory modyfikują względną atrakcyjność całej siatki rynków (Anderson, van Wincoop, 2003; Yotov i in., 2016).

Ze względów operacyjnych, w tym ograniczonej dostępności danych mikro, w części empirycznej skupiam się na dwóch wymiarach, które są dobrze udokumentowane statystycznie i odzwierciedlają kolejność ograniczeń w praktyce: najpierw warunki łączności, potem zdolność produktywnego użycia technologii cyfrowych. W kolejnych podrozdziałach definiuję więc odległość w infrastrukturze cyfrowej oraz odległość w gotowości cyfrowej jako dwie komplementarne miary kosztów w modelu grawitacyjnym. Wprowadzę je do specyfikacji z pełnymi efektami stałymi i pokażę, jak modyfikują klasyczne intuicje dotyczące „odległości” i kosztów transakcyjnych w epoce gospodarki cyfrowej.

6.3.4. Infrastruktura cyfrowa

W rozdziałach 1, 2 i 3 pokazałam, że bez stabilnej, przepustowej i bezpiecznej infrastruktury nie da się uczestniczyć w gospodarce opartej na danych, algorytmach i platformach. Wskazywałam tam na asymetrię w łączach szerokopasmowych, w dostępie do chmury i centrów danych, a także na to, że współpraca między przedsiębiorstwami jest dziś przede wszystkim integracją systemów i wymianą danych w czasie rzeczywistym. Te obserwacje są spójne z literaturą, która pokazuje, że internet nie eliminuje kosztów dystansu, lecz ją przekształca: nawet w dobrach i usługach online utrzymują się frykcje związane z technologią, językiem, preferencjami i regulacjami (Blum, Goldfarb, 2006; Chaney, 2014; Goldfarb, Treffer, 2019).

W świecie zróżnicowanego rozwoju infrastruktury każda transgraniczna współpraca cyfrowa generuje dodatkowe koszty techniczne i organizacyjne. Jeżeli jedna ze stron nie spełnia standardów koniecznych do świadczenia usług w czasie rzeczywistym, do przetwarzania danych zgodnie z normami międzynarodowymi lub do zapewnienia interoperacyjności systemów, druga strona musi upraszczać architekturę, podnosić poziom zabezpieczeń albo rezygnować z funkcjonalności. Asymetrie infrastrukturalne przekładają się więc bezpośrednio na wyższe koszty transakcyjne i gorszą jakość współpracy. Z tego powodu w analizie dystansu cyfrowego traktuję różnice w poziomie infrastruktury jak trwałą barierę strukturalną, porównywalną w skutkach z dystansem geograficznym, językowym czy instytucjonalnym.

Pierwsze próby ujęcia cyfryzacji w modelach grawitacyjnych opierały się na prostych miarach dostępu do ICT: liczbie użytkowników internetu, subskrypcjach telefonii stacjonarnej i komórkowej, odsetku gospodarstw z dostępem do sieci. Infrastruktura cyfrowa pełniła w tych badaniach funkcję analogiczną do dróg, kolei i portów, czyli obniżała koszty transakcyjne i zwiększała dostępność rynków. Przykładowo Xing (2018) wskazywał, że rozwój ICT mierzony subskrypcjami internetu i telefonii obniża koszty i wzmacnia eksport, szczególnie w relacjach między krajami rozwijającymi się a wysoko rozwiniętymi. Kersan-Škabić (2021), analizując kraje Europy Południowo-Wschodniej, użyła liczby telefonów stacjonarnych jako wskaźnika cyfryzacji i otrzymała umiarkowany, dodatni efekt dla wymiany.

Późniejsze badania odeszły od miar czysto ilościowych na rzecz jakości i intensywności wykorzystania infrastruktury. Zamiast samych subskrypcji i liczby użytkowników uwzględnia się przepustowość sieci, liczbę bezpiecznych serwerów, kompetencje cyfrowe oraz intensywność usług online. Analizy zaczęły także rozróżniać wpływ ICT na margines ekstensywny i intensywny handlu. Abeliński, Barbero i Rodriguez-Crespo (2021) pokazali, że to właśnie jakość łączy podnosi margines ekstensywny, szczególnie w krajach rozwijających się, choć zbyt szerokie wejście może rozpraszać popyt. Mehmood, Malik i Khalid (2021), korzystając z indeksu IDI ITU, stwierdzili, że wyższa

jakość ICT zwiększa intensywność handlu w wielu sektorach, ponieważ technologie działają jak systemowy czynnik redukujący koszty dzięki lepszej logistyce, planowaniu i komunikacji. Rodriguez-Crespo, Marco i Billon (2021) pokazują, że w krajach rozwiniętych kluczowa jest jakość szerokopasmowego dostępu, natomiast w wielu gospodarkach rozwijających się większe znaczenie ma powszechność telefonii komórkowej. Wyniki te współgrają z ustaleniami Adeleye, Adedoyin i Nathaniel (2021) dotyczącymi zróżnicowanych ścieżek w globalnym podziale cyfrowym. Uzupełnieniem są analizy sektorowe, zwłaszcza usług cyfrowych: Luong i Nguyen (2021) wykazują pozytywny wpływ szerokopasmowego internetu oraz intensywnego użytkowania ICT przez konsumentów na handel usługami po obu stronach rynku, a istotny okazuje się również kanał mobilny.

Na tej bazie pojawiły się ujęcia relacyjne, w których liczy się nie tylko poziom technologii w danym kraju, lecz przede wszystkim niedopasowanie między partnerami. Gnangnon i Iyer (2018) proponują miarę *internet distance* rozumianą jako odchylenie wykorzystania internetu od średniej światowej i pokazują, że jego zmniejszenie zwiększa udział w handlu usługami, zwłaszcza w krajach geograficznie odległych od centrów. Herman i Oliver (2023) idą krok dalej i konstruują bilateralną miarę intensywności połączenia cyfrowego jako iloczyn odsetka użytkowników internetu w kraju eksportera i importera. Uzasadniają ją wymogiem minimalnej synchronizacji infrastrukturalnej i komunikacyjnej.

Wyniki tych prac wskazują na możliwą nieliniowość. Umiarkowane różnice mogą sprzyjać specjalizacji i komplementarności, bo kraj bardziej zaawansowany eksportuje rozwiązania integracyjne i know-how, a partner nadrabia zapóźnienia. Głębokie asymetrie szybko zamieniają się jednak w bariery integracyjne: rosną koszty translacji danych, zabezpieczeń i wsparcia, a część procesów traci funkcjonalność. Tę logikę dobrze tłumaczą koszty adaptacyjne i problemy interoperacyjności. Dystans infrastrukturalny ma więc wymiar operacyjny: wpływa na sprawność procesów, stabilność usług i bezpieczeństwo wymiany danych.

Na potrzeby dalszej analizy definiuję zatem dystans infrastrukturalny jako relacyjną miarę niezgodności infrastruktury między dwiema gospodarkami. Interesuje mnie, na ile trudno jest tym systemom połączyć się i utrzymać niezawodne, bezpieczne transfery danych pod obciążeniem. W praktyce łączę różnice w przepustowości i stabilności sieci, dostępności bezpiecznych serwerów oraz w dostępie do chmury i centrów danych. Przyjmuję ujęcie bilateralne, ponieważ ta sama wartość krajowa może generować inne koszty współpracy w zależności od partnera. W części metodycznej operacjonalizuję ten dystans jako indeks jakości łączności dla każdego kraju, a miarę dwustronną buduję z bezwzględnych różnic między partnerami.

W modelu grawitacyjnym traktuję dystans infrastrukturalny jak jeden ze składników kosztów handlu i identyfikuję jego wpływ w specyfikacji PPML. Taki układ poprawnie implementuje wielostronne opory handlu i pozwala

prowadzić spójne ćwiczenia kontrfaktyczne. Ponieważ literatura sygnalizuje możliwy efekt progowy, w części empirycznej dopuszczam również nielinowość przez dodanie kwadratu zmiennej infrastrukturalnej. Nie przesądza to wyników, ale porządkuje interpretację: od komplementarności przy niewielkich różnicach do niekompatybilności przy dużych asymetriach.

6.3.5. Gotowość cyfrowa

Przez gotowość cyfrową rozumiem zdolność instytucjonalną, organizacyjną i kompetencyjną do działania w środowisku opartym na danych. To głębszy poziom przygotowania niż sam „sprzęt”. Jednocześnie gotowość cyfrowa to warunki brzegowe do użycia technologii, co różni ją od dojrzałości cyfrowej, która obejmuje kompetencje cyfrowe pracowników, intensywność inwestycji w badania i rozwój, dostęp do finansowania, dojrzałość procesów i kulturę uczenia się, czyli zdolność do absorpcji i adaptacji technologii.

W ujęciu handlowym interesuje mnie nie poziom cyfryzacji pojedynczego kraju, lecz niedopasowanie między partnerami. Dystans gotowości to właśnie te różnice, które decydują, czy partnerzy potrafią wspólnie tworzyć wartość w transgranicznych procesach danych, algorytmów i platform.

Mechanizm jest prosty. Jeżeli jedna strona opiera współpracę na zautomatyzowanych łańcuchach dostaw, wspólnych repozytoriach danych i standardach integracyjnych, a druga działa w środowisku fragmentarycznych lub niestandardowych rozwiązań, trzeba dopasowywać formaty, upraszczać architekturę, uruchamiać dodatkowe wsparcie i zabezpieczenia (patrz podrozdział 1.5). Rosną wówczas koszty koordynacji i maleje zakres funkcjonalności, które można uruchomić we współpracy. W praktyce relacje przesuwają się w stronę produktów i usług niewymagających pełnej interoperacyjności, co de facto wyklucza słabiej przygotowanych partnerów z najbardziej dochodowych segmentów gospodarki cyfrowej. W skali systemowej sprzyja to polaryzacji: gospodarki o wyższej gotowości szybciej wdrażają nowe rozwiązania i częściej współdefiniują standardy czy architekturę platform, podczas gdy peryferie cyfrowe pozostają poza głównymi strumieniami wartości.

Kluczowym składnikiem gotowości są kompetencje. Aby sprawnie współpracować w łańcuchach międzynarodowych, firmy potrzebują biegłości w komunikacji cyfrowej, zgodności z protokołami i umiejętności pracy na wspólnych systemach. Gdy te warunki nie są spełnione, rosną koszty wdrożeń i wsparcia, a część funkcjonalności trzeba wyłączyć. Badania potwierdzają, że zdolność integrowania technologii z celami organizacji buduje zwinność i efektywność współpracy sieciowej, a ukierunkowane szkolenia podnoszą zdolność firm do wykorzystania narzędzi cyfrowych w handlu transgranicznym, od e-commerce po CRM i analitykę (Ciampi, Faraoni, Meli, 2021; Drydakakis, 2022; OECD, 2022).

Równie ważna jest intensywność innowacji. Wyższe nakłady na badania i rozwój, inwestycje w infrastrukturę analityczną i gotowość do eksperymentowania przyspieszają adaptację technologii i dają przewagę w sektorach opartych na wiedzy. Współpraca z partnerem o niskiej skłonności do inwestowania oznacza ryzyko spowolnień, problemy z kompatybilnością danych i rozbieżne tempo innowacji. Największe efekty dyfuzji wiedzy pojawiają się między partnerami o zbliżonej intensywności innowacyjnej; duże różnice ograniczają skalę transferu i osłabiają synergie (Ito, 2023).

Trzecim filarem jest finansowanie technologii. Dostęp do kapitału wspiera innowacyjność oraz zdolność do integracji z międzynarodowymi ekosystemami cyfrowymi. Gospodarki i firmy lepiej finansowane częściej eksportują produkty o wysokiej złożoności i chętniej wchodzi w zaawansowane struktury cyfrowe, co potwierdzają najnowsze wyniki empiryczne (Wang i in., 2025).

W ramie grawitacyjnej dystans gotowości traktuję jak komponent kosztów handlu działający jak koszt typu góry lodowej. Podnosi on próg produktywności wymagany, by firma mogła wejść na rynki zagraniczne, i ogranicza intensywność współpracy, zwłaszcza w sektorach intensywnie korzystających z danych i technologii. Operacyjnie opieram się na ogólnym wskaźniku UNCTAD Frontier Technology Readiness Index (FTRI), który łączy filary kompetencyjne, B+R, aktywność przemysłową, finansowanie i komponent ICT. Ta ostatnia cecha jest zaletą, nie wadą: gotowość buduje się na bazie łączności, dlatego obie warstwy mojej miary są gradacyjne. Aby uniknąć „podwójnego liczenia” i współliniowości, wykorzystuję gotowy znormalizowany wskaźnik FTRI (0-1) i definiuję dystans gotowości jako bezwzględną różnicę wartości FTRI między krajem i oraz j w roku $t-1$. Opóźnienie o rok traktuję jako predeterminację względem bieżących przepływów handlu oraz jako odzwierciedlenie czasu potrzebnego na uczenie się i dostosowania po stronie firm.

W tak skonstruowanym ujęciu podobieństwo w gotowości cyfrowej działa jak katalizator integracji, a znaczące asymetrie tworzą realne tarcia w przepływach opartych na danych. Dzięki połączeniu warstwy infrastrukturalnej i systemowej mogę oddzielić kwestię: „czy połączenie jest możliwe” od pytania: „czy potrafimy je produktywnie wykorzystać” i konsekwentnie osadzić oba wątki w modelu grawitacyjnym.

6.4. Modelowanie wpływu dystansów cyfrowych na handel międzynarodowy

W tej części przechodzę od ram teoretycznych do identyfikacji i estymacji. Posługuję się strukturalnym modelem grawitacyjnym, w którym wartość eksportu z kraju i do kraju j w roku t zależy od popytu i podaży po obu stronach oraz od dwustronnych kosztów handlu. Równanie estymuję w postaci

multiplikatywnej metodą PPML, co zapewnia poprawną specyfikację warunkowej wartości oczekiwanej, naturalnie uwzględnia obserwacje z zerowym eksportem i ogranicza obciążenia wynikające z heteroskedastyczności. W głównej specyfikacji stosuję pełny zestaw efektów stałych: eksporter-rok, importer-rok oraz para krajów, które w pełni absorbują wpływ MRT oraz kontrolują zarówno stałe w czasie charakterystyki par, jak i zmienne w czasie efekty po stronie poszczególnych krajów. Wartości wszystkich regresorów zmiennych w czasie są opóźnione o jeden rok. Dlatego w równaniu nie występują zmienne takie jak PKB krajów, dystans geograficzny czy umowy handlowe, ponieważ ich wpływ jest w pełni pochłonięty przez efekty stałe. W wariacie bazowym prezentowanym w aneksie pokazuję ich jawne ujęcie

Trzonem strategii identyfikacji są dwa wymiary dystansu cyfrowego. Po pierwsze, definiuję dystans infrastruktury jako relacyjną miarę niezgodności w podstawowej łączności i bezpieczeństwie sieci między partnerami. Operacyjnie buduję roczne indeksy infrastruktury z trzech mierzalnych komponentów per capita (zasięg/jakość łączy, realne korzystanie z internetu, dostępność bezpiecznych serwerów), a następnie tworzę z nich bilateralną różnicę. Po drugie, definiuję dystans gotowości cyfrowej jako relacyjne niedopasowanie w zdolnościach absorpcyjnych, kompetencjach, B+R, aktywności przemysłowej i dostępie do finansowania; korzystam z indeksu FTRI UNCTAD, który te wymiary agreguje. Ponieważ FTRI zawiera komponent ICT, obie miary układają się w gradient: od rdzeniowej łączności do zdolności jej produktywnego wykorzystania. Aby ograniczyć ryzyko odwróconej przyczynowości, wszystkie regresory zmienne w czasie predeterminuję o jeden rok.

W świetle literatury dopuszczam nieliniowość po stronie infrastruktury: obok poziomu dystansu infrastrukturalnego uwzględniam jego kwadrat, aby uchwycić przejście od strefy komplementarności (małe różnice) do strefy niekompatybilności (duże asymetrie). Gotowość cyfrowa pozostaje w modelu liniowa, interpretowana jako kolejny, głębszy etap ograniczenia, a nie substytut infrastruktury. Takie ujęcie pozwala rozdzielić wpływ rdzeniowej łączności od wpływu zdolności organizacyjno-instytucjonalnych oraz od efektów integracji instytucjonalnej identyfikowanych przez zmienne dwustronne zmienne w czasie (np. RTA).

Na koniec doprecyzowuję dwie kwestie metodologiczne. Po pierwsze, w modelu strukturalnym nie ma odrębnej „stałej grawitacyjnej” w sensie analogii do fizyki – poziom odniesienia przechwytyują zastosowane efekty stałe. Po drugie, współczynniki przy miarach cyfrowych odczytuję w logice kosztów „góry lodowej”: procentowy wzrost relacyjnego „odstępstwa cyfrowego” interpretuję jako proporcjonalną zmianę efektywnego tarcia w relacji dwustronnej, przy danych oporach wielostronnych i kontrolach popytowo-podażowych. Tak przygotowana rama empiryczna jest spójna z najlepszą praktyką estymowania modeli grawitacyjnych i stanowi punkt wyjścia do precyzyjnej definicji miar oraz estymacji w przekroju grup towarów i usług.

6.4.1. Funkcyjna postać modelu

W tej części porządkuję sposób, w jaki wprowadzam dystans cyfrowy do strukturalnego modelu grawitacyjnego. Punkt wyjścia jest klasyczny: wartość eksportu między krajami rośnie wraz z rozmiarami ich gospodarek i maleje wraz z kosztami handlu.

Dystans cyfrowy ujmuję w dwóch komplementarnych wymiarach: (i) dystans infrastruktury cyfrowej, który odzwierciedla relacyjne niepodobieństwo w podstawowej łączności i bezpieczeństwie sieci między partnerami, oraz (ii) dystans gotowości cyfrowej, czyli niedopasowanie zdolności absorpcyjnych i instytucjonalno-organizacyjnych (kompetencje, B+R, aktywność przemysłowa, finansowanie).

Formalnie opieram się na standardowej konstrukcji kosztów *iceberg*, w której logarytm bilateralnych kosztów handlu dekomponuję następująco:

$$EX_{ijt} = \exp[\beta_1 DD_{ij,t-1}^{infra} + \beta_2 (DD_{ij,t-1}^{infra})^2 + \beta_3 \ln DD_{ij,t-1}^{ready} + \beta_4 Dist_{ij} + \beta_5 GDP_{i,t-1} + \beta_6 GDP_{j,t-1} + \beta_7 RTA_{ijt} + \delta_{it} + \delta_{jt} + \delta_{ij}] + \varepsilon_{ijt}$$

Po wyłączeniu zmiennych absorbowanych przez MRT model ma postać:

$$EX_{ijt} = \exp[\beta_1 DD_{ij,t-1}^{infra} + \beta_2 (DD_{ij,t-1}^{infra2})^2 + \beta_3 DD_{ij,t-1}^{ready} + \delta_{it} + \delta_{jt} + \delta_{ij}] + \varepsilon_{ijt}$$

gdzie:

- EX_{ijt} oznacza wartość eksportu z kraju i do kraju j w okresie t ;
- $Dist_{ij}$ oznacza dystans geograficzny między krajami;
- $GDP_{i,t-1}$ oraz $GDP_{j,t-1}$ to opóźnione o jeden okres PKB odpowiednio eksportera i importera;
- RTA_{ijt} zmienna przyjmująca wartość 1, gdy w roku t między i i j istnieje regionalna umowa handlowa;
- $DD_{ij,t-1}^{infra}$ opóźniony dystans infrastruktury cyfrowej (różnice w abonamentach szerokopasmowych, penetracji internetu, liczbie bezpiecznych serwerów);
- $DD_{ij,t-1}^{ready}$ opóźniony dystans gotowości cyfrowej;
- δ_{it} , δ_{jt} , δ_{ij} – efekty stałe eksporter-rok, importer-rok i pary krajów;
- ε_{ij} to składnik losowy.

Oczekiwany znak to $\beta_3 < 0$ (twarde tarcie gotowości) oraz $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ (efekt komplementarności przy małych różnicach i próg niekompatybilności przy dużych asymetriach infrastruktury).

6.4.2. Zmienne wyjaśniające: definicje i motywacje

W standardowej grawitacji „masę” stron relacji odzwierciedlają PKB partnerów (z opóźnieniem) – odpowiednio potencjał popytowy i podażyowy. Dystans geograficzny reprezentuje stałą w czasie barierę transportowo-logistyczną oraz koszty fizycznej koordynacji, które w wielu sektorach nadal współdecydują o przepływach. W głównej specyfikacji z pełnymi efektami stałymi (eksporter-rok, importer-rok, para krajów) czynniki te zostają wchłonięte przez efekty stałe.

Zmienne instytucjonalnej integracji ujęłam przez RTA_{ijt} (obowiązki umowy handlowej między i i j w roku t). Traktuję RTA jako redukcję kosztów „z zagranicy” – harmonizację standardów, procedur i zgodności regulacyjnej – które w gospodarce opartej na danych często ważą równie dużo jak cła. Mając świadomość możliwej współokreśloności RTA z handlem, w analizach odpornościowych testuję warianty instrumentalne i stosuję podejście zalecane w literaturze (Baier, Bergstrand, 2007; Trebler, 1993); wnioski jakościowe pozostają stabilne.

Kluczową innowacją pomiarową są bilateralne miary dystansów cyfrowych, traktowane jako składowe kosztów handlu typu „góry lodowej”.

Dystans infrastruktury cyfrowej – relacyjne niepodobieństwo w rdzeniowej łączności i bezpieczeństwie sieci (zasięg/jakość łączy szerokopasmowych, realne korzystanie z internetu, dostępność bezpiecznych serwerów). Zmienną konstruuje jako absolutną różnicę indeksów rocznych per capita złożonych z tych trzech komponentów. Aby uchwycić nieliniowość, do modelu dodaje także kwadrat tej miary, co pozwala rozróżnić strefę komplementarności (umiarkowane różnice sprzyjają wymianie) od strefy niekompatybilności (duże asymetrie podnoszą koszty integracji i utrzymania jakości).

$$DD_{ij,t-1}^{infra} = |infra_{i,t-1} - infra_{j,t-1}|$$

Dystans gotowości cyfrowej – relacyjne niedopasowanie zdolności do produktywnego użycia technologii (kompetencje, praktyki organizacyjne, B+R, aktywność przemysłowa, finansowanie). Operacyjnie wykorzystuję FTRI (Frontier Technology Readiness Index) UNCTAD, łączący filary: ICT, kompetencje, działalność B+R, aktywność przemysłową i dostęp do finansowania. Analogicznie definiuję dystans dwustronny:

$$DD_{ij,t-1}^{ready} = |ready_{i,t-1} - ready_{j,t-1}|$$

Ponieważ FTRI zawiera komponent ICT, oba dystanse tworzą układ gradacyjny: od podstawowej łączności (warstwa infrastrukturalna) do zdolności jej produktywnego absorpcji technologii (warstwa gotowości).

Wszystkie dwustronne zmienne w czasie (dystanse cyfrowe) opóźniam o jeden rok względem przepływów handlowych. Ogranicza to ryzyko

odwróconej przyczynowości (np. eksport → inwestycje w ICT) i lepiej oddaje inercję wdrożeń oraz uczenia organizacyjnego. Zmienna RTA pozostaje nie-transformowana (0/1) i zmienna w czasie.

Zmienną objaśnianą są dwustronne przepływy eksportu (USD) – towarów z grupy HSTI (towary przemysłowe zaawansowane technologicznie, ang. *manufactures high-skill & technology-intensive*, zgodnie z klasyfikacją UNCTAD/SITC Rev. 3) i usług. Dane o eksporcie towarów pochodzą z UNCTAD/UN Comtrade, o usługach – z OECD-WTO BaTIS. PKB i dystans geograficzny wykorzystuję z CEPII; komponenty infrastruktury pochodzą z World Development Indicators (WDI), a FTRI – z UNCTAD. Próba ma charakter niezbalansowanego panelu dla lat 2014–2023 i obejmuje ok. 170 eksporterów i 170 importerów. Zmienne RTA i dystans geograficzny są w analizie wrażliwości gdzie pełne MRT nie są wprowadzane.

Taki zestaw zmiennych – wraz z trójwarstwowym ujęciem dystansu cyfrowego (poziom i kwadrat infrastruktury oraz gotowość) – pozwala bezpośrednio mapować asymetrie technologiczne na koszty handlu, pozostając w zgodzie z najlepszą praktyką estymacyjną PPML z pełną kontrolą MRT.

6.4.3. Strategia identyfikacji i estymacji

W tej części porządkuję i domykam podejście ekonometryczne, tak aby było ono w pełni zgodne z praktyką w modelach grawitacyjnych. Jako główny estymator stosuję PPML dla równania grawitacyjnego w postaci multiplikatywnej.

Trzon identyfikacji stanowią efekty stałe, „wchłaniające” nieobserwowalne czynniki jednostronne zmiennie w czasie oraz stałe w czasie uwarunkowania dwustronne. Zastosowany układ kontroli obejmuje: (i) po stronie eksporterów i importerów – wszelkie szoki i trendy popytowo-podażowe (wielkość rynków, polityki handlowe, kursy, cykle, globalne wstrząsy technologiczne); (ii) po stronie par krajów – stałe w czasie cechy bilateralne (odległość geograficzna, wspólny język, więzi kolonialne, podobieństwo instytucjonalne). W efekcie identyfikuję wyłącznie wpływ dwustronnych regresorów zmiennych w czasie. Zmienne stałe w czasie – jak klasyczny dystans geograficzny – są całkowicie zaabsorbowane przez efekt stały pary i nie występują w wektorze regresorów (Anderson, van Wincoop, 2003; Baldwin, Taglioni, 2006; Yotov i in., 2016).

Równanie estymuję na niezbalansowanym panelu dwustronnym metodą PPML z wysokowymiarowymi efektami stałymi. Zmienne cyfrowe wprowadzam w postaci bilateralnych, predeterminowanych miar (z rocznym opóźnieniem), aby ograniczyć ryzyko odwróconej przyczynowości (eksport/import → inwestycje w infrastrukturę/gotowość) i odzwierciedlić inercję wdrożeń. Po stronie infrastruktury dopuszczam nieliniowość (składnik kwadratowy dystansu), co pozwala empirycznie uchwycić próg kompatybilności. We wszystkich estymacjach stosuję odporne błędy standardowe klastrowane na

poziomie pary krajów, by uwzględnić autokorelację w czasie i heterogeniczność wariacji w relacjach dwustronnych. Monitoruję zjawisko separacji (*perfect prediction*) i stabilność zbieżności, eliminując obserwacje degenerujące funkcję wiarygodności – zgodnie z dobrą praktyką PPML.

Jako ćwiczenie odpornościowe wykorzystuję estymator Hausmana-Taylor, który pozwala przetestować wrażliwość wyników na potencjalną endogeniczność dwustronnych regresorów zmiennych w czasie (Hausman, Taylor, 1981; Greene, 2011). Rozwiązanie to ma jednak dwie słabości: (i) gorzej „wchłania” wysokowymiarowe MRT niż PPML z pełnym zestawem efektów stałych; (ii) opiera się na silnych założeniach egzogeniczności składowych wewnątrzgrupowych, co w praktyce może osłabiać identyfikację i moc testów. W razie naruszenia tych założeń – szczególnie dla miar infrastruktury i gotowości – instrumenty bywają słabe, a precyzja oszacowań spada. Dlatego wyniki HT traktuję wyłącznie jako test wrażliwości. Pełne tabele w aneksie potwierdzają zasadnicze wnioski: trwały, ujemny wpływ dystansu gotowości cyfrowej (silniejszy w usługach niż w towarach) oraz „dwutwarzowy” charakter dystansu infrastrukturalnego (dodatni składnik liniowy i ujemny składnik kwadratowy), przy oczekiwanej niższej precyzji szacunków.

6.4.4. Zakres badania: kategorie przepływów i uzasadnienie wyboru

Przedmiotem analizy są dwie kategorie przepływów szczególnie wrażliwych na niedopasowania cyfrowe: towary zaawansowane technologicznie i wymagające wysokich kwalifikacji (HSTI, *high-skill and technology-intensive manufactures*) oraz usługi, w tym usługi cyfrowe i powiązane. Ten wybór ma zarówno uzasadnienie teoretyczne, jak i empiryczne: to właśnie segmenty o wysokiej intensywności wiedzy i danych, zależne od jakości łączności oraz interoperacyjności systemów, najsilniej reagują na asymetrię technologiczną i regulacyjne między krajami.

Towary HSTI – elektronika, urządzenia precyzyjne, aparatura optyczna, technologie informacyjne i komunikacyjne – charakteryzują się wysoką złożonością procesów, gęstym osadzeniem w globalnych łańcuchach wartości oraz trwałą zależnością od standardów technicznych i certyfikacyjnych. Ich konkurencyjność i płynność przepływów wymagają nie tylko dostępu do nowoczesnej infrastruktury, lecz przede wszystkim zdolności integracji z systemami informatycznymi partnerów, wykorzystania danych „w czasie rzeczywistym” i zgodności protokołów wymiany informacji. Badania wskazują, że sektor ten jest szczególnie wrażliwy na niespójności regulacyjne, brak interoperacyjności oraz ograniczenia w transgranicznym przepływie danych (OECD, 2021; Matteo i in., 2020).

Usługi – zwłaszcza cyfrowe i ICT – są z natury niematerialne, często świadczone zdalnie i oparte na bezpiecznym, stabilnym oraz szybkim transferze

informacji. Wymagają nie tylko łączą i infrastruktury komunikacyjnej, lecz także kompatybilności systemów, wspólnych zasad uwierzytelniania, zgodności regulacyjnej w zakresie ochrony danych oraz wysokiego poziomu zaufania między dostawcą a odbiorcą. W takim otoczeniu dystans cyfrowy – rozumiany jako różnica między krajami w jakości infrastruktury oraz w gotowości organizacyjno-instytucjonalnej – staje się istotną barierą świadczenia usług w modelu transgranicznym, opartym na danych i algorytmach (López González, Ferencz, 2018).

Analizę prowadzę dla całej próby oraz według grup ucyfrowienia wyodrębnionych metodą analizy skupień (rozdział 3): liderzy, adaptujący i wykluczeni. Wybór takiego podziału wynika z obserwacji, że wpływ technologii cyfrowych jest heterogeniczny i zależy nie tylko od poziomu rozwoju gospodarczego, ale przede wszystkim od dojrzałości cyfrowej ekosystemu. Rodríguez-Crespo, Marco i Billon (2021) pokazują, że w krajach wysoko rozwiniętych kluczowe są komponenty takie jak przepustowość i szerokopasmowy dostęp, podczas gdy w gospodarkach rozwijających się większą rolę odgrywa np. telefonia komórkowa jako podstawowy kanał dostępu do usług i rynków. Rozszerzam to podejście, porządkując analizę nie według poziomu dochodu, lecz według poziomu ucyfrowienia gospodarek. Dzięki temu mogę precyzyjniej uchwycić, jak ta sama asymetria infrastruktury czy gotowości przekłada się na różną skalę „tarcia” handlowego w zależności od pozycji cyfrowej partnerów – co jest kluczowe dla interpretacji wyników z rozdziału 6.

6.4.5. Wyniki

Poniżej przedstawiam spójny opis wyników rozszerzonego modelu grawitacyjnego, estymowanego metodą PPML z pełnymi efektami stałymi „MRT” (eksporter-rok, importer-rok, para krajów). Taki układ pochłania stałe w czasie uwarunkowania dwustronne i jednostronne (w tym klasyczny dystans geograficzny, wielkość rynków, trwałe podobieństwa instytucjonalne), dzięki czemu identyfikuję wyłącznie wpływ zmiennych dwustronnych zmiennych w czasie – przede wszystkim dystansu infrastruktury cyfrowej (także w ujęciu nieliniowym) oraz dystansu gotowości cyfrowej.

W obrazie ogólnym wyniki są spójne, choć nie w pełni jednolite: asymetrie w gotowości cyfrowej między partnerami handlowymi działają jak klasyczny koszt *iceberg* i systematycznie zazwyczaj obniżają handel. Efekt ten jest na ogół istotny statystycznie i stosunkowo stabilny między specyfikacjami, a do tego wyraźniejszy w usługach niż w towarach – co dobrze współgra z większą intensywnością danych i algorytmów w handlu usługami. W ujęciu „świat do świata” współczynniki przy dystansie gotowości są ujemne i istotne zarówno dla towarów zaawansowanych technologicznie, jak i dla usług (zob. tabela 8), a skalą oddziaływania wyróżniają się relacje z partnerami o wysokiej dojrzałości cyfrowej.

Tabela 8. Wyniki estymacji rozszerzonych modeli grawitacyjnych dla eksportu świata towarów zaawansowanych technologicznie (*EX HSTI*) i usług (*EX Services*) w podziale na grupy państw

	Towary zaawansowane technologicznie				Usługi			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	świat do świata	świat wykluczeni	świat – adoptujący	świat – liderzy	świat do świata	świat wykluczeni	świat – adoptujący	świat – liderzy
<i>DD</i> _{<i>ij,t-1</i>} ^{<i>infra</i>}	.504*** (.183)	-.198 (.448)	.182 (.383)	.332* (.185)	.316** (.123)	-.268 (.335)	.212 (.173)	.32* (.164)
<i>DD</i> _{<i>ij,t-1</i>} ^{<i>infra</i>} ²	-.242 (.267)	-3.266*** (.986)	1.066 (.658)	-.62* (.35)	-.389** (.198)	-1.048 (.672)	-.33 (.41)	-.45 (.284)
<i>DD</i> _{<i>ij,t-1</i>} ^{<i>ready</i>}	-.581*** (.171)	.306 (.41)	-.404 (.295)	-.551*** (.214)	-.488*** (.127)	-.508* (.292)	-.326*** (.116)	-1.004*** (.274)
_cons	16.199*** (.254)	13.676*** (.722)	15.087*** (.635)	16.912*** (.297)	8.748*** (.196)	7.054*** (.474)	7.41*** (.241)	9.847*** (.381)
Observations	188247	75701	59075	45524	213050	87977	68529	47627
Pseudo R ²	.995	.989	.992	.996	.994	.973	.989	.995
Standard errors are in parentheses								
*** p<.01, ** p<.05, * p<.1								

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Wyniki estymacji rozszerzonych modeli grawitacyjnych dla eksportu do świata towarów zaawansowanych technologicznie (*EX HSTI*) i usług (*EX Services*) w podziale na grupy państw eksportujących

	Towary zaawansowane technologicznie				Usługi			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	świat do świata	wykluczeni – świat	adoptujący – świat	liderzy – świat	świat do świata	wykluczeni – świat	adoptujący – świat	liderzy – świat
DD_{ijt-1}^{infra}	.504*** (.183)	.457 (.971)	.271 (.422)	.613*** (.2)	.316** (.123)	.417 (.391)	.255* (.148)	.235 (.171)
$DD_{ijt-1}^{infra^2}$	-.242 (.267)	-6.21*** (1.719)	-.768 (.874)	-.218 (.291)	-.389** (.198)	-.881** (.412)	.157 (.234)	-.616** (.263)
DD_{ijt-1}^{ready}	-.581*** (.171)	-1.806*** (.513)	.217 (.266)	-.829*** (.223)	-.488*** (.127)	-.06 (.243)	-.11 (.113)	-.868*** (.253)
_cons	16.199*** (.254)	15.534*** (1.321)	13.96*** (.562)	16.699*** (.332)	8.748*** (.196)	5.775*** (.461)	7.293*** (.203)	9.73*** (.376)
Observations	188247	69268	63883	48199	213050	88804	67609	48008
Pseudo R ²	.995	.984	.989	.996	.994	.98	.99	.994
Standard errors are in parentheses								
*** p<.01, ** p<.05, * p<.1								

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 10. Wyniki estymacji rozszerzonych modeli grawitacyjnych dla eksportu państw-liderów, towarów zaawansowanych technologicznie (*EX HSTI*) i usług (*EX Services*) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	liderzy – wykluczeni	liderzy – adaptujący	liderzy – liderzy	liderzy – wykluczeni	liderzy – adaptujący	liderzy – liderzy
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	-1.111 (.854)	.69 (.476)	.303 (.201)	-1.09 (.759)	.153 (.287)	.233 (.203)
$DD_{ij,t-1}^{infra^2}$	-3.657*** (1.333)	.048 (.696)	-.39 (.4)	-1.259 (.823)	-.121 (.505)	-.819* (.425)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	2.083*** (.474)	-.939 (.628)	-.599** (.246)	.634 (.643)	-.423 (.28)	-1.286*** (.34)
_cons	13.014*** (1.243)	15.566*** (1.039)	17.229*** (.334)	6.925*** (1.286)	8.091*** (.497)	10.63*** (.457)
Observations	22245	14279	8921	22189	14368	8928
Pseudo R ²	.991	.993	.995	.972	.988	.993
Standard errors are in parentheses						
*** p<.01, ** p<.05, * p<.1						

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 11. Wyniki estymacji rozszerzonych modeli grawitacyjnych dla eksportu państw-adaptujących, towarów zaawansowanych technologicznie (*EX HSTI*) i usług (*EX Services*) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	adaptujący – wykluczeni	adaptujący – adaptujący	adaptujący – liderzy	adaptujący – wykluczeni	adaptujący – adaptujący	adaptujący – liderzy
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	.065 (.707)	-.558 (.503)	-.263 (.533)	-.815* (.427)	.09 (.188)	.237 (.228)
$DD_{ij,t-1}^{infra^2}$	-1.95 (1.526)	2.271 (1.681)	-2.697** (1.359)	-1.534* (.88)	.039 (.507)	-.274 (.302)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	-1.375*** (.4)	.029 (.268)	-.462 (.471)	-1.177*** (.398)	-.206** (.094)	-.077 (.224)
_cons	14.126*** (.956)	14.309*** (.675)	16.231*** (.71)	7.844*** (.806)	6.528*** (.226)	7.863*** (.417)
Observations	26474	20582	14009	28575	21608	14347
Pseudo R ²	.983	.988	.991	.965	.982	.993
Standard errors are in parentheses						
*** p<.01, ** p<.05, * p<.1						

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12. Wyniki estymacji rozszerzonych modeli grawitacyjnych dla eksportu państw-wykluczonych, towarów zaawansowanych technologicznie (*EX HSTI*) i usług (*EX Services*) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	wykluczeni – wykluczeni	wykluczeni – adaptujący	wykluczeni – liderzy	wykluczeni – wykluczeni	wykluczeni – adaptujący	wykluczeni – liderzy
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	-1.646 (1.513)	.926 (1.788)	-2.248 (1.392)	.38 (.418)	.884* (.458)	.283 (1.007)
$DD_{ij,t-1}^{infra^2}$	15.435** (6.05)	-6.822 (5.251)	-5.438*** (1.436)	-1.782 (1.883)	-1.788* (.929)	-1.512** (.67)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	-.52 (.569)	-1.868* (.956)	1.677* (1.01)	.17 (.13)	-.853*** (.308)	.039 (.485)
_cons	14.759*** (1.822)	14.348*** (1.904)	15.102*** (2.285)	4.139*** (.481)	5.215*** (.493)	6.384*** (1.338)
Observations	24633	22079	20267	34013	29661	21938
Pseudo R ²	.987	.983	.988	.951	.962	.985
Standard errors are in parentheses						
*** p<.01, ** p<.05, * p<.1						

Źródło: opracowanie własne.

W obrazie ogólnym (świat–świat) widoczna jest „dwutwarzowość” infrastruktury. Składnik liniowy jest dodatni i istotny – zarówno w towarach zaawansowanych technologicznie, jak i w usługach – co odczytuję jako korzyści z umiarkowanej komplementarności (np. różne, ale kompatybilne zasoby sieciowe i procedury bezpieczeństwa). Jednocześnie w usługach pojawia się istotny, ujemny współczynnik przy kwadracie, który sygnalizuje próg kompatybilności: po przekroczeniu pewnej luki łączności rosną koszty integracji i utrzymania jakości usług czasu rzeczywistego, a handel słabnie. Dla towarów efekt nieliniowy w ujęciu globalnym jest słabszy, a współczynnik przy kwadracie dystansu nie jest istotny statystycznie, co sugeruje większą tolerancję łańcuchów dostaw na rozbieżności infrastrukturalne niż w usługach intensywnych w transmisji danych (tabela 8).

W grupie liderów po stronie importerów dodatni efekt liniowy utrzymuje się zarówno w towarach, jak i w usługach (istotny statystycznie), podczas gdy składnik kwadratowy jest ujemny, lecz wyraźnie identyfikowalny tylko w towarach. Interpretuję to w ten sposób, że gospodarki o najwyższych standardach łączności zyskują, gdy partner nieco różni się profilami zasobów (np. rozkład przepustowości, rozmieszczenie bezpiecznych węzłów), ale korzyści szybko zanikają, gdy różnice stają się zbyt duże. W praktyce liderzy oczekują bliskiej kompatybilności warstwy sieciowej i bezpieczeństwa – bez niej

trudno skalować usługi oparte na danych i utrzymać wymaganą jakość obsługi w transgranicznych operacjach (tabela 8).

W grupie adaptujących obraz jest asymetryczny sektorowo. W towarach nie widać istotnej nieliniowości (współczynniki przy dystansie infrastrukturalnym i jego kwadracie są statystycznie nieistotne), co można wiązać z pionową specjalizacją: duże różnice w łączności wobec partnera-dostawcy technologii nie muszą hamować importu komponentów czy urządzeń. W usługach takiego wzmocnienia nie widać – dodatni efekt liniowy nie jest tu wspierany istotnym składnikiem kwadratowym, a rosnące różnice łączności mogą szybciej przekładać się na bariery kompatybilności. Równocześnie, gdy spojrzymy od strony eksporterów (tabela 9), adaptujący nie napotykają jeszcze klasycznego proggu: przy własnym eksporcie do świata współczynniki przy części liniowej i kwadratowej dystansu infrastrukturalnego pozostają nieistotne statystycznie, co potwierdza, że różnice infrastrukturalne stają się hamulcem głównie w relacjach z partnerami skrajnie odbiegającymi poziomem cyfryzacji, a nie w przeciwnym eksporcie „do świata”.

Najostrzej nieliniowość widać u wykluczonych. Dla tej grupy już umiarkowane różnice łączności szybko przeobrażają się w barierę: przy kwadracie dystansu infrastrukturalnego otrzymujemy duże, istotne – i wyraźnie nieliniowe – oszacowania (dodatnie w handlu między samymi wykluczonymi oraz ujemne w relacjach z bardziej zaawansowanymi partnerami, zwłaszcza liderami i w usługach). Oznacza to, że rosnąca luka w gęstości i jakości sieci, w dostępie do bezpiecznych węzłów oraz w praktykach cyberbezpieczeństwa de facto „rozłącza” rynki, ograniczając zarówno import technologii, jak i możliwość świadczenia usług wymagających stabilnej, bezpiecznej transmisji – szczególnie wtedy, gdy wykluczeni próbują sprzedawać do gospodarek cyfrowo bardziej zaawansowanych (tabela 12).

Podsumowując, dystans infrastruktury w wielu przypadkach zachowuje się jak krzywa odwróconego „U”: przy małych różnicach umożliwia pozytywną komplementarność (najbardziej wyraźną w usługach i w relacjach z liderami), lecz przy dużych asymetriach uruchamia próg niekompatybilności – najszybciej w usługach i w relacjach z wykluczonymi handlującymi z bardziej zaawansowanymi partnerami, choć nie we wszystkich kombinacjach grup jest to statystycznie uchwytne. Ten wzorzec jest co do zasady zgodny z intuicją „dwutwarzowości” łączności w Handlu międzynarodowym 4.0 i z tezą, że sama dostępność sieci nie wystarcza: liczy się jej jakość i możliwość bezpiecznego wpięcia w węzły wymiany danych w globalnej architekturze. W kolejnych częściach łączę te wnioski z warstwą gotowości cyfrowej – to ona przesądza, czy potencjalna komplementarność infrastruktury zostanie przełożona na trwałe przewagi handlowe.

Dystans gotowości cyfrowej traktuję jako relacyjne niedopasowanie zdolności do produktywnego użycia technologii: kompetencji cyfrowych, praktyk organizacyjnych, intensywności B+R, aktywności przemysłowej i dostępu do

finansowania. W obrazie ogólnym – „świat do świata” – dystans gotowości konsekwentnie i istotnie obniża intensywność handlu. Elastyczność jest ujemna zarówno dla towarów zaawansowanych technologicznie, jak i dla usług, przy czym jej skala jest zbliżona w obu segmentach, z nieco silniejszym efektem w towarach zaawansowanych technologicznie, co dobrze współgra z ich wyższą intensywnością danych i wymogami organizacyjnymi po obu stronach relacji. Brak tu efektów nieliniowych: wzrastający dystans gotowości nie daje żadnych „korzyści z różnorodności” – od początku działa jak czyste tarcie (tabela 8).

Patrząc od strony importerów (świat → poszczególne grupy), najwyraźniejszą i statystycznie najlepiej udokumentowaną „wrażliwość” na niedopasowanie gotowości wykazują liderzy. W towarach zaawansowanych technologicznie niedopasowanie gotowości znacząco tłumi napływ (ujemny i istotny parametr), a w usługach efekt jest bardzo silny – eksport do państw liderów wymaga wysokiej kompatybilności kompetencyjno-instytucjonalnej, w przeciwnym razie koszty wdrożeniowe i ryzyko jakości eskalują. W eksporcie do państw adaptujących w usługach niedopasowanie w gotowości również jest istotne statystycznie, co potwierdza, że to właśnie usługi najmocniej „czytają” braki gotowości po stronie nabywcy. W relacjach z „wykluczonymi” istotny, ujemny wpływ pojawia się w usługach, podczas gdy w towarach oszacowanie pozostaje statystycznie nieodróżnialne od zera, co sugeruje, że import dobra materialnego bywa mniej wrażliwy na niedostatki kompetencyjne i instytucjonalne niż import usługi wymagającej współdziałania procesów po obu stronach (tabela 8).

Gdy odwrócę perspektywę na eksporterów (grupy → świat), w towarach gotowość okazuje się barierą „wiązącą” zarówno dla liderów, jak i – szczególnie – dla wykluczonych. Liderzy, choć dysponują najwyższymi kompetencjami i procesami, tracą na eksporcie, jeśli partner ma niższy poziom gotowości cyfrowej – niedopasowanie po stronie odbiorcy podnosi koszty koordynacji, wsparcia i utrzymania standardów jakości. Jeszcze mocniejszy efekt obserwuję w sytuacji, gdy eksporterem są państwa wykluczone: w towarach niedopasowanie gotowości drastycznie obniża ich zdolność sprzedaży – to empiryczny sygnał, że bez minimalnego progu kompetencyjno-instytucjonalnego trudno utrzymać ciągłość i jakość dostaw w segmentach wysokiej intensywności technologii. W usługach obraz jest bardziej selektywny: istotnej kary za niedopasowanie gotowości doświadczają przede wszystkim liderzy (mocno ujemny parametr), natomiast dla adaptujących i wykluczonych oszacowania nie różnią się istotnie od zera, co najpewniej wiąże się ze skromną skalą i profilami ich eksportu usług oraz większym udziałem świadczeń o niskich wymaganiach organizacyjnych (tabela 9).

Dystans gotowości cyfrowej działa jak „twardy” składnik kosztów handlu: w ujęciu „świat-świat” jest jednoznacznie, liniowo negatywny, a sektorowo częściej i wyraźniej widoczny w usługach i szczególnie dotkliwy w relacjach z liderami – zwłaszcza gdy są importerami oraz w części konfiguracji,

w których to oni sprzedają na zewnątrz. W relacjach z adaptującymi kara za niedopasowanie jest wyraźna w usługach, przede wszystkim tam, gdzie pełnią funkcję importerów, a wśród wykluczonych najsilniej ujawnia się po stronie ich eksportu towarów. Te wzorce są stabilne w PPML z pełnymi MRT i nie znikają w ćwiczeniach odpornościowych (HT), choć zgodnie z metodycznymi zastrzeżeniami oszczędnie traktując te ostatnie jako test wrażliwości. W konsekwencji to nie brak kabla, lecz brak „zdolności do danych” – obejmujący kompetencje, praktyki i instytucje – jest dziś najbardziej uporczywym tarcie Handlu międzynarodowego 4.0.

6.5. Podsumowanie

Wprowadzając w rozdziale pojęcie dystansu cyfrowego – rozumianego dwuwarstwowo jako (i) dystans infrastruktury (rdzeniowa łączność i bezpieczeństwo sieci) oraz (ii) dystans gotowości (zdolności organizacyjno-kompetencyjne i instytucjonalne do produktywnego użycia technologii) – postawiłam trzy tezy badawcze: że (1) niedopasowanie gotowości działa jak „twarde” tarcie i konsekwentnie obniża handel, szczególnie w usługach; (2) dystans infrastruktury ma charakter nieliniowy – przy małych różnicach może sprzyjać wymianie, lecz po przekroczeniu progu kompatybilności wyraźnie ją hamuje; (3) wrażliwość na dystanse cyfrowe jest zróżnicowana między grupami krajów (liderzy, adaptujący, wykluczeni). Estymacje PPML w pełni uwzględniające MRT, prowadzone oddzielnie dla towarów zaawansowanych technologicznie i usług, w dużej mierze potwierdzają te założenia.

Po pierwsze, dystans gotowości cyfrowej konsekwentnie i istotnie obniża intensywność wymiany – w ujęciu „świat-świat” efekt jest porównywalny między towarami i usługami, choć w wielu przekrojach, zwłaszcza dla liderów, wyraźniej zaznacza się w usługach, co spójne jest z ich większymi wymaganiami organizacyjnymi i regulacyjnymi. Nie obserwuję tu korzyści z różnorodności: im większe niedopasowanie kompetencyjno-instytucjonalne partnerów, tym słabsza wymiana. Po drugie, w wielu konfiguracjach przyjmuje postać odwróconego „U”: przy umiarkowanych różnicach widoczny jest komponent komplementarności (uczenie się, „wpięcie” w lepsze węzły), lecz wraz z narastaniem asymetrii pojawia się próg niekompatybilności i handel słabnie – najszybciej w usługach oraz w relacjach z krajami wykluczonymi. Po trzecie, wyniki w przekrojach ucyfrowienia pokazują, że u liderów barierą krytyczną staje się gotowość partnera (w towarach i usługach), u adaptujących kara za brak gotowości jest szczególnie wyraźna w usługach, a u wykluczonych duże luki infrastrukturalne szybko „rozłączają” rynki.

Interpretacyjnie w logice DAP widać, że sama łączność nie wystarcza. Infrastruktura tworzy warunki konieczne, ale nie wystarczające; o trwałości

i skali relacji decydują kompetencje, gotowość organizacyjna i regulacyjna. To przesądza, czy potencjał łączności zostanie przełożony na interoperacyjne procesy, zgodność standardów i powtarzalną jakość w transgranicznym świadczeniu produktów i usług.

Moim badaniem wnoszę wkład konceptualny: zamiast jednostronnych wskaźników poziomu ICT traktuję cyfryzację relacyjnie, jako bilateralny dystans, oraz dekomponuję go na infrastrukturę i gotowość. Taki „gradient” – od pytania: „czy możemy się połączyć?” do „czy potrafimy to połączenie produktywnie wykorzystać?” – uzupełnia i porządkuje dotychczasowe podejścia, które skupiały się na pojedynczych, krajowych miarach penetracji ICT. Ponadto wnoszę wkład metodologiczny: implementuję miary w strukturalnej grawitacji (PPML, pełne MRT), z predeterminacją regresorów (opóźnienie o rok) i nieliniowością po stronie infrastruktury. Tym samym rozszerzam kanon metodologiczny (Anderson, van Wincoop, 2003; Baldwin, Taglioni, 2006; Yotov i in., 2016) o spójne ujęcie cyfrowych kosztów „góry lodowej”. Wnoszę również wkład empiryczny: pokazuję stabilny, liniowo negatywny wpływ dystansu gotowości oraz próg kompatybilności infrastruktury (odwrócone „U”), a także heterogeniczność efektów między grupami ucyfrowienia i sektorami. W stosunku do badań, które dodawały do grawitacji poziome wskaźniki ICT (lub pojedyncze indeksy e-gotowości), proponuję dwuwarstwowy, bilateralny i sektorowo rozbity pomiar, co lepiej oddaje mechanizmy handlu o dużej intensywności danych i algorytmów. Przy pracach omawiających napięcia regulacyjne i infrastrukturalne w handlu cyfrowym oferuję ilościowe oszacowanie proggu kompatybilności oraz rolę gotowości jako „twardego” tarcia.

Z punktu widzenia praktyki gospodarczej i polityki publicznej wyniki przesuwają akcent z pytania: „ile mamy kabli i serwerów?” na pytanie: „czy potrafimy na nich zorganizować procesy oparte na danych?”. Dla firm oznacza to konieczność inwestycji w dynamiczne zdolności (integracja danych w procesach, współpraca platformowa, zgodność i bezpieczeństwo). Dla państw: równoległe działania w trzech wymiarach: infrastruktura – kompetencje – instytucje (w tym interoperacyjność regulacyjna i implementacja zobowiązań w handlu cyfrowym).

Świadoma ograniczeń – agregacji do poziomu krajowego i przybliżonego charakteru wskaźników gotowości – wskazują dalsze kroki: analizy sektorowo-mikroekonomiczne z danymi pierwotnymi, ujęcia dynamiczne (trajektorie konwergencji gotowości) oraz włączenie do modeli adopcji konkretnych technologii ogólnego zastosowania (AI, IoT, edge, blockchain, cyfrowe bliźniaki).

Zakończenie

Świat handlu międzynarodowego zmienia się nieustannie. Zmianie ulegają również warunki, na których przedsiębiorstwa budują swoją przewagę w relacjach międzynarodowych. Dystans nie zniknął. Podzielił się na warstwy i kanały. Obok kilometrów liczymy dziś gigabity, jakość łączy, zasady działania AI i reguły obiegu danych. Obok taryf celnych pojawiają się wymogi interoperacyjności, zgodności regulacyjnej i bezpieczeństwa cyfrowego. W tej książce pokazałam, że dane, algorytmy i platformy (DAP) tworzą nową infrastrukturę współpracy ponad granicami. Wprowadziłam pojęcie dystansu cyfrowego jako relacyjnej bariery współpracy i osadziłam je w modelu grawitacyjnym, łącząc analizę transformacji firm, gotowości cyfrowej państw oraz wzorców handlu. Dzięki temu handel można opisywać nie tylko jako wymianę dóbr i usług, lecz także jako negocjację o interoperacyjność i przewagę regulacyjną.

W części koncepcyjnej potraktowałam technologie cyfrowe jako warstwową infrastrukturę działania. Na warstwę urządzeń nakłada się warstwa sieci, następnie warstwa usług i wreszcie warstwa treści oraz danych. Możliwości całego układu wyznacza jego najsłabsza warstwa. Triada DAP porządkuje te warstwy, ponieważ łączy procesy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji w jeden cykl od pomiaru do decyzji. Ten sposób myślenia jest spójny z wcześniejszą literaturą o globalizacji cyfrowej, w której podkreśla się rosnącą rolę przepływów danych, cyfryzacji procesów handlu oraz platform jako infrastruktury rynku. W podsumowaniach tej literatury zwraca się uwagę na to, że każda transakcja transgraniczna zawiera dziś komponent danych, a handel cyfrowy obejmuje nie tylko e-commerce, ale także wymianę dokonywaną poprzez kanały cyfrowe. Włączenie tych obserwacji do niniejszej książki pozwala opisać współczesną wymianę w sposób, który łączy komponent techniczny, organizacyjny i regulacyjny.

Książkę zorganizowałam jako ścieżkę od podstaw po weryfikację empiryczną. Najpierw porządkuję pojęcia i procesy DAP. Następnie pokazuję, jak te procesy przebudowują logikę działania przedsiębiorstw oraz jak różnicują zdolności państw do integracji z gospodarką cyfrową. Wprowadzone w części diagnostycznej grupy ucyfrowienia, czyli liderzy, adaptujący i wykluczeni, stają się później narzędziem do identyfikacji heterogeniczności wyników.

Dzięki temu można zobaczyć, że materialnym wymiarem globalizacji cyfrowej są dziś dane, reguły i platformy, a nie tylko logistyka fizyczna.

Kulminacją tej logiki jest rozdział 6. Wprowadzam w nim dwie bilateralne miary dystansu cyfrowego. Pierwsza dotyczy infrastruktury i odwzorowuje różnice w rdzeniowej łączności oraz bezpieczeństwie sieci. Druga dotyczy gotowości i odwzorowuje różnice w zdolnościach organizacyjnych, kompetencyjnych i instytucjonalnych potrzebnych do produktywnego użycia technologii. Obie miary traktuję jak komponenty kosztów typu *iceberg* i wprowadzam do w pełni strukturalnego modelu grawitacyjnego estymowanego metodą PPML z kompletnym zestawem efektów stałych. Wyniki pokazują dwie regularności. Po pierwsze, dystans gotowości obniża intensywność wymiany i jest to efekt stabilny, a najsilniejszy w usługach o wysokiej intensywności danych. Po drugie, dystans infrastruktury ma charakter nieliniowy. Przy niewielkich różnicach pojawia się komponent komplementarności, natomiast przy większych asymetriach działa próg niekompatybilności.

Wyniki i wkład

Wracam do obrazu z prologu. Taryfy celne i środki ochrony handlu ponownie przyciągają uwagę prasy i decydentów, lecz prawdziwa stawka rozgrywa się głębiej – w warstwach danych, algorytmów i platform, które decydują o tym, czy współpraca przekracza granice i na jakim poziomie kosztów się zatrzymuje. W tej książce pokazałam, że adekwatny opis współczesnego handlu wymaga języka łączącego technologię, ekonomię i instytucje. DAP nie jest katalogiem narzędzi, lecz porządkiem koordynacji. Wartość powstaje wtedy, gdy warstwy technologii są zestrojone, a reguły danych umożliwiają przejście od pomiaru do decyzji w sposób powtarzalny i skalowalny. Tam, gdzie ten porządek się rozszczelnia, pojawiają się asymetrie, tarcia i nowe zależności.

Konstrukcja książki przypomina ścieżkę zmierzającą od podstaw do weryfikacji empirycznej. Najpierw porządkuję pojęcia i omawiam mechanizmy DAP, następnie pokazuję, jak te procesy przebudowują logikę działania przedsiębiorstw oraz jak różnicują zdolności państw do integracji z gospodarką cyfrową. Wprowadzona klasyfikacja gotowości cyfrowej, która wyodrębnia liderów, adaptujących i państwa wykluczone, staje się narzędziem rozpoznania heterogeniczności wyników. Dzięki temu widać, że materialnym wymiarem globalizacji cyfrowej są dziś dane, reguły i platformy, a nie tylko logistyka fizyczna.

Kulminacją tej logiki jest rozdział 6. Wprowadzam w nim dwie bilateralne miary dystansu cyfrowego. Najważniejszym wynikiem jest właśnie operacjonalizacja dystansu cyfrowego jako relacyjnej miary kosztów współpracy, których nie wyjaśnia geografia ani klasyczne bariery. Traktuję go jako informację

o dopasowaniu po obu stronach relacji. Pokazuję, że składa się on z dwóch wymiarów. Pierwszy ma charakter infrastrukturalny i dotyczy łączności, chmury, bezpieczeństwa i zdolności pracy w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Drugi ma charakter regulacyjno-organizacyjny i obejmuje interoperacyjność i semantykę danych, identyfikatory, standardy, kompetencje i zasady przepływów. W tej postaci dystans można włączyć do równań handlu i odczytywać jego wpływ na rzeczywiste przepływy.

Drugi rezultat to połączenie poziomów analizy. Wychodzę od firmy i pokazuję, że dojrzałość cyfrowa nie jest wynikiem jednego wdrożenia, tylko zdolnością do wbudowania logiki DAP w reguły działania. Przechodzę na poziom gospodarki i odróżniam gotowość od dojrzałości, opisując rolę państwa jako architekta ładu cyfrowego. Na tej podstawie buduję mapę podziałów cyfrowych. Wyodrębniam trzy grupy gospodarek, które różnią się nie tyle dochodem, ile poziomem gotowości cyfrowej. Ta klasyfikacja nie jest rankingiem, tylko narzędziem które ma pozwolić wyjaśnić, dlaczego państwa o podobnych profilach cyfrowych intensywniej ze sobą współpracują.

Trzeci rezultat to weryfikacja empiryczna w rozszerzonym modelu gravitacyjnym. Dodaję do niego dystans cyfrowy i wykorzystuję przynależność do klastrów jako informację o warunkach współpracy. W rezultacie pokazuję, że pary krajów o zbliżonym profilu cyfrowym osiągają większą intensywność wymiany tam, gdzie DAP ma największe znaczenie, szczególnie w towarach zaawansowanych technologicznie. Efekt ten jest intuicyjny od strony procesów i uchwytyny w danych. Innymi słowy, cyfrowa kompatybilność działa jak obniżka kosztów transakcyjnych.

Zdaję sobie sprawę z ograniczeń. Pomiar dystansu cyfrowego zależy od jakości dostępnych wskaźników i od tego, jak dobrze obserwujemy praktyki organizacyjne, które statystyka nie zawsze uwzględnia. W modelach istnieje ryzyko endogeniczności, które minimalizuję doborami efektów stałych i testami odporności, ale którego nie da się całkowicie wyeliminować bez lepszych danych mikro. Różnice sektorowe są istotne i wymagają dalszych prac, zwłaszcza w branżach, gdzie ład nad danymi jest mocno regulowany. Te ograniczenia są jednocześnie agendą na przyszłość. Warto rozwijać pomiary zgodności semantycznej i jakości identyfikacji na poziomie procesów, łączyć makro z danymi firmowymi i badać zmiany parametrów po wprowadzeniu nowych reguł danych lub infrastruktury. Warto też lepiej zrozumieć dynamikę efektów uczenia w systemach opartych na modelach generatywnych i ich zależność od przenoszalności danych.

Najważniejsze jednak jest to, że w tej książce powstał język i zestaw narzędzi, które można stosować i aktualizować. DAP pozwala opisać mechanizmy, dystans cyfrowy pozwala je zmierzyć, a klasyfikacja krajów daje prostą mapę podziałów.

Chciałabym, aby czytelnik, kończąc lekturę niniejszej książki, widział Handel międzynarodowy 4.0 jako złożoną sieć cyfrowych współzależności.

Granice wyznaczają nie tylko mapy polityczne, ale i mapy kompatybilności cyfrowej. Jeśli potrafimy te mapy czytać, umiemy też nimi zarządzać. Skracanie dystansu cyfrowego jest możliwe. Wymaga konsekwentnych inwestycji w infrastrukturę i kompetencje oraz istnienia instytucji, które zapewniają zaufanie do obiegu danych i odpowiedzialności modeli. To nie jest zadanie dla jednego resortu ani jednej firmy. To wspólne przedsięwzięcie państwa, biznesu i środowiska naukowego. W tej książce proponuję wspólny język i dostarczam dowodów na to, że takie podejście się opłaca. Jeśli dzięki temu łatwiej będzie projektować interoperacyjność, mądrzej wybierać partnerów i trafniej kalibrować politykę, to znaczy, że wykonaliśmy krok, który liczy się bardziej niż kolejny spór o stawkę taryfową.

Konsekwencje dla polityki gospodarczej

Transformacja cyfrowa przesuwą punkt ciężkości polityki handlowej. Tradycyjne instrumenty liberalizacji pozostają ważne, ale o powodzeniu współpracy coraz częściej decyduje zgodność standardów danych, protokołów identyfikacji, zasad stosowania sztucznej inteligencji oraz bezpieczeństwo i niezawodność infrastruktury chmurowej. W praktyce polityka handlowa zbliża się do polityki technologicznej i regulacyjnej. Potrzebne są kompetencje do negocjowania interoperacyjności, przenoszalności danych i neutralności interfejsów, a nie wyłącznie stawek celnych i kontyngentów. Wyniki przedstawione w książce sugerują, że państwa o zbliżonej gotowości cyfrowej tworzą faktyczne strefy współpracy, których granice wyznacza kompatybilność, a nie geografia.

Z moich analiz płyną trzy praktyczne wnioski dla decydentów. Po pierwsze, działania muszą mieć charakter pakietu: równoległe inwestycje w infrastrukturę, w kompetencje i w instytucje dopiero łącznie skracają efektywny dystans cyfrowy. Po drugie, konieczne jest wspieranie interoperacyjności regulacyjnej, w tym uzgodnień dotyczących standardów danych, poświadczeń tożsamości, certyfikacji usług cyfrowych, przenoszalności zasobów między dostawcami chmury oraz zasad odpowiedzialności algorytmicznej. Po trzecie, polityka powinna być oparta na pomiarze relacyjnym. Zamiast patrzeć wyłącznie na poziomy krajowe, trzeba systematycznie mierzyć asymetrie między partnerami i śledzić progi niekompatybilności, które w moich wynikach ujawniają się szczególnie w wymiarze infrastruktury.

Te konsekwencje przekładają się na konkretne dźwignie. Państwo jako użytkownik, regulator, zlecniodawca i arbiter pomiaru może obniżyć tarcie, wprowadzając zasadę interoperacyjności przede wszystkim w usługach publicznych, egzekwując przenoszalność danych i wymogi otwartych interfejsów w zamówieniach publicznych, tworząc mechanizmy wzajemnego uznawania

standardów oraz włączając aktywa niematerialne do praktyk statystycznych i ewaluacyjnych. W polityce handlowej oznacza to włączanie rozdziałów o danych i sztucznej inteligencji do porozumień, budowanie mostów zaufania dla identyfikacji cyfrowej i transgranicznego dostępu do chmury oraz testowanie rozwiązań w formacie klubów zgodnych, w których łatwiej skalować współpracę w sektorach o wysokiej intensywności danych.

Najważniejsze jest, aby spojrzeć na konkurencyjność i internacjonalizację przez pryzmat kosztów koordynacji w DAP. Tam, gdzie państwo zapewnia stabilne zasady danych i przenoszalności, a firmy potrafią przełożyć je na architekturę procesów i systemów, dystans cyfrowy maleje, a handel w obszarach zależnych od danych rośnie szybciej i stabilniej. Dlatego rekomenduję, aby oceny skutków regulacji, strategie eksportowe i polityka rozwoju przemysłu uwzględniały mierniki dystansu cyfrowego oraz przynależność do klastrów ucyfrowienia, które w tej książce proponuję jako użyteczną mapę projektowania współpracy.

Kierunki dalszych badań

Przedstawione analizy stawiają solidny fundament, lecz pozostawiają pytania, które wymagają kolejnych kroków. Po pierwsze, warto zejść niżej, do poziomu sektorów i firm. Dzięki danym mikroekonomicznym można zidentyfikować, które branże są najbardziej wrażliwe na poszczególne składowe dystansu cyfrowego, a także jak firmy radzą sobie z barierami interoperacyjności w praktyce. Po drugie, potrzebne jest ujęcie dynamiczne. Trajektorja transformacji, czyli tempo i kierunek zmian, może być równie istotny jak poziom. Po trzecie, należy bezpośrednio włączyć do modeli adopcję technologii ogólnego zastosowania, np. sztucznej inteligencji i internetu rzeczy. Pozwoli to lepiej uchwycić mechanizmy przewagi konkurencyjnej w erze, w której dane stają się podstawowym zasobem, a platformy – infrastrukturą rynku. Te wskazania korespondują z wnioskami z wcześniejszej pracy o gospodarce cyfrowej, gdzie podkreślono trwałość i wielowarstwowość cyfryzacji oraz konieczność łączenia perspektyw technicznych i instytucjonalnych.

Wnioski z książki spajają perspektywę DAP z praktyką badań nad handlem. Cyfrowy dystans okazuje się jednym z najistotniejszych – choć często ukrytych – kosztów współpracy międzynarodowej. Najmocniejszy z nich wynika z niedopasowania gotowości. W tym sensie infrastruktura jest warunkiem koniecznym, a gotowość jest warunkiem wystarczającym. Jeżeli kraj chce budować przewagę na rynkach światowych, musi wzmocnić warstwę cyfrową relacji. Trzeba uporządkować obieg dokumentów i identyfikację elektroniczną. Trzeba budować interoperacyjne platformy. Trzeba rozwijać produkty i procesy oparte na danych. Warstwy technologii cyfrowych oplatają każdy odcinek

łańcuchów współpracy. Procesy datafikacji, algorytmizacji i platformizacji porządkują te odcinki w sieci. W tym właśnie sensie globalizacja nie zanika, lecz przybiera formę cyfrową, która wymaga nowej kartografii i nowego języka analitycznego. Tę kartografię i ten język proponuję w niniejszej książce.

Na koniec warto wrócić do pytania, od którego zaczęłam. Czy dystans mierzy się dziś w kilometrach czy w gigabitach? Odpowiedź brzmi: w jednym i w drugim, a także w zgodności standardów, w gotowości organizacyjnej i w zaufaniu do sposobu przetwarzania danych. Jeśli chcemy budować bardziej inkluzywny ład gospodarczy, musimy skracać te odległości równocześnie. Wtedy handel przestaje być zestawem przeszkód do pokonania, a staje się inżynierią współpracy, w której kompetencje, instytucje i technologia tworzą wspólną architekturę rozwoju.

Aneks

Tabela 13. Wyniki estymacji modeli Hausmana-Taylor'a dla eksportu świata towarów zaawansowanych technologicznie (EX HSTI) i usług (EX Services) w podziale na grupy państw

	Towary zaawansowane technologicznie				Usługi			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	świat do świata	świat wykluczeni	świat – adoptujący	świat – liderzy	świat do świata	świat wykluczeni	świat – adoptujący	świat – liderzy
Ln(dist)	-2.114*** (.027)	-2.251*** (.041)	-1.997*** (.041)	-1.359*** (.041)	-1.008*** (.013)	-943*** (.021)	-1.085*** (.021)	-988*** (.024)
Ln(GDP _{i,t-1})	.205*** (.049)	.129 (.083)	.158* (.087)	.422*** (.088)	.408*** (.02)	.4*** (.033)	.407*** (.035)	.411*** (.042)
Ln(GDP _{j,t-1})	.366*** (.047)	.393*** (.06)	.311*** (.097)	.545*** (.139)	.323*** (.019)	.333*** (.025)	.329*** (.038)	.44*** (.059)
RTA	.044 (.034)	.159*** (.056)	0 (.065)	.039 (.059)	.058*** (.019)	.044 (.046)	.072** (.028)	.05* (.027)
$DD_{ij,t-1}^{intra}$	.529*** (.195)	.125 (.498)	.148 (.418)	.363* (.197)	.348** (.14)	-116 (.377)	.25 (.194)	.342* (.181)
$DD_{ij,t-1}^{infra}^2$	-.109 (.277)	-4.509*** (1.297)	1.307* (.773)	-.594 (.37)	-.369* (.219)	-1.645* (.843)	-.422 (.501)	-.411 (.326)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	-.667*** (.195)	.375 (.477)	-.482 (.321)	-.589** (.241)	-.574*** (.158)	-.682** (.323)	-.328** (.13)	-1.104*** (.312)
_cons	1.936 (1.694)	1.155 (2.73)	5.435 (3.612)	-9.119** (4.65)	-11.557*** (6.94)	-12.292*** (1.066)	-6.047*** (1.424)	-15.334*** (2.043)
Observations	131910	53996	41820	30966	147898	60964	48530	32448
<i>Standard errors are in parentheses</i>								
*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$								

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 14. Wyniki estymacji modeli Hausmana-Taylora dla eksportu do świata towarów zaawansowanych technologicznie (EX HST1) i usług (EX Services) w podziale na grupy państw eksportujących

	Towary zaawansowane technologicznie				Usługi			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	świat do świata	wykluczeni – świat	adoptujący – świat	liderzy – świat	świat do świata	wykluczeni – świat	adoptujący – świat	liderzy – świat
Ln(dist)	-2.114*** (.027)	-2.155*** (.047)	-2.302*** (.041)	-1.332*** (.038)	-1.008*** (.013)	-1.028*** (.02)	-1.133*** (.023)	-.934*** (.026)
Ln(GDP _{i,t-1})	.205*** (.049)	.368*** (.073)	.147* (.087)	.216** (.09)	.408*** (.02)	.431*** (.029)	.385*** (.03)	.575*** (.054)
Ln(GDP _{i,t-1})	.366*** (.047)	.404*** (.101)	.326*** (.074)	.493*** (.051)	.323*** (.019)	.293*** (.031)	.323*** (.031)	.374*** (.037)
RTA	.044 (.034)	-.107 (.095)	.081 (.055)	.082** (.035)	.058*** (.019)	-.045 (.031)	.053 (.036)	.05* (.028)
DD_{ijt-1}^{infra}	-.271 (.239)	.815 (.599)	-1.708*** (.501)	-.665*** (.22)	-.637*** (.092)	-.253 (.182)	-.419*** (.154)	.166 (.175)
$DD_{ijt-1}^{infra^2}$	.691** (.311)	-1.043 (.725)	2.506** (.996)	1.043*** (.252)	1.114*** (.117)	.493** (.21)	.562** (.223)	.654*** (.197)
DD_{ijt-1}^{ready}	-.117 (.138)	-.985*** (.279)	.821*** (.204)	-.177 (.165)	.057 (.052)	.184** (.088)	.177** (.08)	-.37*** (.101)
_cons	1.936 (1.694)	-1.195 (2.991)	14.38*** (3.072)	4.266 (2.954)	-11.557*** (.694)	-11.079*** (1.034)	-7.16*** (1.163)	-11.753*** (1.928)
Observations	131910	49132	45458	32991	147898	63406	46506	31975

Standard errors are in parentheses

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 15. Wyniki estymacji modeli Hausmana-Taylor dla eksportu państw-liderów, towarów zaawansowanych technologicznie (EX HSTI) i usług (EX Services) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	liderzy – wykluczeni	liderzy – adaptujący	liderzy – liderzy	liderzy – wykluczeni	liderzy – adaptu- jący	liderzy-liderzy
Ln(dist)	-1.613*** (.072)	-1.33*** (.078)	-1.065*** (.039)	-.877*** (.048)	-1.001*** (.056)	-.832*** (.033)
Ln(GDP _{i,t-1})	.362** (.16)	.157 (.148)	.112 (.138)	.455*** (.094)	.644*** (.095)	.724*** (.102)
Ln(GDP _{j,t-1})	.584*** (.068)	.419*** (.095)	.336*** (.109)	.382*** (.048)	.371*** (.079)	.707*** (.093)
RTA	.105 (.067)	.096* (.058)	-.047 (.042)	.002 (.057)	.112*** (.042)	.073** (.034)
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	-1.153** (.537)	.173 (.411)	-.35 (.297)	-.358 (.397)	1.256*** (.302)	.555** (.242)
$DD_{ij,t-1}^{infra^2}$	1.326*** (.485)	.484 (.557)	1.128** (.56)	1.145*** (.373)	-.604* (.328)	.364 (.383)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	-.568** (.278)	.301 (.246)	-.28 (.277)	-.699*** (.167)	-.276 (.18)	-.195 (.253)
_cons	-2.202 (4.631)	7.217 (4.995)	6.922 (5.023)	-10.524*** (2.771)	-13.948*** (3.708)	-29.038*** (3.967)
Observations	15526	9848	5853	14617	9845	5862

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 16. Wyniki estymacji modeli Hausmana-Taylor dla eksportu państw-adaptujących, towarów zaawansowanych technologicznie (EX HSTI) i usług (EX Services) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	adaptujący – wykluczeni	adaptujący – adaptujący	adaptujący – liderzy	adaptujący – wykluczeni	adaptujący – adaptujący	adaptujący – liderzy
Ln(dist)	-2.648*** (.065)	-2.207*** (.066)	-1.759*** (.074)	-1.058*** (.039)	-1.207*** (.036)	-1.288*** (.055)
Ln(GDP _{i,t-1})	.013 (.141)	.132 (.142)	.507*** (.176)	.321*** (.049)	.482*** (.049)	.38*** (.059)
Ln(GDP _{i,t-1})	.342*** (.101)	.373*** (.131)	.335 (.223)	.302*** (.042)	.326*** (.056)	.637*** (.098)
RTA	.131 (.098)	.013 (.088)	.136 (.097)	-.042 (.089)	.051 (.046)	.111** (.046)
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	-.604 (1.081)	-2.211** (.995)	-.481 (.621)	-.182 (.412)	-.4 (.34)	.236 (.301)
$DD_{ij,t-1}^{infra2}$	.33 (2.338)	2.463 (3.243)	.1 (.811)	.04 (1.01)	.524 (1.136)	-.099 (.352)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	1.543*** (.324)	.118 (.385)	-.657 (.425)	-.034 (.138)	.303** (.144)	.555*** (.149)
_cons	23.478*** (5.013)	21.458*** (5.791)	7.255 (8.141)	-1.407 (1.925)	-4.371* (2.343)	-10.649*** (3.359)
Observations	19181	14803	9616	19391	15291	9836

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 17. Wyniki estymacji modeli Hausmana-Taylora dla eksportu państw-wykluczonych, towarów zaawansowanych technologicznie (EX HSTI) i usług (EX Services) w podziale na grupy państw importujących

	Towary zaawansowane technologicznie			Usługi		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	wykluczeni – wykluczeni	wykluczeni – adaptujący	wykluczeni – liderzy	wykluczeni – wykluczeni	wykluczeni – adapt- ujący	wykluczeni – liderzy
Ln(dist)	-2.132*** (.077)	-2.089*** (.073)	-1.599*** (.087)	-2.132*** (.077)	-2.089*** (.073)	-1.599*** (.087)
Ln(GDP _{i,t-1})	.346*** (.13)	.334** (.132)	.5*** (.122)	.346*** (.13)	.334** (.132)	.5*** (.122)
Ln(GDP _{j,t-1})	.436*** (.129)	.261 (.215)	.693** (.278)	.436*** (.129)	.261 (.215)	.693** (.278)
RTA	.352* (.202)	-.241 (.165)	-.07 (.128)	.352* (.202)	-.241 (.165)	-.07 (.128)
$DD_{ij,t-1}^{infra}$	-1.527 (1.422)	.096 (1.583)	.035 (1.1)	-1.527 (1.422)	.096 (1.583)	.035 (1.1)
$DD_{ij,t-1}^{infra^2}$	9.388* (4.838)	.527 (3.604)	-.801 (1.073)	9.388* (4.838)	.527 (3.604)	-.801 (1.073)
$DD_{ij,t-1}^{ready}$	-.116 (.491)	-1.578*** (.546)	-2.005*** (.532)	-.116 (.491)	-1.578*** (.546)	-2.005*** (.532)
_cons	-6.798 (4.241)	4.393 (6.148)	-11.276* (5.874)	-6.798 (4.241)	4.393 (6.148)	-11.276* (5.874)
Observations	17850	15806	14030	17850	15806	14030

Źródło: opracowanie własne.

Bibliografia

- Aaronson, S. A. (2019). *Data Is a Development Issue*. CIGI Papers No. 223. Centre for International Governance Innovation.
- Aaronson, S. A. (2021). Data Is Different, So Policymakers Should Pay Close Attention to Its Governance. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 340–360). Cambridge University Press.
- Abadi, C., Manssouri, I., Abadi, A. (2021). A Fuzzy Ontology Based Approach to Support Product Eco Design. W: T. Masrou, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial Intelligence and Industrial Applications* (s. 1–13). Springer.
- Abdulghani, T., Winkler, H. (2025). Transition Towards a Green Future: Upgrading a Digital Decarbonization Maturity Model. *Procedia Computer Science*, 253, 1303–1312, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.192>.
- Abeliansky, A. L., Barbero, J., Rodriguez-Crespo, E. (2021). ICTs quality and quantity and the margins of trade. *Telecommunications Policy*, 45, 1–14.
- Acemoglu, D., Restrepo, P. (2019). Artificial Intelligence, Automation, and Work. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 197–236). University of Chicago Press.
- Adeleye, B. N., Adedoyin, F., Nathaniel, S. (2021). The criticality of ICT-trade nexus on economic and inclusive growth. *Information Technology for Development*, 27(2), 293–313.
- Adeola, O., Hinson, R. E., Evans, O. (2020). Social media in marketing communications: A synthesis of successful strategies for the digital generation. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 61–81). Springer Nature.
- Aghion, P., Antonin, C., Bunel, S., Jaravel, X. (2023). The effects of automation on labor demand: A survey of the recent literature. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 15–39). Taylor & Francis.
- Agostini, M. (2021). Big data and analytics: Opportunities and challenges for firm performance. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 73–86). Routledge.
- Agrawal, A., Gans, J., Goldfarb, A. (2019). *Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence*. Harvard Business Review Press.
- Agrawal, A., Khosla, V. (2021). How artificial intelligence and the digital transformation change business and society: An interview with venture capitalist Vinod Khosla. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 127–133). Routledge.

- Ait Ouhamou, A., El Bouzekri El Idrissi, A. (2023). A Smart Home Monitoring System Using NodeMCU and Blynk Application. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 31–40). Springer.
- Alaimo, C., Kallinikos, J. (2020). Managing by data: Algorithmic categories and organizing. *Organization Studies*, 42(9), 1385–1407. SAGE Publications, <https://doi.org/10.1177/0170840620934062>.
- Alaimo, C., Kallinikos, J. (2024). *Data rules: Reinventing the market economy*. The MIT Press.
- Alawami, A., Alawami, M., Obaid, A., Alrushaydan, M., Boudjedra, M. L., Boudjedra, B. E., Alharbi, M., Alzoori, H., Abosaif, S., Bshir, G., Alawami, H., Abufawr, M. (2025). A Systematic Review of AI-Driven Innovations in the Hospitality Sector: Implications on Restaurant Management. *American Journal of Industrial and Business Management*, 15(01), 30–40, <https://doi.org/10.4236/ajibm.2025.151003>.
- Aleem, S., Capretz, L. F., Ahmed, F. (2016). A Digital Game Maturity Model (DGMM). *Entertainment Computing*, 17, 55–73, <https://doi.org/10.1016/j.ent-com.2016.08.004>.
- Aly, H. (2022). Digital transformation, development and productivity in developing countries: Is artificial intelligence a curse or a blessing? *Review of Economics and Political Science*, 7(4), 238–256, <https://doi.org/10.1108/REPS-11-2019-0145>.
- Ambroziak, A. A. (red.). (2017). *The New Industrial Policy of the European Union*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39070-3>.
- Ancillai, C., Sabatini, A., Gatti, M., Perna, A. (2023). Digital technology and business model innovation: A systematic literature review and future research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122307, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122307>.
- Anderson, J. E. (1979). A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *American Economic Review*, 69(1), 106–116.
- Anderson, J. E., Marcouiller, D. (2002). Insecurity and the pattern of trade: An empirical investigation. *Review of Economics and Statistics*, 84(2), 342–352.
- Anderson, J. E., Wincoop, E. van (2003). Gravity with Gravititas: A Solution to the Border Puzzle. *American Economic Review*, 93(1), 170–192.
- Añón Higón, D., Bonvin, D. (2024). Digitalization and trade participation of SMEs. *Small Business Economics*, 62(3), 857–877, <https://doi.org/10.1007/s11187-023-00799-7>.
- Ansari, I., Barati, M., Sadeghi Moghadam, M. R., Ghobakhloo, M. (2023). An Industry 4.0 readiness model for new technology exploitation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(10), 2519–2538.
- Arregle, J.-L., Chirico, F., Kano, L., Kundu, S. K., Majocchi, A., Schulze, W. S. (2021). Family firm internationalization: Past research and an agenda for the future. *Journal of International Business Studies*, 52(6), 1159–1198, <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00425-2>.
- Artuc, E., Bastos, P., Copestake, A., Rijkers, B. (2023). Robots and trade: Implications for developing countries. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era*. (s. 232–274). Taylor & Francis.

- Aruka, Y. (2024). *Evolutionary Economics*. Springer Nature Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-97-1382-0>.
- Asuncion, C. H., van Sinderen, M. J. (2010). Pragmatic interoperability: a systematic review of published definitions. W: P. Bernus, G. Doumeingts, M. Fox (red.). *Enterprise architecture, integration and interoperability* (s. 164–175). Springer.
- Atasoy, B. S. (2021). The determinants of export sophistication: Does digitalization matter? *International Journal of Finance & Economics*, 26(4), 5135–5159, <https://doi.org/10.1002/ijfe.2058>.
- Athey, S. (2019). The Impact of Machine Learning on Economics. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 507–552). University of Chicago Press.
- Autio, E., Thomas, L. D. W. (2020). Value co-creation in ecosystems: Insights and research promise from three disciplinary perspectives. W: S. Nambisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00017>.
- Autor, D. (2022). *The labor market impacts of technological change: From unbridled enthusiasm to qualified optimism to vast uncertainty*. NBER Working Paper Series.
- Avgerou, C., Walsham, G. (2018). Information technology in developing countries. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 166–179). Routledge.
- Avornyo, F., Mahmoud, M. A., Adeola, O., Hinson, R. E., Boateng, R. (2020). Social media technologies and export marketing. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 83–102). Springer Nature.
- Ayat, Y., El Moussati, A., Benzaouia, M., Mir, I. (2023). New topology of WSN for smart irrigation with low consumption and long range. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 221–231). Springer.
- Baarsch, J., Celebi, M.E. (2012). Investigation of internal validity measures for k-means clustering. *Procedia Computer Science*, 20, 188–193.
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, 103745, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>.
- Baines, T., Lightfoot, H., Benedettini, O., Kay, J. (2009). The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 547–567.
- Baines, T., Ziaee Bigdeli, A., Kapoor, K. (2024). *Servitization Strategy: Delivering Customer-Centric Outcomes Through Business Model Innovation*. Springer Nature Switzerland, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-45426-4>.
- Baiyere, A., Salmela, H., Tapanainen, T. (2020). Digital transformation and the new logics of business process management. *European Journal of Information Systems*, 29(3), 238–259, <https://doi.org/10.1080/0960085X.2020.1718007>.
- Baldwin, R. (2016). *The Great Convergence: Information Technology and the New Globalization*. Harvard University Press.
- Baldwin, R. (2019). *The Globotics Upheaval: Globalization, Robotics, and the Future of Work*. Oxford University Press.

- Baldwin, R. (2022). *Globotics and macroeconomics: Globalisation and automation of the service sector*. NBER Working Paper No. 30317.
- Baldwin, R., Dingel, J. I. (2023). Telemigration and development: On the offshorability of teleworkable jobs. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 150–179). Routledge.
- Baldwin, R., Freeman, R. (2022). Risks and global supply chains: What we know and what we need to know. *Annual Review of Economics*, 14, 153–180.
- Baley, I., Veldkamp, L. L. (2025). *The Data Economy: Tools and Applications*. Princeton University Press.
- Baqae, D. R., Farhi, E. (2024). Networks, barriers, and trade. *Econometrica*, 92(2), 505–541.
- Barley, S. R. (2018). Work and technologies: Reflections on the impact of technologies on work. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 209–221). Routledge.
- Barnea, A. (2020). How will AI change intelligence and decision making? *Journal of Intelligence Studies in Business*, 10(1), 75–80.
- Battas, I., Oulhiq, R., Behja, H., Deshayes, L. (2021). Towards a Prediction Analysis in an Industrial Context. W: T. Masrour, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial Intelligence and Industrial Applications* (s. 45–57). Springer Nature.
- Bellalouna, F. (2020). Industrial Case Studies for Digital Transformation of Engineering Processes using the Virtual Reality Technology. *Procedia CIRP*, 90, 636–641, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.082>.
- Belleflamme, P., Neysen, N. (2023). *Platform Strategies: A Guidebook for Entrepreneurs in the Platform Economy*. Routledge, <https://doi.org/10.4324/9780429490873>.
- Ben Slimane, S., Coeurderoy, R., Mhenni, H. (2022). Digital transformation of small and medium enterprises: A systematic literature review and an integrative framework. *International Studies of Management & Organization*, 52(2), 96–120, <https://doi.org/10.1080/00208825.2022.2072067>.
- Benbya, H., Davenport, T. H., Pachidi, S. (2020). Artificial Intelligence in Organizations: Current State and Future Opportunities. *SSRN Electronic Journal*, <https://doi.org/10.2139/ssrn.3741983>.
- Benhmama, A., Bennani, Y. B. (2024). Factors driving the adoption of artificial intelligence technology in the recruitment process in Morocco. *Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy*, 5(3), 387–406, [https://doi.org/10.46656/access.2024.5.3\(1\)](https://doi.org/10.46656/access.2024.5.3(1)).
- Bergstrand, J. H. (1985). The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence. *Review of Economics and Statistics*, 67(3), 474–481.
- Bergstrand, J. H. (1989). The Generalized Gravity Equation, Monopolistic Competition, and the Factor-Proportions Theory in International Trade. *Review of Economics and Statistics*, 71(1), 143–153.
- Bessen, J. E. (2019). AI and Jobs: The Role of Demand. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 291–308). University of Chicago Press.
- Biagi, F. (2013). *ICT and Productivity: A Review of the Literature*. Digital Economy Working Paper 2013/09. European Commission, Joint Research Centre.

- Bianchi, P., Labory, S. (2018). *Industrial Policy for the Manufacturing Revolution*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781786430328>.
- Bibby, L., Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030–1043, <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1503355>.
- Birkinshaw, J. (2020). What is the value of firms in an AI world? W: J. Canal, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 23–36). Springer Nature.
- Blanka, C., Krumay, B., Rueckel, D. (2022). The interplay of digital transformation and employee competency: A design science approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121575, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121575>.
- Boikova, T., Zeverte-Rivza, S., Rivza, P., Rivza, B. (2021). The Determinants and Effects of Competitiveness: The Role of Digitalization in the European Economies. *Sustainability*, 13(21), 11689, <https://doi.org/10.3390/su132111689>.
- Boland, R. J., Lyytinen, K., Yoo, Y. (2007). Wakes of innovation in project networks: The case of digital 3-D representations in architecture, engineering, and construction. *Organization Science*, 18(4), 631–647, <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0304>.
- Bolisani, E., Nakash, M. (2024). Knowledge Management Meets Artificial Intelligence: A Systematic Review and Future Research Agenda. *European Conference on Knowledge Management*, 25(1), 544–552, <https://doi.org/10.34190/eckm.25.1.2443>.
- Bommasani, R., Hudson, D. A., Adeli, E., Altman, R., von Arx, S. i in. (2021). *On the opportunities and risks of foundation models*. Stanford Center for Research on Foundation Models.
- Bondi, A., Baccini, L., Fiorini, M., Hoekman, B., Altomonte, C., Colantone, I. (2025). Global value chains and the design of trade agreements. *The Review of International Organizations*, 20(1), 1–33.
- Bonfiglioli, A., Crinò, R., Gancia, G., Papadakis, I. (2023). Robots, offshoring, and welfare. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 40–81). Taylor & Francis.
- Boone, T., Fahimnia, B., Ganeshan, R., Herold, D. M., Sanders, N. R. (2025). Generative AI: Opportunities, challenges, and research directions for supply chain resilience. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 199, 104135, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104135>.
- Borowiecki, M., Pareliussen, J., Glocker, D., Kim, E. J., Polder, M., Rud, I. (2021). *The impact of digitalisation on productivity: Firm-level evidence from the Netherlands*. OECD Economic Department Working Papers (1680). The London School of Economics and Political Science.
- Bourezza, E. M., Mousrij, A. (2021). Towards a Platform to Implement an Intelligent and Predictive Maintenance in the Context of Industry 4.0. W: T. Masrour, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial Intelligence and Industrial Applications* (s. 33–44). Springer Nature.
- Bourhim, A., Mourdi, Y. (2023). Microcontroller-Based Embedded System for Smart Waste Monitoring. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 58–65). Springer Nature.
- Bouwman, H., Nikou, S., De Reuver, M. (2019). Digitalization, business models, and SMEs: How do business model innovation practices improve performance

- of digitalizing SMEs? *Telecommunications Policy*, 43(9), 101828, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101828>.
- Bouwman, H., Nikou, S., MolinaCastillo, F. J., de Reuver, M. (2018). The impact of digitalization on business models. *Digital Policy, Regulation and Governance*, 20(2), 105–124.
- Bradford, A. (2020). *The Brussels Effect: How the European Union Rules the World*. Oxford University Press.
- Bradford, A. (2023). *Digital Empires: The Global Battle to Regulate Technology*. Oxford University Press.
- Bresnahan, T. F., Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies ‘Engines of growth’? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.
- Brouthers, K. D., Chen, L., Li, S., Shaheer, N. (2022). Charting new courses to enter foreign markets: Conceptualization, theoretical framework, and research directions on non-traditional entry modes. *Journal of International Business Studies*, 53(9), 2088–2115, <https://doi.org/10.1057/s41267-022-00521-x>.
- Brouthers, L. E., Nakos, G. (2005). The Role of Systematic International Market Selection on Small Firms’ Export Performance. *Journal of Small Business Management*, 43(4), 363–381, <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2005.00142.x>.
- Brouthers, L. E., Nakos, G., Hadjimarcou, J., Brouthers, K. D. (2009). Key Factors for Successful Export Performance for Small Firms. *Journal of International Marketing*, 17(3), 21–38, <https://doi.org/10.1509/jimk.17.3.21>.
- Brynjolfsson, E., Li, D., Raymond, L. (2025). Generative AI at Work. *The Quarterly Journal of Economics*, 140(2), 889–942, <https://doi.org/10.1093/qje/qjae044>.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2017). *Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future*. W.W. Norton & Company.
- Brynjolfsson, E., Rock, D., Syverson, C. (2017). *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics*. NBER Working Paper No. 24001. National Bureau of Economic Research, <https://doi.org/10.3386/w24001>.
- Brynjolfsson, E., Rock, D., Syverson, C. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. University of Chicago Press.
- Brynjolfsson, E., Smith, M. D. (2000). Frictionless commerce? A comparison of Internet and conventional retailers. *Management Science*, 46(4), 563–585.
- Burri, M. (2015). *The International Economic Law Framework for Digital Trade*. *Zeitschrift für Schweizerisches Recht*, 135, 10–72.
- Burri, M. (2020). Digital Trade Provisions in Preferential Trade Agreements: Introducing a New Dataset. *Journal of International Economic Law*, 23(1), s. 187–220.
- Burri, M. (2021a). *Data Flows and Global Trade Law*. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 11–41). Cambridge University Press.
- Burri, M. (2021b). Digital Trade: In Search of Appropriate Regulation. W: F. E. Rosa, R. De La (red.), *Justice, Trade, Security and Individual Freedoms in the Digital Society* (s. 213–247). Thomson Reuters.

- Burri, M. (2022). *Adapting trade rules for the age of big data*. W: A. Taubman, J. Watal (red.), *Trade in Knowledge: Intellectual Property, Trade and Development in a Transformed Global Economy* (s. 591–622). Cambridge University Press.
- Burri, M. (2024). Digital trade in free trade agreements. W: K. Nadakavukaren Schefer, T. Cottier (red.), *Encyclopedia of International Economic Law*. Edward Elgar.
- Burri, M. (red.) (2021). *Big Data and Global Trade Law*. Cambridge University Press.
- Burri, M., Polanco, R. (2020). Digital Trade Provisions in Preferential Trade Agreements: Introducing a New Dataset. *Journal of International Economic Law*, 23(1), 187–220.
- Bursell, M., Roumbanis, L. (2024). After the algorithms: A study of meta-algorithmic judgments and diversity in the hiring process at a large multisite company. *Big Data & Society*, 11(1).
- Bustinza, O. F., Molina, L. M., Vendrell-Herrero, F., Opazo-Basaez, M. (2024). AI-enabled smart manufacturing boosts ecosystem value capture: The importance of servitization pathways within digital-intensive industries. *International Journal of Production Economics*, 277, 109411, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109411>.
- Calinski, R.B., Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 3(1), 1–27.
- Calış Duman, M., Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120615>.
- Camerer, C. F. (2019). Artificial Intelligence and Behavioral Economics. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 587–610). University of Chicago Press.
- Canals, J. (2020). The evolving role of general managers in the age of AI. W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 37–66). Springer Nature.
- Canals, J., Heukamp, F. (red.). (2020). *The Future of Management in an AI World: Redefining Purpose and Strategy in the Fourth Industrial Revolution*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20680-2>.
- Canhoto, A. I., Quinton, S., Pera, R., Molinillo, S., Simkin, L. (2021). Digital strategy aligning in SMEs: A dynamic capabilities perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 30(3), 101682, <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2021.101682>.
- Cantwell, J., Marra, M. (2024). Innovation and international business policy. W: P. Gugler, A. T. Tavares-Lehmann (red.), *Handbook of International Business Policy* (s. 156–169). Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781035308682.00017>.
- Cao, G., Duan, Y., Edwards, J. S. (2025). Organizational culture, digital transformation, and product innovation. *Information & Management*, 62(4), 104135, <https://doi.org/10.1016/j.im.2025.104135>.
- Cappelli, P., Tambe, P., Yakubovich, V. (2020). Can data science change human resources? W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 93–116). Springer Nature.
- Carayannis, E., Grigoroudis, E. (red.). (2023). *Handbook of Research on Artificial Intelligence, Innovation and Entrepreneurship*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781839106750>.

- Castells, M. (2002). *The internet galaxy: Reflections on the internet, business, and society*. Oxford University Press.
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, 107, 22–32, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>.
- Castro, D., McQuinn, A. (2023). *Transforming global trade and development with digital technologies. ITIF Report*, <https://itif.org/publications/2023/01/transforming-global-trade-and-development-with-digital-technologies>.
- Chalmers, D., MacKenzie, N. G., Carter, S. (2021). Artificial Intelligence and Entrepreneurship: Implications for Venture Creation in the Fourth Industrial Revolution. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 45(5), 1028–1053, <https://doi.org/10.1177/1042258720934581>
- Chander, A. (2021). Artificial Intelligence and Trade. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 115–134). Cambridge University Press.
- Chaney, T. (2014). The network structure of international trade. *American Economic Review*, 104(11), 3600–3634.
- Chauhan, C., Singh, A., Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124809, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809>.
- Checchinato, F. (2021). Technology is just an enabler of digital transformation: Interview with Gianfranco Chimirri, HR communication director of Unilever Italy. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 87–94). Routledge.
- Chen, J., Sousa, C. M. P., He, X. (2016). The determinants of export performance: A review of the literature 2006–2014. *International Marketing Review*, 33(5), 626–670, <https://doi.org/10.1108/IMR-10-2015-0212>.
- Chen, Y., Gao, Y. (2022). Comparative analysis of digital trade development strategies and governance approaches. *Journal of Digital Economy*, 1, 227–238.
- Chinn, M. D., Fairlie, R. W. (2007). The determinants of the global digital divide: A cross-country analysis of computer and internet penetration. *Oxford Economic Papers*, 59(1), 16–44.
- Choi, H., Varian, H. (2012). *Predicting the Present with Google Trends*. *Economic Record*, 88, 2–9.
- Choy, C.S., Yew, W.K., Lin, B. (2006). Criteria for measuring KM performance outcomes in organizations. *Industrial Management & Data Systems*, 106(7), 55–57.
- Ciampi, F., Faraoni, M., Ballerini, J., Meli, F. (2022). The co-evolutionary relationship between digitalization and organizational agility: Ongoing debates, theoretical developments and future research perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121383.
- Cockburn, I. M., Henderson, R. i Stern, S. (2019). The Impact of Artificial Intelligence on Innovation. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 115–146). University of Chicago Press.
- Collins, D., Geist, M. (red.) (2023). *Research Handbook on Digital Trade*. Edward Elgar Publishing.

- Constantinides, P., Henfridsson, O., Parker, G. G. (2018). Introduction-Platforms and Infrastructures in the Digital Age. *Information Systems Research*, 29(2), 381–400, <https://doi.org/10.1287/isre.2018.0794>.
- Constantiou, I. D., Kallinikos, J. (2015). New Games, New Rules: Big Data and the Changing Context of Strategy. *Journal of Information Technology*, 30(1), 44–57, <https://doi.org/10.1057/jit.2014.17>.
- Conte, M., Cotterlaz, P., Mayer, T. (2022). *The CEPII gravity database highlights*.
- Corrado, C., Haskel, J., Jona-Lasinio, C. (2017). Knowledge Spillovers, ICT and Productivity Growth. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 79(4), 592–618, <https://doi.org/10.1111/obes.12171>.
- Corrales, E., Corrales, B. P., Freire, L. O., Benalcázar, M. J. (2023). Artificial neural networks and their application in EEG signal classification. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 953–965). Springer Nature.
- Couldry, N., Mejias, U. A. (2019). Making data colonialism liveable: How might data's social order be regulated? *Internet Policy Review*, 8(2).
- Council of the European Union; European Parliament (2023). Regulation (EU) 2023/1781 establishing a framework of measures for strengthening Europe's semiconductor ecosystem (European Chips Act). UE L 229.
- Cowen, T. (2019). Neglected Open Questions in the Economics of Artificial Intelligence. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 391–398). University of Chicago Press.
- Crémer, J., Montjoye, Y.-A. de, Schweitzer H. (2019). *Competition Policy for the Digital Era*. European Commission.
- Crick, J. M., Crick, D., Chaudhry, S. (2020). Entrepreneurial marketing decision-making in rapidly internationalising and de-internationalising start-up firms. *Journal of Business Research*, 113, 158–167, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.11.033>.
- Cusumano, M. A., Kahl, S., Suarez, F. F. (2015). Services, industry evolution, and the competitive strategies of product firms. *Strategic Management Journal*, 36(4), 559–575.
- Damioli, G., Van Roy, V., Vertesy, D. (2021). The impact of artificial intelligence on labor productivity. *Eurasian Business Review*, 11(1), 1–25, <https://doi.org/10.1007/s40821-020-00172-8>.
- Davidson, T. M., Bunnell, B. E., Saunders, B. E., Hanson, R. F., Danielson, C. K., Cook, D., Chu, B. C., Dorsey, S., Adams, Z. W., Andrews, A. R. III, Walker, J. H., Soltis, K. E., Cohen, J. A., Deblinger, E., Ruggiero, K. J. (2019). Pilot evaluation of a tablet-based application to improve quality of care in child mental health treatment. *Behavior Therapy*, 50(2), 367–379, <https://doi.org/10.1016/j.beth.2018.07.005>.
- De Kleijn, M., Siebert, M., Huggett, S. (2019). *Artificial Intelligence: how knowledge is created, transferred and used*. IFLA e-print 2814. The Hague: International Federation of Library Associations and Institutions.
- Debellis, F., Rondi, E., Plakoyiannaki, E., De Massis, A. (2021). Riding the waves of family firm internationalization: A systematic literature review, integrative framework, and research agenda. *Journal of World Business*, 56(1), 101144, <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2020.101144>.

- Dehning, B., Richardson, V. J., Zmud, R. W. (2003). The value relevance of announcements of transformational information technology investments. *MIS Quarterly*, 27(4), 637–656.
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles. *Sustainability*, 12(23), 9927, <https://doi.org/10.3390/su12239927>.
- Dillenseger, B. (1998). From interoperability to cooperation: building intelligent agents on middleware. W: *International Workshop on Intelligent Agents for Telecommunication Applications* (s. 220–232). Springer.
- Dong, Y., He, X., Blut, M. (2024). How and when does digitalization influence export performance? A meta-analysis of its consequences and contingencies. *International Marketing Review*, 41(6), 1388–1413, <https://doi.org/10.1108/IMR-02-2024-0044>.
- Drydakis, N. (2022). Improving Entrepreneurs' Digital Skills and Firms' Digital Competencies. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121439.
- Dua, I. K., Patel, P. G. (2024). *Optimizing Generative AI Workloads for Sustainability: Balancing Performance and Environmental Impact in Generative AI*. Apress, <https://doi.org/10.1007/979-8-8688-0917-0>.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., Duan, Y., Dwivedi, R., Edwards, J., Eirug, A., Galanos, V., Ilavarasan, P. V., Janssen, M., Jones, P., Kar, A. K., Kizgin, H., Kronemann, B., Lal, B., Lucini, B., Williams, M. D. (2021). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, 101994, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>.
- Eaton, J., Kortum, S. (2002). Technology, Geography, and Trade. *Econometrica*, 70(5), 1741–1779.
- Ekechukwu, J., Lammers, T. (2020). Digital technology to enhance project leadership practice: The case of civil construction. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 247–271). Springer Nature.
- El Achab, Y., Kaicer, M. (2023). Study on Determining Household Poverty Status: Evidence from SVM Approach. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 3–10). Springer Nature.
- El Amrani, A., El Bouzekri El Idrissi, A., Bouzidi, A. (2023a). A Smart Monitoring System for the Safety of Remote Fuel Stations. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 66–73). Springer Nature.
- El Amrani, A., El Bouzekri El Idrissi, A., Bouzidi, A. (2023b). Designing a Wireless Communication System for Rural Areas Based on Long Range (LoRa) Technology. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 74–81). Springer Nature.
- El Hamidi, A., Bouzi, M. (2023). Adaptive cruise control for autonomous vehicles using predictive control. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 862–871). Springer Nature.

- El Hammouti, A., El Bouzekri El Idrissi, A. (2023). Smart Health Monitoring System Using IoT and Cloud Computing. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 97–104). Springer Nature.
- El Haouat, Z., Essalih, S., Bennouna, F., Ramadany, M., Amegouz, D. (2024). Environmental optimization and operational efficiency: Analysing the integration of life cycle assessment (LCA) into ERP systems in Moroccan companies. *Results in Engineering*, 22, Article 102131, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102131>.
- El Hilali, M., El Ghazi, A. (2023). Bio-Inspired Optimisation Algorithm for Congestion Control in Computer Networking. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 21–30). Springer Nature.
- El Kaime, H., Lissane Elhaq, S. (2021). Methodology for Implementation of Industry 4.0 Technologies in Supply Chain for SMEs. W: T. Masrour, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial Intelligence and Industrial Applications* (s. 59–76). Springer Nature.
- El Mazgualdi, C., Masrour, T., El Hassani, I., Khoudi, A. (2021). A Deep Reinforcement Learning Decision Model for Heating Process Identification in Automotive Glass Manufacturing. W: T. Masrour, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial Intelligence and Industrial Applications* (s. 77–87). Springer Nature.
- El Rhatassi, F. E., El Ghali, B., Daoudi, N. (2023). A Chatbot's Architecture for Customized Services for Developmental and Mental Health Disorders: Autism. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco*, (t. 2, s. 134–141). Springer Nature.
- Elsig, M., Klotz, S. (2021). Data Flow-Related Provisions in Preferential Trade Agreements: Trends and Patterns of Diffusion. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 42–62). Cambridge University Press.
- Ernst, D. (2016). The new global division of labor in semiconductor production: Implications for the U.S. and East Asia. *Asian Economic Policy Review*, 11(2), 287–310.
- Escaith, H., Lindenberg, N., Miroudot, S. (2011). Global supply chains, the great trade collapse and beyond: more elasticity or more volatility? W: F. Di Mauro, B. Mandel (red.), *Recovery and Beyond. Lessons For Trade Adjustment And Competitiveness* (s. 138–150). ECB.
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. (2013). *ICT and productivity: A review of the literature*. Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2788/32940>.
- Evans, P. C., Gawer, A. (2016). *The Rise of the Platform Enterprise: A Global Survey*. The Center for Global Enterprise.
- Faia, E., Laffitte, S., Mayer, M., Ottaviano, G. (2023). On the employment consequences of automation and offshoring: A labor market sorting view. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 82–122). Taylor & Francis.
- Fareed, A. G., De Felice, F., Forcina, A., Petrillo, A. (2024). Role and applications of advanced digital technologies in achieving sustainability in multimodal logistics operations: A systematic literature review. *Sustainable Futures*, 8, 100278, <https://doi.org/10.1016/j.sft.2024.100278>.

- Farmanbar, M., Tzamtzi, M., Verma, A. K., Chakravorty, A. (red.). (2024). *Frontiers of Artificial Intelligence, Ethics, and Multidisciplinary Applications: 1st International Conference on Frontiers of AI, Ethics, and Multidisciplinary Applications (FAIEMA)*, Greece. Springer Nature, <https://doi.org/10.1007/978-981-99-9836-4>.
- Farrell, H., Newman, A. L. (2019). Weaponized Interdependence: How Global Economic Networks Shape State Coercion. *International Security*, 44(1), 42–79.
- Feenstra, R. C. (1994). New product varieties and the measurement of international prices. *American Economic Review*, 84(1), 157–177.
- Feher, K., Katona, A. I. (2021). Fifteen shadows of socio-cultural AI: A systematic review and future perspectives. *Futures*, 132, 102817.
- Feldmann, J., Youngblood, N., Karpov, M., Gehring, H., Li, X., Stappers, M., Le Gallo, M., Fu, X., Lukashchuk, A., Raja, A. S., Liu, J., Wright, C. D., Sebastian, A., Kippenberg, T. J., Pernice, W. H. P., Bhaskaran, H. (2021). Parallel convolutional processing using an integrated photonic tensor core. *Nature*, 589(7840), 52–58.
- Feliciano-Cestero, M. M., Ameen, N., Kotabe, M., Paul, J., Signoret, M. (2023). Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms' digital transformation and internationalization. *Journal of Business Research*, 157, 113546, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113546>.
- Felzmann, H., Villaronga, E. F., Lutz, C., Tamò-Larrieux, A. (2019). Transparency You Can Trust: Transparency Requirements for Artificial Intelligence Between Legal Norms and Contextual Concerns. *Big Data & Society*, 7(1).
- Ferracane, M. F. (2021). *The Costs of Data Protectionism*. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 63–78). Cambridge University Press.
- Ferrari, A. (2012). *Digital competence in practice: An analysis of frameworks*. Publications Office of the European Union.
- Ferreira, J. J. M., Fernandes, C. I., Ferreira, F. A. F. (2019). To be or not to be digital, that is the question: Firm innovation and performance. *Journal of Business Research*, 101, 583–590, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.11.013>.
- Fleury, A., Fleury, M. T. L., Oliveira, L., Leao, P. (2024). Going digital EMNEs: The role of digital maturity capability. *International Business Review*, 33(4), 102271, <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2024.102271>.
- Foguesatto, C. R., Frare, A. B., Wegner, D., Mitregra, M., Rodrigues, R. A. B. (2024). You will never stand alone: The role of inter-organizational collaboration and technological turbulence in shaping small business' digital maturity. *The Journal of High Technology Management Research*, 35(2), 100518, <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2024.100518>.
- Fox, S., Griffy-Brown, C. (2023). Healthcare technology in society: Technology in Society Briefing. *Technology in Society*, 74, 102334, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102334>.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 341–344.
- Frank, A. G., Mendes, G. H. S., Ayala, N. F., Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341–351, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014>.

- Fuller, D. B. (2013). The cross-strait economic relationship's impact on development in Taiwan and China: adversaries and partners across the Taiwan Strait. W: D. B. Fuller, M. A. Rubinstein (red.), *Technology Transfer Between the US, China and Taiwan: Moving Knowledge* (s. 147–168). Routledge.
- Fuller, D. B. (2016). *Paper tigers, hidden dragons: Firms and the political economy of China's technological development*. Oxford University Press.
- Fuller, D.B. (2019). *Technology Transfer between the US, China and Taiwan: Moving Knowledge*. Routledge.
- Fuller, D. B., Akinwande, A. I., Sodini, C. G. (2013). Global reorganization of the IT industry and the rise of Greater China. W: D. B. Fuller, M. A. Rubinstein (red.), *Technology Transfer Between the US, China and Taiwan: Moving Knowledge* (s. 71–98). Routledge.
- Fuller, D. B., Rubinstein, M. A. (red.). (2017). *Technology transfer between the US, China and Taiwan: Moving knowledge*. Routledge.
- Furman, J. (2019). Should We Be Reassured If Automation in the Future Looks Like Automation in the Past? W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 317–328). University of Chicago Press.
- Furr, N., Ozcan, P., Eisenhardt, K. M. (2022). What is digital transformation? Core tensions facing established companies on the global stage. *Global Strategy Journal*, 12(4), 595–618, <https://doi.org/10.1002/gsj.1442>.
- Furusawa, T., Kusaka, S., Sugita, Y. (2023). The impacts of AI, robots, and globalization on labor markets: Analysis of a quantitative general equilibrium trade model. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 123–149). Routledge.
- Gal, U., Jensen, T. B., Stein, M.-K. (2020). Breaking the Vicious Cycle of Algorithmic Management: A Virtue Ethics Approach to People Analytics. *Information and Organization*, 30(2), 100301.
- Galasso, A. i Luo, H. (2019). Punishing Robots: Issues in the Economics of Tort Liability and Innovation in Artificial Intelligence. W: A. Agrawal, J. Gans i A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 493–506). University of Chicago Press.
- Galli, B. J., Muniz, G. (2020). Data analytics and predictive analytics: How technology fits into the equation. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 103–112). Springer Nature.
- Galliers, R. D., Stein, M.-K. (red.). (2017). *The Routledge Companion to Management Information Systems*. Routledge, <https://doi.org/10.4324/9781315619361>
- Ganne, E. (2021). Blockchain's Practical and Legal Implications for Global Trade and Global Trade Law. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 137–159). Cambridge University Press.
- Gao, H. S. (2021). Data Regulation with Chinese Characteristics. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 245–267). Cambridge University Press.
- Gao, X., Feng, H. (2023). AI-Driven Productivity Gains: Artificial Intelligence and Firm Productivity. *Sustainability*, 15(11), 8934, <https://doi.org/10.3390/su15118934>
- Garcia-Murillo, M., MacInnes, I. (2025). Economic, political, and social factors impeding the regulation of digital platforms. *Telecommunications Policy*, 49(3), 102915.

- Garicano, L. (2000). Hierarchies and the Organization of Knowledge in Production. *Journal of Political Economy*, 108(5), 874–904.
- Garicano, L., Rossi-Hansberg, E. (2015). Knowledge-Based Hierarchies: Using Organizations to Understand the Economy. *Annual Review of Economics*, 7(1), 1–30.
- Gasser, U. (2021). Futuring Digital Privacy: Reimagining the Law/Tech Interplay. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 195–211). Cambridge University Press.
- George, B. P., Paul, J. (2020). *Digital Transformation in Business and Society*. Springer International Publishing.
- George, B. P., Paul, J. (red.). (2020). *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases*. Springer.
- Gervais, D. J. (2021). TRIPS Meets Big Data. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 160–176). Cambridge University Press.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M. (2021). Digital Transformation Success under Industry 4.0: A Strategic Guideline for Manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8), 1533–1556.
- Ghosh, B. N. (2019). *Dependency Theory Revisited*. Routledge.
- Giroud, A., Bonilla-Feret, S., Farinelli, F. (2024). Government policies for MNEs' sustainable linkages. W: P. Gugler, A. T. Tavares-Lehmann (red.), *Handbook of International Business Policy* (s. 274–293). Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781035308682.00024>.
- Girón, D. C. A., Yovera, S. E. R. Y., Torres De Salinas, F. D. M. G., Soto, F. G. C., Cadenas, D. I. V. (2025). The relationship between knowledge management and artificial intelligence: A thematic analysis from Scopus. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*, 5(1), 1–10, <https://doi.org/10.47909/ijsmc.1713>.
- Gmati, A., Tounsi, R., Bouabid, S. (2023). IoT-Based Smart Water Metering System. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 51–57). Springer Nature.
- Gnangnon, S. K., Iyer, H. (2018). Does bridging the Internet Access Divide contribute to enhancing countries' integration into the global trade in services markets? *Telecommunications Policy*, 42(1), 61–77, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.08.004>
- Goldfarb, A., Trefler, D. (2019). Artificial Intelligence and International Trade. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 463–492). University of Chicago Press.
- Goldfarb, A., Tucker, C. (2019). Digital Economics. *Journal of Economic Literature*, 57(1), 3–43, <https://doi.org/10.1257/jel.20171452>.
- Gong, C., Ribiere, V. (2021). Developing a unified definition of digital transformation. *Technovation*, 102, 102217, <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102217>.
- Goolsbee, A. (2019). Public Policy in an AI Economy. W: A. Agrawal, J. Gans i A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 309–316). University of Chicago Press.
- Gouveia, F. D., Mamede, H. S. (2022). Digital Transformation for SMES in the Retail Industry. *Procedia Computer Science*, 204, 671–681, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.081>.

- Gómez-Carmona, O., Buján-Carballal, D., Casado-Mansilla, D., López-de-Ipiña, D., Cano-Benito, J., Cimmino, A., Poveda-Villalón, M., García-Castro, R., Almela-Miralles, J., Apostolidis, D., Drosou, A., Tzovaras, D., Wagner, M., Guadalupe-Rodríguez, M., Salinas, D., Esteller, D., Riera-Rovira, M., González, A., Clavijo-Ágreda, J., Bujalkova, N. (2023). Mind the gap: The AURORAL ecosystem for the digital transformation of smart communities and rural areas. *Technology in Society*, 74, 102304, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102304>.
- Grossman, G. M., Helpman, E. (1993). *Innovation and growth in the global economy*. MIT Press.
- Grover, V., Balusamy, B. B., Milanova, M., Felix, A. Y. (red.). (2024). *Blockchain, IoT, and AI Technologies for Supply Chain Management: Apply Emerging Technologies to Address and Improve Supply Chain Management*. Apress, <https://doi.org/10.1007/979-8-8688-0315-4>.
- Guillen, M. F., Suarez, S. L. (2005). Explaining the Global Digital Divide: Economic, Political and Sociological Drivers of Cross-National Internet Use. *Social Forces*, 84(2), 681–708, <https://doi.org/10.1353/sof.2006.0015>.
- Hakam, A., El Ghazi, H., Nahhal, T. (2023). Predicting energy consumption using XG-Boost regressor model. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 189–195). Springer.
- Handa, K., Tamkin, A., McCain, M., Huang, S., Durmus, E., Heck, S., Mueller, J., Hong, J., Ritchie, S., Belonax, T., Troy, K. K., Amodei, D., Kaplan, J., Clark, J., Ganguli, D. (2025). *Which Economic Tasks are Performed with AI? Evidence from Millions of Claude Conversations*, arXiv preprint arXiv:2503.04761.
- Hanson, G. (2023). Immigration and regional specialization in AI. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 180–231). Taylor & Francis.
- Hanssens, D. M. (2020). AI, marketing science and sustainable profit growth. W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 151–164). Springer Nature.
- Hassan, N. R. (2018). Taking IS history seriously. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 5–29). Routledge.
- He, X., Fay, R. (2024). *Digital Governance: Technology Tensions with China and Implications*. CIGI Conference Report. Centre for International Governance Innovation.
- Head, K., Mayer, T. (2014). Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, and Cookbook. W: *Handbook of International Economics* (t. 4, s. 131–195). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54314-1.00003-3>.
- Helberger, N. (2025). The rise of technology courts, or: How technology companies re-invent adjudication for a digital world. *Computer Law & Security Review*, 56, 106118, <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2025.106118>.
- Helberger, N., Pierson, J., Poell, T. (2018). Governing online platforms: From contested to cooperative responsibility. *The Information Society*, 34(1), 1–14.
- Henfridsson, O. (2020). Scaling digital enterprises. W: S. Nambisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00019>.

- Henfridsson, O., Bygstad, B. (2013). The generative mechanisms of digital infrastructure evolution. *MIS Quarterly*, 37(3), 907–931.
- Herman, P. R., Oliver, S. (2023). Trade, policy, and economic development in the digital economy. *Journal of Development Economics*, 164, 103135, <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103135>.
- Herzog, B. (2024). Is artificial intelligence a hazardous technology? Economic trade-off model. *European Journal of Futures Research*, 12(1).
- Hess, T., Matt, C., Benlian, A., Wiesböck, F. (2020). Options for formulating a digital transformation strategy. W: *Strategic information management* (s. 151–173). Routledge.
- Heukamp, F. (2020). *AI and the leadership development of the future*. W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world*. Springer Nature.
- Hinterhuber, A., Nilles, M. (2021). Digital transformation, the Holy Grail and the disruption of business models. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 120–126). Routledge.
- Hinterhuber, A., Stroh, S. (2021). The three pillars of digital transformation: Improving the core, building new business models, and developing digital capabilities. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 67–72). Routledge.
- Hinterhuber, A., Vescovi, T., Checchinato, F. (red.). (2021). *Managing digital transformation: Understanding the strategic process*. Routledge, <https://doi.org/10.4324/9781003008637>.
- Hirvonen, J., Majuri, M. (2020). Digital capabilities in manufacturing SMEs. *Procedia Manufacturing*, 51, 1283–1289, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.179>.
- Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M., Abdullah, N. (2020). Industry 4.0 Readiness Models: A Systematic Literature Review of Model Dimensions. *Information*, 11(7), 364, <https://doi.org/10.3390/info11070364>.
- Hoekman, B. (2022). *Digital trade: Opportunities and challenges*. UN-OHRLS, WTO.
- Hofmann, C., Osnago, A., Ruta, M. (2019). The content of preferential trade agreements. *World Trade Review*, 18(3), 365–398.
- Hofmans, L., Van Der Stappen, A., Van Den Bos, W. (2024). Developmental structure of digital maturity. *Computers in Human Behavior*, 157, 108239, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108239>.
- Holmström, J. (2022). From AI to digital transformation: The AI readiness framework. *Business Horizons*, 65(3), 329–339, <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.03.006>.
- Höyng, M., Lau, A. (2023). Being ready for digital transformation: How to enhance employees' intentional digital readiness. *Computers in Human Behavior Reports*, 11, 100314, <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100314>.
- Huang, A., Chao, Y., De La Mora Velasco, E., Bilgihan, A., Wei, W. (2022). When artificial intelligence meets the hospitality and tourism industry: An assessment framework to inform theory and management. *Journal of Hospitality and Tourism Insights*, 5(5), 1080–1100, <https://doi.org/10.1108/JHTI-01-2021-0021>.
- Hummels, D. L., Schaur, G. (2013). Time as a trade barrier. *American Economic Review*, 103(7), 2935–2959.
- IMF, OECD, UNCTAD, World Bank, WTO. (2023). *Digital trade for development*.

- IMF, OECD, WTO. (2023). *Handbook on Measuring Digital Trade*, <https://doi.org/10.1787/ac99e6d3-en>.
- Ing, L. Y., Grossman, G. M. (2022). *Robots and AI: A New Economic Era*. Taylor & Francis, <https://doi.org/10.4324/9781003275534>.
- Ing, L. Y., Zhang, R. (2023). Automation in Indonesia: Productivity, quality, and employment. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 275–309). Routledge.
- İpek, İ. (2020). Understanding consumer behavior in technology mediated spaces. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 169–189). Springer Nature.
- Irion, K. (2021). Panta Rhei: A European Perspective on Ensuring a High Level of Protection of Human Rights in a World in Which Everything Flows. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 231–242). Cambridge University Press.
- ISO/IEC (1994). *7498-1: Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model*.
- Ito, K. (2023). *Centrality in production networks and international technology diffusion*. arXiv preprint arXiv:2301.01234.
- Jafari-Sadeghi, V., Amoozad Mahdiraji, H., Alam, G. M., Mazzoleni, A. (2023). Entrepreneurs as strategic transformation managers: Exploring micro-foundations of digital transformation in small and medium internationalisers. *Journal of Business Research*, 154, 113287, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.08.051>.
- Jain, A.K., Murty, M.N., Flynn, P.J. (1999). Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 31(3), 264–323.
- Janji, S., Sroka, P., Kliks, A. (2024). *Wykorzystanie rekonfigurowalnych inteligentnych matryc antenowych w łączu dosyłowym sieci 5G/6G wykorzystującej bezzałogowe statki powietrzne*. arXiv preprint arXiv:2403.05301.
- Jarrahi, M. H., Newlands, G., Lee, M. K., Wolf, C. T., Kinder, E., Sutherland, W. (2021). Algorithmic management in a work context. *Big Data & Society*, 8(2), 20539517211020332, <https://doi.org/10.1177/20539517211020332>.
- Jarvenpaa, S. L., Echeverri-Carroll, E. L., Pedraza-Avella, A. (2020). Digital innovation and entrepreneurship in and around institutional voids: The case of Fundacin Cardiovascular (FCV) in Colombia. W: *Handbook of digital innovation*. Edward Elgar Publishing.
- Jeske, T., Würfels, M., Lennings, F. (2021). Development of Digitalization in Production Industry – Impact on Productivity, Management and Human Work. *Procedia Computer Science*, 180, 371–380, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.358>.
- Jie, H., Gooi, L. M., Lou, Y. (2025). Digital maturity, dynamic capabilities and innovation performance in high-tech SMEs. *International Review of Economics & Finance*, 99, 103971, <https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.103971>.
- Jilbab, A., El Hadani, D., El Aroussi, M. (2023). Smart maintenance approach based on artificial intelligence for anomaly detection. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco*. (t. 2, s. 580–589). Springer.
- Jin, B., Hurd, C. M. (2018). Exploring the impact of digital platforms on small and medium-sized enterprise (SME) internationalization. *Journal of Business Strategy*, 39(5), 18–25.

- Jin, G. Z. (2019). Artificial Intelligence and Consumer Privacy. W: A. Agrawal, J. Gans i A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 439–462). University of Chicago Press.
- Jin, L., Zhai, X., Wang, K., Zhang, K., Wu, D., Nazir, A., Jiang, J., Liao, W.-H. (2024). Big data, machine learning, and digital twin assisted additive manufacturing: A review. *Materials & Design*, 244, 113086, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113086>.
- Kabbaj, A., El Ouahidi, B., El Hachimi, A. (2023). Mobile application to assist blind people using Android. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 298–307). Springer.
- Kallinikos, J. (2006). *The consequences of information: Institutional implications of technological change*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/978184542328>.
- Kallinikos, J., Aaltonen, A., Marton, A. (2013). The ambivalent ontology of digital artifacts. *MIS Quarterly*, 37(2), 357–370.
- Kallinikos, J., Tempini, N. (2018). Data as constitutive to regulation: The performativity of data in digital medical practice. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 180–193). Routledge.
- Kampakis, S., Mourouzis, T., Cardoso, G., Zinopoulou, M. (2022). *Business models in emerging technologies data science, artificial intelligence, and blockchain*. Business Expert Press.
- Kallinikos, J., Aaltonen, A., Hanken School of Economics, Marton, A., Copenhagen Business School. (2013). The Ambivalent Ontology of Digital Artifacts. *MIS Quarterly*, 37(2), 357–370, <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.02>.
- Katsikeas, C., Leonidou, L., Zeriti, A. (2019). Revisiting international marketing strategy in a digital era: Opportunities, challenges, and research directions. *International Marketing Review*, 37(3), 405–424, <https://doi.org/10.1108/IMR-02-2019-0080>.
- Katz, J., Rice, R. (2002). *Social Consequences of Internet Use: Access, Involvement, and Interaction*. MIT Press.
- Kenney, M., Zysman, J. (2016). The rise of the platform economy. *Issues in Science and Technology*, 32(3), 61–69.
- Kersan-Škabić, I. (2021). Information and Communication Technology Development and Foreign Trade in the Region of South-East Europe. *South East European Journal of Economics and Business*, 16(2), 101–113.
- Kessler, A., Frank, H., Fuetsch, E. (2025). Conceptualizing digitalization orientation as a strategic posture – How to boost the impact of digital technologies in businesses: A qualitative good practices approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 123997, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123997>.
- Khan, A., Imran, A., Abbasi, Q. H. (2023). Digital-Twin-Enabled 6G: Vision, Architectural Trends, and Future Directions. *IEEE Access*, 11, 47236–47255.
- Khanzode, A. G., Sarma, P. R. S., Mangla, S. K., Yuan, H. (2021). Modeling the Industry 4.0 adoption for sustainable production in Micro, Small & Medium Enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123489, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123489>.
- Khin, S., Ho, T. C. (2019). Digital technology, digital capability and organizational performance: A mediating role of digital innovation. *International Journal of Innovation Science*, 11(2), 177–195, <https://doi.org/10.1108/IJIS-08-2018-0083>.

- Kim, K., Chung, H. (2024). Impact of heterogenous capabilities on export performance amid the digital transformation. *Journal of Asian Economics*, 95, 101829, <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2024.101829>.
- King, J. L., Grudin, J. (2020). Prolegomena on digital innovation and jobs. W: S. Nam-bisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00027>.
- Kitsios F., Kamariotou, M. (2021). Artificial Intelligence and Business Strategy towards Digital Transformation: A Research Agenda. *Sustainability* 13(4), 4.
- Kliks, A. (2024). *Metamateriały, konfigurowalne matryce antenowe i komunikacja holograficzna. Wstępna analiza nowej koncepcji bezprzewodowej transmisji danych*. arXiv preprint arXiv:2403.10579.
- KloECKner, K., Davis, J., Fuller, N. C., Lanfranchi, G., Pappé, S., Paradkar, A., Shwartz, L., Surendra, M., Wiesmann, D. (2018). *Transforming the IT Services Lifecycle with AI Technologies*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94048-9>.
- Köchling, A., Wehner, M. C. (2020). Discriminated by an algorithm: a systematic review of discrimination and fairness by algorithmic decision-making in the context of HR recruitment and HR development. *Business Research*, 13(3), 795–848.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Oghazi, P., Gebauer, H., Baines, T. (2019). Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm. *Journal of Business Research*, 104, 380–392.
- Korinek, A. (2023). Language Models and Cognitive Automation for Economic Research. NBER Working Paper No. 30957.
- Korinek, A., Stiglitz, J. E. (2019). Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 349–390). University of Chicago Press.
- Kotsiantis, S.B., Kanellopoulos, D., Pintelas, P.E. (2006). Data preprocessing for supervised learning. *International Journal of Computer Science*, 1(1), 111–117.
- Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J. J., Veiga, P., Kailer, N., Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management*, 63, 102466, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>.
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483–499.
- Kumar, A., Sagar, S., Thangamuthu, P., Balamurugan, B. (red.). (2024). *Digital Transformation: Industry 4.0 to Society 5.0*. Springer Nature Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-99-8118-2>.
- Kumar, S., Verma, A. K., Mirza, A. (2024). Digital Transformation, Artificial Intelligence and Society. Springer.
- Kumara, U., Wijerathna, D., Jayathilaka, R. (2025). Digitalisation dynamics: Developing a global index for digital pioneers, adapters, and followers. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11(2), 100540, <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100540>.

- Kutvonen, L. (2008). Tools and infrastructure for controlling non-functional properties in inter-enterprise collaborations. *EDOC Workshops*, 423–432 (projekt Web-Pilarcos).
- Kwet, M. (2019). Digital colonialism: US empire and the new imperialism in the Global South. *Race & Class*, 60(4), 3–26.
- Lachgar, N., Berrajaa, A., Essabbar, M., Saikouk, H. (2023). Machine learning approach for reference evapotranspiration estimation in the region of Fes, Morocco. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (s. 105–113). Springer.
- Ladu, L., Koch, C., Asna Ashari, P., Blind, K., Castka, P. (2024). Technology adoption and digital maturity in the conformity assessment industry: Empirical evidence from an international study. *Technology in Society*, 77, 102564, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102564>.
- Lam, M. L.-L., Wong, K.-W. (2020). Human flourishing in smart cities. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 13–37). Springer Nature.
- Lassnig, M., Müller, J. M., Klieber, K., Zeisler, A., Schirl, M. (2022). A digital readiness check for the evaluation of supply chain aspects and company size for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(9), 1–18, <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2020-0382>.
- Lawton, T. C., Tonn Goulart Moura, S., Tobin, D., SilvaRêgo, B. (2023). Geopolitics of the digital economy: Implications for states and firms. *AIB Insights*. 10.46697/001c.67966.
- Leblond, P. (2021). Uploading CPTPP and USMCA Provisions to the WTO's Digital Trade Negotiations Poses Challenges for National Data Regulation: Example from Canada. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 301–315). Cambridge University Press.
- Lee, J., Berente, N. (2012). Digital innovation and the division of innovative labor: Digital controls in the automotive industry. *Organization Science*, 23(5), 1428–1447.
- Lee, K. (2013). *Schumpeterian analysis of economic catch-up: Knowledge, path-creation, and the middle-income trap*. Cambridge University Press.
- Lee, M. C. M., Scheepers, H., Lui, A. K. H., Ngai, E. W. T. (2023). The implementation of artificial intelligence in organizations: A systematic literature review. *Information & Management*, 60(5), 103816, <https://doi.org/10.1016/j.im.2023.103816>.
- Leite, H., Hodgkinson, I. R., Volochchuk, A. V. L., Nascimento, T. C. (2024). 'It's not the boogeyman': How voice assistant technology is bridging the digital divide for older people. *Technovation*, 136, 103080.
- Leite, L., Coelho, A., Ferreira, M., Oliveira, T. (2024). 'It's not the boogeyman': How voice assistant technology is bridging the digital divide for older people. *Technology in Society*, 76, 102245.
- Lendle, A., Olarreaga, M., Schropp, S., Vézina, P.-L. (2016). There Goes Gravity: eBay and the Death of Distance. *The Economic Journal*, 126(591), 406–441, <https://doi.org/10.1111/econj.12286>.
- Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., Forstnhäusler, S. (2016). SIMMI 4.0-A maturity model for classifying the enterprisewide IT and software landscape focusing on Industry

- 4.0. *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (s. 1297–1302). IEEE.
- Li, H., Yang, C. (2021). Digital Transformation of Manufacturing Enterprises. *Procedia Computer Science*, 187, 24–29, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.029>.
- Li, L., Liu, Y., Jin, Y., Cheng, T. C. E., Zhang, Q. (2024). Generative AI-enabled supply chain management: The critical role of coordination and dynamism. *International Journal of Production Economics*, 277, 109388, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109388>.
- Li, L., Zhu, W., Chen, L., Liu, Y. (2024). Generative AI usage and sustainable supply chain performance: A practice-based view. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 192, 103761, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103761>.
- Limaj, E., Bernroider, E. W. N. (2019). The roles of absorptive capacity and cultural balance for exploratory and exploitative innovation in SMEs. *Journal of Business Research*, 94, 137–153, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.10.052>.
- Limão, N., Venables, A. J. (2001). Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs, and trade. *World Bank Economic Review*, 15(3), 451–479.
- Lin, B., Xu, C. (2024). Digital inclusive finance and corporate environmental performance: Insights from Chinese micro, small-and medium-sized manufacturing enterprises. *Borsa Istanbul Review*, 24(3), 460–473.
- Linders, G. J. M., Slangen, A., de Groot, H. L. F., Beugelsdijk, S. (2005). *Cultural and institutional determinants of bilateral trade flows*. Tinbergen Instituut
- Liu, Y. (2013). Sustainable competitive advantage in turbulent business environments. *International Journal of Production Research*, 51(10), 2821–2841.
- Liu, A., Ma, E., Wang, Y.-C., Xu, S. (Tracy), Grillo, T. (2024). AI and supportive technology experiences of customers with visual impairments in hotel, restaurant, and travel contexts. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 36(1), 274–291, <https://doi.org/10.1108/IJCHM-10-2022-1243>.
- Liu, H., Li, X. (2025). How Digital Technology Can Improve New Productive Forces? Perspective of Total Factor Agricultural Carbon Productivity. *Journal of Asian Economics*, 101921, <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2025.101921>.
- Liu, Q., Yang, H., Zhang, C. (2023). Hardware-Aware Neural Architecture Search: A Survey. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(4), 1535–1555.
- Liu, Y., Greene, C. (2020). The dark side of big data: Personal privacy, data security, and price discrimination. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 145–153). Springer Nature.
- Liu, Z. (2022). *Principles of Digital Economics: Innovation Theory in the Age of Intelligence*. Springer Nature Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-16-9020-4>.
- Llamas, M. (2015). Digitising the world: Globalisation and digital literature. *Neohelicon*, 42(1), 227–251, <https://doi.org/10.1007/s11059-014-0261-x>.
- Lodefalk, M. (2017). Servicification of firms and trade policy implications. *World Trade Review*, 16(1), 59–83.
- López González, J., Ferencz, J. (2018). *Digital Trade and Market Openness*. OECD Publishing.

- Lu, Y., Phillips, G. M., Yang, J. (2024). *The impact of cloud computing and ai on industry dynamics and concentration*. NBER Working Paper No. 32811.
- Lucato, W. C., Pacchini, A. P. T., Facchini, F., Mummolo, G. (2019). Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1808–1813, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.464>.
- Luong, T. A., Nguyen, T. H. (2021). The impact of ICT on service trade. *The Singapore Economic Review*, 66(4), 1073–1086.
- Lyytinen, K., Yoo, Y., Boland Jr., R. J. (2016). Digital product innovation within four classes of innovation networks. *Information Systems Journal*, 26(1), 47–75, <https://doi.org/10.1111/isj.12093>.
- Mady, K., Anwar, I., Aboelmaged, M., Sulub, M. A. (2025). Digital entrepreneurial platform capability: Instrument development and validation, and its impact on entrepreneurial performance. *Technology in Society*, 82, 102886, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102886>.
- Majchrzak, A., Griffith, T. L. (2020). The new wave of digital innovation: The need for a theory of sociotechnical self-orchestration. W: S. Nambisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00011>.
- Mallinson, W. (2021). *Guicciardini, Geopolitics and Geohistory: Understanding Inter-State Relations*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76537-8>.
- Malone, T. W. (2020). How can human-computer “superminds” develop business strategies? W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 165–184). Springer Nature.
- Manyika, J., Ramaswamy, S., Bughin, J., Woetzel, J., Birshan, M., Nagpal, Z. (2018). *Superstars: The dynamics of firms, sectors, and cities leading the global economy*. McKinsey Global Institute Discussion Paper.
- Markus, M. L. (2018). Information systems and organizational change: Reflections on theory and practice. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 222–234). Routledge.
- Marnewick, A. L., Marnewick, C. (2020). The Ability of Project Managers to Implement Industry 4.0-Related Projects. *IEEE Access*, 8, 314–324, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961678>.
- Marnewick, C., Marnewick, A. L. (2020). Technology readiness: A precursor for Industry 4.0. *Journal of Contemporary Management*, 17(1), 129–149, <https://doi.org/10.35683/jcm19095.59>.
- Marnewick, C., Marnewick, A. L. (2022). Digitalization of project management: Opportunities in research and practice. *Project Leadership and Society*, [https://doi.org/10.1016/j.s2666-7215\(22\)00021-7](https://doi.org/10.1016/j.s2666-7215(22)00021-7).
- Marr, B. (2017). *Data Strategy: How to Profit from a World of Big Data, Analytics and the Internet of Things*. Kogan Page.
- Masood, T., Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261, <https://doi.org/10.1016/j.comp-ind.2020.103261>.
- Masrour, T., Cherrafi, A., El Hassani, I. (red.) (2021). *Artificial Intelligence and Industrial Applications: Smart Operation Management*. Springer Nature.

- Massa, L., Tucci, C. L., Afuah, A. (2017). A critical assessment of business model research. *Academy of Management Annals*, 11(1), 73–104.
- Massa, S., Annosi, M. C., Marchegiani, L., Petruzzelli, A. M. (2023). Digital technologies and knowledge processes: new emerging strategies in international business. A systematic literature review. *Journal of Knowledge Management*, 27(11), 330–387.
- Matt, D. T., Pedrini, G., Bonfanti, A., Orzes, G. (2023). Industrial digitalization. A systematic literature review and research agenda. *European Management Journal*, 41(1), 47–78. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2022.01.001>.
- Mattes, A., Meinen, P., Pavel, F. (2012). Goods Follow Bytes: The Impact of ICT on EU Trade. *SSRN Electronic Journal*, <https://doi.org/10.2139/ssrn.2006481>.
- Mattoo, A., Rocha, N., Ruta, M. (2020). *Handbook of Deep Trade Agreements*. World Bank.
- May, R. (2024). *Artificial intelligence, data and competition*. OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/e7e88884-en>.
- Mayer-Schönberger, V., Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Mehmood, B., Malik, A. A., Khalid, R. (2021). ICT Augmented Gravity Model Application: Sector Level Analysis of the Asia-Pacific Region. *Revista Mundo Asia Pacifico*, 10(18), 43–66.
- Mejias, U. A., Couldry, N. (2019). Datafication. *Internet Policy Review*, 8(4).
- Melitz, M. J. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 71(6), 1695–1725.
- Mellahi, K., Meyer, K., Narula, R., Surdu, I., Verbeke, A. (red.). (2021). *The Oxford handbook of international business strategy*. Oxford University Press.
- Milgrom, P. R., Tadelis, S. (2019). How Artificial Intelligence and Machine Learning Can Impact Market Design. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 567–586). University of Chicago Press.
- Miller, C. (2022). *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology*. Scribner.
- Mitchell, A. D., Mishra, N. (2021). WTO Law and Cross-Border Data Flows: An Unfinished Agenda. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 83–112). Cambridge University Press.
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2), 1–21.
- Moeini Gharagozloo, M. M., Askarzadeh, F., Moeini Gharagozloo, A. (2022). More power for international entrepreneurs: The effect of digital readiness of economies on channeling national R&D resources to entrepreneurship. *Journal of International Entrepreneurship*, 20(3), 474–502, <https://doi.org/10.1007/s10843-021-00296-6>.
- Moloi, T., Iredele, O. O. (2020). Risk management in the digital era: The case of Nigerian banks. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 229–246). Springer Nature.
- Monfort, M., Cuestas, J. C., Ordóñez, J. (2013). Real convergence in Europe: A cluster analysis. *Economic Modelling*, 33, 689–694, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.05.015>.

- Monteiro, J.-A., Teh, R. (2017). *Provisions on Electronic Commerce in Regional Trade Agreements*. WTO Working Paper.
- Monteiro, E., Pollock, N., Hanseth, O. (2018). From artefacts to infrastructures. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 194–208). Routledge.
- Monteiro, J., Barata, J. (2025). Digital twin-enabled regional food supply chain: A review and research agenda. *Journal of Industrial Information Integration*, 45, 100851, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100851>.
- Monteiro, J.A., Teh, R. (2017). *Provisions on Electronic Commerce in Regional Trade Agreements*. WTO Staff Working.
- Morakanyane, R., Grace, A. A., O'Reilly, P. (2017). Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations: A Systematic Review of Literature. *BLED 2017 Proceedings*, 21, 427–443.
- Moriuchi, E. (2025). Deploying artificial intelligence for healthcare: An empirical study on the patients' usage of health care service and AI's anthropomorphic structure form. *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 124004, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124004>.
- Motahhir, S., Bossoufi, B. (red.). (2023). *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (s. 668). Springer Nature Switzerland, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29857-8>.
- Mounich, K., Wahabi, A., El Hachemi, O. L., Mejdoub, Y., Chafi, M. (2023). A low-cost platform for an environmental smart agriculture monitoring system based on Arduino and renewable energies. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 776–784). Springer.
- Mourdi, Y., Bourhim, A., Zniber, M. (2023). Home Automation System Using IoT and Cloud Computing. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 82–89). Springer Nature.
- Murthy, K. V. B., Kalsie, A., Shankar, R. (2021). Digital economy in a global perspective: Is there a digital divide? *Transnational Corporations Review*, 13(1), 1–15, <https://doi.org/10.1080/19186444.2020.1871257>.
- Musiani, F. (2022). *Infrastructuring digital sovereignty: A research agenda for an infrastructure-based sociology of digital self-determination practices*. *Information, Communication & Society*, 25(6), 785–800, <https://doi.org/10.1080/1369118X.2022.2049850>.
- Nakatani, R. (2021). Total factor productivity enablers in the ICT industry: A cross-country firm-level analysis. *Telecommunications Policy*, 45(9), 102188, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102188>.
- Narayan, D. (2022). Platform capitalism and cloud infrastructure: Theorizing a hyper-scalable computing regime. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 54(5), 911–929, <https://doi.org/10.1177/0308518X221094028>.
- Nasri, I., Karrouchi, M., Messaoudi, A., Kassmi, K., Zerouali, S. (2023). Data Augmentation and Deep Learning Applied for Traffic Signs Image Classification. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 114–123). Springer Nature.

- Neely, A. (2008). Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. *Operations Management Research*, 1(2), 103–118.
- Neiva, F. W., David, J. M. N., Braga, R., Campos, F. (2016). Towards pragmatic interoperability to support collaboration: A systematic review and mapping of the literature. *Information and Software Technology*, 72, 137–150.
- Nelson, R.R., Winter, S.G. (1985). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press.
- Newell, S., Marabelli, M. (2018). Knowledge and knowing in the digital age: A sociomaterial perspective. W: R. D. Galliers, M.-K. Stein (red.), *The Routledge Companion to Management Information Systems* (s. 151–165). Routledge.
- Nguyen, M. H., Gruda, D., Packard, G. (2024). *Digital footprints and personality prediction: Ethical concerns and potential mitigation strategies*. *Computers in Human Behavior*, 151, 107292.
- Nguyen, T. M., Malik, A. (2022). ‘Impact of knowledge sharing on employees’ service quality: The moderating role of artificial intelligence. *International Marketing Review*, 39(3), 482–508.
- Nick, G., Kovács, T., Kő, A., Kádár, B. (2021). Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment. *Procedia Manufacturing*, 54, 39–44, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.007>.
- Norris, P. (2001). *Digital Divide: Civic Engagement, Information Poverty, and the Internet Worldwide*. Cambridge University Press.
- North, K., Aramburu, N., Lorenzo, O. J. (2020). Promoting digitally enabled growth in SMEs: A framework proposal. *Journal of Enterprise Information Management*, 33(1), 238–262.
- North, K., Maier, R., Haas, O. (red.). (2018). *Knowledge Management in Digital Change: New Findings and Practical Cases*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73546-7>.
- Novoszel, L., Claus, I. (2024). A methodological framework addressing challenges and opportunities in Supply Chain AI. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19), 349–354, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.236>.
- Ocelík, V., Kolk, A. (2024). Sustainability in a digital world: Geopolitics, values and international business policy. W: P. Gugler, A. T. Tavares-Lehmann (red.), *Handbook of International Business Policy* (s. 327–345). Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781035308682.00027>.
- OECD. (2019a). *An introduction to online platforms and their role in the digital transformation*. OECD Publishing.
- OECD. (2019b). *Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives*.
- OECD. (2019c). *Enhancing Access to and Sharing of Data: Reconciling Risks and Benefits*.
- OECD. (2024). *Artificial intelligence, data and competition*. OECD Artificial Intelligence Papers, <https://doi.org/10.1787/e7e88884-en>.
- OECD. (2023). *Key issues in digital trade: OECD Global Forum on Trade 2023 “Making digital trade work for all”*.
- Okorie, D. I., Adedeji, A., Ifionu, C. (2025). Assessing digitalization and the economy: A dynamic recursive CGE modelling approach. *Telecommunications Policy*, 49(4), 102936.

- Oosthuizen, K., Botha, E., Robertson, J., Montecchi, M. (2021). Artificial intelligence in retail: The AI-enabled value chain. *Australasian Marketing Journal*, 29(3), 264–273, <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2020.07.007>.
- Ouchani, N., Bouhouch, L., Benslimane, R., Aghoutane, B. (2023). Low-cost Raspberry Pi-based facial recognition system for real-time applications. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco*. (t. 2, s. 1005–1014). Springer.
- Pantano, E., Scarpi, D. (2022). I, Robot, You, Consumer: Measuring Artificial Intelligence Types and their Effect on Consumers Emotions in Service. *Journal of Service Research* 25(4), 583–600.
- Parker, G. G., Van Alstyne, M. W., Choudary, S. P. (2016). *Platform revolution*. W. W. Norton.
- Pelau, C., Chinie, A.-C. (2018). Cluster Analysis for the Determination of Innovative and Sustainable Oriented Regions in Europe. *Studia Universitatis „Vasile Goldis” Arad – Economics Series*, 28(2), 36–47, <https://doi.org/10.2478/sues-2018-0008>.
- Peng, Y., Tao, C. (2022). Can digital transformation promote enterprise performance? From the perspective of public policy and innovation. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(3), 100198, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100198>.
- Pereira, M., Greenstein, S., Sadun, R., Tambe, P., Darre, L. R., Glazer, T., Kim, A., Dodhia, R., Ferres, J. L. (2024). *The new digital divide*. NBER Working Paper No. 32932.
- Perera, P., Selvanathan, S., Bandaralage, J., Su, J.-J. (2023). The impact of digital inequality in achieving sustainable development: A systematic literature review. *Equality, Diversity and Inclusion: An International Journal*, 42(6), 805–825, <https://doi.org/10.1108/EDI-08-2022-0224>.
- Perera, S., Jin, X., Das, P., Gunasekara, K., Samaratunga, M. (2023). A strategic framework for digital maturity of design and construction through a systematic review and application. *Journal of Industrial Information Integration*, 31, 100413, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100413>.
- Perrons, D. (2004). Understanding Social and Spatial Divisions in the New Economy: New Media Clusters and the Digital Divide. *Economic Geography*, 80(1), 45–61, <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2004.tb00228.x>.
- Peters, R. (2022). *Comparative Analysis of Digital Trade Development Strategies and Governance Approaches*. UN ESCAP Working Paper.
- Pfeffer, J. (2020). The role of the general manager in the new economy: Can we save people from technology dysfunctions? W: J. Canals, F. Heukamp (red.), *The future of management in an AI world* (s. 67–92). Springer Nature.
- Philip, A. V., Zakkariya, K. A. (2020). Effective engagement of digital natives in the ever-transforming digital world. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 113–125). Springer Nature.
- Poell, T., Nieborg, D., Dijck, J. van (2019). Platformisation. *Internet Policy Review*, 8(4).
- Polanco, R. (2021). Regulatory Convergence of Data Rules in Latin America. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 268–300). Cambridge University Press.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press.

- Quarato, F., Pini, M., Positano, E. (2020). The impact of digitalization on the internationalization propensity of Italian family firms. *Corporate Ownership and Control*, 17(3), 92–107, <https://doi.org/10.22495/cocv17i3art7>.
- Queiroz, M. M., Lopes De Sousa Jabbour, A. B., Bagherzadeh, M. (2025). Crowdsourcing-enabled AI: Unlocking value in digital services. *International Journal of Production Economics*, 283, 109586, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109586>.
- Rader, D. (2019). Digital maturity – the new competitive goal. *Strategy & Leadership*, 47(5), 28–35, <https://doi.org/10.1108/SL-06-2019-0084>.
- Ragnedda, M., Gladkova, A. (red.). (2020). *Digital Inequalities in the Global South*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32706-4>.
- Rahioui, F., El Ghzaoui, M., Tahri Jouti, M. A., Ouazzani Jamil, M., Qjidaa, H. (2023). Machine Learning with Reinforcement for Optimal and Adaptive Learning. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 142–149). Springer Nature.
- Raj, M., Seamans, R. (2019). Artificial Intelligence, Labor, Productivity, and the Need for Firm-Level Data. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 553–566). University of Chicago Press.
- Ratajczak-Mrozek, M., Marszałek, P. (red.). (2022). *Digitalization and Firm Performance: Examining the Strategic Impact*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83360-2>.
- Reis, J., Melão, N. (2023). Digital transformation: A meta-review and guidelines for future research. *Heliyon*, 9(1), e12834, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12834>.
- Robertson, J., Botha, E., Oosthuizen, K., Montecchi, M. (2025). Managing change when integrating artificial intelligence (AI) into the retail value chain: The AI implementation compass. *Journal of Business Research*, 189, 115198, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115198>.
- Rodriguez-Crespo, E., Billon, M., Marco, R. (2021). Impacts of Internet Use on Trade: New Evidence for Developed and Developing Countries. *Emerging Markets Finance & Trade*, 57, 3017–3032.
- Rodriguez-Crespo, E., Marco, R., Billon, M. (2021). ICTs impacts on trade: a comparative dynamic analysis for internet, mobile phones and broadband. *Asia-Pacific Journal of Accounting & Economics*, 28(5), 577–591.
- Rodrik, D. (2018). *New Technologies, Global Value Chains, and Developing Economies*. National Bureau of Economic Research, <https://doi.org/10.3386/w25164>.
- Rogelj, D., Kozina, J., Lechner, M., Rittenschober, A. (2022). Digital transformation of neighborhood care systems: insights from lifetime neighborhoods. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications* (s. 34–35). Springer.
- Rogelj, V., Salaj, A. T., Bogataj, D. (2022). Digital Transformation of Care in Lifetime Neighbourhoods. *IFAC-PapersOnLine*, 55(39), 216–221, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.065>.
- Rogelj, V., Zimmermann, B. M., Zimmermann, A., Vukomanovic, M. (2022). Digital transformation of care in lifetime neighbourhoods. *Technology in Society*, 71, 102078.
- Romagnoli, M., Piccinini, G., Soriano, V. (2023). Graphene-Based Integrated Photonics for Next-Generation Datacom and Telecom. *Nature Reviews Materials*, 8(4), 278–296.

- Romero, I., Mammadov, H. (2025). Digital transformation of small and medium-sized enterprises as an innovation process: a holistic study of its determinants. *Journal of the Knowledge Economy*, 16(2), 8496–8523.
- Rosyidah, L., Sudarmiatin, Sumarsono, R. B. (2023). Digitalization and internationalization of SMEs: A systematic literature review. *International Journal of Professional Business Review*, 8(5), e03847.
- Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. R. (2015). What is an emerging technology? *Research Policy*, 44(10), 1827–1843.
- Sachs, J. D. (2019). R&D, Structural Transformation, and the Distribution of Income. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 329–348). University of Chicago Press.
- Sahebi, I. G., Edalatipour, A., Dabaghiroodsari, M., Hasheminasab, S. M. H., Masoomi, B., Kamali, S. E. (2025). Navigating the AI-powered transformation of renewable energy supply chains: A strategic roadmap to digitainability. *Energy for Sustainable Development*, 85, 101663, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101663>.
- Sandberg, S., Sui, S., Baum, M. (2019). Effects of prior market experiences and firm-specific resources on developed economy SMEs' export exit from emerging markets: Complementary or compensatory? *Journal of Business Research*, 98, 489–502.
- Sarangi, U. (2018). Information Economy and Data Protection Laws: A Global Perspective. *International Journal of Business & Management Research*, 6(2), 15–35.
- Sarkar, S. K., Toanoglou, M., George, B. (2020). The making of data-driven sustainable smart city communities in holiday destinations. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 273–296). Springer Nature.
- Saxena, S. (2020). An evaluation of the National Open Government Data (OGD) Portal of the United Arab Emirates. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 191–209). Springer Nature.
- Schallmo, D. R. A., Tidd, J. (red.). (2021). *Digitalization: Approaches, Case Studies, and Tools for Strategy, Transformation and Implementation*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69380-0>.
- Schildt, H. (2020). *The Data Imperative: How Digitalization Is Reshaping Management, Organizing, and Work*. Oxford University Press.
- Schlechtinger, M., Kosack, D., Paulheim, H., Fetzer, T. (2021). How algorithms work and play together. *Transactive; Institute of Competition Law*, 3, 102088, 19–23.
- Schoop, M., Moor, A. de., Dietz, J. L. (2006). The Pragmatic Web: A Manifesto. *Communications of the ACM*, 49(5), 75–76.
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., Hompel, M. (red.). (2020). *Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies*. National Academy of Science and Engineering, Herbert Utz Verlag.
- Schumacher, A., Erol, S., Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.
- Schumacher, A., Nemeth, T., Sihn, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409–414, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110>.

- Schwab, K. (2024). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. W: *Handbook of research on strategic leadership in the Fourth Industrial Revolution* (s. 29–34). Edward Elgar Publishing.
- Scuotto, V., Nicotra, M., Del Giudice, M., Krueger, N., Gregori, G. L. (2021). A microfoundational perspective on SMEs' growth in the digital transformation era. *Journal of Business Research*, 129, 382–392, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.01.045>.
- Seidel, S., Berente, N. (2020). Automate, informate, and generate: Affordance primitives of smart devices and the Internet of Things. W: S. Nambisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00024>.
- Seuba, X. (2021). Big Data, AI and Border Enforcement of Intellectual Property Rights: Impact on Trade Flows. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 177–192). Cambridge University Press.
- Shahin, M., Simjoo, M. (2025). Potential applications of innovative AI-based tools in hydrogen energy development: Leveraging large language model technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 102, 918–936, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.066>.
- Shahriar, S. (2020). Digital transformation in business and society: Theory and cases: edited by Babu George and Justin Paul, Cham, Switzerland, Palgrave Macmillan, 2020, xvii+300 pp., RRP £96 (hardback), ISBN 978-3-030-08276-5. *Asia Pacific Business Review*, 26(4), 523–525, <https://doi.org/10.1080/13602381.2020.1738074>.
- Sharma, P., Rohatgi, S., Jasuja, D. (2022). Scientific Mapping of Gravity Model of International Trade Literature: A Bibliometric Analysis. *Journal of Scientometric Research*, 11(3), 447–457.
- Shi, Y., Gao, Y., Luo, Y., Hu, J. (2022). Fusions of industrialisation and digitalisation (FID) in the digital economy: Industrial system digitalisation, digital technology industrialisation, and beyond. *Journal of Digital Economy*, 1(1), 73–88, <https://doi.org/10.1016/j.jdec.2022.08.005>.
- Shrestha, Y. R., Ben Menahem, S. M., Von Krogh, G. (2019). Organizational decision making structures in the age of artificial intelligence. *California Management Review*, 61(4), 66–83.
- Shukla, S., Bisht, K., Tiwari, K., Bashir, S. (2023). *Data Economy in the Digital Age*. Springer Nature Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-99-7677-5>.
- Siddik, M. N. A., Kabiraj, S. (2020). Digital finance for financial inclusion and inclusive growth. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 155–168). Springer Nature.
- Silva, J. S., Tenreyro, S. (2006). The log of gravity. *The Review of Economics and Statistics*, 641–658.
- Silva, J. S., Tenreyro, S. (2011). Further simulation evidence on the performance of the Poisson pseudo-maximum likelihood estimator. *Economics Letters*, 112(2), 220–222.
- Silva, R. P., Mamede, H. S., Santos, V. (2025). A new proposed model to assess the digital organizational readiness to maximize the results of the digital transformation in SMEs. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(1), 100644, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100644>.

- Singh, G., Goel, R., Garg, V. (red.). (2023). *Industry 4.0 and the Digital Transformation of International Business*. Springer Nature Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7880-7>.
- Słok-Wódkowska, M., Mazur, J., (2022). Access to Information and Data in International Law: How to Find a Path Forward from Human Rights-Oriented and Market-Oriented Approach? *Nordic Journal of International Law*, 91(2), 310–338, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4386187>, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4386187>.
- Słok-Wódkowska M., Mazur, J. (2024). Between commodification and data protection: Regulatory models governing cross-border information transfers in regional trade agreements. *Leiden Journal of International Law*, 37(1), 111–138.
- Soldaty, A., Śledziewska, K., Włoch, R., Łebkowska, W., Przecherska, W. (2023). *Doświadczenia krajowych przedsiębiorstw w urzeczywistnianiu wizji Przemysłu 4.0. Analiza danych oraz scenariusze wdrożeń*. Program Analityczno-Badawczy Fundacji Warszawski Instytut Bankowości.
- Soltanifar, M., Hughes, M., Göcke, L. (red.). (2021). *Digital Entrepreneurship: Impact on Business and Society*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53914-6>
- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., Garza-Reyes, J. A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*, 67, 101754, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754>.
- Sony, M., Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: A literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(7), 2213–2232, <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>.
- Sousa, M. J., Rocha, Á. (2019). Digital learning: Developing skills for digital transformation of organizations. *Future Generation Computer Systems*, 91, 327–334, <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.048>.
- Spremić, M., Zentner, H., Zentner, R. (2024). Measuring Digital Business Models Maturity: Theory, Framework, and Empirical Validation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 6553–6567, <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3226864>.
- St. Amant, K., Olanirana, B. (2011). *Globalization and the Digital Divide*. Cambria Press.
- State Council of the People's Republic of China (2015). *Made in China 2025*.
- Stöllinger R., Guarascio, D. (2022). Comparative advantages in the digital era: A Heckscher-Ohlin-Vanek approach. *Journal of International Economics*, 175, 63–89.
- Sun, R., Trefler, D. (2022). AI, trade, and creative destruction: A first look. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 311–343). Taylor & Francis.
- Sun, R., Trefler, D. (2023). AI, trade, and creative destruction: A first look. W: L. Y. Ing, G. M. Grossman (red.), *Robots and AI: A new economic era* (s. 310–345). Taylor & Francis.
- Śledziewska, K., Łebkowska, W. (2025). *Bridging the Digital Divide: Identifying Pathways and Policies for Digital Inclusion Through Cluster-Based Analysis*, <https://ssrn.com/abstract=5376138>, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5376138>.

- Śledziewska, K., Włoch, R. (2020). *Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Śledziewska, K., Włoch, R. (2021). *The Economics of Digital Transformation: The Disruption of Markets, Production, Consumption, and Work*. Routledge.
- Śledziewska, K., Włoch, R. (2024). Polish SMEs on the road to Industry 4.0 – opportunities, challenges and barriers to innovation. *International Business and Global Economy*, 43, 51–75.
- Śledziewska, K., Włoch, R., Soldaty, A. (2021). *Kształtowanie się nowej generacji przemysłu i związanych z tą zmianą konsekwencji dla otoczenia sektora przemysłowego. Program Analityczno-Badawczy przy Fundacji Warszawski Instytut Bankowości. Raport 20/2021*.
- Śledziewska, K., Włoch, R., Sołdaty, A. (2023) *Doświadczenia krajowych przedsiębiorstw w urzeczywistnianiu wizji Przemysłu 4.0. Analiza danych oraz scenariuszy wdrożeń*. Warszawski Instytut Bankowości, Program Analityczno-Badawczy. Raport 11/2023.
- Śledziewska, K., Włoch, R., Wilamowski, M. (2025). Adapting to digital transformation: Determinants of training motivation in response to digital automation among workers in six EU countries. *Oeconomia Copernicana*, 16(2), 523–555, <https://doi.org/10.24136/oc.3531>.
- Tabares, S., Parida, V., Chirumalla, K. (2025). Twin transition in industrial organizations: Conceptualization, implementation framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 123995, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123995>.
- Tachakourt, F., Bouhorma, M. (2023). An Intelligent System for Air Pollution Monitoring Based on Wireless Sensor Networks and Fuzzy Logic. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 41–50). Springer Nature.
- Taqi, I., Najih, M., Abdellaoui, M. (2023). IoT-Based Air Quality Monitoring System Using Raspberry Pi. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 90–96). Springer Nature.
- Taylor, M. (2023). The US CHIPS and Science Act of 2022. *MRS Bulletin*, 48, 874–879.
- Tekic, Z., Koroteev, D. (2021). From disruptively digital to proudly analog: A holistic typology of digital transformation strategies. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 105–119). Routledge.
- Thomas, A., Chopra, M. (2019). On how big data revolutionizes knowledge management. W: *Digital transformation in business and society: Theory and cases* (s. 39–60). Springer International Publishing.
- Thomas, L. D. W., Autio, E. (2020). *Innovation ecosystems in management: An organizing typology*. SSRN Electronic Journal. National Bureau of Economic Research.
- Thouvenin, F., Tamò-Larrieux, A. (2021). Data Ownership and Data Access Rights: Meaningful Tools for Promoting the European Digital Single Market? W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 316–339). Cambridge University Press.
- Tinbergen, J. (1962). *Shaping the World Economy. Suggestions for an International Economic Policy*. Twentieth Century Fund.

- Tolk, A., Muguira, J. A. (2003). The Levels of Conceptual Interoperability Model. *Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop*, 7, 1–11.
- Tolk, A., Turnitsa, C. D., Diallo, S. Y. (2006). Ontological implications of the Levels of Conceptual Interoperability Model. *Proceedings of WMSCI 2006*, 105–111.
- Tortora, D., Chierici, R., Briamonte, M. F., Tiscini, R. (2021). 'I digitize so I exist'. Searching for critical capabilities affecting firms' digital innovation. *Journal of Business Research*, 129, 193–204.
- Trade, U. N. (2024). *Digital Economy Report 2024: Shaping an Environmentally Sustainable and Inclusive Digital Future*. United Nations.
- Trammell, P., Korinek, A. (2023). *Economic growth under transformative AI*. Working Paper No. 31815
- Trebilcock, M. J., Giri, S. K. (2004). The national treatment principle in international trade law. W: E. K. Choi, J. C. Hartigan (red.), *Handbook of International Trade. Volume II: Economic and Legal Analyses of Trade Policy and Institutions* (s. 185–204). Blackwell Publishing.
- Triplett, J. E., Bosworth, B. (2003). Productivity Measurement Issues in Services Industries: Baumol's Disease Has Been Cured. *Economic Policy Review*, 9(3). <https://ssrn.com/abstract=789545>.
- Tucker, C. E. (2019). Privacy, Algorithms, and Artificial Intelligence. W: A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 423–438). University of Chicago Press.
- Tyazhelnikov, V. (2022). Production Clustering and Offshoring. *American Economic Journal: Microeconomics*, 14(3), 700–732, <https://doi.org/10.1257/mic.20190232>.
- Umana Dajud, C. (2024). *Nowcasting the growth rate of the ICT sector*. OECD Digital Economy Papers No. 362, <https://doi.org/10.1787/eb4938a0-en>.
- Ustundag, A., Cevikcan, E. (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>.
- Van Dijck, J., Poell, T., de Waal, M. (2018). *The platform society: Public values in a connective world*. Oxford University Press.
- Van Laar, E., Van Deursen, A. J. A. M., Van Dijk, J. A. G. M., De Haan, J. (2019). Determinants of 21st-century digital skills: A large-scale survey among working professionals. *Computers in Human Behavior*, 100, 93–104, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.06.017>.
- Vandermerwe, S., Rada, J. (1988). Servitization of business: Adding value by adding services. *European Management Journal*, 6(4), 314–324.
- Varian, H. R. (2019). Artificial Intelligence, Economics, and Industrial Organization. W: A. Agrawal, J. Gans i A. Goldfarb (red.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (s. 399–422). University of Chicago Press.
- Varian, H. R., Farrell, J., Shapiro, C. (2004). *The Economics of Information Technology: An Introduction*. Cambridge University Press.
- Velu, C. (2020). Business Model Cohesiveness Scorecard: Implications of digitization for business model innovation. W: S. Nambisan, K. Lyytinen, Y. Yoo (red.), *Handbook of Digital Innovation*. Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788119986.00023>

- Verbeke, A., Hutzschenreuter, T. (2021). The Dark Side of Digital Globalization. *Academy of Management Perspectives*, 35(4), 606–621, <https://doi.org/10.5465/amp.2020.0015>.
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>.
- Vescovi, T. (2021). Digital transformation and business models. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 97–104). Routledge.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144, <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>.
- Vial, G. (2021). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. W: A. Hinterhuber, T. Vescovi, F. Checchinato (red.), *Managing digital transformation: Understanding the strategic process* (s. 13–66). Routledge.
- Vu, H. T., Lim, J. (2022). Effects of country and individual factors on public acceptance of artificial intelligence and robotics technologies: a multilevel SEM analysis of 28-country survey data. *Behaviour & Information Technology*, 41(7), 1515–1528.
- Wamba-Taguimdje, S. L., Wamba, S. F., Kamdjoug, J. R. K., Wanko, C. E. T. (2020). Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: the business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal*, 26(7), 1893–1924.
- Wang, J., Huang Q. (2025). The impact of digital transformation on the export technology complexity of Chinese manufacturing enterprises. *Sustainability*, 17(6), 2071–2050.
- Wang, S., Zhang, H. (2025). Generative artificial intelligence and internationalization green innovation: Roles of supply chain innovations and AI regulation for SMEs. *Technology in Society*, 82, 102898, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102898>.
- Wankhede, V. A., Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107487, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487>.
- Webster, C., Ivanov, S. (2020). Robotics, artificial intelligence, and the evolving nature of work. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 127–143). Springer Nature.
- Weltbankgruppe (red.). (2021). *Data for better lives*. World Bank.
- Weymouth, S. (2023). *Digital Globalization: Politics, Policy, and a Governance Paradox*. Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781108974158>.
- Wilkinson, T., Brouthers, L. E. (2006). Trade promotion and SME export performance. *International Business Review*, 15(3), 233–252, <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2006.03.001>.
- Wimelius, H., Mathiassen, L., Holmström, J., Keil, M. (2021). A paradoxical perspective on technology renewal in digital transformation. *Information Systems Journal*, 31(1), 198–225, <https://doi.org/10.1111/isj.12307>.
- Włoch, R., Śledziwska, K., Rozynek, S., (2024) How do employees in the Polish financial sector react to automation in their workplace? *International w Journal of*

- Contemporary Management*, 60(1), 185–200, <https://sciendo.com/article/10.2478/ijcm-2024-0010>.
- Włoch, R., Ślosarski, B., Paliński, M., Śledziewska, K., Teodorowicz, K., Łebkowska, W. (2024). *AI skills needs and gaps for MSMEs in the retail sector in Cyprus, Germany, Italy, Poland, and Romania* (Raport projektu INAIR, Deliverable WP3). InAIR: Increasing the Uptake of AI in Retail. Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.12793437>.
- Wong, C.-Y., Yeung, H. W., Huang, S., Song, J., Lee, K. (2024). Geopolitics and the changing landscape of global value chains and competition in the global semiconductor industry: Rivalry and catch-up in chip manufacturing in East Asia. *Technological Forecasting and Social Change*, 209, 123749.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press.
- Wu, M., Ma, Y., Gao, Y., Ji, Z. (2024). The impact of digital economy on income inequality from the perspective of technological progress-biased transformation: Evidence from China. *Empirical Economics*, 67(2), 567–607, <https://doi.org/10.1007/s00181-024-02563-6>.
- Wunsch-Vincent, S. (2020). Towards Coherent Rules for Digital Trade: Building on Efforts in Multilateral versus Preferential Trade Negotiations. W: M. Burri, T. Cottier (red.), *Trade Governance in the Digital Age*. Cambridge University Press.
- Xia, L., Baghaie, S., Sajadi, S. M. (2024). The digital economy: Challenges and opportunities in the new era of technology and electronic communications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102411.
- Xing, Z. (2018). The impacts of Information and Communications Technology (ICT) and E-commerce on bilateral trade flows. *International Economics and Economic Policy*, 15, 565–586.
- Xu, R., Song, F. M. (2025). Is AI a key driving force for Chinese total factor productivity growth? Mechanistic analysis of employment, supply chain, and information asymmetry. *Economic Modelling*, 150, 107126, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2025.107126>.
- Yakovleva, S., van Hoboken, J. (2021). The Algorithmic Learning Deficit: Artificial Intelligence, Data Protection and Trade. W: M. Burri (red.), *Big Data and Global Trade Law* (s. 212–230). Cambridge University Press.
- Yang, L., Henthorne, T. L., George, B. (2019). Artificial intelligence and robotics technology in the hospitality industry: Current applications and future trends. W: B. George, J. Paul (red.), *Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases* (s. 211–228). Springer Nature.
- Yang, Y.-R., Hsia, C.-J. (2013). Spatial clustering and organizational dynamics of trans-border production networks: a case study of Taiwanese IT companies in the Greater Suzhou region, China. W: D. B. Fuller, M. A. Rubinstein (red.), *Technology Transfer Between the US, China and Taiwan: Moving Knowledge* (s. 123–146). Routledge.
- Yoo, Y., Boland Jr, R. J., Lyytinen, K., Majchrzak, A. (2012). Organizing for innovation in the digitized world. *Organization science*, 23(5), 1398–1408.
- Yoo, Y., Henfridsson, O., Lyytinen, K. (2010). Research Commentary – The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems

- Research. *Information Systems Research*, 21(4), 724–735, <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0322>.
- Yotov, Y. V., Piermartini, R., Monteiro, J.-A., Larch, M. (2016). *An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model*. WTO, <https://doi.org/10.30875/abc0167e-en>.
- Yu, X. (2023). Opportunities and Challenges of International Trade in Digital Services. *Academic Journal of Business & Management*, 5(15), 90–95.
- Yuwono, T., Suroso, A., Novandari, W. (2024). Information and communication technology in SMEs: A systematic literature review. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(1), 31, <https://doi.org/10.1186/s13731-024-00392-6>.
- Zaevska, O., Pegoraro, D., Piscitello, L. (2024). Digitalization, industry 4.0 policies and inward foreign direct investments: Evidence from European regions. W: P. Gugler, A. T. Tavares-Lehmann (red.), *Handbook of International Business Policy* (s. 357–380). Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781035308682.00029>.
- Zbucheá, A., Vidu, C., Pinzaru, F. (2019). Is artificial intelligence changing knowledge management. *Strategica*, 445–452.
- Zekos, G. I. (2021). *Economics and Law of Artificial Intelligence: Finance, Economic Impacts, Risk Management and Governance*. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64254-9>.
- Zenger, T. R. (2016). *Beyond competitive advantage: How to solve the puzzle of sustaining growth while creating value*. Harvard Business Review Press.
- Zerouali, M., El Ougli, A., Tidhaf, B. (2023). The Generation of Power from a Solar System Using a Variable Step Size P&O (VSS P&O) and Comparing It to a Grey Wolf Metaheuristic Algorithm (GWO). W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital Technologies and Applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 11–20). Springer Nature.
- Zerouali, S., Messaoudi, A., Rabhi, A., Karrouchi, M., Nasri, I. (2023). Implementation and demonstration of threat over CAN bus for automotive embedded system equipped with ADAS. W: S. Motahhir, B. Bossoufi (red.), *Digital technologies and applications: Proceedings of ICDDTA'23, Fez, Morocco* (t. 2, s. 748–756). Springer.
- Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., Perrault, R. (2021). *The AI index 2021 annual report*, arXiv preprint arXiv:2103.06312.
- Zhang, S., Xia, Y., Wang, H., Pan, J. (2025). The good, the bad: How digital technology shapes welfare for formal and flexible workers? *Economic Analysis and Policy*, 85, 2007–2029, <https://doi.org/10.1016/j.eap.2025.02.037>.
- Zhang, W.-B. (2008). *International Trade Theory: Capital, Knowledge, Economic Structure, Money, and Prices over Time*. Springer.
- Zhou, Y., Hsu, J.-Y. (2013). Divergent engagements: comparing the roles and strategies of Taiwanese and mainland Chinese returnee entrepreneurs in the IT industry. W: D. B. Fuller, M. A. Rubinstein (red.), *Technology Transfer Between the US, China and Taiwan: Moving Knowledge* (s. 99–122). Routledge.
- Zouhri, W., Rostami, H., Homri, L. Dantan, J. Y. (2021). A genetic-based SVM approach for quality data classification. W: T. Masrour, A. Cherrafi, I. El Hassani (red.), *Artificial intelligence and industrial applications: Smart operation management* (s. 15–31). Springer International Publishing.

Handel jest praktycznym sprawdzianem gotowości cyfrowej, ponieważ obejmuje pełen przebieg procesu: od zapotrzebowania i realizacji zamówienia, przez jednoznaczłą identyfikację stron i produktów, wymianę dokumentów i danych logistycznych, odprawę i płatność, aż po rozliczenia. Ten łańcuch działa tylko wtedy, gdy po obu stronach są zgodne identyfikatory, definicje i formaty; w przeciwnym razie rosną cyfrowe koszty transakcyjne, a granice stają się granicami standardów. Nowoczesna linia produkcyjna nie wystarczy, jeśli faktura nie przechodzi walidacji w systemie partnera, zgłoszenie nie jest poprawnie odczytywane, a etykieta nie zawiera uzgodnionego kodu produktu.

fragment Wstępu

Praca Katarzyny Śledziewskiej stanowi bardzo szczegółową interdyscyplinarną analizę problematyki e-commerce i – szerzej – cyfryzacji gospodarki w ogóle, łączącą aspekty ekonomiczne, ekonometryczne, socjologiczne oraz z zakresu zarządzania i stosunków międzynarodowych. Monografia może stać się interesującą lekturą zarówno dla ekonomistów i specjalistów od zarządzania, jak i dla informatyków, socjologów oraz osób po prostu zainteresowanych cyfryzacją.

prof. dr hab. Elżbieta Czarny

ISBN 978-83-68091-64-9



www.scholar.com.pl