

MARIUSZ SZYNKIEWICZ



TRUDNE PYTANIE O TOŻSAMOŚĆ INFORMATYKI. O PODSTAWOWYCH SPOSOBACH ROZUMIENIA TERMINU *INFORMATYKA*

ABSTRACT. Mariusz Szynkiewicz, *Trudne pytanie o tożsamość informatyki. O podstawowych sposobach rozumienia terminu informatyka* [A difficult question about the identity of computer science. On the fundamental ways of understanding the term *computer science*] edited by Sławomir Leciejewski, „Człowiek i Społeczeństwo” vol. LVIII: *Społeczny wymiar rewolucji informatycznej* [The social dimension of the information technology revolution], Poznań 2024, pp. 35–54, Adam Mickiewicz University. ISSN 0239-3271, <https://doi.org/10.14746/cis.2024.58.3>.

The text is methodological in nature and raises definitional issues related to the development of the concept of computer science. Based on studies in the history of computing, computer science, philosophy of technology and science methodology. The author analyzes the basic ways of understanding term computer sciences. The article indicates three definitional (scope) approaches that dominate scientific considerations. The author also indicates the main methodological problems related to the functioning of the concept of computer science in contemporary science and technology and possible ways to solve this issues.

Keywords: definition, computer science, computer, science, technology

Mariusz Szynkiewicz, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Filozoficzny, ul. Szamarzewskiego 89AB, 60-568 Poznań, e-mail: mariusz.szynkiewicz@amu.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0001-8595-840X>.

Wprowadzenie

Największy wpływ na charakter i kierunek rozwoju współczesnej kultury naukowej miały rewolucje, jakie dokonały się w dwóch podstawowych obszarach przyrodznawstwa: fizyce teoretycznej oraz naukach biologicznych.

Narodziny i ewolucja głównych paradygmatów dwudziestowiecznej fizyki teoretycznej – mechaniki kwantowej i teorii względności – w znaczącym stopniu wpłynęły na sposób pojmowania otaczającej nas rzeczywistości. Równie istotne filozoficznie okazały się osiągnięcia nauk biologicznych. Ogromną rolę przypisać należy także technicznym i praktycznym konsekwencjom rozwoju dyscyplin podstawowych.

Analizy filozoficznego wymiaru współczesnego przyrodoznawstwa stały się jednym z istotnych obszarów badawczych humanistyki. Jest to szczególnie widoczne w pracach epistemologów, ontologów, filozofów nauki i metodologów. Twórcy dominujących narracji metodologicznych ubiegłego stulecia za główny przedmiot badań obrali problemy związane z obiema wymienionymi wyżej dziedzinami nauk podstawowych. Większość spośród tych prądów (m.in. neopozytywizm i hipotetyzm) koncentrowała się na analizie wytworów nauki. Inne, jak nowy eksperymentalizm, większą wagę przywiązywały do praktyki badawczej. Możemy więc powiedzieć, że centralne paradygmaty metodologiczne naszych czasów zbudowane zostały na *obraz i podobieństwo* nauk podstawowych.

Obserwując charakter i kształt współczesnej nauki oraz analizując jej rolę w rozwoju nowoczesnych społeczeństw, dostrzegamy niewystarczalność formułowanych dotychczas kryteriów metodologicznych. Narodziny nowych dyscyplin szczegółowych, wzrost społecznego znaczenia i samoświadomości metodologicznej nauk technicznych oraz fenomen dyscyplin nieklasycznych (np. nauk stykowych i kompleksowych¹) wpłynęły na zmianę pojmowania filozoficznego kontekstu nauki. Dziedziną, której rozwój generował i generuje wiele interesujących problemów filozoficznych, jest bez wątpienia informatyka. Obszar ten od kilku dekad stanowi przedmiot żywego zainteresowania nauk społecznych i humanistycznych². W prezentowanej tu pracy skupiłem się na konkretnym problemie metodologicznym, którego osią jest spór o znaczenie pojęcia *informatyka*. W swoich rozważaniach koncentrowałem się przede wszystkim na analizie debaty prowadzonej przez

¹ Nauki stykowe lub graniczne (*borderline sciences*) to nauki funkcjonujące na styku dwóch lub więcej pokrewnych dyscyplin klasycznych (np. fizykochemia, biofizyka). Nauki kompleksowe (*integrating sciences*) poszukują powiązań między odległymi obszarami wiedzy naukowej, np. integrując dyscypliny z obszarów nauk formalnych, technicznych, biologicznych i społecznych. Są to m.in.: cybernetyka, kognitywistyka, teoria informacji (szerzej: Such, 2004: 63–64).

² Szerzej: Castells, 2007, 2008; Barak, 2008; Floridi, 1999; Goban-Klas, 1999; Heim, 1994; Kocikowski, Gómiak-Kocikowska i Bynum, 2001.

samych informatyków, z uwzględnieniem historycznej dyskusji toczącej się od lat 60. XX wieku w polskiej przestrzeni naukowej.

Omawiane zagadnienie wydaje się niezwykle istotne dla środowiska informatyków, czego dobitnym dowodem jest fakt, iż w dyskusje nad znaczeniem terminu informatyka zaangażowali się najwybitniejsi przedstawiciele tej dziedziny wiedzy, tacy jak Frederic P. Brooks Jr., Peter Denning, Amnon H. Eden, David Harel, Juris Hartmanis, Donald E. Knuth, Peter Naur, Allen Newell, Stuart S. Shapiro, Herbert A. Simon, Herbert Lin³, a w naszym kraju m.in.: Marian Adamski, Romuald W. Marczyński, Maciej Sysło, Ryszard Tadeusiewicz i Władysław Turski.

Pojęcie informatyki

Definiowanie terminów funkcjonujących w językach naturalnych pomaga unikać niejasności dotyczących ich rozumienia i funkcjonowania w przestrzeni komunikacyjnej. Znaczenie definicji i precyzyjnego dookreślenia przedmiotowej terminologii zwiększa się wraz ze wzrostem stopnia dojrzałości danej dziedziny (Marciszewski, 2002: 1). Rozważania dotyczące filozoficznego wymiaru współczesnej informatyki warto więc rozpocząć od zabiegów terminologicznych i definicyjnych. W rozwoju nauk informatycznych na pierwszy plan przebijają się dwa kluczowe dla nich pojęcia:

- informatyka – rozumiana jako określona dziedzina wiedzy naukowo-technicznej;
- komputer – rozumiany jako techniczny i materialny komponent informatyki⁴.

³ Niezwykle przydatne zestawienie klasycznych prac poświęconych definicjom informatyki znajdziemy w przygotowanej przez prof. R. Murawskiego antologii tekstów z zakresu filozofii informatyki. Szerzej: Murawski, 2014.

⁴ Komputer, jako określony typ artefaktu technicznego, jest opisywany w kategoriach urządzenia programowalnego, służącego do wykonywania obliczeń, przechowywania i przetwarzania danych na podstawie zakodowanych instrukcji oraz zarządzania wybranymi klasami procesów informacyjnych. Komputery mają zdolność przyjmowania, przetwarzania i operowania danymi oraz generowania informacji na wyjściu. Są urządzeniami o wysokim poziomie uniwersalności (Stacewicz, 2010), plastycznymi logicznie, co oznacza, że mogą wykonywać każdą czynność dającą się scharakteryzować w kategoriach wejścia, wyjścia i operacji logicznych łączących te elementy (zob. Bynum, 2001: 30–31). Tradycyjnie były one definiowane jako urządzenia elektroniczne, jednak obecnie, m.in. w kontekście *natural computing*, zakres ten został znacznie rozszerzony, wykraczając poza domenę klasycznej elektroniki. *Natural computing* odnosi się do stosowania technik obliczeniowych oraz

W niniejszym tekście skoncentruję się na pierwszym w wymienionych pojęć.

Źródła poświęcone problematyce informatycznej obfitują w definicje określające rozmaite pojęcia funkcjonujące w obrębie tej dziedziny, natomiast w filozofii nauki i metodologii nauk tematyka związana z naukami komputerowymi reprezentowana jest raczej skromnie⁵. Niestety, nawet wśród samych specjalistów branży komputerowej brakuje pełnej zgody co do tego, jak należy rozumieć pojęcie *informatyka*. Wielu spośród nich (m.in. Marian Adamski, Edsger W. Dijkstra, David Harel, Herbert A. Simon, Jan Węglarz) wskazywało na potrzebę opracowania klarownej definicji, a przynajmniej dookreślenia sensu interesującego nas terminu. Sprecyzowanie jego znaczenia i odróżnienie obszaru informatyki od innych pokrewnych jej dyscyplin jest istotne także ze względów praktycznych, na przykład w kontekście planowania systemów kształceniowych (Van Roy i Haridi, 2004).

W 1968 roku w Zakopanem odbyło się sympozjum pod hasłem *Naukowe problemy maszyn matematycznych*. Wśród prelegentów znalazł się jeden z pionierów polskich nauk komputerowych prof. Romuald Marczyński. W swoim referacie stwierdził:

[...] uświadomienie sobie istnienia odrębnej nauki obejmującej maszyny matematyczne, maszynową technikę obliczeniową i przetwarzanie informacji, określenie jej obszaru i powiązań z innymi naukami, a także potrzeba krótkiej i jasnej nazwy – jest dzisiaj w Polsce nakazem społecznym. Wydaje mi się, że najodpowiedniejszą nazwą dla tej dziedziny w języku polskim jest INFORMATYKA. (Marczyński, 1969: 2)

Wtedy to do polskiego słownika naukowego trafił po raz pierwszy termin *informatyka*. Marczyński zwrócił uwagę na potrzebę sformułowania definicji określającej dziedzinę wiedzy, która, choć obecna już była w naszym kraju od kilkunastu lat, nadal nie miała swojej nazwy i uprawiana była jako subdyscyplina matematyki, elektroniki lub automatyki. Co ciekawe, w jednym z późniejszych wywiadów Marczyński uznawał owo *leksykonograficzne dokonanie* za jeden z ważniejszych aspektów swoich dociekań naukowych. Potrzebę podobnych prac uzasadniał następująco:

konstruowania urządzeń komputerowych opartych na nowych paradygmatach technologicznych, wzorowanych na zjawiskach naturalnych (np. procesach biologicznych lub chemicznych).

⁵ W rodzimej literaturze metodologicznej wskazać możemy niewiele prac poświęconych tej tematyce. Należą do nich m.in.: Giza, 2006; Leciejewski, 2013; Polak, 2016; Bondecka-Krzykowska, 2023; Stacewicz, 2010; 2023.

Nazwa była nam wtedy bardzo potrzebna. Do tej dziedziny przyznawali się matematycy, cybernetycy, elektronicy. Nazwanie dyscypliny naukowej, którą się zajmowaliśmy, umożliwiło nam samookreślenie niezbędne dla prawidłowego rozwoju. (za: Czarkowski, 1989: 3)

Określenie zakresu i znaczenia zaproponowanego terminu okazało się jednak zadaniem bardziej skomplikowanym. Jego rozumienie zmieniało się również wraz z rozwojem samej dziedziny (Denning, 2010: 9). Sam Marczyński wyróżnił trzy obszary badawcze funkcjonujące w obrębie informatyki. Były to:

- 1) struktura informacji i jej przekształcania;
- 2) system przekształcania informacji (sprzęt i programy);
- 3) ogólna metodologia wykorzystania maszyn.

Podział ten odpowiadał na trzy zasadnicze pytania: po pierwsze, *co?* (przedmiot informatyki), po drugie, *na czym?* (kwestia jej aspektu narzędziowego – teoretycznego, zwanego także abstrakcyjnym [programy] oraz materialnego [sprzęt]), po trzecie; *w jaki sposób?* (metodologia funkcjonowania narzędzi komputerowych) (Marczyński, 1969: 4–5).

W języku polskim termin *informatyka* traktowany jest najczęściej jako odpowiednik *computer science* i kojarzony – w szerszym zakresie – ze sferą *computing science*. Termin *computer science* po raz pierwszy został użyty przez George E. Forsytha w roku 1961 na określenie dziedziny zajmującej się teorią programowania, analizą numeryczną, przetwarzaniem danych i projektowaniem systemów komputerowych (Knuth, 1971: 323–324). Obszar *computing science* obejmuje informatykę teoretyczną i inżynierię oprogramowania (podstawowy zakres *computer science*), inżynierię komputerową (*computer engineering* – CE)⁶ oraz inne powiązane z nimi subdyscypliny⁷. Odnosi się ponadto do relacji komputer – użytkownik (*human-computer interactions*). Ważnym jego aspektem jest tak zwane *computational thinking* (CT), rozumiane jako proces rozwiązywania problemów, w którym podstawową rolę odgrywają urządzenia komputerowe.

W większości krajów europejskich upowszechnił się natomiast wspomniany już termin *informatyka*, sformułowany w roku 1957 przez niemieckiego uczonego Karla Steinbucha (1957) i spopularyzowany przez

⁶ Pojęcie to pojawia się już w tekście M. Adamskiego (2002).

⁷ Według jednej z popularnych publikacji pojęcie *computing* zdefiniować można następująco: „The discipline of computing is the systematic study of algorithmic processes that describe and transform information: their theory, analysis, design, efficiency, implementation, and application. The fundamental question underlying all computing is *What can be (efficiently) automated?*” (Denning i in., 1989: 12).

francuskiego pioniera nauk komputerowych Philippe'a Dreyfusa (Gammack i in., 2007). Słowo to powstało z połączenia dwóch innych terminów: *informacja* i *automatyka*. Obok nomenklatury niemieckiej, francuskiej i polskiej spotykamy je między innymi w nazewnictwie hiszpańskim (*informática*) i rosyjskim (*информатика*) (Михайлов, Чёрный и Гиляревский, 1968). Zwyczajowo funkcjonuje ono jako odpowiednik angielskiego *computer science*. W kulturze anglosaskiej samo określenie *informatics* (Mezick i Koenig, 2008) stosowane jest (najczęściej) do ogólniejszego obszaru badań nad informacją (tzw. *information science*, *information studies* [IS])⁸. Niektórzy autorzy skłonni są jednak nadawać mu znaczenie zbliżone do tego, które przypisujemy terminowi *informatyka*. Niekiedy IS definiowane jest także jako kombinacja *computer science* i nauk o informacji (Gammack i in., 2007). W krajach skandynawskich pewną popularność uzyskał z kolei termin *datology* (org. *datologi*). Jego autorem był duński astronom i informatyk Peter Naur (1968). Według niego *datologia* jest nauką, której centralny przedmiot stanowią dane oraz przeprowadzane na nich operacje.

Wielu specjalistów uznaje funkcjonujące obecnie terminy i definicje za niejednoznaczne i nieprecyzyjne. Z powodów, o których będę wspominać w dalszej części tekstu, krytykowany jest między innymi spopularyzowany w tradycji amerykańskiej termin *computer science*. Problem z określeniem znaczenia pojęcia *informatyka* – w jego wymiarach ontologicznym, metodologicznym i aplikacyjnym – wynika przede wszystkim z ogromnej złożoności oraz różnorodności zjawisk i procesów, jakie wiążą się z tą dziedziną. Świadomość opisywanych trudności staje się przyczynkiem do dyskusji oraz sporów definicyjnych toczonych także w środowisku informatyków. Specjaliści podkreślają ponadto, że znaczenie omawianego terminu uległo na przestrzeni lat pewnemu rozmyciu. Informatyka była na swój sposób zawłaszczana przez inne dziedziny nauki, techniki i życia społecznego. Władysław Turski ujmuje tę kwestię następująco: „[...] ekstensja «informatyki» ewoluowała odwrotnie proporcjonalnie do jej esencji [...] im więcej «informatyki» było dookoła, tym mniej ten termin znaczył [...]” (Turski, 2010: 16). Polski uczyony określa opisywaną tendencję mianem mody na tworzenie *informatyk* z *przymiotnikiem* (np. informatyki medycznej, wojskowej, gospodarczej). Prowadzi to do nieuzasadnionego wniosku, że istnieją różne

⁸ Obok takich pojęć jak CS, CE, IS czy informatyka stosowana wyróżniamy wiele innych subdyscyplin nauk komputerowych oraz dziedzin pokrewnych (m.in. *information and communication technology* – ICT, *information technology* [IT], *information systems* [IS], *software engineering* [SE]).

typy informatyki, i że jako dyscyplina jest ona jedynie „sumą rozłącznych dziedzin, coraz bardziej rozmyta, coraz mniej konkretna” (Turski, 2010: 16). Podobny pogląd prezentuje Ryszard Tadeusiewicz, który na pytanie: *czym jest informatyka?* w żartobliwym tonie odpowiada: „w przekonaniu adwersarzy prawdziwą informatyką jest głównie to, czym oni sami się aktualnie zajmują” (Adamski, 2002: IV). Przywołana „definicja operacyjna” zgodnie z zamysłem autora podkreśla brak klarowności w rozumieniu rzeczywistego charakteru tej złożonej i dynamicznie rozwijającej się dziedziny wiedzy. Uczeni i praktycy pytają między innymi o to, jak należy rozumieć samo pojęcie *informatyka*, jaki jest jego realny zakres i przedmiot oraz czy informatyka może być postrzegana jako dyscyplina naukowa, czy też raczej powinniśmy ją uznawać za dział techniki. Nie są to, jak się okazuje, problemy nowe. Już jeden z pionierów informatyki kwantowej – Richard Feynman – wskazywał na niejasności, które pojawiają się wokół tego pojęcia. W prezentowanej argumentacji informatyka była *nauką o maszynach liczących*, Feynman nie potrafił jednak określić jej metodologicznej tożsamości. W opinii amerykańskiego uczonego nie jest ona dyscypliną *stricte* naukową, ponieważ nie bada obiektów stanowiących elementy świata przyrody⁹ i przypomina bardziej dyscyplinę inżynierską. Za nieuzasadnione uznawał również sprowadzanie jej do poziomu nauk formalnych (matematyki). Z drugiej strony, daleki był od postrzegania jej jako dyscypliny technicznej, ponieważ, jak twierdził: „Dotyka ona wielu podstawowych zagadnień” (Feynman, 1996: XIII–XIV).

Stefan Węgrzyn, jeden z nestorów polskich nauk komputerowych, zaproponował definicję, w myśl której informatyka to:

- określona dyscyplina naukowa,
- narzędzie wykorzystywane przez poszczególne dziedziny nauki, techniki i życia codziennego,
- osobny dział techniki,
- gałąź przemysłu zajmującą się wytwarzaniem sprzętu i oprogramowania (Adamski, 2002: I).

W ujęciu metodologicznym propozycja Węgrzyna pozwalała wyróżnić trzy zasadnicze poziomy informatyki:

- teoretyczną (m.in. algorytmika, teoria obliczeń, teoria języków formalnych, semantyka, programowanie),
- techniczną (architektura sprzętu, sterowanie, pamięć, przetwarzanie danych, sieci komputerowe),

⁹ Prezentowany pogląd może się wydawać dyskusyjny, zwłaszcza w kontekście fenomenu *natural computing*.

- stosowaną – praktyczną (systemy informatyczne, inżynieria oprogramowania, szeroko pojmowany poziom aplikacyjny).

Informatyka traktowana jest obecnie jako dyscyplina w znacznym stopniu autonomiczna. W tym sensie uzyskała niezależność, o której wspominał w swoim wystąpieniu Marczyński. Posługuje się własnymi metodami, językiem (terminologią) oraz specyficznymi kryteriami ocen¹⁰. Jej istotną cechą jest też bez wątpienia wieloaspektowy i złożony charakter. Historyczny schemat rozwoju informatyki odznacza się swoistą dialektycznością. Z jednej strony obserwujemy w jej obrębie wzrost poziomu specjalizacji, z drugiej zaś staje się ona dziedziną coraz bardziej interdyscyplinarną, korzysta bowiem z dorobku nie tylko takich, tradycyjnie z nią powiązanych, nauk jak matematyka, logika formalna czy nauki inżynierskie, ale także z wyników dyscyplin przyrodniczych (głównie fizyki i chemii). W ostatnich dekadach coraz widoczniejsze stają się związki nauk komputerowych z poszczególnymi działami humanistyki i nauk społecznych (m.in. kognitywistyką, filozofią, socjologią, psychologią).

Rozgraniczenie występujących w informatyce obszarów szczegółowych na dające się precyzyjnie zidentyfikować sfery: teoretyczną, techniczną i aplikacyjną, nie jest jednak zadaniem łatwym. Pociąga to za sobą ważne konsekwencje metodologiczne. Jedną z nich jest fakt, iż nawet w środowisku specjalistów branży komputerowej trudno o powszechnie akceptowane stanowisko, określające, czym jest – lub czym nie jest – współczesna informatyka. Problem ten ilustruje metaforycznie cytowana wyżej wypowiedź Ryszarda Tadeusiewicza.

Jedną z bardziej interesujących metodologicznie dyskusji, jakie toczą się w środowisku informatyków, dotyczy tego, na ile postrzeganie informatyki w kategoriach określonej dziedziny wiedzy musi być związane w sposób fundamentalny z urządzeniami komputerowymi, czy też można rozpatrywać ją niejako w oderwaniu od technicznego (materialnego) fundamentu. Zagadnienie to wiąże się bezpośrednio ze sposobem rozumienia pojęcia *informatyka*. Ta dyskusja ma dodatkowo wymiar filozoficzny. W pierwszym rzędzie koncentruje się na kwestiach ontologicznych, jej kolejny aspekt związany jest zaś z pytaniem o rzeczywistą strukturę i status metodologiczny nauk komputerowych. Podobne rozważania akcentują dodatkowo wagę filozoficznej interpretacji związków teoretycznej wiedzy naukowej

¹⁰ Kryteria te rozpatrywane są w kategoriach praktycznych i wiążą się z takimi cechami *produktów* informatycznych, jak m.in. stabilność, adekwatność, czas wykonania zadania, poziom wykorzystania procesora oraz zasobów pamięci, skuteczność w rozwiązywaniu zadań.

(np. z zakresu matematyki dyskretnej i logiki matematycznej) z techniką rozumianą jako określony element kultury. Zdaniem niektórych badaczy mówienie o informatyce jest możliwe nawet wtedy, gdy nie odnosimy się do jej materialnego zaplecza (poziomu sprzętowego, maszynowego). Stanowisko takie zdaje się akcentować autonomiczność i temporalną pierwotność abstrakcyjnych aspektów dyscypliny. Znajduje swoje odzwierciedlenie w licznych i funkcjonujących obecnie definicjach informatyki.

Informatyka jako nauka o informacji i procesach – poziom abstrakcyjny

Przekonanie o fundamentalnym charakterze abstrakcyjnego wymiaru informatyki pojawia się w jednej z pierwszych definicji tego pojęcia, jaką w latach 60. ubiegłego wieku opracowali członkowie Akademii Francuskiej. Terminem *l'informatique* określili oni naukę, której fundament stanowi pojęcie informacji oraz procesy związane z jej przetwarzaniem. Zbliżone stanowisko prezentuje amerykański uczyony Peter J. Denning. W artykule *Is Computer Science Science?* definiuje informatykę jako „naukę o procesach informacyjnych i ich interakcjach z otoczeniem”. Denning nie deprecjonuje znaczenia samych urządzeń komputerowych, nadaje jednak prymat teoretycznemu wymiarowi informatyki.

W podobny sposób rozumieć możemy propozycję jednego z pionierów tej dziedziny wiedzy, George'a E. Forsythe'a, który określił informatykę jako „sztukę i naukę o reprezentacji i przekształcaniu informacji” (za: Marczyński, 1969: 2). Jej teoretyczny charakter akcentują również Piotr Fulmański i Ścibór Sobieski (Fulmański i Sobieski, 2005). Autorzy przywoływanych charakterystyk identyfikują fundamentalne zaplecze teoretyczne nauk informatycznych z jedną spośród jej najważniejszych i najstarszych subdyscyplin – algorytmiką. Dziedzina ta jest związana bezpośrednio z operującymi na poziomie abstrakcyjnym naukami formalnymi. Nawijając do prezentowanych poglądów, David Harel stawia nawet pytanie, czy tak pojmowana informatyka nie jest sprowadzalna do obszarów matematyki logiki (Harel, 2001).

Jako dziedzinę teoretycznych studiów nad algorytmami, o wiele starszą od samych komputerów, charakteryzuje informatykę Donald E. Knuth. Doceniając znaczenie jej materialnego zaplecza, uznaje jednak poziom abstrakcyjny (algorytmika) za pierwotny, fundamentalny i spajający wszystkie elementy tej dziedziny wiedzy (Knuth, 1974). Prezentowana opinia zbieżna jest z poglądami twórcy terminu *datologia*, Petera Naura (Naur, 1968).

Podobne deklaracje mogą stanowić uzasadnienie dla koncepcji odrywających istotę informatyki od jej zaplecza materialnego (sprzętowego) i traktujących tę dziedzinę przede wszystkim jako naukę zajmującą się problemami formalizacji i algorytmizacji.

Informatyka jako nauka o komputerach – poziom materialny

Utożsamianie informatyki z jej poziomem abstrakcyjnym zaczęto dyskutować w epoce popularyzacji komputerów. Zwolennicy nowego ujęcia starali się definiować omawianą dziedzinę przez pryzmat komponentu materialnego, wskazując na nierozzerwalny związek abstrakcyjnego wymiaru informatyki z poziomem technicznym (sprzętowym). Klasyczny przykład takiego podejścia stanowi sformułowana w 1967 roku charakterystyka Newella, Simona i Perlisa, w której informatyka określana jest jako „ogół zjawisk i procesów związanych z komputerami” (Newell, Perlis i Simon, 1967: 1373–1374). Harmonizuje ona z wprost wyrażanym przez autorów przekonaniem, że może być rozpatrywana także w kategoriach specyficznie pojmowanej nauki empirycznej¹¹.

W lansowanej propozycji staje się informatyka nauką o komputerach oraz ich własnościach i możliwościach. Wspomniana charakterystyka wzbudziła jednak w środowiskach naukowych pewne kontrowersje (Denning i in., 1989). Podobną definicję odnajdujemy w pracy *Computer Science. Reflections on the Field, Reflections from the Field*, której autorzy określają informatykę – w pierwszym rzędzie – jako badania nad komputerami oraz ich możliwościami¹². Takie rozumienie jest charakterystyczne dla społecznego sposobu postrzegania tej dziedziny. Odnajdujemy je również w niektórych popularnych podręcznikach¹³ i opracowaniach encyklopedycznych (Henderson, 2009). Prezentowana wizja opiera się na trzech zasadniczych przesłankach: po pierwsze, w życiu codziennym stykamy się głównie z materialnym

¹¹ Ciekawe spojrzenie na zmianę sposobów rozumienia terminu *informatyka*, także w kontekście nauk empirycznych, znajdziemy w tekście P. Polaka (Polak, 2016).

¹² National Research Council, U.S. Committee on the Fundamentals of Computer Science: Challenges and Opportunities, and U.S. Computer Science and Telecommunications Board National Research Council (2004). *Computer Science: Reflections on the Field, Reflections from the Field*. Washington, D.C.: The National Academies Press. <https://lccn.loc.gov/2004303866> (dostęp: 3.09.2024).

¹³ Autor podręcznika duże znaczenie nadaje algorytmom, własną definicję informatyki konstruuje jednak wokół pojęcia *komputer* (Brookshear, 2003).

poziomem informatyki (urządzeniami komputerowymi) – świadomość charakteru abstrakcyjnej warstwy tej dziedziny jest wśród jej użytkowników dużo mniejsza. Po drugie, zjawisko rewolucji informatycznej jako fenomenu kulturowego wiąże się historycznie z rewolucją komputerową i upowszechnieniem zupełnie nowej klasy maszyn, które belgijski filozof Henri Van Lier zaliczał do osobnej kategorii tak zwanych maszyn dialektycznych¹⁴. Po trzecie, może ona wynikać z dosłownego pojmowania funkcjonującego w tradycji anglosaskiej terminu *computer science*, który, zdaniem Harela, błędnie sugeruje, jakoby informatyka była po prostu nauką o komputerach. Odrzucając podobne interpretacje, autor *Algorytmiki* stwierdza, że nazywanie informatyki „nauką o komputerach” jest równie niefortunne co definiowanie chirurgii jako dziedziny wiedzy o skalpeli. Jego argumentacja nawiązuje do słynnej, przypisywanej Edsgerowi W. Dijkstrze, wypowiedzi, z której wynika, iż informatyka nie jest nauką o komputerach, tak jak astronomia nie jest dziedziną wiedzy o teleskopach¹⁵.

Wyjątkowość informatyki wynika z faktu, że jest ona nierozzerwalnie związana z zapleczem materialnym (sprzętowym). Znajduje to swoje odzwierciedlenie w problemach z klasyfikacją metodologiczną współczesnej informatyki, które wynikają między innymi z wewnętrznej złożoności tej niezwykle rozbudowanej dziedziny oraz faktu fundamentalnego powiązania jej wymiarów teoretycznego i materialnego. Próba pogodzenia obu tendencji w pojmowaniu informatyki może być przywoływana przez Ewę Richter-Wąs kompromisowa propozycja, według której informatyka jest nauką „[...] o abstrakcji, czyli nauką o tworzeniu właściwego modelu reprezentującego problem i wynajdowaniu odpowiedniej techniki mechanicznego jego rozwiązywania. [...] Informatycy tworzą abstrakcje rzeczywistych problemów w formach, które mogą być rozumiane i przetwarzane w pamięci komputera” (Richter-Wąs, 2014: 4). W proponowanym ujęciu komputer postrzegany jest jako nieodzowne materialne zaplecze bardziej fundamentalnych obszarów informatyki.

W informatyce wyraźnemu zatarciu ulegają granice oddzielające teoretyczną podstawę nauki od praktycznej i wytwórczej sfery techniki. Kierunek

¹⁴ Pojęcie *maszyny dialektycznej* zostało sformułowane przez belgijskiego filozofa techniki H. Van Liera, analizującego proces historycznego rozwoju narzędzi techniki. Opierając się na koncepcji ewolucji techniki H. Mumforda (Mumford, 1963), wyróżnił on trzy klasy maszyn: statyczne, dynamiczne i dialektyczne. Komputery zaliczył do ostatniej z wymienionych kategorii. Szerzej: Van Lier, 1970; Szynekiewicz, 2011.

¹⁵ Interesującą dyskusję na temat genezy przywołanego cytatu i stanowisk pokrewnych podejściu Dijkstry znajdziemy na portalu analitycznym quoteinvestigator.com (zob. De Russi, 2021).

ewolucji w tym wypadku stanowi doskonały przykład tendencji do stapiania się obu tych obszarów kultury (Dolby, 1998). Na obecnym etapie rozwoju informatyki jest ona dziedziną, która realizuje się w pełni jedynie w połączeniu ze swoim materialnym, sprzętowym zapleczem. Kolejna trudność w procesie formułowania adekwatnej definicji wynika z wieloaspektowego charakteru samej dyscypliny. Zdaniem części komentatorów pojęcie *informatyka* stało się kategorią zbiorczą, w której zakres włączane są rozmaite problemy związane z wymiarem wewnętrznym nauk informatycznych (hardware, software) oraz zagadnieniami aplikacyjnymi (informatyka jako nauka służebna w stosunku do innych dziedzin nauki, techniki i życia społecznego). Sygnalizowany wyżej problem – pytanie o to, czy może istnieć informatyka bez komputerów – jest więc, jak widać, niezwykle złożony.

Informatyka jako narzędzie – poziom aplikacyjny

Na koniec wspomnieć należy o jeszcze jednym sposobie rozumienia istoty współczesnej informatyki. Trzecia w kolejności perspektywa definicyjna zawarta jest między innymi w uchwalonym przez Polskie Towarzystwo Informatyczne *Kodeksie zawodowym informatyka* (KZI). W dokumencie czytamy, że informatyka jest „wiedzą służebną w stosunku do innych dyscyplin wiedzy i ich zastosowań” (KZI, 2011). Jeżeli w obrębie omawianej dyscypliny wyróżnić możemy trzy zasadnicze obszary: teoretyczny (abstrakcyjny), materialny (sprzętowy) i aplikacyjny (zastosowania), to widzimy, że twórcy przywoływanego dokumentu – praktycy, naukowcy i specjaliści branż związanych z informatyką – skoncentrowali się przede wszystkim na ostatnim z nich – wymiarze aplikacyjnym. Podobne sformułowanie odnajdujemy w kodeksie etycznym *Association for Computing Machinery* największej na świecie organizacji zrzeszającej profesjonalnych informatyków (ACM Code of Ethics and Professional Conduct, 2018). Przyjęta forma rozumienia pojęcia *informatyka* wynika między innymi z charakteru przytaczanych dokumentów, które, pełniąc funkcję kodeksów etycznych (deontologicznych), niejako z samej swojej natury odnosić się muszą do praktycznego wymiaru przedmiotowej dziedziny. Autorzy zwracają uwagę nie tyle na przedmiot i główne komponenty (teoretyczny i materialny) dyscypliny, co raczej na jej szeroko rozumiane funkcje społeczne i związane z nimi aspekty aksjologiczne czy deontologiczne. Informatyka pojmowana jest w kategoriach praktycznych – jako narzędzie i określony typ techniki. Wagę praktycznego wymiaru tej dziedziny i jego znaczenie dla formułowania

definicji ją opisującej podkreślał także Władysław Turski. Z jednej strony wskazywał na istnienie *twardego* teoretycznego jądra nauk komputerowych, które ma charakter trwały i nie jest zależne od konkretnego odniesienia aplikacyjnego, z drugiej jednak zauważał, że tożsamość tej dyscypliny jest kształtowana właśnie w procesach aplikacyjnych. Turski słusznie podkreślał dialektyczny charakter współczesnej informatyki. Stwierdził nawet, że bez praktycznego odniesienia byłaby ona dyscypliną „historycznie ciekawą, lecz relatywnie mało ważną” (Turski, 2010: 16). Każda adekwatna definicja informatyki powinna więc uwzględniać także jej narzędziowy charakter.

Analiza przykładów

Jednym z problemów dotyczących większości funkcjonujących definicji informatyki wydaje się ich zbyt wąski zakres¹⁶. Rozważane propozycje koncentrowały się zazwyczaj na wybranych aspektach opisywanej dziedziny. W celu wyeliminowania wspomnianego problemu należy wskazać zasadnicze sposoby pojmowania współczesnej informatyki. Z uwagi na to, że może być ona określana i jako składowa obszaru nauki, i jako dział techniki – a oba te pojęcia, choć powiązane ze sobą (teza Dolby’ego), odnoszą się jednak do innych domen – formułowana definicja mieć może złożony i nieostry kształt (charakter). Trudno bowiem obok terminu *informacja* określić jedno konkretne kryterium łączące wszystkie poziomy rozumienia współczesnej informatyki. Co więcej, dziedzina ta znajduje się w fazie dynamicznego rozwoju i nie jesteśmy w stanie wskazać obszarów, zastosowań, problemów, koncepcji, technik, które mogą wejść w przyszłości w jej zakres.

W metodologii nauk wyróżnia się wiele typów definicji (zob. Ajdukiewicz, 1957; Hempel, 2001). Proponowane tu rozstrzygnięcie, jako próba połączenia różnych, wskazanych uprzednio perspektyw szczegółowych, będzie miało charakter tak zwanej definicji regulującej. Podobna synteza nabiera znaczenia w kontekście pogłębiających się i częściowo przeciwstawnych tendencji, jakie obserwujemy w rozwoju współczesnej informatyki. Mam na myśli jej postępującą specjalizację, której towarzyszy jednak

¹⁶ Przykładem takiej definicji jest przywoływana wyżej propozycja Newella, Simona i Perlisa. Możemy jednak postawić pytanie, czy definiując informatykę przez pryzmat jej wymiaru aplikacyjnego, nie popełniamy odwrotnego błędu – tzn. czy obszar zjawisk zaliczanych do dziedziny informatyki nie jest zbyt ogólny. Tłumaczyłoby to opisaną przez Turskiego tendencję do rozmywania się znaczenia pojęcia *informatyka*.

coraz wyraźniejszy wzrost interdyscyplinarności. Aspektem integrującym wskazane obszary szczegółowe będzie jednakże wspólne odniesienie ontologiczne – kategoria informacji¹⁷, a czynnikami dodatkowymi – rozpatrywane w kategoriach epistemologicznych tendencje do automatyzacji i algorytmizacji określonych procesów. Spróbujmy więc na podstawie przywoływanych definicji wypracować taką, która lepiej odpowiada złożonemu charakterowi współczesnej informatyki. Część badaczy definiuje informatykę jako gałąź nauki i technologii, której głównym zadaniem jest opis metod i technik gromadzenia, klasyfikacji, przetwarzania i transmisji informacji. W takim ujęciu wyróżnić możemy trzy zasadnicze wymiary omawianej dziedziny wiedzy:

1) ontologiczny – związany z pojęciem *informacja* (poziom abstrakcyjny) i zapleczem sprzętowym (poziom materialny);

2) metodologiczno-epistemologiczny – nawiązujący między innymi do procedur automatyzacji, idei algorytmizacji i stylów programowania (zob. paradygmaty w programowaniu [Van Roy i Haridi, 2004]) oraz zagadnień poznawczych (także w odniesieniu do technologii z obszaru AI);

3) praktyczny – komunikacyjny, przemysłowy, społeczny.

W takiej perspektywie informatyka mogłaby być rozpatrywana w kontekście procesów związanych z automatycznym przetwarzaniem informacji przez określoną klasę maszyn, wpływem informacji na otaczającą nas rzeczywistość, a wszystko to w odniesieniu do bardziej uniwersalnej kategorii algorytmizacji. Jako dziedzina wiedzy naukowo-technicznej informatyka charakteryzuje się wysokim stopniem złożoności. Już na wstępie wyróżnić możemy jej dwie podstawowe płaszczyzny funkcjonowania:

1) wewnętrzną – wynikającą z jej struktury¹⁸, która może być analizowana w dwóch wymiarach:

- teoretycznym (software),
- materialnym (hardware);

¹⁷ O różnych sposobach definiowania pojęcia *informacja*, także w perspektywie dającej się zastosować do opisów metodologicznego obrazu informatyki, pisze w swojej książce Z. Tworak (2019). Warto też pamiętać o praktycznym znaczeniu, jakie terminowi *informacja* nadaje się w samej informatyce (Stacewicz, 2010).

¹⁸ A.H. Eden w artykule *Three Paradigms of Computer Science*, odnosząc się do wewnętrznego poziomu informatyki, wyróżnił trzy zasadnicze sposoby jej definiowania, nawiązując do pojęć: a) paradygmatu racjonalistycznego (informatyka jako gałąź matematyki), b) paradygmatu technokratycznego (informatyka jako inżynieria oprogramowania), c) paradygmatu naukowego (informatyka jako nauka empiryczna) (zob. Eden, 2007).

2) zewnętrzną – związaną głównie z wymiarem aplikacyjnym. Odnosi się ona do funkcjonowania informatyki w środowisku zewnętrznym (np. przemyśle, medycynie, obronności, nauce, edukacji) i wynika z praktycznego wykorzystania osiągnięć tej dziedziny wiedzy.

Tak więc w aspekcie wewnętrznym informatyka funkcjonuje na dwóch poziomach: teoretycznym – związanym z programowaniem i algorytmizacją (m.in. algorytmika, informatyka teoretyczna) oraz materialnym – odnoszącym się do poziomu technicznego (maszynowego), czyli projektowania, konstruowania i użytkowania urządzeń komputerowych oraz struktur wyższego rzędu – na przykład sieci komputerowych. W aspekcie zewnętrznym ma ona natomiast charakter aplikacyjny. W takim ujęciu informatyka byłaby zróżnicowanym rodzajem wiedzy naukowo-technicznej, obejmującym zarówno obszar wiedzy deklaratywnej (wiedzy *że*), jak i proceduralnej (wiedzy *jak*). Pierwszy z wymienionych aspektów manifestuje się głównie w wewnętrznym wymiarze informatyki. Ma on swoje zakotwiczenie w głębszych (formalnych) podstawach nauk informatycznych. W obrębie zagadnień teoretycznych (np. w algorytmice) jego przykładem może być podział problemów na rozstrzygalne i nierozstrzygalne, algorytmizowalne i niealgorytmizowalne etc. Na płaszczyźnie materialnej wiąże się on z prawami opisującymi fizyczne ograniczenia, jakim podlegają urządzenia komputerowe i które wynikają między innymi z reguł mechaniki kwantowej czy kwestii termodynamicznych – patrz zasada Landauera (Landauer, 2006). Z kolei poziom wiedzy proceduralnej dotyczy zarówno sfery abstrakcyjnej, materialnej, jak i aplikacyjnej.

Podsumowanie

Definicje informatyki formułowane są z uwzględnieniem trzech zasadniczych aspektów funkcjonowania tej dziedziny wiedzy¹⁹. W pierwszym ujęciu główny nacisk położony jest na jej wymiar teoretyczny, abstrakcyjny (niematerialny) oraz na idee automatyzacji i algorytmizacji. Takie ujęcia prowadzą do interesujących wniosków, pozwalają bowiem na lokowanie

¹⁹ W procesie formułowania definicji informatyki zauważyć możemy cztery zasadnicze tendencje: od pojmowania informatyki w kategoriach ontologicznych (nauka o informacji) i proceduralnych (automatyzacja, algorytmizacja), poprzez odwołanie do komponentu materialnego (nauka o komputerach), kończąc na określeniach nawiązujących do aplikacyjnego charakteru tej dziedziny.

początków informatyki jako nauki – działającej pierwotnie na styku matematyki i logiki – w czasach, kiedy nie istniały jeszcze materialne nośniki programów i algorytmów (protokomputery i komputery). Opcja taka jest popularna przede wszystkim wśród specjalistów z dziedziny algorytmiki (Knuth, Harel), którzy szczególną wagę przykładają do pozamaterialnego charakteru informatyki i przyznają prymat obszarom związanym z naukami formalnymi, a współcześnie także z naukami o poznaniu (np. *cognitive science*).

Drugi ze sposobów rozumienia terminu *informatyka* kojarzony jest wyraźniej z technologiami komputerowymi. Ma on, jak się wydaje, podłoże historyczne, a jego główna przesłanka wynika z faktu, iż prawdziwy rozkwit tej dyscypliny nauki i techniki przypada na okres po rewolucji komputerowej. Opisywane podejście jest popularne nie tylko wśród przedstawicieli nauk informatycznych (Perlis, Simon), funkcjonuje ono również w społecznym obrazie informatyki, co wynikać może – obok przesłanek historycznych – z literalnego rozumienia terminu *computer science*. W odbiorze społecznym informatyka, wraz z całym jej abstrakcyjnym oprzyrządowaniem (algorytmy, programy, kody, itp.), kojarzona jest bowiem w sposób nierozdzielny z swoim materialnym zapleczem czyli komputerami.

Obie wymienione wyżej płaszczyzny definicyjne krytykowane są przez uczonych, których zdaniem adekwatne pojmowanie współczesnej informatyki uwzględniać powinno zarówno jej aspekt teoretyczny (abstrakcyjny), jak i materialny (techniczny, sprzętowy). W takim duchu argumentują liczni informatycy. Ich zdaniem „Głównymi pojęciami współtworzącymi pojęcie informatyki i współokreślającymi jej zakres są pojęcia algorytmu i komputera” (Adamski, 2002: II). W zbliżony sposób wypowiada się również w niektórych swoich tekstach P.J. Denning. Nawiązując do definicji Newella, Perlisa i Simona, wskazuje na zmiany, jakie dokonały się w tej dziedzinie za sprawą rewolucji komputerowej. Denning, określając informatykę mianem nauki o procesach informacyjnych, nadaje jej jednak wyraźnie szerszy wymiar (Denning, 2010). Charakter współczesnej informatyki uwzględnia dwa jej najbardziej fundamentalne komponenty (teoretyczny i materialny) z podkreśleniem prymarnego charakteru pierwszego z nich. Podobnie argumentuje M. Sysło, który zwraca uwagę na fakt, iż poprawne rozumienie znaczenia pojęcia informatyki uwzględniać musi oba wymiary, wskazując jednak na naczelną rolę algorytmiki i programowania. Całość definicji – idąc między innymi tropami W. Turskiego – uzupełnić możemy o aplikacyjną perspektywę informatyki rozumianej jako narzędzie i dyscyplina służebna w stosunku do innych dziedzin wiedzy (przykład KZI i ACM).

Wymienione płaszczyzny definicyjne odpowiadają poszczególnym poziomom funkcjonowania współczesnej informatyki, czyli informatyce charakteryzowanej jako dziedzina nauki, dział techniki (technologie sprzętowe) i narzędzie służące do realizacji określonych zadań. Wszystkie trzy poziomy rozumienia nauk informatycznych znajdują swoje odzwierciedlenie w dywersyfikacji branż informatycznych i procesie ich pogłębiającej się specjalizacji²⁰. Coraz wyraźniejszy podział kompetencyjny społeczności informatyków jest zjawiskiem całkowicie naturalnym. Odpowiada tendencji występującej w całej współczesnej nauce – zarówno w naukach podstawowych (np. kultura teoretyczna/kultura eksperymentalna w fizyce), jak i dziedzinach stosowanych (np. procesy specjalizacyjne w naukach medycznych).

Opisane wyżej dylematy związane z procesem definiowania współczesnej informatyki oraz określaniem jej podstawowych zadań wynikają przede wszystkim ze złożoności i bogactwa samej dyscypliny. Informatyka jest domeną relatywnie młodą, dynamicznie się rozwijającą, jej cechą charakterystyczną stanowi ponadto ogromna różnorodność i wieloaspektowość. Z uwagi na skuteczność technologii komputerowych, niezwykle szeroki zakres aplikacji metod i narzędzi informatycznych oraz ontologiczny charakter samych komputerów ma ona obecnie niemal uniwersalne zastosowania. Zbudowanie jednej zunifikowanej definicji, sytuującej ją na ściśle określonym poziomie aktywności badawczej, praktycznej, aplikacyjnej lub w jednoznacznie zdefiniowanym obszarze kultury, byłoby więc niezwykle trudne, o ile w ogóle możliwe. Informatyka spaja problematykę i narzędzia z arsenału poszczególnych nauk teoretycznych i stosowanych z różnymi działami techniki, stając się tym samym obszarem atrakcyjnym zarówno dla filozofii nauki, epistemologii czy logiki, jak i dla etyki czy filozofii techniki. Wydaje się, iż formułowane definicje informatyki muszą odzwierciedlać wewnętrzną złożoność tej dyscypliny wiedzy oraz jej wieloaspektowość i praktyczny – narzędziowy – charakter.

Literatura

ACM Code of Ethics and Professional Conduct. (2018). <http://www.acm.org/about/code-of-ethics/#preamble> (dostęp: 5.05.2024).

²⁰ Przejawem tego procesu może być m.in. pojawianie się na przestrzeni lat nowych działów i sekcji nauk informatycznych, zajmujących się takimi kwestiami jak np. cyberbezpieczeństwo, sieci komputerowe czy sztuczna inteligencja.

- Adamski, M. (2002). *Informatyka. Nauka, sztuka czy rzemiosło*. <http://miesiecznik.uz.zgora.pl/wydawnictwo/miesiecznik11-2002/17.pdf> (dostęp: 12.12.2024).
- Ajdukiewicz, K. (1957). *Zarys logiki*. Warszawa: PZWS.
- Barak, A. (red.). (2008). *Psychological Aspects of Cyberspace. Theory, Research, Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bondecka-Krzykowska, I. (2023). *O przedmiocie badań informatycznych. Studium filozoficzne*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Brookshear, G.J. (2003). *Informatyka w ogólnym zarysie*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Bynum, T.W. (2001). *Etyka a rewolucja informatyczna*. W: A. Kocikowski, K. Górniak-Kocikowska, T. Bynum (red.). *Wprowadzenie do etyki informatycznej* (ss. 25–36). Poznań: MRS.
- Castells, M. (2007). *Spółczesność sieci*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Castells, M. (2008). *Siła tożsamości*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Computer Science: Reflections on the Field, Reflections from the Field*. (2004). <https://lcn.loc.gov/2004303866> (dostęp: 22.08.2024).
- Czarkowski, M. (1989). Rozmowa z prof. Romualdem W. Marczyńskim, twórcą pierwszych polskich komputerów. *Bajtek*, 3(39), 3. <http://www.aresluna.org/attached/computerhistory/articles/odemalado?language=pl> (dostęp: 24.04.2024).
- De Russi, M. (2021). *Computer Science Is Not About Computers, Any More Than Astronomy Is About Telescopes*. <https://quoteinvestigator.com/2021/04/02/computer-science/> (dostęp: 12.12.2024).
- Denning, P.J. (2010). What is Computation? *ACM Digital Library*. <http://dl.acm.org/>, <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1880066.1880067> (dostęp: 5.05.2024).
- Denning, P.J., Comer, D.E., Gries, D., Mulder, M.C., Tucker, A., Turner, J., Young, P.R. (1989). Computing as a Discipline. *Communications of the ACM*, 1(32), 9–23. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/63238.63239> (dostęp: 5.05.2024).
- Dolby, R.G.B. (1998). *Niepewność wiedzy. Obraz nauki w końcu XX wieku*. Warszawa: Amber.
- Eden, A.H. (2007). Three Paradigms of Computer Science. *Minds and Machines*, 2(17), 135–167.
- Feynman, R.P. (1996). *Feynman Lectures on Computation*. https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Extra/Richard_P_Feynman-Feynman_Lectures_on_Computation__-Addison-Wesley%281996%29.pdf (dostęp: 5.05.2024).
- Floridi, L. (1999). *Philosophy and Computing. An introductions*. London: Blackwell Publishing.
- Fulmański, P., Sobieski, S. (2005). *Wstęp do informatyki*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Gammack, J., Hobbs, V., Piggot, D. (2007). *The Book of Informatics*. Melbourne: Thompson.
- Giza, P. (2006). *Filozoficzne i metodologiczne aspekty komputerowych systemów odkryć naukowych*. Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Goban-Klas, T. (1999). *Media i komunikowanie masowe. Teorie i analizy prasy, radia, telewizji i Internetu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Harel, D. (2001). *Algorytmika. Rzecz o istocie informatyki*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

- Heim, M. (1994). *The Metaphysics of Virtual Reality*. New York: Oxford University Press.
- Hempel, C.G. (2001). *Filozofia nauk przyrodniczych*. Warszawa: Aletheia.
- Henderson, H. (2009). *Encyclopedia of Computer Science and Technology*. New York: Infobase Publishing.
- Knuth, D.E. (1971). George Forsythe and the Development of Computer Science. *Communications of the ACM*, 8(15), 721–726.
- Knuth, D.E. (1974). Computer Science and its Relation to Mathematics. *The American Mathematical Monthly*, 4(81), 323–343.
- Kocikowski, A., Górniak-Kocikowska, K., Bynum, T. (red.). (2001). *Wprowadzenie do etyki informatycznej*. Poznań: MRS.
- Kodeks zawodowy informatyków Polskiego Towarzystwa Informatycznego KZI. (2011). https://xi-zjazd.pti.org.pl/images/b/bb/KZI_Kodeks_zawodowy_informatyk%C3%B3w_PTI_29_maja_2011_r.pdf (dostęp: 3.09.2024).
- Landauer, R. (2006). Fundamental Physical Limitations of the Computational Process. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1(426), 161–170.
- Leciejewski, S. (2013). *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych. Studium metodologiczno-filozoficzne*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Marciszewski, W. (2002). *Logika z informatyką w zastosowaniu do badań społecznych. Materiały z wykładów*. <http://www.calculemus.org/lect/L-I-MNS/06/lim06.pdf> (dostęp: 25.04.2024).
- Marczyński, R. (1969). Informatyka czyli maszyny matematyczne i przetwarzanie informacji. *Maszyny Matematyczne*. <https://historiainformatyki.pl/r-marczyński-informatyka-czyli-maszyny-matematyczne-i-przetwarzanie-informacji> (dostęp: 5.05.2024).
- Mezick, E.M., Koenig, M.E.D. (2008). Education for Information Science. *Annual Review of Informations, Science and Technology*, 1(42), 593–624.
- Михайлов А.И., Чёрный, А.И., Гиляревский Р.С. (1968). *Основы информатики*. Москва: Наука.
- Mumford, H. (1963). *Technics and Civilisation*. New York: Harvest/HBJ Book.
- Murawski, R. (2014). *Filozofia informatyki. Antologia*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Naur, P. (1968). 'Datalogy', the Science of Data and Data Processes, and its Place in Education. *Proceedings of the IFIP Congress*, 68(2), 1383–1387.
- Newell, A., Perlis, A.J., Simon, H.A. (1967). Computer Science. *Science*, 157(3795), 1373–1374.
- Polak, P. (2016), Computing as Empirical Science – Evolution of a Concept. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, 1(48), 49–69.
- Richter-Wąs, E. (2014). *Teoretyczne podstawy informatyki*. <https://www.slideserve.com/cody-mcfarland/teoretyczne-podstawy-informatyki> (dostęp: 12.12.2024).
- Stacewicz, P. (2010). *Umysł a modele maszyn uczących się*. Warszawa: EXIT.
- Stacewicz, P. (2023). *O światopoglądowym oddziaływaniu informatyki w świecie współczesnym*. W: A. Zalcewicz i R. Kędziora (red.), *Nowe technologie. Wartości, prawa, zasady* (ss. 305–314). Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Steinbuch, K. (1957). Informatik: Automatische Informationsverarbeitung. *Raport SEG-Nachrichten*, 4.
- Stocks, S. (2008). *Computer Programming. An Introduction for the Scientifically Inclined*. Nijmegen: Curly Brace Publishing.

- Such, J. (2004). *Multiformity of Science: 79 (Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities)*. Amsterdam-New York: Rodopi.
- Szynkiewicz, M. (2011). Rozwój technologii komputerowych w świetle filozoficznej refleksji nad nauką i techniką. *Czas Informacji*, 3(8), 5–15.
- Turski, W. (2010). Zamiast wstępu. W: J. Zawila-Niedźwiecki, K. Rostek i A. Gąsiorkiewicz (red.), *Informatyka gospodarcza I* (ss. 15–24). Warszawa: C.H. Beck.
- Tworak, Z. (2018). *Informacja, wiedza, logika*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Van Lier, H. (1970). *Nowy wiek*. Warszawa: PIW.
- Van Roy, P., Haridi S. (2004). *Concepts, Techniques, and Models of Computer Programming*. Cambridge: MIT Press.