

# GOSPODARKA NARODOWA

1  
(281)  
Rok LXXXVI/XXVII  
styczeń–luty  
2016  
s. 29–53

---

Łukasz ARENDT\*

## Paradoks Solowa i determinanty wdrożenia technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych<sup>1</sup>

---

**Streszczenie:** Celem artykułu jest przedstawienie głównych argumentów, które wyjaśniają przyczyny paradoksu produktywności, sformułowanego przez R. Solowa w 1987 roku w związku z dynamicznym rozwojem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych. W rezultacie, artykuł omawia warunki, jakie powinny zostać spełnione, aby coraz szersze wykorzystanie ICT faktycznie wspierało wzrost produktywności, w szczególności w krajach rozwijających się. Analiza ma charakter przeglądu literatury dotyczącej badań nad paradoksem Solowa. Jej wyniki wskazują, że ujawnienie się pozytywnego wpływu wdrożenia ICT na produktywność wymaga po pierwsze czasu, a po drugie – zaistnienia komplementarnych w stosunku do ICT inwestycji. Wśród czynników komplementarnych wymienia się zazwyczaj zmiany w organizacji pracy i procesach biznesowych, inwestycje w kapitał ludzki, bezpośrednio inwestycje zagraniczne, a także budowanie przyjaznego otoczenia instytucjonalnego dla przedsiębiorczości. Głównym wnioskiem z analiz, w kontekście możliwości wykorzystania inwestycji w ICT przez kraje rozwijające się do przyspieszenia procesów konwergencji, jest potrzeba zwrócenia szczególnej uwagi na czynniki komplementarne wobec ICT. Stanowią one kluczową determinantę produktywnego wykorzystania ICT – jak bowiem wskazują wyniki badań, aby osiągnąć korzyści z ICT nie wystarczy proste powiększanie zasobu kapitału ICT (poprzez inwestycję w sprzęt i oprogramowanie). Niezbędne są także inwestycje komplementarne – przede wszystkim w kapitał ludzki,

---

\* Uniwersytet Łódzki, Katedra Polityki Ekonomicznej; e-mail: larendt@uni.lodz.pl

<sup>1</sup> Artykuł jest wynikiem analiz prowadzonych w projekcie „Wpływ technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych na produktywność – analiza mikro i makroekonomiczna”, realizowanym w Katedrze Polityki Ekonomicznej Uniwersytetu Łódzkiego. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2013/11/B/HS4/00661. Autor pragnie podziękować prof. Eugeniuszowi Kwiatkowskiemu za uwagi do pierwotnej wersji tekstu oraz mgr Aleksandrze Skorupińskiej z Internet Interdisciplinary Institute (IN3), Universidad Oberta de Cataluña za pomoc w przeprowadzeniu kwerendy bibliotecznej.

wdrażanie zmian w organizacji pracy na poziomie przedsiębiorstw, czy inwestowanie w wartości niematerialne.

**Słowa kluczowe:** produktywność, technologie informacyjne i telekomunikacyjne, paradoks Solowa, czynniki komplementarne wobec ICT

**Kody klasyfikacji JEL:** D24, E24, O33, O47

---

Artykuł nadesłany 7 maja 2015r., zaakceptowany 13 stycznia 2016r.

---

## Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych (*Information and Communication Technologies* – ICT) sprawił, że entuzjaści tych technologii ogłosili początek rewolucji informacyjnej, która miała doprowadzić do znacznych zmian gospodarczych i społecznych. Rewolucja informacyjna, co intuicyjnie było dość oczywiste, miała wpłynąć na przyspieszenie postępu technicznego, a w rezultacie wzrost produktywności. Oczekiwano więc, że postęp techniczny wynikający z rozwoju technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych<sup>2</sup> będzie szybszy niż dotychczas, a wzrost produktywności będzie utrzymywał się znacznie powyżej historycznych wartości. Tymczasem początek lat 70. XX wieku przyniósł w Stanach Zjednoczonych spowolnienie tempa wzrostu produktywności, co w połączeniu z rosnącym znaczeniem ICT doprowadziło do pojawienia się hipotez o negatywnym wpływie technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych na produktywność. Dało to początek nowemu kierunkowi badań, który od nazwiska Roberta Solowa nazwano „paradoksem Solowa” bądź „paradoksem produktywności” – Solow sformułował sławne twierdzenie, że „Era komputerów widoczna jest wszędzie, tylko nie w danych na temat produktywności” (w oryginale: „You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics”) [Solow, 1987].

Celem artykułu jest przedstawienie specyfiki paradoksu Solowa i głównych argumentów, które nawiązując do wyników badań empirycznych i teoretycznych, wyjaśniają przyczyny tego paradoksu. W rezultacie, artykuł stara się udzielić odpowiedzi na pytanie, jakie warunki powinny zostać spełnione, aby coraz szersze wykorzystanie technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych faktycznie wspierało wzrost produktywności. Odpowiedź ta ma istotne znaczenie dla krajów rozwijających się, w tym Polski, w kontekście nadrobienia dystansu gospodarczego dzielącego Polskę od wyżej rozwiniętych krajów Unii Europejskiej (UE) i możliwości wystąpienia efektu tzw. żabiego skoku,

---

<sup>2</sup> Dynamikę rozwoju ICT opisuje zdefiniowane w 1965 roku przez Gordona Moore’a prawo – znane w literaturze jako prawo Moore’a – które stanowi, że liczba tranzystorów w mikroprocesorach miała podwajać się co rok. Moore zmodyfikował te przewidywania w 1975 roku stwierdzając ostatecznie, że liczba tranzystorów będzie podwajała się co dwa lata. Prawo Moore’a zachowało swoją aktualność do dzisiaj, wskazując pośrednio w jakim (zawrotnym) tempie przyrasta moc obliczeniowa komputerów.

który dzięki efektom rozlewania się (*spillover*) może doprowadzić do przejścia krajów rozwijających się na wyżej położoną ścieżkę wzrostu produktywności [Steinmuller, 2001; Niebel, 2014].

W pierwszej części artykułu przedstawiono, w syntetyczny sposób, mierniki produktywności, neoklasyczny model wzrostu Solowa-Swana i argumenty wskazujące na występowanie paradoksu produktywności. Kolejne cztery części przedstawiają dyskusję dotyczącą poszczególnych argumentów, które tłumaczą paradoks Solowa. Artykuł kończy podsumowanie zawierające główne wnioski z przeprowadzonej analizy.

### Neoklasyczny model wzrostu gospodarczego Solowa-Swana a paradoks produktywności

Produktywność jest kategorią szeroką, definiowaną w sposób ogólny jako wielkość obrazująca efektywność ponoszonych nakładów, co w rezultacie wpływa na konkurencyjność w skali mikro [Adamczyk, 2008], a także w skali makroekonomicznej. W analizach makroekonomicznych sięga się po miary produktywności poszczególnych czynników produkcji: kapitału<sup>3</sup> i pracy<sup>4</sup>, ich wartości krańcowych, jak i łączną produktywność czynników produkcji (*Total Factor Productivity* – TFP)<sup>5</sup>. Z punktu widzenia paradoksu produktywności kluczowe znaczenie ma łączna produktywność czynników produkcji i wydajność pracy.

Paradoks produktywności nawiązuje do modelu wzrostu Solowa-Swana<sup>6</sup>, który inkorporuje technologię (postęp techniczny) do tradycyjnych neoklasycznych modeli wzrostu gospodarczego [Solow, 1957; Swan, 1956]. Zgodnie z modelem Solowa-Swana, produkcja ( $Y$ ) jest funkcją kapitału ( $K$ ) i pracy ( $L$ ) – w analizach zazwyczaj wykorzystuje się funkcję Cobba-Douglasa, zakładającą występowanie malejącej krańcowej produktywności czynników produkcji oraz stałych efektów skali względem czynników produkcji:

$$Y = K^\alpha L^{1-\alpha} \quad (1)$$

<sup>3</sup> Produktywność kapitału określa wartość produkcji przypadającą na jednostkę wykorzystanego kapitału. Do jej wyznaczenia wykorzystuje się w praktyce takie miary kapitału jak wartość aktywów ogółem, wartość majątku trwałego, czy wartość brutto środków trwałych.

<sup>4</sup> Produktywność pracy (wydajność pracy) określa wartość produktu na pracującego. Najczęściej wydajność pracy mierzona jest wartością dodaną brutto podzieloną przez liczbę pracujących.

<sup>5</sup> W literaturze przedmiotu TFP i wieloczynnikowa produktywność – MFP (*Multifactor Productivity*) stosowane są zamiennie jako synonimy [Measuring Productivity..., 2001]. Łączna produktywność czynników produkcji jest miarą wykorzystania wszystkich czynników produkcji w procesie produkcyjnym – jest to produkcja wytworzona z jednostki kombinacji czynników produkcji [Dańska-Borsiak, 2011].

<sup>6</sup> Paradoks produktywności sformułowany przez Solowa odnosił się do gospodarki w skali makro, stąd konieczność odwołania się do makroekonomicznej koncepcji postępu technicznego.

gdzie  $\alpha$  jest współczynnikiem elastyczności produktu względem kapitału, a  $1 - \alpha$  współczynnikiem elastyczności produktu względem nakładów siły roboczej ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

Uwzględnienie postępu technicznego<sup>7</sup> następuje poprzez multiplikatywne wprowadzenie poziomu zaawansowania technologicznego ( $A$ ) do prawej strony równania (1):

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (2)$$

Tak zdefiniowany poziom zaawansowania technologicznego gospodarki jest tożsamy z łączną produktywnością czynników produkcji, natomiast jej egzogeniczna stopa wzrostu jest neutralnym postępowem technicznym w ujęciu Hicksa<sup>8</sup>.

W praktyce wartość bezpośrednio nieobserwowalnej zmiennej  $A$  szacowana jest zwykle jako różnica między rzeczywistym tempem wzrostu produkcji a sumą ważonego tempa wzrostu zasobów kapitału i pracy – w związku z tym stopa wzrostu TFP obrazuje postęp techniczny, który prowadzi do wzrostu produkcji niewynikającego z akumulacji kapitału ani ze wzrostu nakładów pracy. Chociaż teoretycznie reszta Solowa odpowiada postępowi technicznemu w ujęciu Hicksa, to można spotkać się z twierdzeniem, że poza efektami innowacji procesowych i produktowych prowadzących do postępu technicznego, zawiera niestety również efekty wynikające z błędu pomiaru, pominięcia istotnych zmiennych objaśniających, błędnej specyfikacji modeli ekonomicznych itp. [Hulten, 2001].

Z równania (2), po odpowiednich przekształceniach, można wyznaczyć przeciętną wydajność pracy w gospodarce<sup>9</sup>:

$$ALP = \alpha \frac{\Delta k}{k} + (1 - \alpha) \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta A}{A}, \quad (3)$$

która w myśl modelu Solowa-Swana uzależniona jest od wzrostu wykorzystania kapitału (i jego jakości), wzrostu jakości zasobów pracy oraz wzrostu TFP [Żelazny, 2003]. Wzrost TFP powoduje proporcjonalny wzrost wydajności pracy przy niezmiennym zasobie technicznego uzbrojenia pracy.

Z modelu Solowa-Swana wynika więc, że postęp techniczny, przejawiający się we wzroście TFP, będzie oddziaływał na wzrost wydajności pracy. W rezultacie, w związku z rozwojem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych

<sup>7</sup> Postęp techniczny można zdefiniować jako proces, w wyniku którego dochodzi do wzrostu produktywności, co oznacza, że dana wielkość produkcji może zostać wytworzona przy mniejszym nakładzie czynników produkcji, bądź z tych samych nakładów czynników produkcji możliwe jest wytworzenie większego strumienia produktu [Tokarski, 2009, s. 27].

<sup>8</sup> Neutralny postęp techniczny w ujęciu Hicksa to taki, który nie zmienia stosunku krańcowej produktywności czynników produkcji (nakłady pracy i kapitału pozostają takie same – krańcowy produkt pracy i kapitału rośnie w takim samym stopniu).

<sup>9</sup> Małe litery w równaniu (3) oznaczają wielkość nakładu danego czynnika na roboczogodzinę.

należałoby, w myśl modelu Solowa-Swana, spodziewać się wzrostu zarówno TFP, jak i wydajności pracy, skoro:

- inwestycje w ICT powinny prowadzić do wzrostu technicznego uzbrojenia pracy w wyniku intensywnego powiększania kapitału (*capital deepening*), co z kolei prowadzi do wzrostu wydajności pracy,
- postęp techniczny występujący w branżach produkujących ICT jest „transferowany” do pozostałych branż (użytkowników ICT) w postaci niższych cen dóbr (tzw. finansowe efekty zewnętrzne) – to natomiast przekłada się na efektywność wszystkich czynników produkcji i powinno prowadzić do wzrostu łącznej produktywności czynników produkcji<sup>10</sup>,
- ICT jest technologią ogólnego zastosowania (*General Purpose Technology* – GPT) – w związku z tym generuje istotne niefinansowe efekty zewnętrzne (nazywane również efektami rozlewania się – *spillover effect*), które wpływają pozytywnie na TFP<sup>11</sup>.

Tym niemniej początek lat 70. XX wieku przyniósł spowolnienie wzrostu produktywności w Stanach Zjednoczonych, które utrzymywało się do połowy lat 90.<sup>12</sup> (tabela 1). W tym okresie, mimo rosnących inwestycji w technologie informacyjne i telekomunikacyjne, zmiany produktywności w USA były rozczarowujące wobec oczekiwań, a wyniki badań nie wykazywały pozytywnej zależności między inwestycjami w ICT a produktywnością<sup>13</sup>.

Przeciętne tempo wzrostu wydajności pracy w latach 1973–1995 w Stanach Zjednoczonych spadło do 1,49% średniorocznie i dopiero po 1995 roku powróciło do poziomu porównywalnego z latami 1959–1973. Było to wynikiem znacznego spowolnienia wzrostu TFP (wzrost jedynie o 0,39% średniorocznie w latach 1973–1995), a także wzrostu wykorzystania kapitału (wzrost o 0,85% średniorocznie w latach 1973–1995). Rola ICT dla wzrostu wydajności pracy (poprzez wkład kapitału ICT i zmiany w TFP wynikające z wykorzystania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych) uwidoczniła

<sup>10</sup> Zgodnie z teorią ekonomii neoklasycznej, przy zachowaniu stałych efektów skali i konkurencyjności rynkowej, ten mechanizm finansowych efektów zewnętrznych jest wystarczający, aby oddziaływać na TFP [Jorgenson i in., 2008].

<sup>11</sup> Jak podkreślają Brynjolfsson i Yang, finansowe efekty zewnętrzne nie skutkują zmianą funkcji produkcji, ale zwiększają wydajność pracy i prowadzą do zmian w strukturze nakładów czynników produkcji, niekoniecznie oddziałując na TFP. Natomiast niefinansowe efekty, wynikające ze zmiany technologicznej, prowadzą do zmian w funkcji produkcji, przesuwając krzywą możliwości produkcyjnych na zewnątrz początku układu współrzędnych – w efekcie rośnie zarówno wydajność pracy, jak i TFP [Brynjolfsson, Yang, 1996].

<sup>12</sup> Ma to o tyle istotne znaczenie, że Stany Zjednoczone są kluczową gospodarką z punktu widzenia analiz zależności między ICT a produktywnością. Rewolucja informacyjna rozpoczęła się właśnie w USA, w związku z czym to w Stanach Zjednoczonych można było najwcześniej rozpocząć prowadzenie analiz empirycznych w tym obszarze (analizy wpływu ICT na produktywność w innych krajach wysoko rozwiniętych zaczęto prowadzić dopiero pod koniec lat 90. XX wieku i na początku wieku XXI). W rezultacie, najwięcej wyników badań empirycznych nad paradoksem Solowa dotyczy gospodarki amerykańskiej.

<sup>13</sup> Szczegółową analizę badań z tego okresu prezentują Brynjolfsson [1993] i Brynjolfsson, Yang [1996].

się w statystykach dopiero po 1995 roku (tabela 1). Nie dziwi więc, że Solow podkreślając niezręczność sytuacji, w której wszyscy czują, że żyją w czasach rewolucji technologicznej zmieniającej niemal wszystkie aspekty życia, a równocześnie dane statystyczne pokazują spadek, a nie oczekiwany wzrost produktywności, sformułował hipotezę o paradoksie produktywności [Solow, 1987].

**Tabela 1. Zmiany w produkcji i źródła wzrostu wydajności pracy w Stanach Zjednoczonych w latach 1959–2006 (stopy wzrostu w %)**

Zmienna	1959–1973	1973–1995	1995–2000	2000–2006
Średni roczny wzrost produkcji w sektorze prywatnym	4,18	3,08	4,77	3,01
Liczba przepracowanych godzin	1,36	1,59	2,07	0,51
<b>Przeciętna wydajność pracy, w tym:</b>	<b>2,82</b>	<b>1,49</b>	<b>2,70</b>	<b>2,50</b>
<b>Wkład kapitału</b>	<b>1,40</b>	<b>0,85</b>	<b>1,51</b>	<b>1,26</b>
Kapitał ICT	0,21	0,40	1,01	0,58
Kapitał inny niż ICT	1,19	0,45	0,49	0,69
<b>Wkład zmian w jakości pracy</b>	<b>0,28</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	<b>0,31</b>
<b>TFP</b>	<b>1,14</b>	<b>0,39</b>	<b>1,00</b>	<b>0,92</b>
Związany z ICT	0,09	0,25	0,58	0,38
Niezwiązany z ICT	1,05	0,14	0,42	0,54

Źródło: Jorgenson i inni [2008].

Na dodatek, analizy makroekonomiczne prowadzone w latach 80. XX wieku wskazywały, że największy spadek produktywności wystąpił w tych sektorach, które w największym zakresie bazowały na nowoczesnych technologiach i charakteryzowały się dużym udziałem „białych kołnierzyków” w zatrudnieniu ogółem [Brynjolfsson, 1993]. Panowało dość powszechne przekonanie, że paradoks Solowa pozostaje w mocy.

Rozpoczęto więc poszukiwania argumentów, które pozwoliłyby rozwikłać paradoks produktywności i wyjaśnić, dlaczego, mimo przesłanek teoretycznych wynikających z modelu Solowa-Swana, ICT nie przekłada się na wzrost TFP i wydajności pracy. Poszukiwania te doprowadziły do zidentyfikowania przyczyn, które w literaturze przedmiotu zazwyczaj są klasyfikowane w ramach następujących kategorii<sup>14</sup>:

- problemy związane z poprawnym pomiarem nakładów i wyników,
- redystrybucja zysków oraz błędne zarządzanie wdrażaniem i wykorzystaniem ICT,
- opóźnienia wynikające z procesu uczenia się w związku z wdrażaniem nowych technologii,

<sup>14</sup> Ogólnie rzecz biorąc, w niektórych opracowaniach wskazuje się również na kwestie związane z obciążeniem próby badawczej (mimo doboru losowego próba nie jest reprezentatywna) oraz brakiem odpowiednich zmiennych kontrolnych (por. m.in. Hitt, Brynjolfsson [1996], Dos Santos i inni [1993]).



- konieczność wprowadzenia komplementarnych zmian związanych z wdrażaniem ICT w podmiotach gospodarczych.

### **Argument pierwszy: problem pomiaru**

Ten argument bazuje na tezie, iż specyfika ICT sprawia, że tradycyjne metody kalkulacji nakładów i wyników, stosowane w ramach statystyki publicznej, nie są w stanie poprawnie zmierzyć korzyści wynikających z wdrażania ICT. Jak podkreślają Brynjolfsson i Saunders, produktywność jest wielkością trudno mierzalną, co wynika chociażby z tego, że [Brynjolfsson, Saunders, 2010]:

- efekt (produkcja) powinien być mierzony nie tylko jako wielkość wyprodukowanych dóbr i usług, ale powinien uwzględniać jakość i inne materialne i niematerialne cechy tych dóbr i usług, które wpływają na ich wartość postrzeganą przez konsumenta<sup>15</sup>,
- nakłady powinny uwzględniać informację o jakości zasobów pracy oraz charakterystyce kapitału.

Zagadnienie to jest wieloaspektowe – poczynając od tego, w jaki sposób określić rzeczywistą wartość inwestycji w ICT, a kończąc na pomiarze korzyści osiąganych przez konsumentów. Brynjolfsson postawił tezę, że to właśnie problem pomiaru ma największe znaczenie dla wytłumaczenia paradoksu produktywności<sup>16</sup> [Brynjolfsson, 1993].

Po pierwsze, dokonanie poprawnego pomiaru wartości inwestycji w ICT i kapitału ICT jest utrudnione w związku z tym, że wskaźniki zmian cen ICT nie uwzględniają zmiany w jakości coraz to nowszych generacji technologii<sup>17</sup>. Jest to wynikiem sposobu mierzenia wskaźnika CPI – główny problem dotyczy tego, że CPI nie uwzględnia zmian w jakości produktów i usług, których ceny stanowią bazę do wyliczenia CPI. W rezultacie, CPI przeszacowuje faktyczną inflację.

Uwzględnienie zmian jakościowych, związanych z rozwojem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych, w analizach zmian cen sprzętu komputerowego doprowadziło do wyników, które nie zaskakują co do kierunku

---

<sup>15</sup> Brynjolfsson i Saunders opisują, w jaki sposób obliczany jest PKB w Stanach Zjednoczonych wskazując, dlaczego ta obowiązująca metoda pomija wartość kreowaną przez ICT (np., jeśli ktoś zapozna się z wiadomościami na portalu internetowym, nie znajduje to odzwierciedlenia w statystyce PKB; natomiast jeśli osoba ta kupi papierową gazetę, zawierającą te same wiadomości, PKB wzrośnie o cenę gazety, nawet jeśli gazeta nie zostanie przeczytana) [Brynjolfsson, Saunders, 2010, s. 21–25]. W podanym przykładzie wartość informacji dostępnej on-line nie jest uwzględniana w kalkulacji produktu krajowego brutto, co prowadzi do niedoszacowania wydajności pracy (mierzonej jako produkcja przypadająca na roboczogodzinę).

<sup>16</sup> W późniejszych swoich opracowaniach Brynjolfsson skłania się raczej ku hipotezie czynników komplementarnych.

<sup>17</sup> Dyskusję na temat potrzeby wprowadzenia deflatorów uwzględniających zmiany jakościowe w technologii odnajdziemy m.in. w pracach: Brynjolfssona i Saundersa [2010], Moultona [2002]. Haltiwanger i Jarmin sformułowali zalecenia pod adresem statystyki publicznej dotyczącej tego, jakie dane powinny być gromadzone, aby można było prowadzić rzetelne analizy gospodarki elektronicznej [Haltiwanger, Jarmin, 2002].

tych zmian, natomiast mogą zaskakiwać jeśli chodzi o ich skalę. Jorgenson i Stiroh<sup>18</sup> dokonali dekompozycji wzrostu TFP w Stanach Zjednoczonych dla lat 1990–1998 dla trzech scenariuszy zmian cen ICT [Jorgenson, Stiroh, 2000]. Pierwszy scenariusz – „bazowy” – dotyczył oficjalnych danych o CPI. Drugi scenariusz – „umiarkowanego spadku cen” – zakładał, że ceny ICT w latach 1959–1998 spadały w tempie między 10 a 11% rocznie, podczas gdy w scenariuszu „gwałtownego spadku cen” przyjęto założenie o 16% średniorocznej obniżce cen oprogramowania i 17,9% spadku cen sprzętu w tych latach. Uwzględnienie alternatywnych scenariuszy istotnie zmieniło skalę wpływu technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych na TFP. W scenariuszu „umiarkowanego spadku cen” wkład kapitału ICT w latach 1990–1995 łagodził negatywny wpływ pozostałego kapitału, dzięki czemu tempo wzrostu TFP było dodatnie, a w latach 1995–1998 odpowiadał za niemal 70% wzrostu TFP. Z kolei w scenariuszu „gwałtownego spadku cen” w każdym z analizowanych podokresów dzięki kapitałowi ICT udało się utrzymać dodatnie tempo wzrostu TFP. Natomiast Brynjofsson i Saunders porównali, dla wybranych lat, zmiany cen sprzętu komputerowego – a właściwie cen mocy obliczeniowej komputerów, która uwzględnia dynamiczne zmiany jakościowe w tej technologii. Okazało się, że komputer (o porównywalnych parametrach), który w 1987 roku kosztował 4000 dolarów, w roku 2007 kosztowałby niecałe 39 dolarów [Brynjofsson, Saunders, 2010].

Po drugie, pojawia się problem związany z pomiarem korzyści, wynikających z wdrażania nowych technologii. Jeden z przykładów dotyczących sektora finansowego odnosi się do wprowadzenia na szeroką skalę bankomatów, które sprawiły, że klient banku ma dostęp do środków na swoim koncie bankowym 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, przy równoczesnym znacznym skróceniu czasu, jaki musi spędzić w kolejkach do kasy w banku. Niewątpliwie jest to oznaka poprawy jakości obsługi klienta, natomiast wartość pieniężna jaka związana jest z tą poprawą nie jest mierzona bezpośrednio w statystyce publicznej, podczas gdy wartość inwestycji w bankomaty tak. W rezultacie mamy sytuację, w której statystyki pokazują rosnące nakłady na ICT, a równocześnie niedoszacowują wzrostu produktywności z tym związanego [Hal-tiwanger, Jarmin, 2002]<sup>19</sup>.

Po trzecie, inwestycje w ICT mają istotne znaczenie dla kreowania wartości niematerialnych w przedsiębiorstwie, które to wartości nie są uwzględniane w tradycyjnym sposobie pomiaru PKB – ponownie podnosi się argument, że dostępne dane statystyczne nie zawierają informacji pozwalających na rzetelne

<sup>18</sup> Jorgenson i Stiroh analizowali wpływ technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych w swoich wcześniejszych pracach. W artykule z 1999 roku stwierdzili, że paradoks Solowa został wyjaśniony, a korzyści wynikające z wytwarzania i wykorzystywania komputerów zmieniają w sposób fundamentalny gospodarkę Stanów Zjednoczonych [Jorgenson, Stiroh, 1999].

<sup>19</sup> Badania obejmujące sektor finansów, ubezpieczeń i obrotu nieruchomości wykazały, że między 1973 a 1987 rokiem oficjalne dane statystyki publicznej niedoszacowywały wzrostu produktywności o ok. 2,3% rocznie.



określenie wpływu inwestycji w ICT na produktywność<sup>20</sup>. Sformalizowane, modelowe podejście do tego zagadnienia zaprezentowali Yang i Brynjolfsson, którzy oszacowali alternatywne wartości TFP dla Stanów Zjednoczonych w latach 1949–1999 przy uwzględnieniu wartości niematerialnych, jakie powstały w związku z inwestycjami w ICT, a które nie są ujmowane w oficjalnych statystykach<sup>21</sup> [Yang, Brynjolfsson, 2001].

Po czwarte, statystyki pomijają wartość rezultatów wynikających z wdrażania inwestycji o charakterze komplementarnym w stosunku do ICT, w szczególności jeśli są to praktyki, które skutkują pewnymi zmianami organizacyjnymi w przedsiębiorstwie. Jak twierdzą Brynjolfsson i Saunders, tego rodzaju działania prowadzą do powstania kapitału organizacyjnego, który powinien być traktowany w kategoriach aktywów, przy czym obowiązujące zasady rachunkowości uniemożliwiają uchwycenie tej wartości [Brynjolfsson, Saunders, 2010, s. 76].

Po piąte, pozostaje problem pomiaru użyteczności, jaką uzyskują konsumenci dzięki temu, że przedsiębiorstwa wykorzystują technologie informacyjne i telekomunikacyjne. Brynjolfsson i Saunders prezentują próbę oszacowania tych wartości sięgając po koncepcję nadwyżki konsumenta [Brynjolfsson, Saunders, 2010, s. 109–116]. Podkreślają, iż gdyby zastosować tę koncepcję do pomiaru wartości korzyści wynikających z wdrażania nowych technologii (w szczególności technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych), to okazałoby się, że „zyskalibyśmy” miliardy, jeśli nie biliony dolarów, które nie ujawniły się przy zastosowaniu standardowych metod pomiaru PKB<sup>22</sup>.

Należy zauważyć, że przez ostatnie lata zanotowano istotny postęp w zakresie pomiaru zmiennych, gromadzenia danych pod kątem analiz wpływu ICT na produktywność, a także dostępności zbiorów danych [Draca i in., 2007]. Na przykład w Unii Europejskiej zrealizowano projekt, którego celem było stworzenie bazy EU KLEMS<sup>23</sup> zawierającej dane od roku 1970 na temat wzrostu gospodarczego, produktywności, tworzenia miejsc pracy, akumulacji kapitału i zmian technologicznych na poziomie gałęzi przemysłu dla państw

<sup>20</sup> Brynjolfsson i Saunders dla zobrazowania tego problemu podają przykład firmy Google, kiedy to na początku 2009 roku jej wartość rynkowa była szacowana na 100 miliardów dolarów, podczas gdy majątek trwały wynosił 5 miliardów, a gotówka, inwestycje i należności 18 miliardów. Pozostałe 77 miliardów tworzyły wartości niematerialne, których nie odnajdzie się w sprawozdaniu finansowym, a co za tym idzie w kalkulacji PKB [Brynjolfsson, Saunders, 2010].

<sup>21</sup> Z ich analiz wynika, że wpływ wartości niematerialnych powiązanych z ICT na TFP ujawnia się w roku 1961 i powoduje, iż, w zależności od przyjętych założeń, dzięki niemu można wytłumaczyć do 2/3 wartości spowolnienia we wzroście TFP w latach 1973–1990 w Stanach Zjednoczonych.

<sup>22</sup> Wniosek zaprezentowany przez Brynjolfssona i Saundersa sprowadza się do tezy, iż skoro tak wiele dóbr informacyjnych nie ma określonej ceny, to lepszym sposobem mierzenia korzyści, jakie odnoszą poszczególne podmioty gospodarcze jak i cała gospodarka, w związku z rozwojem ICT, jest analizowanie zmian w wartości nadwyżki producenta i konsumenta, a nie bazowanie na produkcji i produktywności jako podstawowych miarach wzrostu gospodarczego.

<sup>23</sup> Projekt był finansowany przez Komisję Europejską w ramach 6. Programu Ramowego w latach 2003–2008.

członkowskich Unii Europejskiej. Jednakże, dla niektórych krajów dane dotyczące kapitału ICT zaczęto zbierać stosunkowo niedawno.

Mimo podjęcia działań mających służyć gromadzeniu informacji na temat inwestycji w ICT i ich efektywności, dostęp do rzetelnych danych (w szczególności na poziomie makro) – a w rezultacie problem pomiaru – stanowi nadal istotne ograniczenie w badaniach nad zależnością między wdrażaniem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych a kształtowaniem się TFP i wydajności pracy.

### **Argument drugi: redystrybucja zysków oraz błędy w zarządzaniu**

Ten kierunek argumentacji, starający się wyjaśnić paradoks Solowa, jest znacznie mniej popularny w literaturze przedmiotu. Teza, jaka jest stawiana w odniesieniu do problemu redystrybucji zysków mówi, iż na poziomie mikroekonomicznym ICT może przynosić korzyści dla poszczególnych przedsiębiorstw, natomiast skutki te nie są widoczne na poziomie mezo (branży), czy makro (całej gospodarki), ponieważ ICT prowadzi nie tyle do wzrostu produkcji, ale do innego podziału zysków między przedsiębiorstwa przy tym samym poziomie produkcji<sup>24</sup>.

Wśród przyczyn braku zależności między inwestycjami w ICT a produktywnością wskazuje się także błędy w zarządzaniu, jakie mają miejsce w przedsiębiorstwach. Menedżerowie mogą podejmować błędne decyzje dotyczące ICT, co może wynikać z kilku przyczyn. Po pierwsze, skoro sami badacze mają znaczne problemy z kwantyfikacją wpływu ICT na produktywność, tym bardziej menedżerowie będą napotykać na ten problem, co sprawia, że decyzje inwestycyjne mogą być nieoptymalne, z punktu widzenia maksymalizacji zysku przedsiębiorstwa (pod warunkiem, że przyjmiemy zgodnie z teorią neoklasyczną, że podstawowym celem działalności przedsiębiorstwa jest maksymalizacja zysku). Po drugie, dynamiczne zmiany w technologiach informacyjnych i telekomunikacyjnych powodują, że między wdrożeniem kolejnych rozwiązań pozostaje coraz mniej czasu na ich przetestowanie – w efekcie, problemy, które zazwyczaj były ujawniane w fazie testów i niwelowane na etapie wdrożenia, ujawniają się dopiero po wdrożeniu danego rozwiązania, co niewątpliwie wpływa negatywnie na oczekiwany zwrot z takiej inwestycji. Po trzecie, podnosi się, że metody i procedury wdrażania ICT do początku lat 90. XX wieku bazowały na rozwiązaniach stosowanych w odniesieniu do technologii jakościowo innych niż ICT. W rezultacie, procedury te nie sprawdzają się w przypadku ICT, gdyż prowadzą one do powstawania tzw. wąskich

---

<sup>24</sup> Ta hipoteza znajduje pośrednie potwierdzenie w badaniach Cardona i innych, którzy poza ogólnym wnioskiem mówiącym o tym, że wpływ ICT na produktywność jest istotny i coraz większy, stwierdzili, że badania na poziomie makro i mezoekonomicznym wskazują na lepsze wyniki związane z wdrażaniem ICT w Stanach Zjednoczonych w stosunku do Europy, podczas gdy badania bazujące na danych mikroekonomicznych sugerują brak istotnych różnic między tymi gospodarkami [Cardona i in., 2013].

gardel w miejscach, w których dotychczas nie występowały. Dopóki problem tych wąskich gardel nie zostanie rozwiązany, rosnące wydatki na ICT nie będą prowadziły do wzrostu produktywności. Jak podkreśla Brynjolfsson, tego typu problemy są charakterystyczne dla gospodarki w fazie transformacji – w tym przypadku do fazy gospodarki informacyjnej [Brynjolfsson, 1993].

### **Argument trzeci: opóźnienia w materializacji efektów inwestycji w ICT**

Wyjaśnienie paradoksu Solowa zgodnie z tym argumentem odnosi się do tezy, iż widoczne i mierzalne efekty inwestycji w ICT mogą pojawić się z opóźnieniem – nawet dopiero po kilku latach od momentu wdrożenia danej inwestycji. Argumentacja ta nie jest obca teorii ekonomii i polityki gospodarczej – można wręcz stwierdzić, że problematyka długotrwałości procesów dostosowawczych, a w rezultacie występujących opóźnień, jest immanentną cechą procesów gospodarczych. Opóźnienia są brane pod uwagę w modelach makroekonomicznych (np. modelu AD-AS). W ekonomii rynku pracy wśród teorii podkreślających rolę opóźnień w dochodzeniu do stanu równowagi można wymienić między innymi teorię kapitału ludzkiego, naturalnej stopy bezrobocia i NAIRU, teorię poszukiwań na rynku pracy [Jarmołowicz, Knapińska, 2011]. Opóźnienia odgrywają również istotną rolę w polityce pieniężnej i fiskalnej, prowadząc w skrajnych przypadkach do całkowitej nieskuteczności wprowadzanych rozwiązań, a często do trudności w koordynacji jednej i drugiej polityki [Marszałek, 2006].

W przypadku wdrażania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych argumenty dotyczące opóźnień zazwyczaj analizowane są w skali mikro, a najczęściej przytacza się wnioski przedstawione przez Davida [1990]. David twierdził, że jeśli sięgnie się do historii gospodarczej i przeanalizuje schemat przechodzenia od jednych technologii do drugich (transformacje związane z wdrażaniem „przełomowych” technologii), okaże się, iż paradoks produktywności nie jest czymś niespotykanym i zagadkowym, jak to się zwykło uważać<sup>25</sup>. David skupił się na analizie procesu wdrażania silnika elektrycznego, którego wynalezienie doprowadziło do drugiej rewolucji przemysłowej. Jak podkreślał, obie technologie – silnik elektryczny i ICT (które mają charakter technologii ogólnego zastosowania – GPT) – ze względu na swoją specyfikę generowały różnego rodzaju efekty zewnętrzne i ogrywały kluczową rolę w sieci powiązań komplementarnych elementów systemu produkcji. Aby w pełni wykorzystać potencjał elektryczności, musiały najpierw nastąpić zmiany w poszczególnych elementach tego systemu – David, sięgając do danych statystycznych i różnych opracowań, przedstawił jakiego rodzaju opóźnienia, wynikające ze zmian w organizacji pracy w fabrykach, warunkowały pełne wdrożenie

<sup>25</sup> Innymi słowy, paradoks produktywności jest czymś normalnym w sytuacji wdrażania na szeroką skalę nowych technologii, co oznacza, że w zasadzie nie powinno się go rozpatrywać w kategoriach paradoksu, ale raczej w kategoriach procesów dostosowawczych zachodzących w gospodarce w rezultacie wdrożenia nowej technologii.

silnika elektrycznego. W tym przypadku reorganizacja fabryk trwała niemal 50 lat, zanim osiągnięto istotne i trwałe korzyści po stronie produktywności. Jeśli opisany przez Davida przykład traktować jako analogiczny do procesów związanych z wdrażaniem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych [David, 1990], to można powiedzieć, że w przypadku ICT lata 70., 80. i pierwsza połowa lat 90. XX wieku w krajach wysoko rozwiniętych zostały wykorzystane przez przedsiębiorstwa do przeorganizowania procesów biznesowych w sposób pozwalający na pełne (pełniejsze) wykorzystanie potencjału ICT.

Wiele wyników nowszych badań zdaje się potwierdzać słuszność argumentu o istotnej roli opóźnień dla materializacji wpływu technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych na produktywność. Analizy, prowadzone w Stanach Zjednoczonych od przełomu XX i XXI wieku, wskazywały, że pozytywny wpływ ICT na produktywność (wydajność pracy jak i TFP) ujawnił się dopiero w latach 90. XX wieku. Badania Jorgensona<sup>26</sup> wykazały, że w latach 1990–1995 właściwie tylko dzięki ICT udało się utrzymać dodatnie średnie tempo wzrostu TFP, a w latach 1995–1999 kapitał ICT odpowiadał za 2/3 tempa wzrostu TFP [Jorgenson, 2001]. ICT odegrało również istotną rolę we wzroście wydajności pracy – intensywne powiększanie kapitału ICT (*capital deepening*) odpowiadało w latach 1990–1995 za 36% wzrostu przeciętnej wydajności pracy, a w latach 1995–1999 za 42% tegoż wzrostu. Do podobnych wniosków doszli Oliner i Sichel<sup>27</sup>, podkreślając, że wkład ICT w produkcję był szczególnie widoczny w II połowie lat 90. XX wieku, a ICT odpowiadało za 2/3 wzrostu wydajności pracy między pierwszą a drugą połową lat 90. – bezpośrednio jako wynik intensywnego powiększania kapitału ICT, a pośrednio poprzez wzrost TFP [Oliner, Sichel, 2000].

Prymat Stanów Zjednoczonych w stosunku do innych krajów, jeśli chodzi o skalę wpływu ICT na produktywność, wykazano w licznych badaniach empirycznych, co biorąc pod uwagę to, że USA są światowym liderem wdrażania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych (proces ten zaczął się tam najwcześniej), stanowi kolejny argument na korzyść hipotezy opóźnień. Wśród wniosków płynących z badań Colecchia i Schreyera, którzy porównali wpływ akumulacji kapitału ICT na wzrost gospodarczy w dziewięciu krajach OECD w latach 1980–2000<sup>28</sup> [Colecchia, Schreyer, 2002], dwa wydają się być kluczowe. Po pierwsze, wpływ ICT na tempo wzrostu gospodarczego był

<sup>26</sup> Jorgenson analizował źródła wzrostu gospodarki amerykańskiej w latach 1948–1999, wykorzystując w tym celu krzywą możliwości produkcyjnych [Jorgenson, 2001].

<sup>27</sup> Oliner i Sichel analizowali wpływ ICT na wzrost gospodarczy i wydajność pracy w gospodarce amerykańskiej w latach 1974–1999 przy wykorzystaniu zmodyfikowanego modelu wzrostu Solowa [Oliner, Sichel, 2000; Solow, 1957]. Oszacowali wkład sprzętu komputerowego, oprogramowania, urządzeń telekomunikacyjnych, pozostałego kapitału i liczby przepracowanych godzin we wzrost wartości realnej produkcji wytworzonej poza rolnictwem.

<sup>28</sup> Wśród krajów objętych analizą znalazły się: Australia, Kanada, Finlandia, Francja, Niemcy, Włochy, Japonia, Wielka Brytania i Stany Zjednoczone. W przypadku Finlandii, Włoch i Japonii analiza obejmowała lata 1980–1995. Metodyka badania była zbieżna z tą zastosowaną przez Olinera, Sichela [2000].

pozytywny we wszystkich krajach, ale znacząco zróżnicowany – najlepsze (istotnie wyższe) efekty zanotowano w Stanach Zjednoczonych, duży wpływ ICT na wzrost gospodarczy był widoczny również w Australii, Finlandii i Kanadzie<sup>29</sup>. Po drugie, tylko w USA zanotowano znaczny wzrost produktywności w latach 90. XX wieku, będący skutkiem inwestycji i wykorzystania ICT. Van Ark i inni, którzy poszukiwali przyczyn wyższego wzrostu wydajności pracy w Stanach Zjednoczonych w porównaniu z krajami Unii Europejskiej<sup>30</sup>, doszli do wniosku, że kluczowe są dwa nakładające się na siebie czynniki – większe rozmiary branż-producentów ICT i szybsze tempo wzrostu sektorów usługowych (handel hurtowy, detaliczny i usługi finansowe), które w szerokim zakresie wykorzystują ICT w swojej działalności [van Ark i in., 2003]. Kolejne badania van Arka i innych<sup>31</sup> wykazały że, źródła wzrostu produkcji w 10 krajach UE<sup>32</sup> i Stanach Zjednoczonych były znacząco zróżnicowane [van Ark i in., 2008], a od II połowy lat 90. XX wieku postęp techniczny (związany między innymi z wdrażaniem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych) przyspieszył w Stanach Zjednoczonych, podczas gdy w krajach Unii Europejskiej doszło do stagnacji w tym zakresie<sup>33</sup>. Nieco inne podejście do badań porównawczych dotyczących wpływu ICT na produktywność gospodarek po 1995 roku zastosowali Jorgenson i Vu [2005; 2010]. Ich analizy zostały przeprowadzone w układzie 7 regionów<sup>34</sup> i 14 najważniejszych (zdaniem autorów) gospodarek światowych<sup>35</sup> i obejmowały lata 1989–2008, przy czym specjalnie wyodrębniono okres po 1995 roku, aby zweryfikować hipotezę przyspieszenia produktywności związaną z ICT [Jorgenson, Vu, 2005]. Analiza prowadzona w układzie regionów gospodarczych jednoznacznie potwierdziła, że kapitał ICT najbardziej oddziaływał na tempo wzrostu gospodarczego w grupie krajów wysoko

<sup>29</sup> W latach 1995–2000 przy porównywalnym przeciętnym tempie wzrostu produkcji w Stanach Zjednoczonych, Australii i Kanadzie (odpowiednio, 4,4%, 4,62% i 4,2%) wkład kapitału ICT wyniósł, odpowiednio: 0,87 p.p., 0,68 p.p. i 0,57 p.p.

<sup>30</sup> W badaniu wykorzystano metodę przesunięć udziałów (*shift-share*). Analizę przeprowadzono na poziomie mezoekonomicznym (51 branż) dla 15 krajów członkowskich „starej” Unii Europejskiej i Stanów Zjednoczonych w latach 1990–2000.

<sup>31</sup> Analiza obejmowała lata 1980–2004 i została przeprowadzona przy wykorzystaniu metody dekompozycji wzrostu ekonomicznego w ramach neoklasycznego modelu wzrostu Solowa [1957].

<sup>32</sup> Ze względu na problem z dostępnością danych, analizy ekonometryczne przeprowadzono dla Austrii, Belgii, Danii, Finlandii, Francji, Niemczech, Włoch, Holandii, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii.

<sup>33</sup> Dahl i inni, którzy analizowali zmiany w wydajności pracy i TFP w grupie siedmiu krajów Unii Europejskiej (Danii, Finlandii, Francji, Holandii, Niemiec, Wielkiej Brytanii i Włoch) podkreślali, że chociaż wydajność pracy między rokiem 1995 a 2004 zmniejszyła się, nie powinno się przypisywać tego niewykorzystanemu potencjałowi ICT w Europie, a raczej negatywnemu szokowi makroekonomicznemu, który doprowadził do spowolnienia produktywności [Dahl i in., 2011].

<sup>34</sup> Regiony zostały zdefiniowane w następujący sposób: kraje grupy G-7 (7 państw), kraje spoza G-7 (15 państw), rozwijająca się Azja (16 państw), Ameryka Łacińska (19 państw), Europa Wschodnia (14 państw), Afryka Subsaharyjska (28 państw), Afryka Północna i Środkowy Wschód (11 państw).

<sup>35</sup> Poza krajami G-7 (Kanada, Francja, Niemcy, Włochy, Japonia, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone) uwzględniono Brazylię, Chiny, Indie, Indonezję, Meksyk, Federację Rosyjską i Koreę Południową.



rozwiniętych (G-7), a także w grupie rozwijających się krajów azjatyckich. Na uwagę zasługują również kraje Ameryki Łacińskiej i Europy Wschodniej. W pierwszym przypadku widać istotny wzrost znaczenia kapitału ICT dla dynamiki PKB, a w drugim należy podkreślić, że w latach 1989–2003 to właśnie kapitał ICT oraz poprawa jakości zasobów pracy łagodziły skalę recesji gospodarczej. W Europie Wschodniej wysokie tempo wzrostu PKB w latach 2000–2004 (5,48% średniorocznie<sup>36</sup>) było wynikiem dynamicznego wzrostu TFP (nakłady czynników produkcji rosły w niewielkim tempie) – w tym okresie wkład TFP we wzrost PKB wyniósł 5,2 p.p. Była to wartość nieosiągalna dla pozostałych regionów gospodarczych – nawet dla krajów azjatyckich, w których wyniosła 2,64 p.p. I chociaż w latach 2004–2008 w krajach Europy Wschodniej wkład nakładów kapitału i pracy we wzrost PKB zwiększył się istotnie, to nadal głównym motorem wzrostu gospodarczego były zmiany w TFP.

Wyniki najnowszych badań wskazują, że różnice między USA a krajami UE w zakresie wpływu ICT na produktywność zmniejszają się [Van Reenen i in., 2010] i potwierdzają, że pozytywna zależność między ICT a produktywnością występuje nie tylko w wysoko rozwiniętych, ale również w rozwijających się gospodarkach [Dedrick i in., 2013; Niebel, 2014].

#### **Argument czwarty: potrzeba inwestycji komplementarnych wobec ICT**

Za pionierów koncepcji czynników komplementarnych uważa się Milgroma i Roberta, którzy przedstawili formalny model wyjaśniający zmiany zachodzące w procesach produkcji w nowoczesnych przedsiębiorstwach, które pociągają za sobą zmiany w strategii tych przedsiębiorstw i skutkują koniecznością powiązania ze sobą wielu obszarów działalności przedsiębiorstwa w odpowiedzi na zmiany technologiczne [Milgrom, Roberts, 1990]<sup>37</sup>. W modelu Milgroma i Roberta nacisk zostaje położony na system powiązań między wieloma działaniami komplementarnymi, które powinny zostać podjęte w związku z wdrożeniem nowej technologii (w tym ICT). Zależności te pokazane są na przykładzie wdrożenia oprogramowania CAD/CAM<sup>38</sup>, które pociąga za sobą: zakup i wdrożenie maszyn umożliwiających uelastycznienie produkcji, skrócenie serii wytwarzanych produktów, zmniejszenie stanów magazynowych, zwiększenie wykorzystania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych, częstsze przeprojektowywanie produktów, które stają się

<sup>36</sup> Wyższe tempo wzrostu w tym okresie zanotowano jedynie w grupie krajów azjatyckich.

<sup>37</sup> Milgrom i Roberts podkreślają, że w ich ujęciu komplementarność nie jest rozumiana w sposób tradycyjny jako zależność między dwoma nakładami, ale w sposób szeroki jako relacja między grupami (klastrami) działań. Istotą definiującą grupy działań komplementarnych jest to, że wzrost wykorzystania jakiegokolwiek podzbioru tych działań prowadzi do wzrostu krańcowej korzyści związanej ze zwiększeniem wykorzystania pozostałych działań. Ponadto, jeśli koszt krańcowy poszczególnych działań maleje, korzystne jest zwiększyć nakłady w ramach pozostałych działań znajdujących się w danej grupie/klastrze.

<sup>38</sup> CAD/CAM jest zintegrowanym oprogramowaniem wspomagającym projektowanie i wytwarzanie (CAD–*Computer Aided Design*; CAM–*Computer Aided Manufacturing*).



działaniami komplementarnymi w sferze produkcji. Działania komplementarne pojawiają się również w innych obszarach, takich jak marketing, dystrybucja<sup>39</sup>, inżynieria produkcji, organizacja, czy zarządzanie zasobami ludzkimi<sup>40</sup>.

Co istotne, grupy działań komplementarnych stanowią swoiste know-how – są wypracowywane w ramach danego przedsiębiorstwa i przynoszą korzyści, pod warunkiem, że są wdrażane kompleksowo. Innymi słowy, niezwykle trudno jest przenieść wybrany element, czy całą grupę działań komplementarnych sprawdzających się w jednym przedsiębiorstwie, do innego przedsiębiorstwa [Milgrom, Roberts, 1995].

Zagadnienie czynników komplementarnych poruszył także David, który po 12 latach od publikacji słynnego artykułu podtrzymał swoje pierwotne zdanie na temat paradoksu produktywności<sup>41</sup> i podkreślał, iż ostateczne zakończenie epoki „Fordyzmu” wymaga rozległych i głębokich przemian – dla skutecznego wdrożenia technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych niezbędne jest rozwinięcie i wprowadzenie wielu komplementarnych elementów o charakterze materialnym i niematerialnym: nowych maszyn i fabryk, nowych umiejętności zasobów pracy, nowych form organizacji i form własności, nowych ram regulacyjnych, czy też innych, nowych nawyków – a na to potrzeba dekad [David, 2002, s. 55].

Szczegółowa analiza czynników komplementarnych wobec technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych w Stanach Zjednoczonych pozwoliła zidentyfikować siedem praktyk, które można uznać za kluczowe dla zbudowania cyfrowej organizacji, a które pozytywnie oddziałują na produktywność indukowaną nakładami na ICT [Brynjolfsson, 2005]:

- przejście od papierowych do cyfrowych procesów: digitalizacja procesów jest podstawowym działaniem, które umożliwia produktywnie wykorzystanie ICT w przedsiębiorstwie i wspiera pozostałe praktyki;
- otwarty dostęp do informacji: nowoczesne organizacje zachęcają pracowników do sięgania po różnorakie źródła informacji (wewnętrzne i zewnętrzne w stosunku do organizacji), aby zwiększyć ich produktywność;

<sup>39</sup> W tym obszarze wprowadzenie informatycznego systemu zamówień, który skraca czas dostawy produktu do klienta jest działaniem komplementarnym w stosunku do działań podejmowanych w obszarze produkcji, które mają na celu wyeliminowanie jak największej liczby opóźnień.

<sup>40</sup> Milgrom i Roberts nie odnieśli się do kwestii kapitału ludzkiego jako jednego z czynników komplementarnych w procesie wdrażania nowych technologii [Milgrom, Roberts, 1990]. Można powiedzieć, że wątek ten został zasygnalizowany w kolejnym artykule Milgroma i innych, w którym analizie poddano między innymi dynamikę akumulacji wiedzy w przedsiębiorstwach [Milgrom i in., 1991].

<sup>41</sup> „Moje rozumienie implikacji związanych z wylaniem się gospodarki cyfrowej nadal opiera się na założeniu, że jesteśmy w trakcie kompleksowego i długotrwałego procesu transformacji do nowego systemu techno-ekonomicznego, który charakteryzuje się dużą intensywnością informacji, a wiedza na temat dynamiki tego procesu może zostać pozyskana poprzez analizę analogicznych wydarzeń w historii dotyczących wynaleźienia i dyfuzji innych technologii ogólnego zastosowania” [David, 2002, s. 54].

- wzmocnienie pozycji pracowników: aby wykorzystać potencjał wynikający z otwartego dostępu do informacji przedsiębiorstwo musi wprowadzić decentralizację procesu podejmowania decyzji. Zgodnie z tym podejściem, decyzja powinna być podejmowana przez tę osobę, która ma dostęp do odpowiedniej informacji (tym samym decyzje zapadają na wielu szczeblach zarządzania) – w sytuacji, w której pracownik, który dysponuje informacją, która może poprawić funkcjonowanie jakiegoś procesu, ale nie ma uprawnień do podjęcia decyzji w tym zakresie, mamy do czynienia z marnowaniem dostępnego potencjału;
- wykorzystanie bodźców powiązanych z wynikami: system wynagrodzeń w przedsiębiorstwie ma charakter motywacyjny – bazuje na osiągniętych konkretnych i mierzalnych wynikach, za które pracownik uzyskuje dodatkowe bonusy np. opcje na akcje;
- inwestowanie w kulturę korporacyjną: zdefiniowanie ogólnie obowiązujących norm i celów (operacyjnych, strategicznych) na poziomie przedsiębiorstwa prowadzi do lepszych wyników w zakresie produktywności wynikających z wykorzystania ICT;
- rekrutowanie odpowiednich pracowników: w wielu opracowaniach analizujących zjawisko postępu technicznego faworyzującego wysokie kwalifikacje (*Skill-Biased Technical Change* – SBTC), podnosi się, iż produktywne wykorzystanie technologii wymaga od pracowników posiadania odpowiednich i przede wszystkim wysokich kwalifikacji – w szczególności chodzi o umiejętności przetwarzania i analizy informacji, skoro pracownicy uzyskują coraz szerszy zakres odpowiedzialności i uprawnienia do podejmowania decyzji;
- inwestowanie w kapitał ludzki<sup>42</sup>: wdrożenie opisanych praktyk jest możliwe pod warunkiem posiadania odpowiedniej jakości kapitału ludzkiego w organizacji – ponieważ sama rekrutacja nie jest w stanie tego zapewnić, przedsiębiorstwa cyfrowe organizują więcej szkoleń dla swoich pracowników w porównaniu z tradycyjnymi przedsiębiorstwami.

Występowanie tych praktyk było pozytywnie skorelowane ze znaczącą poprawą produktywności, wartością rynkową przedsiębiorstwa i innymi wskaźnikami opisującymi wyniki firmy. Mimo że nie wszystkie przedsiębiorstwa intensywnie wykorzystujące ICT wdrożyły wszystkie z siedmiu zidentyfikowanych praktyk, to te, które równocześnie inwestowały w ICT i wdrażały te praktyki osiągnęły lepsze wyniki w stosunku do przedsiębiorstw, które nie połączyły tych procesów [Brynjolfsson, 2005].

Badania prowadzone na poziomie makroekonomicznym również wskazują na istotną rolę czynników komplementarnych wobec ICT. Dedrick i inni analizowali, które czynniki wpływają istotnie na zależność między ICT

---

<sup>42</sup> Jak widać istotną część tych innowacyjnych praktyk dotyczy zagadnień związanych z zarządzaniem zasobami ludzkimi w przedsiębiorstwach – jak podkreślają Brynjolfsson i Hitt jest to ważny czynnik, który umożliwia poprawę konkurencyjności i zwiększenie produktywności na poziomie mikro i makroekonomicznym [Brynjolfsson, Hitt, 2003].

a produktywnością [Dedrick i in., 2013]. Okazało się, że w krajach rozwijających się są to: poziom wykształcenia<sup>43</sup>, inwestycje zagraniczne i koszt usług telekomunikacyjnych; natomiast w krajach rozwiniętych – inwestycje zagraniczne i zasięg telefonii komórkowej<sup>44</sup>. Natomiast Niebel wykazał, że elastyczności produktu względem ICT w analizowanych grupach krajów<sup>45</sup> były większe (z wyjątkiem krajów rozwiniętych) niż udział ICT w wynagrodzeniu kapitału jako czynnika produkcji [Niebel, 2014], co wskazuje na występowanie efektów *spillover* i inwestycji komplementarnych w stosunku do ICT.

Specyficznym czynnikiem komplementarnym, warunkującym produktywne wdrożenie technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych, jest zapewnienie odpowiedniego otoczenia instytucjonalnego w gospodarce. Wśród kluczowych elementów infrastruktury instytucjonalnej, z punktu widzenia wpływu ICT na produktywność, wymienia się między innymi: jakość regulacji i egzekwowania umów, otwartość na wymianę handlową, stopień rozwoju rynków finansowych, elastyczność rynku dóbr i rynku pracy, przedsiębiorczość [Piątkowski, 2002]. Na szczególną uwagę zasługuje kwestia otwartości gospodarki, która ma istotne znaczenie dla wystąpienia i wzmocnienia efektów rozlewania się. Większa otwartość gospodarki oddziałuje pozytywnie na napływ dóbr kapitałowych [Yanikkaya, 2003; Barro, Sala-i-Martin, 2004], a w rezultacie ułatwia dyfuzję wiedzy, transfer technologii, a także jej wdrożenie, dzięki wykorzystaniu know-how krajów będących na wyższym poziomie rozwoju ekonomicznego.

Na podstawie przytoczonych wyników badań, prowadzonych na poziomie mikro i makroekonomicznym, można sformułować model opisujący interakcję między technologiami informacyjnymi i telekomunikacyjnymi a czynnikami komplementarnymi warunkującymi produktywne wdrożenie tych technologii (schemat 1). Warunkiem koniecznym wdrożenia jakiegokolwiek technologii jest jej dostępność, którą determinują różne czynniki. Z jednej strony są to czynniki<sup>46</sup>, które warunkują transfer wiedzy, innowacji i technologii z krajów wysoko rozwiniętych – otwartość gospodarki na wymianę handlową i transfer know-how, regulacje dotyczące praw własności intelektualnej, bariery

<sup>43</sup> Z prowadzonych badań wynika, że skuteczność wdrażania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych jest uzależniona od dostępności kapitału ludzkiego [Caselli, Coleman, 2001] – produktywne wykorzystanie ICT wymaga coraz bardziej zaawansowanych kompetencji pracowników (por m.in. Acemoglu [2002], Autor i inni [2003]).

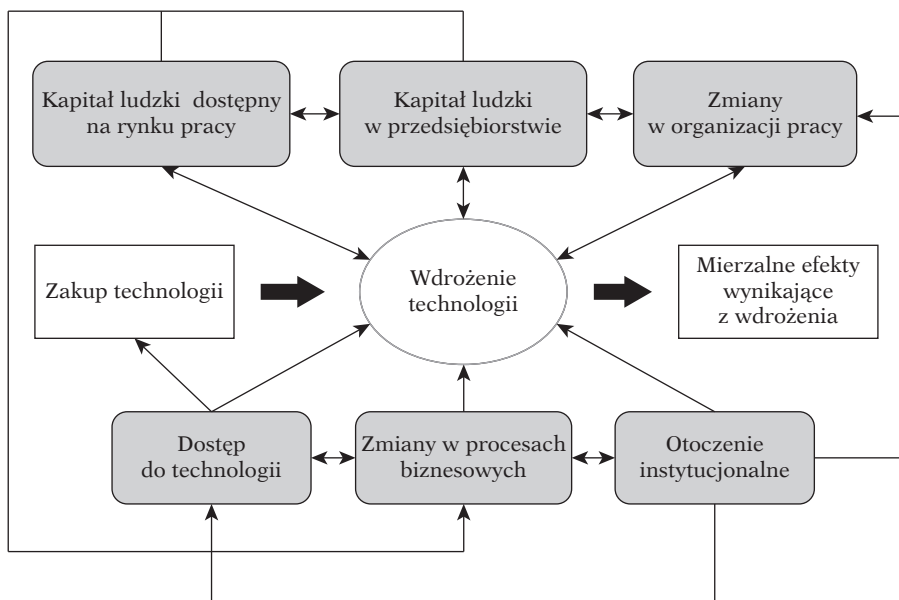
<sup>44</sup> To zróżnicowanie czynników między krajami wysoko rozwiniętymi a rozwijającymi się można przypisać różnym stadiom dojrzałości procesu wdrażania ICT w tych gospodarkach.

<sup>45</sup> Niebel korzystając z danych dostępnych w Conference Board Total Economy Database przeprowadził analizę (estymując funkcję produkcji Cobba-Douglasa) wpływu ICT na wzrost gospodarczy dla 59 gospodarek, w podziale na kraje rozwijające się, wschodzące i rozwinięte, w latach 1995–2010.

<sup>46</sup> Opis zależności i procesów w ramach tego modelu heurystycznego pomija kwestie związane z finansowaniem wdrożenia technologii i komplementarnych zmian warunkujących wzrost wydajności pracy.

taryfowe i pozataryfowe (wiele z nich zalicza się do otoczenia instytucjonalnego – por. schemat 1).

Schemat 1. Ścieżka produktywnego wdrożenia technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych



Źródło: opracowanie własne.

Z drugiej strony, dostępność technologii zależy od jakości kapitału ludzkiego w danej gospodarce – wyższy potencjał zasobów ludzkich oznacza bowiem wyższy poziom zaawansowania technologicznego i możliwości opracowania nowych technologii w ramach krajowych programów badawczo-rozwojowych. Ogólny zasób kapitału ludzkiego na rynku pracy warunkowany jest też jakością kapitału ludzkiego w przedsiębiorstwach. W rezultacie, czym większe są inwestycje w kapitał ludzki w ramach systemu edukacji (główną rolę odgrywa tu sektor publiczny) i systemu kształcenia ustawicznego (wiodąca rola sektora prywatnego)<sup>47</sup>, tym lepszą dostępnością technologii powinna charakteryzować się dana gospodarka.

Dopiero kiedy technologia jest dostępna, podmioty gospodarcze mogą ją zakupić i wdrożyć. Produktywne wdrożenie technologii wymaga współistnienia czynników komplementarnych – wszystkie te czynniki, które zostały scharakteryzowane w artykule i wyodrębnione w omawianym modelu heurystycznym, można uznać za (nawiązując do języka matematyki) warunek dostateczny tego procesu. Nowa technologia (w tym ICT) wymaga zazwyczaj

<sup>47</sup> W tym przypadku mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym między jakością kapitału ludzkiego w skali mikro i makro.

nowych umiejętności – w związku z tym to, czy przedsiębiorstwo będzie w stanie wdrożyć daną technologię zależne jest od tego, czy dysponuje odpowiednio wykształconymi pracownikami, bądź jest w stanie pozyskać ich z rynku. Wdrożenie technologii powiązane jest ze zmianą organizacyjną, która występuje w opisywanym modelu w dwóch płaszczyznach: zmiany organizacji pracy i procesów biznesowych. Pierwsza płaszczyzna odnosi się do zmian, jakie zachodzą w treści i sposobie wykonywania pracy – począwszy od zmiany zakresu zadań i odpowiedzialności przypisanych poszczególnym stanowiskom pracy, przez wprowadzenie nowych procedur postępowania, kończąc na zmianach w strukturze funkcjonalnej podmiotów gospodarczych (przejawiających się zazwyczaj spłaszczeniem struktury zarządczej i delegowaniem kompetencji decyzyjnych na niższe poziomy zarządzania). Druga płaszczyzna, silnie powiązana z pierwszą, oznacza potrzebę przededefiniowania bądź implementacji nowych procesów biznesowych. Z jednej strony nowa technologia może wymuszać zmiany w procesach biznesowych (np. wdrożenie systemu ERP<sup>48</sup> wymaga zmiany podejścia do zarządzania relacjami z dostawcami i klientami), a z drugiej strony, może kreować warunki dla takich zmian (np. bez wprowadzenia systemu elektronicznego obiegu dokumentów sens wdrażania systemu elektronicznego fakturowania jest wątpliwy). Ponieważ osoby dysponujące wysokimi kwalifikacjami cechuje większa otwartość na zmiany, ponownie okazuje się, iż produktywne wdrożenie technologii powiązane ze zmianą organizacyjną, warunkowane jest potencjałem kapitału ludzkiego. Poza kapitałem ludzkim (na poziomie mikro i makro) zmiany organizacyjne (a w rezultacie efektywność wdrożenia technologii) warunkowane są również czynnikami o charakterze instytucjonalnym, które będą wspierały bądź utrudniały implementację tego kompleksowego procesu zmian w organizacji. Na przykład bardziej restrykcyjne rozwiązania w kodeksie pracy mogą utrudniać wprowadzenie zmian w organizacji stanowiska pracy, a większa elastyczność rynku pracy powinna sprzyjać większej otwartości pracowników na zmiany. Natomiast uregulowanie w przepisach prawa kwestii związanych z możliwością wystawiania faktur w wersji elektronicznej wspiera rozwój handlu elektronicznego.

W rezultacie, w opisywanym modelu mamy do czynienia z występowaniem sprzężeń zwrotnych między ICT, czynnikami komplementarnym i w obrębie samych czynników komplementarnych. Właśnie te sprzężenia zwrotne i wielowymiarowość problematyki sprawiają, że analiza empiryczna (przy wykorzystaniu narzędzi statystycznych i ekonometrycznych) wpływu ICT na produktywność nie jest prostym zadaniem.

---

<sup>48</sup> ERP (*Enterprise Resource Planning*) to klasa kompleksowych systemów informatycznych, które wspomagają zarządzanie przedsiębiorstwem w różnych obszarach biznesowych.

## Podsumowanie

Sformułowany w 1987 roku przez Solowa paradoks produktywności przyczynił się do dynamicznego rozwoju badań nad wpływem technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych na wzrost gospodarczy i produktywność (TFP i wydajność pracy). Kolejne lata przyniosły potwierdzenie pozytywnej, a w niektórych krajach wręcz kluczowej roli ICT dla wydajności pracy i TFP. Obecnie niemal wszyscy ekonomiści<sup>49</sup> są zgodni co do tego, że technologie informacyjne i telekomunikacyjne wspierają wzrost produktywności, a różnice w skali wpływu ICT na gospodarkę w poszczególnych krajach, czy grupach krajów, tłumaczone są różnicami w uwarunkowaniach instytucjonalnych oraz w zakresie inwestycji komplementarnych w stosunku do ICT.

Istotną i prawdopodobnie niezamierzoną konsekwencją paradoksu Solowa było podjęcie szczegółowych analiz, które miałyby wytłumaczyć ten paradoks (choć, jak już zostało zasygnalizowane w treści artykułu, brak mierzalnych korzyści wynikających z wdrażania ICT w postaci wzrostu produktywności można także interpretować jako wynik procesu dostosowań, który zawsze ma miejsce w przypadku nowej generacji technologii). W rezultacie ekonomia (zarówno w nurcie teoretycznym, jak i empirycznym) zyskała nową bazę wiedzy na temat mechanizmów i zależności związanych z procesami implementacji ICT na poziomie mikro i makroekonomicznym. I chociaż zagadnienie właściwego pomiaru nakładów i korzyści związanych z technologiami informacyjnymi i telekomunikacyjnymi stanowi nadal istotny problem, to niewątpliwym postępem w badaniach przyniosła hipoteza „opóźnień” powiązana z hipotezą czynników komplementarnych, które należy uznać za kluczowe dla wyjaśnienia paradoksu Solowa. Warto również zauważyć, że analizy prowadzone równoległe do badań paradoksu produktywności wykazały, że postęp techniczny powiązany z technologiami informacyjnymi i telekomunikacyjnymi prowadzi do zmian w kompozycji czynników produkcji, oddziałując na wydajność pracy i TFP. Wzrost roli kapitału, w tym kapitału ICT, wynika z tego, że postęp techniczny w ostatnich latach (rewolucji informacyjnej) ma charakter postępu wspomagającego kapitał (*capital augmenting technical progress*). Równocześnie badania zdają się potwierdzać, że kapitał ICT ma charakter substytucyjny wobec pracy niewykwalifikowanej i komplementarny w stosunku do pracy wykwalifikowanej. W rezultacie technologie informacyjne i komunikacyjne nie tylko wspierają wzrost wydajności pracy i TFP, ale również osłabiają tendencję do spadku tempa wzrostu gospodarczego charakterystyczną dla krajów wysoko rozwiniętych<sup>50</sup>.

Skoro paradoks produktywności został „rozwiązany”, a wyniki badań wskazują na zmiany w strukturze czynników wpływających na wzrost gospodarczy,

<sup>49</sup> Sam Robert Solow stwierdził, w obliczu wyników najnowszych analiz dotyczących wpływu ICT na produktywność, iż nie ma już żadnych wątpliwości dotyczących roli ICT dla zwiększania produktywności [Bryljofsson, Saunders, 2010].

<sup>50</sup> Przegląd literatury dotyczącej tej problematyki prezentuje m.in. Wojtyła [2009].



wydajność pracy i TFP powiązane z postępowaniem technicznym i rolą ICT, warto odnieść się do wniosków i argumentów, które mają istotne znaczenie dla krajów, w których digitalizacja gospodarki rozpoczęła się później niż w krajach będących liderami w tym zakresie – chodzi przede wszystkim o wskazanie tych czynników, które są kluczowe, aby ICT skuteczniej oddziaływało na wzrost gospodarczy. Położenie nacisku na te czynniki w ramach polityki ekonomicznej może stworzyć odpowiednie warunki do tzw. żabiego skoku dla krajów, które notują opóźnienia w zakresie wykorzystania ICT (a także w zakresie poziomu rozwoju gospodarczego) w stosunku do krajów wysoko rozwiniętych. I tu dochodzimy do hipotezy czynników komplementarnych.

Powiązanie inwestycji w technologie informacyjne i telekomunikacyjne z wdrożeniem komplementarnych, w stosunku do tych technologii, zmian wydaje się być kluczowym warunkiem dla osiągnięcia mierzalnych korzyści w postaci wzrostu produktywności. Co ważne, uzasadnienie teoretyczne tych zależności można odnaleźć w modelu wzrostu Solowa, który był podstawą przy formułowaniu hipotezy o paradoksie produktywności – wynika ono z równania reszt Solowa (służącego pomiarowi TFP) oraz równania opisującego przeciętną wydajność pracy. Wśród czynników komplementarnych wymienia się zazwyczaj zmiany w organizacji pracy i procesach biznesowych (związane ze zmianą paradygmatu pracy z industrialnego na postindustrialny), inwestycje w kapitał ludzki, bezpośrednie inwestycje zagraniczne, które wspierają proces dyfuzji nowoczesnych technologii i innowacyjność gospodarki (poprzez efekty *spillover*), a także budowanie przyjaznego otoczenia instytucjonalnego dla przedsiębiorczości.

Wydaje się, że w tym katalogu czynników komplementarnych ważną rolę odgrywa problematyka kapitału ludzkiego. Z jednej strony badania wskazują, że istotne jest podejmowanie przez przedsiębiorstwa działań mających na celu podnoszenie kwalifikacji zatrudnionego personelu – np. poprzez szkolenia organizowane przez te przedsiębiorstwa (co wpisuje się w ideę *lifelong learning* promowaną w Unii Europejskiej). Z drugiej strony, nie mniej ważne jest zapewnienie odpowiednich kwalifikacji dla osób wchodzących na rynek pracy – tu z kolei kluczową rolę do odegrania ma polityka edukacyjna. Ponadto, odnosząc się do literatury analizującej problematykę zmiany technologicznej faworyzującej wysokie kwalifikacje w nurcie modeli endogenicznych, należy podkreślić, że to właśnie dostępność wysokiej jakości zasobów pracy warunkuje przemiany technologiczne i efektywne wdrożenie nowych technologii (w tym ICT).

Kluczowym wnioskiem z analiz dotyczących paradoksu Solowa, w kontekście możliwości czerpania przez Polskę większych korzyści z tzw. gospodarki cyfrowej i wykorzystania potencjału technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych do oddziaływania na wzrost produktywności i wspierania procesów konwergencji, jest to, że nie wystarczy proste powiększanie zasobu kapitału ICT (za pomocą inwestycji w sprzęt i oprogramowanie). Niezbędne jest skupienie się na czynnikach komplementarnych wobec ICT – przede wszystkim

na inwestycjach w kapitał ludzki, wdrażaniu zmian w organizacji pracy na poziomie przedsiębiorstw, czy inwestowaniu w wartości niematerialne, które, jak wskazują doświadczenia krajów wysoko rozwiniętych, stanowią istotny element warunkujący efektywność wdrażania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych.

### Bibliografia

- Acemoglu D. [2002], *Technical Change, Inequality, and the Labor Market*, "Journal of Economic Literature", vol. XL, s. 7–72.
- Adamczyk P. [2008], *Produktywność czynników wytwórczych w przemyśle spożywczym w Polsce*, „Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie, Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej”, nr 71, s. 95–106.
- Ark van B., Inklaar R., McGuckin R.H. [2003], *ICT and Productivity in Europe and the United States. Where do the Differences Come From?*, "CESifo Economic Studies", vol. 49, no. 3, s. 295–318.
- Ark van B., O'Mahony M., Timmer M.P. [2008], *The Productivity Gap between Europe and the United States: Trends and Causes*, "The Journal of Economic Perspectives", vol. 22, no. 1, s. 25–44.
- Autor D.H., Levy F., Murnane R.J. [2003], *The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration*, "The Quarterly Journal of Economics", November, s. 1279–1333.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X. [2004], *Economic Growth*, MIT Press, Cambridge.
- Brynjolfsson E. [1993], *The Productivity Paradox of Information Technology*, "Communications of the ACM", vol. 36, no. 12, s. 67–77.
- Brynjolfsson E. [2005], *Seven Pillars of Productivity*, "Optimize", May 2005.
- Brynjolfsson E., Hitt L.M. [2003], *Computing Productivity: Firm-Level Evidence*, "The Review of Economics and Statistics", vol. 85, no. 4, s. 793–808.
- Brynjolfsson E., Saunders A. [2010], *Wired for Innovation. How Technology is Reshaping the Economy*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London.
- Brynjolfsson E., Yang S. [1996], *Information Technology and Productivity: A Review of Literature*, "Advances in Computers", no. 43, s. 179–214.
- Cardona M., Kretschmer T., Strobel T. [2013], *ICT and Productivity: Conclusions from the Empirical Literature*, "Information Economics and Policy", vol. 25, no. 3, s. 109–125.
- Caselli F., Coleman W.J. [2001], *Cross-Country Technology Diffusion: The Case of Computers*, "American Economic Review", vol. 91, no. 2, s. 328–335.
- Colecchia A., Schreyer P. [2002], *ICT Investment and Economic Growth in the 1990s: Is the United States a Unique Case?: A Comparative Study of Nine OECD Countries*, "Review of Economic Dynamics", vol. 5, no. 2, s. 408–442.
- Dahl C., Kongsted H., Sørensen A. [2011], *ICT and Productivity Growth in the 1990s: Panel Data Evidence on Europe*, "Empirical Economics", vol. 40, no. 1, s. 141–164.
- Dańska-Borsiak B. [2011], *Zróżnicowanie łącznej produktywności czynników produkcji według województw*, „Wiadomości Statystyczne”, nr 12, s. 13–27.
- David P. [1990], *The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox*, "American Economic Review", vol. 80, no. 2, s. 355–361.

- David P. [2002], *Understanding Digital Technology's Evolution and the Path of Measured Productivity Growth: Present and Future in the Mirror of the Past*, w: *Understanding the Digital Economy. Data, Tools, and Research*, red. E. Brynjolfsson, B. Kahin, MIT Press, Cambridge, Massachusetts–London, s. 49–95.
- Dedrick J., Kraemer K.L., Shih E. [2013], *Information Technology and Productivity in Developed and Developing Countries*, "Journal of Management Information Systems", vol. 30, no. 1, s. 97–122.
- Dos Santos B.L., Peffers K., Mauer D.C. [1993], *The Impact of Information Technology Investment Announcements on the Market Value of the Firm*, "Information System Research", vol. 4, no. 1, s. 1–23.
- Draca M., Sadun R., van Reenen J. (2007), *Productivity and ICT: A Review of the Evidence*, w: *The Oxford Handbook of Information and Communication Technologies*, red. R. Mansell, Oxford University Press, s. 100–147.
- Haltiwanger J., Jarmin R.S. [2002], *Measuring the Digital Economy*, w: *Understanding the Digital Economy. Data, Tools, and Research*, red. E. Brynjolfsson, B. Kahin, MIT Press, Cambridge, Massachusetts–London, s. 13–33.
- Hitt L., Brynjolfsson E. [1996], *Productivity, Business Profitability, and Consumer Surplus: Three Different Measures of Information Technology Value*, "MIS Quarterly", vol. 20, no. 2, s. 121–142.
- Hulten C.R. [2001], *Total Factor Productivity. A Short Biography*, w: *The New Developments in Productivity Analysis*, red. C.R. Hulten, E.R. Dean, M.J. Harper, University of Chicago Press, Chicago, s. 1–54.
- Jarmołowicz W., Knapieńska M. [2011], *Współczesne teorie rynku pracy a mobilność i przepływy pracowników w dobie globalizacji*, „Zeszyty Naukowe Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego w Krakowie”, nr 9, s. 123–144.
- Jorgenson D.W. [2001], *Information Technology and the U.S. Economy*, "American Economic Review", vol. 91, no. 1, s. 1–32.
- Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K.J. [2008], *A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence*, "Journal of Economic Perspectives", vol. 22, no. 1, s. 3–24.
- Jorgenson D.W., Stiroh K.J. [1999], *Information Technology and Growth*, "American Economic Review", vol. 89, no. 2, s. 109–115.
- Jorgenson D.W., Stiroh K.J. [2000], *Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age*, "Brookings Papers on Economic Activity", vol. 31, no. 1, s. 125–236.
- Jorgenson D.W., Vu K. [2005], *Information Technology and the World Economy*, "Scandinavian Journal of Economics", vol. 107, no. 4, s. 631–650.
- Jorgenson D.W., Vu K. [2010], *Potential Growth of the World Economy*, "Journal of Policy Modeling", vol. 32, s. 615–631.
- Marszałek P. [2006], *Trudności koordynacji polityki pieniężnej i polityki fiskalnej we współczesnej gospodarce*, „Gospodarka Narodowa”, nr 9, s. 57–75.
- Measuring Productivity. Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth. OECD Manual* [2001], OECD, Paris.
- Milgrom P., Qian Y., Roberts J. [1991], *Complementarities, Momentum, and the Evolution of Modern Manufacturing*, "American Economic Review", vol. 81, no. 2, s. 84–88.

- Milgrom P., Roberts J. [1990], *The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy and Organization*, "American Economic Review", vol. 80, no. 3, s. 511–528.
- Milgrom P., Roberts J. [1995], *Complementarities and fit Strategy, Structure, and Organizational Change in Manufacturing*, "Journal of Accounting and Economics", vol. 19, no. 2–3, s. 179–208.
- Moulton B.R. [2002], *GDP and the Digital Economy: Keeping up with the Changes*, w: *Understanding the Digital Economy. Data, Tools, and Research*, red. E. Brynjolfsson, B. Kahin, MIT Press, Cambridge, Massachusetts–London, s. 34–48.
- Niebel T. [2014], *ICT and Economic Growth – Comparing Developing, Emerging and Developed Countries*, referat przedstawiony na IARIW 33<sup>rd</sup> General Conference, Rotterdam, Holandia, 24–30 sierpnia.
- Oliner S.D., Sichel D.E. [2000], *The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?*, "Journal of Economic Perspectives", vol. 14, no. 4, s. 3–22.
- Piątkowski M. [2002], *The New Economy and Economic Growth in Transition Economies: The Relevance of Institutional Infrastructure*, "WIDER Discussion Papers", no. 62.
- Reenen van J., Bloom N., Draca M., Kretschmer T., Sadun R. [2010], *The Economic Impact of ICT*, Centre for Economic Performance, London School of Economics.
- Solow R. [1957], *Technical Change and the Aggregate Production Function*, "The Review of Economics and Statistics", vol. 39, no. 3, s. 312–320.
- Solow R. [1987], *We'd Better Watch Out*, "New York Times Book Review", July 12.
- Steinmueller W.E. [2001], *ICTs and the Possibilities for Leapfrogging by Developing Countries*, "International Labour Review", vol. 140, no. 22, s. 193–210.
- Swan T.W. [1956], *Economic Growth and Capital Accumulation*, "Economic Record", vol. 32, no. 2, s. 334–361.
- Tokarski T. [2009], *Matematyczne modele wzrostu gospodarczego. Ujęcie neoklasyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Wojtyna A. [2009], *Przyczyny i implikacje zmian w udziale zysków i płac w PKB*, „Gospodarka Narodowa”, nr 9, s. 49–66.
- Yang S., Brynjolfsson E. [2001], *Intangible Assets and Growth Accounting: Evidence from Computer Investments*, MIT Center for Digital Business, paper 136.
- Yanikkaya H. [2003], *Trade Openness and Economic Growth: A Cross-country Empirical Investigation*, "Journal of Development Economics", vol. 72, no. 1, s. 57–89.
- Żelazny R. [2003], *Nowa gospodarka: mity i rzeczywistość. Od fascynacji do naukowego poznania*, w: *Problemy globalizacji gospodarki*, red. T. Bernat, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Szczecin, s. 87–104.

---

## THE SOLOW PARADOX AND THE PRODUCTIVE USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

### Abstract

The paper presents the main arguments that explain the causes for a productivity paradox formulated by American economist Robert M. Solow in 1987 in connection with the rapid development of information and communication technology. The paper discusses the conditions that need to be met to support the growth of productivity related to the use of ICT, particularly in developing countries.

The analysis is based on a literature review focusing on the Solow paradox. It argues that there are two prerequisites to “see” a positive impact of ICT on productivity statistics: the time necessary for the completion of learning-by-doing processes, and the existence of ICT complementarities. ICT complementarities usually include changes in workplace organization and business processes, coupled with investment in human capital, foreign direct investment and the creation of an entrepreneurship-friendly institutional environment.

The main conclusion from the analysis – in the context of how developing countries take advantage of ICT investment to accelerate the convergence process – is that special attention should be paid to ICT complementarities. They are a key determinant of a productive use of ICT. Research studies reviewed in the article show that it is not enough to simply invest in ICT capital stock (through investment in hardware and software) in order to materialize the benefits of ICT. Complementary investments are also necessary, mainly in human capital, changes in workplace organization at the enterprise level, and investment in intangible assets.

**Keywords:** productivity, information and communication technology, ICT complementarities, Solow paradox

**JEL classification codes:** D24, E24, O33, O47

---