

WITOLD MARCISZEWSKI

## POJĘCIE MOCY OBLICZENIOWEJ W ZASTOSOWANIU DO STRUKTUR SPOŁECZNYCH

### 1. O ścisłym i o rozszerzonym pojęciu obliczalności

**1.1.** Zestawienie zwrotu „moc obliczeniowa” ze zwrotem „struktury społeczne” może dziwić logików czy informatyków, biegłych w problematyce obliczalności, ale nie mających do czynienia z zagadnieniami socjologii. Może też zaskoczyć przedstawicieli socjologii, ekonomii czy politologii, zajmujących się strukturami społecznymi w sposób tradycyjny. Wypada więc zacząć od próby oswojenia jednych i drugich z tym mało dotąd nawiedzanym pograniczem między naukami społecznymi oraz połączonymi prowincjami logiki i informatyki.

Przez *struktury społeczne* należy rozumieć cechujące się wielką złożonością układy, o których można poprawnie coś orzekać jako podmiotach działania. Jak to, że firma X prowadzi negocjacje z firmą Y, że państwo takie a takie rozpoczęło wojnę, że rynek zareagował na jakiś konflikt zwyżką cen ropy itp.

Logika, do której wyników nawiązuje pojęcie mocy obliczeniowej, ma z naukami społecznymi powiązania takie jak z każdą inną aktywnością poznawczą, polegające na czuwaniu nad poprawnością rozumowań i definicji. W obecnym jednak rozważaniu będziemy mieć na uwadze jej relację do nauk społecznych szczególnie, biorącą się stąd, że struktury społeczne, inaczej niż przyrodnicze, są podmiotami procesów poznawczych powiązanych z decyzjami. Poznawanie i decydowanie składa się z procesów przetwarzania informacji, których istotna część, jak obliczenia i rozumowania, jest przedmiotem badań logiki i informatyki. Dyscypliny te przeto, mając za przedmiot wszelkie struktury (układy) zdolne przetwarzać informacje, obejmują swą dziedziną umysły, komputery i struktury społeczne.

Będziemy tu mieć na uwadze tylko takie procesy poznawcze, w których operacje na danych mają charakter funkcji (w sensie zdefiniowanym w logice). Określonym danym wejściowym funkcje te przyporządkowują dane wyjściowe jako wyniki operacji; przykładem może być przyporządkowanie bodźcom odpowiednich spostrzeżeń zmysłowych. Tego rodzaju *przetwarzanie informacji z jednoznacznie określonym wynikiem*, np. wnioskowanie wedle pewnej reguły, która przesłankom przyporządkowuje jednoznacznie wniosek, podpada pod pojęcie *obliczania*. Stąd, możemy zamiennie mówić o obliczaniu lub o przetwarzaniu informacji czyli o przetwarzaniu danych (gdy w domyśle jest rzeczona jednoznaczność); korzysta się z tej zamienności w obecnym eseju, stosując jeden lub drugi termin stosownie do kontekstu.

Tak definiując obliczanie, nadajemy temu pojęciu zakres możliwie najszerszy. Trzeba je odróżniać od węższego pojęcia obliczania występującego w teorii automatów, w szczególności maszyn Turinga, gdzie obliczaniem nazywa się proces znajdowania wartości funkcji kierowany jakimś algorytmem; w tamtym ujęciu, dopóki nie wiemy, czy proces jest algorytmiczny, nie wiemy, czy jest to obliczanie. Jeśliby się poniechało proponowanej tu dystynkcji, popadnie się w paradoksalny sposób mówienia, jak powiedzenie, że w pewnych przypadkach oblicza się

funkcję nieobliczalną (np. stosując procedurę przekątniową Turinga [1936], a więc pewien rodzaj obliczania, w celu znalezienia określonej liczby nieobliczalnej).

Pojęcie *mocy obliczeniowej* funkcjonujące w obecnym tekście, a zapowiedziane w jego tytule, jest urobione od najszerszego, określonego jak wyżej, pojęcia obliczania. Moc obliczeniowa jakiejś struktury, czyli układu, jest to zdolność wykonywania przezeń tak szeroko pojmowanych obliczeń. To znaczy, podsumujmy, znajdowania wartości funkcji, niezależnie od tego, czy chodzi o funkcję dającą się wyrazić symbolicznie jakąś formułą (tj. obliczalną w sensie węższym), czy o funkcję pozbawioną symbolizacji.

Bliskie temu szerokiemu rozumieniu obliczalności jest znaczenie potoczne, z którym spotykamy się np. w powiedzeniu, że skoczek mierząc wzrokiem odległość oblicza potrzebne do jej pokonania napięcie mięśniowe. W takich potocznych powiedzeniach nie chodzi o pomiar wyrażony w formule złożonej z cyfr ani o obliczenie dające się wyrazić w cyfrowym zapisie; mamy tu jednak do czynienia ze znajdowaniem wartości funkcji, bo uzyskane napięcie mięśni jest funkcją zamierzonej długości skoku.

Tak rozszerzone pojęcie obliczania znajduje wsparcie w pionierskich rozważaniach Johna von Neumanna o logice i matematyce systemu nerwowego. Von Neumann [1958/1963, s.92n] przypisuje procesom neuronowym „struktury logiczne różne od tych, którymi się zazwyczaj posługujemy w logice i matematyce”. Jeśli przyjąć, że struktury, którymi się posługujemy w logice i matematyce pokrywają się z klasą funkcji dających się obliczać na maszynie Turinga (jak głosi teza Churcha-Turinga), a zarazem, że istnieje „język matematyczny lub logiczny faktycznie używany przez centralny system nerwowy” (ibid.), to tam, gdzie się on różni od symbolicznego języka matematyki musi zachodzić obliczanie w sensie rozszerzonym.

**1.2.** W tym punkcie powstaje pytanie, czy do systemu „zapisanego” w owym neuronowym języku matematycznym stosują się twierdzenia limitatywne, które dotyczą ograniczeń procedur algorytmicznych. Jest to, w szczególności, twierdzenie Gödla o niezupełności i nierozstrzygalności teorii zawierających arytmetykę liczb naturalnych oraz wynikające stąd twierdzenie o nierozstrzygalności (pomimo zupełności) logiki pierwszego rzędu. Towarzyszy temu dowód istnienia liczb nieobliczalnych autorstwa Turinga i podana przez niego metoda nie-algorytmicznej konstrukcji liczby nieobliczalnej.

Powyzsze pytanie przenosi się na układy wyższego rzędu, jakimi są struktury społeczne. Przyjmijmy przez moment dla uproszczenia, żeby się nie angażować w trudne pojęcie umysłu, że struktury społeczne są to sieci złożone z mózgów. Jakie są możliwości obliczeniowe takiej sieci? Czy większe niż pojedynczego mózgu? A te należące do pojedynczego mózgu, jak się mają do mocy obliczeniowej maszyny Turinga? Tak przez twierdzenia limitatywne prowadzi ścieżka od logiki z informatyką i matematyką do nauk społecznych.

Spotyka się ona ze ścieżką idącą od drugiej strony, od pewnych zagadnień metodologicznych nauk społecznych. Uchwytymi historycznie punktami, od których w ekonomii prowadzi ta trasa są idee i osiągnięcia Szkoły Lozańskiej (L. Walras, W. Pareto i in.), z jej metodologią modelowania matematycznego, oraz Szkoły Austriackiej (L. von Mises, F. Hayek) z jej sceptycyzmem wobec tego rodzaju modeli. Sceptycyzm nie musiał prowadzić do zwarcia polemicznego, ale – szczęśliwie dla zawiązania się problemowej intrygi – liberalna Szkoła Austriacka przypuściła piórem von Misesa a następnie Hayeka atak na ekonomiczną doktrynę centralnego planowania socjalistycznego (por. Butler [1983]).

Tak się złożyło, że jeden ze znaczących jej obrońców, polski uczoney Oskar Lange [pozycje 1936 i 1967], posługiwał się orężem metodologicznym wykutym w Szkole Lozańskiej. Był to więc nie tylko spór ideologiczny liberalizmu i socjalizmu lecz także dyskusja nad pewnym

fundamentalnym problemem logiczno-informatycznym. Spór ten rozgałęził się na inne nauki społeczne w tym zakresie, w jakim są one zainteresowane modelowaniem matematycznym lub obliczeniowym; to drugie polega na stosowaniu różnych typów automatów, jak maszyny Turinga, automaty komórkowe etc. jako modeli struktur społecznych przetwarzających informacje.

Zaznaczył się ów spór we współczesnej ekonomii na tyle, że uhonorowano go specjalną, funkcjonującą do dziś, nazwą *socialist calculation debate* (pod tym hasłem łatwo go odszukać w Internecie). Po polsku pełniej odda go określenie: spór o centralne planowanie socjalistyczne (dalej, w skrócie, CPS). Zajmiemy się nim w pierwszej kolejności, takie zagłębienie się w materię ekonomiczną pomoże w operacjonalizacji pojęcia mocy obliczeniowej.

## **2. Dlaczego w systemie w Centralnego Planowaniu Socjalistycznego (CPS) brak miejsca na analogowe przetwarzanie informacji**

**2.1.** Dla uchwycenia, co jest w rzeczonyj debacie najistotniejsze, przydaje się wiedza o CPS, choćby taka, jaką mieszkańcy wschodnich połaci Europy, zdobyli w swej praktyce życia codziennego w niedawnej przeszłości. CPS oprócz atrybutu centralności ma to do siebie, że wszelkie decyzje gospodarcze zapadają na podstawie danych ujętych lub dających się ująć w zapisie cyfrowym i w tejże postaci przesyłane są dyrektywy do podległych organowi zarządzającemu jednostek. W epoce przedkomputerowej zapisy były czynione na papierze, a partie pozarachunkowe były formułowane w określonym języku naturalnym, np. rosyjskim. Nie umniejszało to jednak ich podatności do przekształcenia na zapis cyfrowo-elektroniczny, można więc ten drugi przyjąć w naszym rozważaniu za standardowy.

Konieczność zapisu oraz przetwarzania wyłącznie cyfrowego danych i poleceń istnieje w każdym systemie gospodarczym, ale w innych niż CPS dotyczy to tylko części procesów informatycznych; pozostała natomiast część jest przetwarzana analogowo; w CPS natomiast cyfrowość jest totalna. Na czym to polega, z czego się bierze i jakie są tego skutki?

Kto chce pogładowo uchwycić, na czym polega analogowe przetwarzanie danych w celu podjęcia decyzji ekonomicznej, niech się przyjrzy jakiegokolwiek scenie targu na dowolnym bazarze. A jeśli chce rzecz obserwować na wyższym poziomie, niech urządzi podgląd i podsłuch w jakiejś sali konferencyjnej, gdzie odbywają się negocjacje reprezentantów wielkich korporacji. Sprzedawca czyli kupiec oraz nabywca czyli klient (w obecnej nadpsutej polszczyźnie nazywany kupcem) bacznie obserwują się wzajem, który w jakim momencie gotów jest przystać na aktualnie proponowane warunki. Po czym to się poznaje, to kwestia wprawy zawodowej (po barwie głosu, wyrazie oczu, grze mięśni twarzy itp.), w każdym razie nie są do żadne teksty pisane. Pozyskiwane w toku tego procesu dane wzrokowe i słuchowe są przetwarzane przez odbiorcę na przesłanki potrzebne do decyzji, czy przystać czy nie np. na określoną cenę produktu. Nie są to jednak przesłanki zwerbalizowane, lecz pewne odwzorowania stanów partnera we własnych stanach decydenta; gdy wyczuwam, powiedzmy, że on „mięknie”, podnoszę stawkę.

Takie odwzorowania stanowią istotę analogowego przetwarzania danych. Zachodzą one nie tylko w sytuacji targu, podanej tu jako przykład typowy, lecz daleki od wyczerpania sprawy. Rozważmy jeszcze inny, wzięty z własnej obserwacji autora.

Przez lata mogłem obserwować działalność pewnego przedsiębiorcy, który miał nieprzeciętne wycucie rynku; oznaczam go inicjałami F.M. Każda z kolejnych jego decyzji, gdy uruchamiał nowy rodzaj produkcji, brała się z pewnego rodzaju empatii pokrewnej altruizmowi. Miał bowiem F.M. nieprzeciętną zdolność wczuwania się w ludzkie potrzeby (co było też widoczne w jego uczynności praktykowanej w życiu prywatnym). W szczególności dotyczyło to potrzeb tej klasy uczestników rynku, którą F.M. znał dobrze z osobistego doświadczenia. W okresie międzywojennym, będąc konserwatorem sprzętu

poligraficznego, a przy tym interesując się sprawami kraju, wyczuł, że budowa Centralnego Okręgu Przemysłowego stwarza zapotrzebowanie na sprzęt do kopiowania projektów technicznych, uruchomił więc produkcję takiego sprzętu i trafił „w dziesiątkę”. W czasie drugiej wojny światowej, pamiętając o głodzie za czasów poprzedniej wojny panującym na polskiej wsi, z której sam pochodził, przystąpił do produkcji młynów do mąki i pras do oleju na miarę możliwości energetycznych (koń w kieracie) typowego polskiego gospodarstwa. Po drugiej wojnie, będąc sam zamiłowanym kierowcą i wyczuwając pęd rodaków do motoryzacji, zaczął robić interes na produkcji kół samochodowych własną metodą, która dawała produkt bardziej niezawodny niż ten z fabryk państwowych. Ta ostatnia faza musiała ulec przerwaniu w zderzeniu z gospodarką socjalistyczną (wraz z rosnącą dyktaturą państwa w gospodarce kończyły się możliwości legalnego zakupu surowca).

**2.2.** Powyższe studium przykładu ilustruje ów rys analogowości, tak istotny dla wyjaśnienia sukcesów gospodarki rynkowej i porażek socjalistycznej. Nie wydaje się, żeby ten rys był należycie doceniany czy to w kręgu informatyków czy ekonomistów. A rzecz sprowadza się do prostego faktu, że werbalizacja w jakimkolwiek języku, będąca koniecznym warunkiem ucyfrowienia, nie oddaje pełnej zawartości bezpośredniego i konkretnego doświadczenia; w tej zawartości mieszczą się treści istotne dla decyzji ekonomicznych. Dotyczy to nie tylko odwzorowania w stanach decydenta stanów jego partnerów, lecz także reakcji na zjawiska fizyczne. Niech to zobrazuje następujący przykład.

Właściciel sklepu z owocami decyduje się w gorący dzień letni na przecenę bananów o pewnej godzinie, ponosząc ryzyko biorące się z niepewności: jeśli przeceni za późno, owoc się zepsuje przed zamknięciem sklepu, a jeśli za wcześnie (gdzie była jeszcze szansa, że będzie wykupiony po wyższej cenie), to zarobi mniej niż gdyby opóźnił przecenę. Do podjęcia decyzji potrzebne mu jest oszacowanie przez *wycucie* (innej drogi nie ma) tempa psucia się bananów przy danej temperaturze (a więc pewnej cechy fizycznej), a nadto oszacowania prawdopodobieństwa popytu (cechy nie-fizycznej) we wchodzącym w grę czasie. Są to procesy przetwarzania danych analogowego. Jeśli ich dokonuje znajdujący się w miejscu sprzedaży kupiec, to może on doświadczalnie oszacować daną jakość fizyczną oraz podjąć decyzję. Jaki byłby los tych bananów w sklepie państwowym działającym w ramach CPS? Raport o ich stanie musiałby być ujęty ilościowo (trzeba by jakoś zmierzyć stan podatności na zepsucie w danej temperaturze) oraz także ilościowe winno być oszacowanie prawdopodobieństwa popytu. Raport z tymi danymi cyfrowymi zostałby przesłany do odpowiedniego organu państwowego, który podjąłby decyzję i odpowiednio dyrektywy na piśmie przesłał kierownikowi sklepu.

Opowieść ta, z gatunku ekonomicznej groteski, stawia wyznawców CPS przed tak prozaicznymi pytaniami, jak te następujące. Ile czasu zajmą pomiary stanu produktu i sporządzenie raportu? Ile czasu zajmie przesyłanie komunikatów w obie strony? Czy organ decyzyjny będzie dyżurował nieustannie, żeby reagować na takie sprawy? Z kogo będzie się składał? Ile problemów w rodzaju tego bananowego, napływających z całego kraju czy choćby regionu będzie musiał rozwiązywać w ciągu doby? Czy podołają temu moce obliczeniowe? Groteska jest w tym, że na żadne z tak szczegółowych pytań nie da się udzielić odpowiedzi, podczas gdy autorzy CPS niezłomnie głosili, że w tym systemie każdy problem jest rozwiązywalny z maksymalną precyzją, w czym jego wyższość nad wolnym rynkiem. Ale niemożność dania tego rodzaju odpowiedzi jest i tak niewielką słabością w porównaniu z tą zasadniczą, dotyczącą pomiaru i jego cyfrowego zapisu: jak zmierzyć stopień zagrożenia towaru oraz prawdopodobieństwo jego wykupienia jeszcze przed zepsuciem? To można tylko wyczuć, a więc procedura może być tylko analogowa. A że wycucia bywają omyłne, to fakt, ale prywatny kupiec ryzykuje swoim majątkiem; jego omyłka nie naruszy państwowego dobra wspólnego, ponadto może być cennym wkładem w proces uczenia się przezeń fachu kupca; jeśli zaś będzie on niewyuczalny, to zbankrutuje, a rynek pozbędzie się mało zdolnego uczestnika.

Tu może ktoś zapytać, dlaczego nie znamy odpowiedzi na powyższe kwestie, skoro system CPS funkcjonował realnie i musiała być w tym względzie jakaś praktyka. Owszem praktyka była, ale wobec niemożności wykonania opisanego wyżej procesu decyzyjnego, była ona

np. taka, że owoców nie wolno było przecenić, a po ich zepsuciu specjalna komisja szacowała wielkość ubytku i sporządzała protokół strat potrzebny dla księgowości. Ów zaś projekt idealny, wymarzony przez Oskara Langego, dziś próbują niektórzy ekonomiści mieniący się jego spadkobiercami reanimować, wierząc, iż współczesne środki komunikacji, środki pomiarowe i moce obliczeniowe pozwoliłyby na taki zabieg. Po co? Trudno się dopatrzeć innych racji, jak tylko ta natury ideologicznej, że własność prywatna jest moralnie zła, trzeba więc ją skasować, gdy tylko stanie się to możliwe bez rujnowania gospodarki.

### 3. Czy rozwój społeczny potrzebuje wyroczeni znajdujących wartości funkcji nieobliczalnych?

**3.1.** Spór o CPS stanowi doniosły teoretycznie i praktycznie fragment sporu o SI (Sztuczną Inteligencję; ogólne i przystępne wprowadzenie do SI daje Marciszewski [1998]). Pytanie postawione wyżej w tytule wiąże CPS jako pewien model rozwoju społecznego z SI jako projektem opartym na idei obliczalności czyli algorytmiczności. Mianowicie, CPS zakłada (w duchu Szkoły Lozańskiej), że wszystkie procesy ekonomiczne dadzą się modelować matematycznie, modele zaś matematyczne dadzą się ująć jako zapisane cyfrowo algorytmy; oddane w jakimś języku programowania algorytmy stają się programami komputerowymi. Byłaby to realizacja tzw. silnego projektu SI (*strong AI*) na najwyższym szczeblu złożoności, obejmująca nie tylko inteligencję indywidualną lecz także inteligencję zbiorową (*collective intelligence*). Silny projekt SI redukuje inteligencję do procesów sterowanych algorytmami, a CPS postuluje taką redukcję w odniesieniu do zachodzących w zbiorowości procesów przetwarzania i komunikowania danych oraz podejmowania decyzji ekonomicznych.

Problem wykonalności silnego projektu SI da się najkrócej ująć w pytaniu: czy w rozwoju społecznym niezbędna jest aktywność czegoś, co Turing [1938] nazwał wyrocznia? Za krótkość tego pytania płacimy wprowadzeniem terminu „wyrocznia”, dość zagadkowego, rodzącego przy tym pewne nieporozumienia i kontrowersje. Warto jednak nim się posłużyć, bo po odpowiednich wyjaśnieniach rzecz da się ująć zwięźle i prosto.

Wyjaśnienia należy zacząć od Georga Cantora argumentu przekątniowego w sprawie nierównoliczności zbiorów liczb naturalnych i liczb rzeczywistych. Zaczniemy od przypomnienia sobie, jak w szkolnej matematyce poznawaliśmy w miarę postępu nauki coraz to nowe wzory na obliczanie liczb rzeczywistych. Nasuwa to przypuszczenie, że wzorów takich jest nieskończenie wiele, ale nie więcej niż liczb naturalnych. Każdy z nich bowiem ma skończoną długość i jeśli by je uporządkować według długości będzie to lista dyskretna, której pozycje dadzą się ponumerować liczbami naturalnymi. Gödel, a potem Turing, każdy na swój genialny sposób, wymyślili metodę kodowania wzorów zamieniającą je w liczby naturalne, użyte następnie do numerowania wzorów, co stanowiło ścisły dowód, że zbiór wzorów jest tak samo przeliczalny jak wzór numerów; bez przesłedzenia procesu kodowania musimy się kontentować naszkicowaną tu intuicją, ale wystarcza ona, żeby się przekonać o przeliczalności rozważanego zbioru.

Teraz trzeba tylko wpaść (jak zdarzyło się Turingowi) na pomysł zastosowania w tej sytuacji rozumowania przekątniowego Cantora, stosując je do liczb obliczonych za pomocą wzorów z opisanej listy. Każdy z nich wyraża pewną funkcję, a więc przy danych wartościach jej argumentów mamy jednoznacznie obliczoną liczbę będącą wartością funkcji. Ustawiamy te liczby w kolejności wyznaczonej kolejnością wzorów służących do ich obliczenia, żadnej więc nie pominiemy; wystarczy dla naszego rozumowania, jeśli zamiast całej liczby podamy tylko rozwinięcie dziesiętne ułamków właściwych. Każdy wiersz z tej (przeliczalnie) nieskończonej listy ma (przeliczalnie) nieskończoną ilość cyfr, bo albo jest on dziesiętnym rozwinięciem liczby niewymier-

nej albo reprezentuje liczbę wymierną, a wtedy można dopisać na końcu wiersza nieskończenie wiele zer. Lista taka stanowi swoisty „kwadrat”, w którym długość jednego boku jest wyznaczona ilością wierszy, a drugiego ilością kolumn, przy czym są to zbiory przeliczalne. W takiej „kwadratowej” liście przekątną stanowi uporządkowany zbiór cyfr zbudowany w ten sposób, że jego pierwszym elementem jest cyfra z pierwszej kolumny pierwszego wiersza, drugim – cyfra z drugiej kolumny drugiego wiersza itd. Dla prostoty opisu możemy przyjąć, że wszystkie liczby są wyrażone w notacji binarnej, a więc nasz zbiór przekątniowy składa się z samych zer i jedynek. Tu następuje krok decydujący: każdą jedynekę zastępujemy zerem, a każde zero jedyneką. Powstaje ciąg cyfr różny od wszystkich znajdujących się na „kwadratowej” liście. Od liczby bowiem z pierwszego jej wiersza różni się na pierwszym miejscu, od liczby z drugiego na drugim itd. Każdy uzyskany na tego rodzaju drodze uporządkowany zbiór cyfr nazwijmy *sekwencją przekątniową*.

I oto, co się okazuje. Ponieważ z założenia lista nasza zawiera wzory na obliczanie wartości wszelkich funkcji, z jakimi matematyka ma do czynienia, widać, że nie istnieje wzór matematyczny na obliczenie liczby, którą reprezentuje sekwencja przekątniowa. Skoro nie ma wzoru na obliczanie, słusznie została wysunięta przez Turinga [1936] i powszechnie przyjęta propozycja, żeby liczby takie nazywać *nieobliczalnymi*; odpowiednio, nazywamy nieobliczalnymi te funkcje, których wartościami są liczby nieobliczalne (operujemy to ścisłym pojęciem obliczalności, które w ustępie 1.1 odróżnia się od rozszerzonego). Metod uzyskania liczb nieobliczalnych w schemacie argumentu przekątniowego jest nieskończenie wiele, bo do przekształcania cyfr w sekwencji przekątniowej można użyć dowolnej funkcji: dodać jeden, dodać dwa itd., pomnożyć przez dwa itd. itd.

**3.2.** Analiza opisanego postępowania prowadzi do zaskakującego, a nawet paradoksalnego, spostrzeżenia, że choć żadna liczba nieobliczalna nie da się obliczyć wzorem matematycznym, to niejedna (nie musimy wypowiadać się o wszystkich) da się zdefiniować przez podanie metody jej konstrukcji, mianowicie metody uzyskiwania sekwencji przekątniowej. Żeby docenić doniosłość tego spostrzeżenia, trzeba zauważyć, że każdemu ze wzorów użytych do utworzenia naszego „kwadratu” odpowiada pewien algorytm obliczania wartości funkcji, a więc potencjalny program komputerowy (program to algorytm wyrażony w jakimś języku programowania). Co się natomiast tyczy sekwencji przekątniowej, nie da się ona uzyskać na drodze algorytmicznej. Nie da się z tej racji, że postępowanie dyktowane algorytmem zawsze zatrzymuje się po skończonej liczbie kroków; to należy do natury algorytmu. Natomiast w postępowaniu przekątniowym, aby dojść prawomocnie do konkluzji o istnieniu liczby nieobliczalnej trzeba ogarnąć myślą nieskończenie wiele kroków danej operacji (jak zamiana zera na jedynekę i odwrotnie). Po wykonaniu najpierw ich skończonej liczby na określonych, rozróżnialnych wzrokowo co do kształtu, elementach sekwencji przekątniowej umysł w pewnym momencie pojmuję, że jest możliwe kontynuowanie tej operacji w nieskończoność; wtedy już nie musi wykonywać jej na określonych kolejnych symbolach. Musiałaby natomiast czynić to maszyna pracująca pod dyktando algorytmu, bo do natury algorytmu należy nie tylko skończoność postępowania, ale i to, że każda operacja jest wykonana na obiekcie w pełni określonym co do własności fizycznych, w szczególności co do kształtu.

Ów nieosiągalny dla maszyny „skok w nieskończoność” Turing [1938] przypisuje zdolności, którą określa mianem *wyroczeni* – *oracle*. Jest to bardzo ważne pojęcie, które robi obecnie karierę w informatyce, choć nie zawsze jest rozumiane wiernie po myśli Turinga. Niewierności te świadczą o płodności pomysłu, który się rozrasta w rodzinę pojęć, spokrewnionych chociaż nie identycznych. Oryginalna myśl Turinga [1938] została przezeń wyrażona we wzmiance bardzo krótkiej, ale na tyle czytelnej, że dwie rzeczy są pewne: (1) wyroczenia znajduje wartość funk-

cji nieobliczalnej, (2) wyrocznia nie jest cechą maszyny, w szczególności nie cechuje tego typu automatów, który nazywamy maszyną Turinga.

Takie odczytanie potwierdzone jest kontekstem tejże pracy. Ów kontekst zawiera znaczące odniesienie do Gödla; mianowicie, jako przykład werdyktu zawdzięchanego wyroczni podaje się twierdzenie o prawdziwości zdania gödłowskiego uzyskane w słynnym rozumowaniu o konsekwencjach zdania stwierdzającego własną niedowodliwość (na gruncie aksjomatów arytmetyki liczb naturalnych i przy założeniu ich niesprzeczności).

Porównanie tego rozumowania z konstrukcją liczby nieobliczalnej przez Turinga wykazuje ten sam rys nieskończonościowy. Zdanie gödłowskie powiada o sobie samym, że nie istnieje dlań dowód sformalizowany czyli taka sekwencja zdań arytmetyki liczb naturalnych, która byłaby algorytmicznym wyprowadzeniem tego zdania z aksjomatów arytmetycznych (przy założeniu ich niesprzeczności). Zbiór sekwencji, o których orzeka się tę negatywną własność, że nie są dowodami rozważanego zdania, jest nieskończony. Jest to jeden z powodów, dla których rozumowanie o prawdziwości zdania gödłowskiego nie może być przeprowadzone przez maszynę; jest on analogiczny do powodu, dla którego maszyna nie może dokonać konstrukcji liczby nieobliczalnej. Drugi powód, swoisty dla Gödla, polega na tym, że pojęcie prawdziwości obecne w rozumowaniu nie da się zakodować arytmetycznie, nie może więc to być zdanie wyprowadzalne z aksjomatów arytmetyki. Gdyby było wyprowadzalne, to w języku arytmetyki, dałoby się wyrazić antynomię kłamcy, a wtedy arytmetyka zostałaby zniweczona przez wewnętrzną sprzeczność (por. Tarski [1995, s.331]).

Wyrocznia w sensie Turinga [1938] jest urządzeniem zdolnym znajdować wartości wszystkich funkcji nieobliczalnych, podczas gdy ludzki umysł potrafi to w odniesieniu tylko do niektórych, nie można więc określać go jako wyrocznię w tym ścisłym sensie. W dalszych rozważaniach ma się na uwadze obiekt zdolny znajdować przynajmniej niektóre liczby nieobliczalne; żeby nie wprowadzać nowego wyrażenia, będę go też nazywał wyrocznią, ale z zastrzeżeniem, że chodzi o zakres szerszy niż w tekście Turinga [1938]. W tym szerszym mieści się umysł ludzki, jak świadczy jego zdolność do akceptacji zdania gödłowskiego, argumentacji przekątniowej itp.

W obecnym wywodzie szczególną rolę odgrywa ta rola wyroczni, która polega na akceptowaniu aksjomatów i reguł, w szczególności aksjomatów arytmetyki i reguł logiki, mających rolę fundamentalną dla konstrukcji całej wiedzy. Takie skonkretyzowanie zadań wyroczni ułatwi sprawę ewentualnym krytykom. Mianowicie tym, którzy z pozycji *algorytmizmu*, zwanego też *komputacjonizmem*, głoszą, że wszelkie racjonalne poznanie jest produktem procesów algorytmicznych, dzięki czemu możliwe jest całkowite zastąpienie inteligencji naturalnej przez sztuczną, także w sferze działania gospodarczego. To ostatnie implikowałoby możliwość, przynajmniej zasadniczą (gdy abstrahować od praktycznej złożoności), centralnego planowania socjalistycznego pojętego, w duchu Oskara Langego, jako proces w pełni algorytmiczny. Otóż jeśli istotnie każdy racjonalny wynik poznawczy, w tym aksjomaty arytmetyki i reguły logiki, zawdzięczamy algorytmom, rzecznicy pojętej jak wyżej SI powinni bronić swego stanowiska przez wskazanie na algorytmy, których produktem są owe aksjomaty i reguły.

Uznając szczególną rolę aksjomatów arytmetyki w konstrukcji ludzkiej wiedzy, nie należy tracić z pola widzenia innych aksjomatów, zwłaszcza ze sfery nauk społecznych będącej tematem obecnych rozważań. Będziemy tu mieć na uwadze nie tylko zdania funkcjonujące aktualnie jako aksjomaty w jakiejś teorii ekonomicznej lecz także aksjomaty niejako potencjalne, to znaczy zdania oczywiste, na tej zasadzie przyjmowane bez dowodu, a zarazem nadające się na aksjomaty teorii dedukcyjnej, jeśliby doszło do jej tworzenia. Wyrocznię funkcjonującą w roli akceptowania tak szeroko pojętych aksjomatów nazywam dalej *wyrocznią aksjomatyczną*.

**3.3.** Po nakreśleniu roli analogowego przetwarzania danych oraz po wprowadzeniu pojęcia wyroczni i jego uszczegółowienia do przypadku wyroczni aksjomatycznej, stajemy przed nową szansą określenia, na czym polega moc obliczeniowa. Pozwoli to z kolei podjąć fundamentalny dla rozwoju społecznego problem właściwej alokacji mocy obliczeniowych.

Zderzamy się w tym punkcie z osobliwą trudnością terminologiczną, sygnalizowaną już wstępnie w ustępie 1.1. Jej źródłem jest paradoksalny zwrot „liczba nieobliczalna”. Z jednej strony, liczba jest właśnie tym, co obliczamy – do takiego rozumienia zobowiązuje odwieczne jej pojmowanie utrwalone w związkach etymologicznych. Nie powinno być więc miejsca na coś takiego, jak liczba nieobliczalna. Z drugiej strony, analiza Turinga [1936] dotycząca procesu obliczania odnosi się do czynności wykonywanych mechanicznie przez rachmistrza, a więc ograniczonych do tych operacji, dla których istnieją przepisy odpowiedniego manipulowania symbolami, mianowicie algorytmy. Historycznym osiągnięciem Turinga jest pokazanie, że ogół tych wypracowanych w matematyce przepisów nie wystarcza, żeby dotrzeć do każdej liczby rzeczywistej; jeśliby ktoś sądził, że wystarcza, to kontrprzykładem jest liczba rozpoznana w wyniku zastosowanej przez Turinga procedury przekątniowej; a choć procedura ta nie jest algorytmiczna, fakt, że prowadzi ona do określenia pewnej liczby daje powód, żeby nazwać ją obliczeniem – w odpowiednio rozszerzonym sensie.

Mając na uwadze ów sens rozszerzony zwrotu *postępowanie obliczeniowe*, a więc obejmujący także znajdowanie wartości funkcji nieobliczalnych, oddajmy sens węższy (dotyczący tylko funkcji obliczalnych) zwrotem *postępowanie algorytmiczne*. Ich wzajemny stosunek wyrazi wtedy stwierdzenie o zawieraniu się właściwym, mianowicie: każde postępowanie algorytmiczne jest obliczeniowe, ale nie każde obliczeniowe jest algorytmiczne. Odpowiednio, ogół środków stosowanych w postępowaniu algorytmicznym nazwiemy *mocą algorytmiczną*, a ogół środków stosowanych w postępowaniu obliczeniowym – *mocą obliczeniową*.

W tym proponowanym rozumieniu, na moc obliczeniową, powiedzmy, jakiejś organizacji składa się, między innymi; (1) posiadany przez nią potencjał algorytmiczny (software’owy) i (2) realizujący go sprzęt (hardware), a nadto (3) zdolności jej członków do analogowego przetwarzania danych i do (4) realizowania funkcji wyroczni aksjomatycznej. Otwarte jest pytanie, jak mają się do siebie wzajem czynniki 3 i 4, ale jest to temat tak nowy i złożony, że w tym momencie nie sposób go podjąć (nie jest to jednak okoliczność, która by utrudniała obecne rozważania).

Wiadomo natomiast o dodatnim sprzężeniu zwrotnym zachodzącym między czynnikami algorytmicznymi (1, 2) z jednej strony i nie-algorytmicznymi (3,4) z drugiej. Strony te wydatnie się nawzajem wzmacniają. Żeby mogły zaistnieć algorytmy arytmetyczne, potrzebne są najpierw jakieś arytmetyczne pewniki i jakieś reguły logiczne, jedne i drugie będące dziełem wyroczni aksjomatycznej. Z kolei, istnienie algorytmów jest niezbędnym wręcz warunkiem dla twórczości matematycznej, odciażając ją od bezmiaru czynności czysto mechanicznych, pod którym zostałaby zduszona.

Ten wzorec interakcji, tak klarownie widoczny w matematyce, powtarza się, nawet jeśli mniej przejrzyście, w innych dziedzinach. W sferze gospodarczej rolę algorytmów lub do algorytmów zbliżoną pełnią precyzyjne przepisy prawne (ustawy państwowe, statuty korporacji etc.), co umożliwia racjonalne decyzje producentów i konsumentów dokonywane na zasadzie analogowej i z udziałem wyroczni aksjomatycznej. Z kolei, działalność utkana z takich decyzji stanowi materiał doświadczalny do dalszego doskonalenia strony algorytmicznej. Polega to na ograniczeniu władzy przepisów, w języku prawno-ekonomicznym zwanym deregulacją, przy jednoczesnym zwiększeniu ich precyzji, korzystnej dla gospodarki (przykładem polska ustawa deregulacyjna o swobodzie działalności gospodarczej, 2004).



**3.4.** Przyjrzyjmy się obecnie, jak działają w sferze gospodarczej moce obliczeniowe nie-algorytmiczne oraz jak wchodzi one w interakcje z algorytmicznymi. Jak głosi z naciskiem Austriacka Szkoła Ekonomiczna, w szczególności von Mises, właściwą metodą ekonomii jest zaczynać od oczywistych pewników. A więc od udania się do wyroczni aksjomatycznej. Rozważmy dla ilustracji następujący Pewnik Progu Użyteczności (ma on pewne podobieństwo do pojęcia *marginal utility* stosowanego w ekonomii i w teorii gier).

PPU. *Dla każdego decydenta istnieje taka liczba rzeczywista wyrażająca użyteczność, że każda liczba mniejsza od niej nie różni się dlań praktycznie od zera.*

Nazwijmy tę liczbę *progiem użyteczności*. Mówiąc, że nie różni się ona praktycznie od zera, chcemy powiedzieć, że decydent zachowałby się tak samo, jeśliby liczba ta wynosiła zero. Anegdotycznym przykładem jest snobistyczny bogacz arogancko zapalający papierosa banknotem studolarowym. Manifestuje on w ten sposób, że użyteczność wyrażająca się w dolarach liczbą sto jest dlań praktycznie zerowa czyli znajduje się poniżej jego progu użyteczności, czego nie da się powiedzieć o biedaku dostającym jako zapomogę sto dolarów miesięcznie.

A oto opowieść prawdziwa o firmie z Białegostoku „Agencji Finansowej Grosik”, która odniosła imponujący sukces dzięki strategii wykalkulowanej na podstawie PPU. Cytuję za relacją w *BusinessWeek* 22 lipca – 4 sierpnia, 2004, s. 11).

Emerytowany nauczyciel z miasteczka Czarna Białostocka, gdzie ludziom raczej się nie przelewa, założył kantorek, w którym można było opłacić wszystkie rachunki i zapłacić za to nieco mniej niż na poczcie czy w banku. [...] Kiedy w styczniu 2001 ruszył pierwszy punkt Grosika, na miejscowym rynku zawrzało. Lokalni giganci, czyli Poczta Polska, Bank Spółdzielczy i PKO BP różnymi sposobami starali się pokonać konkurenta, przedłużając godziny urzędowania i nawet obniżając prowizje poniżej kosztów. Nic to jednak nie pomogło – Grosik wkrótce opanował cały Białystok i okolice. [...] Mamy 230 punktów kasowych i codziennie przybywa nam nowy – cieszy się Mariusz Bieta, prezes Agencji i syn pomysłodawcy. Ten boom trwa od grudnia ubiegłego roku, wcześniej firma nie była gotowa do obsługi tak wielkiej liczby rachunków, prawie 400 tys. miesięcznie. Trzeba było między innymi wynegocjować umowy z bankami i Poczta oraz opracować własny program komputerowy.

Zwrot, że Czarnej Białostockiej ludziom się nie przelewa, kieruje uwagę na wysokość progu użyteczności, którą musieli oszacować założyciele firmy. Jeśli załatwienie miesięcznych rachunków przez Grosik kosztowało, powiedzmy, o trzy złote mniej niż przez dotychczasowych pośredników, to dla człowieka zamożnego jest to kwota niezauważalna, czyli praktycznie równa zeru, czyli poniżej progu użyteczności, nie warto więc dla jej oszczędzenia ponosić fatygi zmiany pośrednika. Inaczej zaś rzecz wygląda z perspektywy osób najbiedniejszych.

Moc obliczeniowa w głowach opisanej rodziny (firmę zakładali Henryk Bieta z żoną i synem) nie mogła być w pierwszej fazie mocą algorytmiczną. Trzeba było mieć jakieś intuicyjne rozpoznanie faktu zapisanego w PPU (dzieło wyroczni aksjomatycznej) oraz wyczuć wielkość PPU u potencjalnych klientów, co było rodzajem analogowego przetwarzania danych. Autor pomysłu musiał wczuć się w stan typowego mieszkańca Czarnej Białostockiej, co jest procesem analogowym, a nadto oszacować liczbę osób tego typu na danym terenie, do czego też nie dysponował algorytmem. Dopiero, gdy te oszacowania wyraził w hipotetycznych liczbach, przyszła pora na użycie prostych algorytmów na działania arytmetyczne, jak pomnożenie projektowanej opłaty przez liczbę oczekiwanych klientów w celu określenia przychodu i odjęcie kosztów w celu określenia zysku.

Przykład ten w sposób typowy ilustruje istotę sukcesu ekonomicznego. Polega ona na właściwej proporcji dobrego pomysłu i starannej kalkulacji. Kalkulacja ma charakter algorytmiczny, pomysł jest tym, co zawdzięcza się wyroczni – tej niepojętej, by nie rzec, cu-

downej zdolności trafnego zgadywania. W przypadku Grosika wyrocznia trafnie oceniła próg użyteczności potencjalnych klientów.

Kolejnym studium przykładu będzie epizod z dziejów firmy F.M., wspomnianej wyżej w ustępie 2.1, przypadający na jej fazę produkcji motoryzacyjnej. Odniesiony sukces brał się w znacznej mierze z faktu, że właściciel wymyślił i zbudował oprzyrządowanie zapewniające odporność kół samochodowych na zgięcia i złamania znacznie większą niż miały koła z fabryk państwowych. Fakt ten okazuje się pouczający dla problemu właściwej alokacji mocy obliczeniowych, gdy go zestawimy z dwoma następującymi zdarzeniami.

Zdarzenie pierwsze. Pewnego dnia F.M. został wezwany do Państwowej Komisji Cen pod zarzutem braku wyceny produktu. Nakazano, żeby cena za koło została udokumentowana ekspertyzą, za którą F.M. musiałby zapłacić, nie wiele przy tym mając szans na korzystny wynik. Żaden bowiem ekspert o mentalności socjalistycznej nie uznałby, że na cenę powinien wpływać wkład pomysłowości technicznej; wzięłby natomiast pod uwagę czas zużywany na mechaniczną obróbkę koła, tym dłuższy, a więc do tym wyższej uprawniającej ceny, im mniej sprawni są ludzie i maszyny. Firma nie wdawała się więc w dyskusję nad principiami, lecz skierowała uwagę Komisji na sprawy proceduralne, stawiając jej zarzut, że przy danym *status quo* niewłaściwie określa ona *onus probandi* (spoczywający na tym, kto kwestionuje status quo, a więc na Komisji, z czego wynikało, że to ona powinna ponieść koszty ekspertyzy). To okazało się wystarczające, żeby Komisja odstąpiła od sprawy.

Zdarzenie drugie. O kołach firmy F.M. dowiedzieli się naukowcy z państwowego Instytutu Badawczego Motoryzacji i poprosili o podzielenie się doświadczeniami. Po wysłuchaniu, na czym polegało rozwiązanie techniczne, zamówili się z powtórnią wizytą na zapoznanie się ze sprawą gruntowniejsze, ale ku rozczarowaniu właściciela do spotkania nie doszło. Ludzie świadomi rzeczy tłumaczyli mu, że nauka i technika socjalistyczna nie może korzystać z rozwiązań rzemieślnika choćby dlatego, że ta droga postępu technicznego nie została ujęta w pięcioletnim planie badawczym Instytutu.

W tych drobnych zdarzeniach kryje się ważny morał dotyczący ustroju gospodarczego i politycznego. Rozpiszemy go na stosowne punkty w następnym odcinku.

#### **4. Wiedza techniczna, orientacja w rynku, inwencja, podmiotowość decyzyjna Alokacja tych aktywów w systemie rynkowym i w systemie CPS**

**4.1.** Trzy pierwsze z wymienionych aktywów mieszczą się w pojęciu mocy obliczeniowej (po odpowiednim poszerzeniu jego zakresu), a czwarte wchodzi z nimi w ścisłe powiązania. Przez *alokację* dóbr, środków itp. rozumie się ich rozmieszczenie, a więc łączenie w jednym miejscu lub rozdzielanie na różne miejsca. Miejsca rozumie się w pewnych przypadkach dosłownie, jako rejony przestrzeni, np. geograficznej, w innych jako działy gospodarki; np. alokacja kapitału w postaci dotacji dla określonej gałęzi przemysłu. Mamy też do czynienia z alokacją siły roboczej, wiedzy, sprzętu itp.

Zdarzenia 1 i 2 z drugiego przykładu w ustępie 3.4 ilustrują alokację w jednej firmie środków niezbędnych do właściwego ustalenia ceny produktu. Wiedza o samochodach i fachowe umiejętności, w tym manualne (ręczne sterowanie obrabiarkami) kierownictwa i pracowników firmy są warunkiem koniecznym dla wytworzenia produktu wysokiej jakości. Świadomość zaś producenta co do niezbędnych kompetencji stanowi jedną z przesłanek do określenia ceny. Tego rodzaju przesłankami nie dysponuje państwowa komisja cen ani ekspert z zewnątrz.

Inną przesłanką, bardziej jeszcze uchwytną, jest reakcja rynku na oferowany produkt, zwłaszcza w sytuacji gdy istnieje konkurencja oferująca taki sam produkt po nie wyższej cenie; wtedy pokupność produktu zależy od tego, jak oceniają użytkownicy jego jakość. Naukowcy z instytutu badawczego motoryzacji zjawili się w firmie F.M., żeby odsetek reklamacji w sprawie kół państwowej produkcji, niepokojąco duży, porównać z ewentualnymi reklamacjami w odwiedzonej przez nich firmie prywatnej. Zjawisko reklamacji skupia jak w soczewce problemy właściwej alokacji wiedzy. Gdy klient przychodzi do producenta z wykrytą wadą produktu, ten

znając tajniki procesu produkcyjnego najlepiej potrafi zaradzić defektom i wyciągnąć wnioski na przyszłość. Skutecznej poprawie jakości służy tu alokacja w jednej firmie wiedzy technicznej i orientacji na bieżąco w sytuacji na rynku. Nie zachodzi przy tym potrzeba opisu werbalnego, ponieważ producent widzi własnym okiem na czym wada polega, a może nawet czuje we własnych rękach, jak trzeba będzie pokierować tokarką, żeby produkt poprawić. Zachodzi tu więc analogowe, nie zaś symboliczne przetwarzanie informacji. Świadomość producenta co do jego własnej sprawności w reagowaniu na zdarzenia rynkowe (jak reklamacje) jest kolejnym współczynnikiem jego kompetencji w ustalaniu ceny, nieosiągalnym dla urzędników z państwowej komisji cen, w której nie ma śladu styczności ani z rynkiem ani z techniką produkcyjną. Producent po prostu wie, że ma szansę na cenę taką to a taką, wyższą niż w firmie nie mogącej zaoferować tak sprawnie nadążającego za produkcją serwisu.

Orientacja w stanie rynku, w zakresie interesującym danego producenta czy kupca, ma za składnik podstawowy wiedzę o popycie. Gdy zachodzi w jednej i tej samej firmie alokacja wiedzy o popycie, mocy produkcyjnych i możliwości podejmowania decyzji, trafna reakcja na popyt jest najlepiej dostosowana do jego rozmiarów i możliwie najszybsza. Tam natomiast, gdzie te czynniki są rozdzielone, trafność i tempo reakcji są nieporównanie gorsze, niekiedy wręcz przyjmujące wartość zerową.

**4.2.** Na osobną uwagę zasługuje czynnik inwencji. Osobliwie ten czynnik jawi się w ludzkiej świadomości. Kogokolwiek by zapytać na ulicy, czy uważa go za ważny dla gospodarki, odpowie z przekonaniem twierdząco; wszak nawet dziecko wie, że nie byłoby gospodarki, a więc człowiek na wzór zwierząt żywiłby się tylko tym, co znajdzie gotowe w przyrodzie, gdyby nie wynaleziono ognia, koła, żagla, metod uprawy roli, wytopu metali, pisma, arytmetyki itd. itd. Z drugiej jednak strony, niektóre wielce znaczące teorie ekonomiczne, jak i niektóre gigantyczne programy badawcze, są tak skonstruowane, jak gdyby nie istniało w świecie nic takiego jak pomysłowość, wynalazczość, twórczość naukowa i techniczna. A w każdym razie, jak gdyby znaczenie ekonomiczne tego czynnika było równe zeru. Przykładem takiej teorii jest doktryna ekonomiczna Marksa, a przykładem projektu badawczego – aktywność prognostyczna Klubu Rzymskiego przejawiana w jego słynnych raportach.

U Marksa rzecz najdobitniej widać w jego koncepcji wartości dodatkowej jako czegoś, co powstaje w wyniku przetworzenia surowca na produkt, a więc obiekt o wyższej niż surowiec wartości, a co jest wyłącznie – jego zdaniem – dziełem robotnika. Stąd Marks uważa, iż cała ta nadwartość należy się robotnikowi, a kto mu jej w całości nie przyznaje, gwałci zasadę sprawiedliwości społecznej. W tym schemacie myślowym żadna część zysku nie należy się wynalazcy maszyny, na której pracuje robotnik, ani organizatorowi produkcji, ani temu, kto się zatroszczy, żeby produkt został sprzedany miast zalegać magazyny, ani temu, kto miał pomysł założenia fabryki, ani właścicielowi, który podjął ryzyko inwestując swój kapitał, ani bankierowi, który udzielił kredytu. Ta radykalna odmowa uznania jakiegokolwiek wkładu w gospodarkę kogokolwiek poza robotnikiem fizycznym usprawiedliwia ideę krwawej rewolucji. Robotnik ma moralne prawo odebrać zagrabione mu mienie, a jeśli ktoś będzie się opierał, to będzie celowe i moralnie słuszne poddać go fizycznej likwidacji. Istotą tej doktryny u jej początków jest totalne negowanie, iżby wiedza fachowa i związana z nią twórczość były czynnikami znaczącymi gospodarczo. Przy próbach wcielania jej w życie owa doktryna, ostatecznie, legitymizowała wszechwładzę monopartyjnej biurokracji. Ta bowiem, przypisując sobie tytuł awangardy proletariatu, pretendowała do reprezentowania jego niezastąpionej mądrości, co tłumaczyło odsuwanie od decyzji gospodarczych elementu mniej oświeconego, jak inżynierowie czy ekonomiści; tak w Chinach Mao Tse Tung jego czerwona książeczka dostarczała niezawodnych instrukcji w

każdej sprawie, tak Stalin rozstrzygał z łatwością wszelkie problemy ekonomiczne, hodowlane, językoznawcze itd.

Trudno powiedzieć, czy to z natchnienia marksowskiego, czy z innego, grono intelektualistów skupione w Klubie Rzymskim w latach sześćdziesiątych 20-go wieku ogłosiło prognozę dotyczącą losów ekonomicznych ludzkości na progu następnego stulecia. Ludzkość miała się w tym czasie załamać pod ciężarem kryzysów ekonomicznych, wyczerpania surowców, dewastacji środowiska naturalnego. Był to obraz uzyskany przez wnioskowanie z prawdziwych danych, którymi załadowano dyski potężnych komputerów w MIT, a te przetwarzając dane pod dyktando odpowiednich algorytmów, poprawnie doszły do owego dramatycznego obrazu. Jak to możliwe, że z prawdziwych danych przy poprawnych algorytmach dochodzi się do fałszywych wniosków? Odpowiedź jest prosta. Model operował prawdziwymi danymi z przeszłości, a nie uwzględniał tego, że przyszłość kształtowana jest przez ludzkie poszukiwania rozwiązań, które zapobiegałyby katastrofom i ulepszały zastaną rzeczywistość. Rozwiązań w postaci odkryć naukowych, wynalazków technicznych, doskonalenia instytucji politycznych, ulepszania procesów decyzyjnych itd. Dlaczego nie uwzględniał, choć taka strategia prognozowania raz już jawnie zawiodła u Malthusa? Trudno się zagłębiać w tajniki motywacji autorów, ale obiektywnie sytuacja jest taka, że czynnik inwencji jest ze swej natury nieprzewidywalny, gdyby zatem chcieć go uwzględnić, to Raport Klubu Rzymskiego w ogóle by nie powstał, a więc nie zaistniałoby ileś błyskotliwych karier (za przykład może służyć respekt, z jakim wymienia się w Polsce nazwisko Adama Schaffa jako uczestnika Klubu Rzymskiego). A Post Scriptum co do strategii prognostycznej można dodać takie: gdyby Raport Rzymski powstał, gdy nie było jeszcze Rzymu, powiedzmy, w epoce jaskiniowej, twierdziłby w wariancie optymistycznym, że ludzkość będzie zawsze żyć w jaskiniach, a w wariancie pesymistycznym, że ulegnie zagładzie w wyniku nadmiernego rozmnożenia się i skonsumowania wszystkich zasobów żywności.

Czynnik inwencji jest kłopotliwy nie tylko z powodów, dla których wołał zapomnieć o nim Marks, czy dla których przeoczył go Klub Rzymski. Uznawać jego istnienie to wchodzić w konflikt z pewnym rodzajem poprawności akademickiej, który funkcjonuje podobnie jak znany schemat poprawności politycznej. Ta akademicka obowiązuje w licznych kręgach uprawiających *cognitive science* i *Strong Artificial Intelligence* na gruncie aksjomatycznie przyjętego poglądu, że czegoś takiego jak umysł w ogóle nie ma, mózg zaś to nic innego, jak maszyna Turinga – ograniczona jeszcze tym, że w odróżnieniu od swego idealnego modelu ma pamięć tylko skończoną. W myśl tego poglądu każdy proces myślowy ma charakter algorytmiczny. Trzeba więc twórczym pomysłem odmówić miana procesów myślowych albo wskazać wchodzący w grę algorytm. To drugie dotąd się nie udało, algorytmistom pozostaje więc wierzyć, że kiedyś się uda. Mianowicie, skonfrontowani z istnieniem wyroczeni w sensie Turinga, to jest, zdolności rozwiązywania problemów dla których nie ma algorytmu, muszą zająć stanowisko, że algorytm taki da się stworzyć, gdy wzmocni się aksjomatykę na miarę nowego zadania. Skąd jednak mają się brać nowe aksjomaty? Czy dla ich akceptacji trzeba po raz kolejny odwołać się do wyroczeni? Czy raczej przyjmując, że wyroczeni nie ma, bo tak naprawdę, to za danym rozwiązaniem stoi jakiś nieznany algorytm, jeszcze wyższego rzędu, któremu nadaje prawomocność kolejna mocniejsza aksjomatyka, za którą stoi jeszcze wyższego rzędu algorytm, i tak dalej? Właściwie takiej wierze w nieskończony rytm aksjomatów i algorytmów nic nie stoi na przeszkodzie, zapewne nie grozi jej kompromitacja w postaci wewnętrznej sprzeczności, ale algorytmiści nie wydają się skłonni do roztaczania takich perspektyw, a raczej do chowania problemu w cień. Może dlatego, że kolejne aksjomaty, gdy chodzi o matematykę, wymagają wchodzenia na coraz bardziej abstrakcyjne piętra teorii mnogości, a więc jakby szybowania ku „niebu platońskiemu”, które dla rzeczowej poprawności jest miejscem szczególnie obmierzłym.

Gdy mowa o alokacji innych niż inwencja aktywów ekonomicznych, jest ona odmienna w systemie CPS niż w wolnorynkowym ale, choć w różnych konfiguracjach, środki te występują po obu stronach. Gdy idzie natomiast o inwencję, jej obecność po stronie CPS jest skrajnie ograniczona. Wynika to z samej natury centralnego planowania. Pomysłowości nie można zaplanować. A jeśli pojawi się w jakimś kraju, w którym system CPS nie jest na tyle doskonały, żeby zapobiec czemuś takiemu, jak np. produkcja kół w firmie F.M., to prędzej czy później inwencja i tak uwiednie. Może to być skutek bezpośrednich represji, jak widać w próbie zniszczenia firmy F.M. karami za „nieprawną” cenę kół, może być skutkiem nowych regulacji, które zwyczajnie zakazają produkcji innej niż państwowa, albo skutkiem postępującego braku zaopatrzenia w surowce i narzędzia, w miarę jak gospodarka planowa coraz bardziej staje się gospodarką niedoboru.

W pewnym zakresie w systemie CPS pojawiają się nowe rozwiązania konstrukcyjne, ale dokonują się one zawsze w ramach wyznaczonych przez państwo zadań czy to militarnych czy na inne sposoby związanych z państwową makropolityką. Pojawiają się więc własne konstrukcje czołgów czy statków kosmicznych, ale nie zdarza się wymyślenie i wdrożenie do seryjnej produkcji nowego rodzaju przedmiotów codziennego użytku, które przecież decydują o stanie cywilizacji. Gdy w gospodarce rynkowej ktoś wymyślił lodówkę, komputer, czy choćby długopis, to w CPS pojawiają się wtedy działania imitacyjne, które w jakiejś części mogą zawierać własne rozwiązania techniczne. Ale wprawdzie nowy produkt pojawia się w jakimś kraju o systemie rynkowym, potem władza państwowa w kraju CPS podejmuje decyzję o jego produkcji w ramach ogólnego planu gospodarczego, i dopiero tu pojawia się miejsce na jakieś cząstkowe własne rozwiązania.

Przy takim trybie funkcjonowania gospodarki innowacje muszą być niedoskonałe i opóźnione; zarazem, ograniczone do tego, co nie przekracza wyobraźni centralnych planistów, a to implikuje marnowanie się kolosalnego potencjału pomysłowości. Jak zatem widać, system CPS pozbawia się aż do granic autodestrukcji tak potężnego i niezbędnego w rozwoju gospodarczym czynnika mocy obliczeniowej, jakim jest nieskrępowana pomysłowość jednostek, dysponujących prawem do realizowania pomysłów i potrzebnymi do tego środkami. W tej więc dziedzinie należyta alokacja mocy obliczeniowych okazuje się na dłuższą metę osiągalna tylko w gospodarce rynkowej.

## 5. Moc obliczeniowa a sprawność w rozwiązywaniu problemów

**5.1.** Intencją tego eseju jest wprowadzenie pojęcia mocy obliczeniowej do badań społecznych. A dokładniej, do tych obszarów badawczych, w których podejmuje się ocenę struktur społecznych, jak państwo, rynek, firma etc., pod względem sprawności w rozwiązywaniu stających przed nimi problemów. Jest to dla nauk społecznych zagadnienie najżywotniejsze. To jego dotyczy wielki spór, czy zadania państwa lepiej się rozwiązuje w strukturze państwa demokratycznego, czy totalitarnego, a problemy dobrobytu i rozwoju czy lepiej rozwiązuje wolny rynek czy planowanie centralne.

Jest więc zrozumiałe, że zajmowali się tą kwestią myśliciele wszelkich epok, poczynając co najmniej od Platona i Herodota. Herodot w *Dziejach* opisuje dyskusję, w której podawano argumenty za i przeciw w stosunku do trzech koncepcji ustrojowych, monarchii absolutnej, oligarchii i demokracji. Przeciw monarchii jeden z dyskutantów wysuwa argument, że jedynowładca nie jest w stanie nie żywić pychy, a stan taki zakłóca prawidłowe rozwiązywanie problemów państwowych. Stąd, mówca optuje za demokracją, na co jego oponent zauważa, że nieposkromiona buta cechuje także mało oświecony tłum, proponuje więc rządy oligarchii – nielicznej

grupy najlepszych. (fragment z Herodota w: Peter Rietbergen, *Europa. Dzieje kultury*, Książka i Wiedza, Warszawa 2001, s.41n).

Powyższa relacja Herodota z kursujących w jego czasach poglądów obrazuje jeden z kierunków myślenia w sprawie optymalnego funkcjonowania struktur społecznych – kierunek polegający na szukaniu przesłanek w sferze moralnej. Równie częste jak etyczna są koncepcje teologiczne, jak ta, że czołowa w danej strukturze postać zawdzięcza prawidłowe rozwiązywanie problemów odgórnego iluminacji (nieomyślność papieża itp), oraz historiozoficzne. Te ostatnie barwnie ilustruje marksistowska idea, że na mocy praw dziejowych tylko proletariatus posiada mądrość niezbędną do urządzania państwa i gospodarki, a w imieniu proletariatus reprezentuje tę mądrość partia będąca jego awangardą, a w imieniu tej partii jej komitet centralny, a w imieniu komitetu biuro polityczne, a w imieniu biura pierwszy sekretarz.

**5.2.** W obecnym ujęciu, sprawność rozwiązywania problemów przez indywidualny umysł lub przez układ społeczny (inaczej, strukturę społeczną) jest utożsamiona z mocą obliczeniową układu. Zaletą tego ujęcia jest to, że moc obliczeniowa różnych układów da się porównywać (przynajmniej w pewnych punktach), co jest trudniejsze lub wręcz niemożliwe w odniesieniu do koncepcji etycznych, teologicznych czy historiozoficznych. Możliwość porównywania ma żywotne znaczenie praktyczne, dostarczając racjonalnych przesłanek do wyboru między różnymi opcjami, forsowanymi nieraz mniej racjonalnie, z dużym ładunkiem ideologicznym i emocjonalnym.

Żeby ta potencjalna zaleta mogła się zrealizować, należy pojęcie mocy obliczeniowej wyposażyć w kryteria porównawcze, jakimi są poniżej warunki W1-W6. Zamiast terminu „moc obliczeniowa” wprowadźmy w tym celu predykat relacyjny: **ze względu na klasę problemów  $k$  układ  $x$  ma większą moc obliczeniową niż układ  $y$** . Wytłuszczenie wyróżnia w tym zdaniu predykat, który dla skrótu oddawany będzie dalej (w kontekście swych argumentów) symbolem:  $>_k(x, y)$ .

Predykat ten jest definiowany za pomocą pewnej liczby określeń cząstkowych podających warunki wystarczające, od W1 do W6. Zdanie W1 zawiera pojęcie rozstrzygalności zasadniczej, oddawane skrótowo terminem „z-rozstrzygalność”, które w podręcznikach logiki i w innych kontekstach wyrażane jest terminem „rozstrzygalność” bez przymiotnika. Chodzi tu o rozstrzygalność w zwykłym, przyjętym w logice znaczeniu, przy którym cecha ta przysługuje np. rachunkowi zdań, a nie przysługuje rachunkowi predykatów pierwszego rzędu. Zastosowanie w W1 przydawki „zasadnicza” tłumaczy się potrzebą odróżnienia od rozstrzygalności praktycznej (ang. *computational tractability*), w skrócie p-rozstrzygalności, o której mowa w W2.

W każdym ze sformułowań warunków rozwiązywalności pojawia się klauzula „caeteris paribus”, to znaczy: gdy własności określone przez pozostałe warunki są w danym przypadku takie same. Na przykład, jeśli układy  $x$  i  $y$  spełniały po równi wszystkie warunki z wyjątkiem W5, gdzie różnica byłaby na korzyść układu  $x$ , świadczyłoby to, że  $x$  góruje nad  $y$  mocą obliczeniową. Jeśli układy różnią się w więcej niż jednym punkcie, wtedy bądź przestają być porównywalne, bądź porównanie w celu ustalenia wyższości jednego z nich wymaga przeanalizowania relacji między danymi cechami. Oto warunki dotyczące przewagi w mocy obliczeniowej.

W1. Jeśli – caeteris paribus – każdy problem z klasy  $k$  z-rozstrzygalny przez  $y$  jest z-rozstrzygalny przez  $x$ , przy czym istnieją problemy klasy  $k$ , które nie są z-rozstrzygalne dla  $y$ , a są z-rozstrzygalne dla  $x$ , to  $>_k(x, y)$ .

Przykład. Niech klasę  $k$  stanowią problemy tautologiczności formuł logiki pierwszego rzędu takich, że wszystkie kwantyfikatory ogólne stoją przed egzystencjalnymi. Jeśli układ  $x$

(człowiek, komputer etc.) dysponuje regułami całej logiki pierwszego rzędu (np. regułami tabel semantycznych Betha), podczas gdy  $y$  tylko algorytmem zerojedynkowym, to  $>_k(x, y)$ .

W2. Jeśli – caeteris paribus – każdy problem z klasy  $k$ , będąc  $p$ -rozstrzygalnym dla  $y$  jest też  $p$ -rozstrzygalny dla  $x$ , przy czym istnieją problemy klasy  $k$ , które nie są  $p$ -rozstrzygalne dla  $y$ , a są  $p$ -rozstrzygalne dla  $x$ , to  $>_k(x, y)$ .

Przykładem braku  $p$ -rozstrzygalności jest klasa pytań o tautologiczność formuł rachunku zdań, w których występuje określona, bardzo wielka, liczba zmiennych, powiedzmy tysiąc. Każdy problem z tej klasy jest  $z$ -rozstrzygalny, ale wykonanie  $2^{1000}$  operacji obliczeniowych wymagałoby czasu nieosiągalnego nawet w przypadku najpotężniejszych maszyn. Przy odpowiednio mniejszych liczbach bywa tak, że co dla jednego układu, dzięki posiadaniu przezeń należycie wydajnych algorytmów, jest wykonalne przy danych zasobach czasu, pamięci itp. nie jest przy tychże zasobach wykonalne dla drugiego; wtedy powiemy o drugim, że ma mniejszą moc obliczeniową.

W3. Jeśli – caeteris paribus – dla rozwiązania jakiegokolwiek problemu z klasy  $k$  układ  $x$  dysponuje wyrocznią, jaką nie dysponuje  $y$ , to  $>_k(x, y)$ .

Pojęcie wyroczni i jego związek z problematyką społeczną zostały omówione w odcinku 3, gdzie można też znaleźć odpowiednie przykłady.

W4. Jeśli – caeteris paribus – rozwiązanie jakiegokolwiek problemu z klasy  $k$  przez  $x$ , dzięki posiadaniu przezeń wydajniejszej organizacji procesu obliczeniowego, wymaga mniej zasobów (czasu, pamięci itp.) niż jego rozwiązanie przez  $y$ , to  $>_k(x, y)$ .

Termin „organizacja procesu obliczeniowego” obejmuje tu różne typy przetwarzania informacji, które w angielskim określane są słowem *computing* z różnicującymi przydawkami, w szczególności przydawkami: *distributive*, *interactive*, *analog*, to jest (odpowiednio), przetwarzanie dystrybutywne, interaktywne i analogowe. Te trzy dobrze się nadają do porównania struktur scentralizowanych, jak dyktatura czy gospodarka centralnie planowana, ze strukturami przeciwnego rodzaju. Te drugie, jak demokracja i wolny rynek, cechują się – jako systemy przetwarzania informacji – organizacją procesów przetwarzania dystrybutywną (liczne ośrodki decyzyjne przetwarzające informację pod kątem przygotowania własnych decyzji), interaktywną (reagowanie bezpośrednio na bodźce z otoczenia, bez konieczności werbalnego raportowania do centrali i oczekiwania stamtąd na dyrektywy) oraz analogową (o czym była wyżej mowa w rozbudowanych anegdotycznie przykładach). Ponieważ każdy z tych rodzajów przetwarzania jest efektywniejszy od swego opozycyjnego odpowiednika, daje to podstawy do stwierdzenia o przewagach mocy obliczeniowej wolnego rynku i systemów demokratycznych, samorządowych itp.

W5. Jeśli – caeteris paribus –  $x$  ma zasób danych (wiedzy) niezbędnych do rozwiązania jakiegokolwiek problemu z klasy  $k$ , podczas gdy  $y$  nie ma takiego zasobu, to  $>_k(x, y)$ .

Poprzednie warunki dotyczyły procesów przetwarzania informacji, obecny dotyczy jej wartości i rozmiarów. Jest oczywiste, że ten układ ma większą zdolność rozwiązywania problemów, który dysponuje większym zasobem potrzebnych do tego celu informacji czyli większą wiedzą. Pomimo, że wchodzi tu w grę inny niż w poprzednich warunkach aspekt, są powody, żeby i ten podciągnąć pod pojęcie mocy obliczeniowej. Przekonujących precedensów dostarcza porównywanie teorii formalnych aksjomatyzowanych. Jeśli teoria A jest bogatsza od teorii B w sensie posiadania dodatkowych aksjomatów, np. teoria mnogości po dołączeniu pewnika wyboru, to powiększa się zbiór problemów dających się dzięki temu rozwiązać, czyli obliczeń dających się wykonać, co oznacza większą moc obliczeniową.

W6. Jeśli – caeteris paribus –  $x$  dysponuje większym niż  $y$  zasobem środków fizycznych niezbędnych do rozwiązania jakiegokolwiek problemu z klasy  $k$ , to  $>_k(x, y)$ .

Określenie to, w odróżnieniu od poprzednich, wyraża nie pojedynczy warunek, ale schemat wielu warunków, w których za zwrot „środki fizyczne” będzie się kolejno podstawiać różne parametry sprzętowe, jak szybkość procesora, pojemność pamięci, przepustowość łączy itp. Podczas gdy poprzednie warunki dotyczą kategorii software’u, ten ma na uwadze różnice mocy obliczeniowej biorące się z hardware’u.

**5.3.** Postulaty W1-W6 nie w pełni definiują pojęcie mocy obliczeniowej; każdy z nich wyraża tylko jeden warunek wystarczający. Obejmują one jednak na tyle różnorodne przypadki, że alternatywa podanych warunków wyznacza zakres zbliżony do zakresu predykatu „ma większą moc obliczeniową niż”, zakresu, którym jest pewien zbiór par układów. Jaki pożytek z tak określonego pojęcia mocy obliczeniowej mogą odnieść nauki społeczne? Rozpatrzmy to na przykładach.

Jednym z wielkich zagadnień nauk społecznych jest wyjaśnianie i przewidywanie wzrostu lub regresu potęgi struktur społecznych. Może to być potęga ekonomiczna, polityczna, militarna, może też być mierzona wielkością wpływów wywieranych na jakies sąsiednie układy (struktury). Tak można rozważać siłę państw, firm, kościołów, tajnych stowarzyszeń czy innych organizacji.

To, że tego rodzaju siła zależy od wiedzy posiadanej przez układy społeczne nie jest wielkim odkryciem (choć są społeczeństwa, które jakby tego nie były świadome). Ma to jednak pewne mniej może widoczne konsekwencje, mianowicie pojawianie się sprzeczności w systemie wiedzy, na którym opierają się działania zbiorowe. Bywa, że sprzeczność czai się od początku, bywa też, że pojawia się w wyniku asymilowania przez system nowych danych, biorących się z jego własnego doświadczenia czy z kontaktów z otoczeniem (tak do systemu komunistycznego dołączano wnioski z sukcesów kapitalizmu, czynione pod presją faktów, ale zarazem roszadujące system powstającą stąd niespójnością). Sprzeczności podkopują moc obliczeniową układu w sferze opisanej przez W5, ponieważ odbierają zdolność odróżniania prawdy od fałszu, co może redukować potencjał wiedzy nawet do zera; szkody są większe lub mniejsze, w zależności od tego, która i jak duża część systemu jest nimi dotknięta oraz od stopnia trudności ich usunięcia.

Choć powyższa diagnoza jest oczywista z punktu widzenia logiki, zdaje się ona niezwykle rzadko (jak można sądzić z obserwacji) nawiedzać umysły obserwatorów. Ci nieliczni, którzy przewidywali np. upadek bloku sowieckiego z powodu sprzeczności w jego doktrynie prawie nigdy nie mogli liczyć na zrozumienie czy uwagę, nie mówiąc o aprobachie, ze strony otoczenia, nawet otoczenia wykształconego socjologicznie i logicznie. A przecież nazizm i komunizm, w które jako cechę strukturalną wbudowano posługiwanie się kłamstwem oraz nasycono je swoistą mitologią, wikły się w sprzecznościach; te zaś wiodły do samounicestwienia doktryny i wspieranego przez nią reżimu. Inny przykład podkopywania systemu przekonań przez sprzeczność napotyka się, gdy próbuje się diagnozować dotkliwe dziś problemy moralne duchowieństwa. Analizując aktualny stan doktryny, dostrzegamy, że jej konfrontacja z nauką jak i ze współczesnymi (powstałymi poza Kościołem lecz przenikającymi doń „ze świata”) standardami moralnymi, jak idea poddawania rządzących kontroli rządzonych, czy odrzucenie zasady odpowiedzialności zbiorowej (będącej u podstaw nauki o grzechu pierworodnym i wykupieniu zeń przez ofiarę Chrystusa), prowadzi do sprzeczności z dotychczasowym stanem doktryny. Tego rodzaju zaś niezgodności odbierają doktrynie moc wyzwalań motywacji etycznej u tych, którzy pęknięcia takie wyczuwają (jeśli nie w sposób świadomy, to jakimś „podskórnym” instynktem



logicznym). Skutkuje to zmniejszeniem zdolności do rozwiązywania problemów, w tym przypadku etycznych, a więc zmniejszeniem mocy obliczeniowej posiadanej przez instytucję.

**5.4.** Żeby skonkretyzować przykładowo W4, weźmy rzecz na warsztat łącznie z warunkiem W3, który nawiązuje do inspirującej idei Turinga [1938]. Nazwał on wyrocznią, przypomnijmy, urządzenie, które może współpracować z maszyną Turinga (nie jest jednak jej częścią), mając za zadanie znajdować wartości funkcji nieobliczalnych. Choć nie jest to projekt realistyczny, Turing dostrzegał jego częściową, a więc przybliżoną, realizację w zdolności ludzkiego mózgu do rozpoznawania prawdziwości zdania gödłowskiego i do podobnych temu rozstrzygnięć; wprowadził więc pojęcie wyroczni jako idealny przypadek, dopuszczając jego urealnianie przez odpowiednie osłabienia. Żeby odnieść z tego pojęcia korzyść w definiowaniu realnej mocy obliczeniowej, trzeba je dalej osłabić, przyjmując, że nie jest ona nieomylna, ma natomiast zdolność uczenia się na własnych błędach, a więc przybliżania się do trafnych rozwiązań. Ponadto, co do sposobu korzystania z wyroczni, przyjmijmy, że może ona włączać się do akcji także wtedy, gdy funkcja, której wartości szukamy jest obliczalna, ale nie dysponujemy algorytmem potrzebnym do jej obliczenia (np. w sytuacji, gdy algorytm ten wymagałby jakiejś przyszłej, jeszcze nie istniejącej, teorii matematycznej).

Powyższą charakterystykę spełnia zdolność organizmów i umysłów do przetwarzania danych w sposób analogowy, toteż tak zmodyfikowane (w stosunku do oryginału Turinga) urządzenie nazwiemy *wyrocznią analogową*. Od maszyny Turinga różni się ona wyraziście tym rysem, że informacje przez nią przetwarzane nie są kodowane w zapisie cyfrowym ani w jakimkolwiek innym zapisie dokonany za pomocą symboli pochodzących z konwencji. Przetwarzanie analogowe, obywając się bez ludzkich konwencji, dokonuje się według praw przyrody czyli funkcji określających sposób, w jaki pewien proces zostaje odwzorowany w innym procesie (np. mechaniczny, jak drgania membrany telefonu, odwzorowany w elektrycznym).

Rozpatrzmy działanie wyroczni analogowej na przykładzie funkcjonowania umysłu oficera dowodzącego walką na kilku sąsiadujących ze sobą odcinkach frontu. Dostrzegając, że na jednym odcinku nieprzyjaciel zyskuje przewagę, musi on oszacować jak wielka to przewaga, żeby określić wielkość posiłków, które przysłałby z innego odcinka. Swego oszacowania nie wyrazi on w tych warunkach żadnym zapisem symbolicznym (nawet jeśli w innych warunkach byłoby możliwe dokładne policzenie liczby żołnierzy, siły ognia itp.). Ma natomiast, jako doświadczony dowódca, zapamiętane porównawczo podobne sytuacje i to, jak na nie reagował i z jakim sukcesem. Ma on do czynienia z przedziałami wielkości, co pozwala operować relacją większości, choć brak jest symbolicznego zapisu pojedynczych wielkości. Jest to więc jakaś matematyka, ale nie matematyka algorytmiczna. Brak algorytmiczności czyli niemożliwość zastosowania maszyny Turinga wymaga, żeby uciec się do innego urządzenia, a jest nim tutaj wyrocznia analogowa.

Jej stosowanie łączy się z interaktywnością i dystrybucyjnością przetwarzania informacji, o czym była wyżej wzmianka w komentarzu do W4. Interaktywność dowódcy kierującego bezpośrednio walką odróżnia go od stosunku, jaki do tej samej sytuacji miałyby kwatera główna całej armii danego kraju. Przypuśćmy, że jest technicznie możliwe, żeby w sytuacji decyzyjnej opisanego dowódcy przesyłał on, a także tysiące innych dowódców niskiego szczebla, meldunki do odległej o tysiące kilometrów kwatery głównej z opisem sytuacji. Na podstawie takich opisów głównodowodzący rozsyłałby na wsze strony rozkazy w sprawie wykonania odpowiednich manewrów, rozkazy opracowane w wyniku zastosowania odpowiednich algorytmów. Nic jednak nie pomoże taka techniczna sprawność komunikacji, jeśli opis sytuacji nie da się zakodować w symbolach cyfrowych. Wtedy pozostaje oszacowywać „na oko” wchodzące w grę wielkości, a

w razie błędów oszacowania korygować je w sposób tak samo intuicyjny. Takie prowadzące do korekt uczenie się da się porównać z sytuacją strzelca, którego oko ocenia wielkość odchylenia od celu, odwzorowuje tę wielkość w mózgu, a ten ją odzorowuje w stanach mięśni mających sterować strzelbą przy następnej próbie. Teoretycznie wyobraźalnym ekwiwalentem takiego procesu analogowego mógłby być proces cyfrowy, a więc pomiar wszystkich parametrów dokonywany przez przyrządy i przetworzenie tych danych przez odpowiednio mocne algorytmy. Przypuśćmy, że taki ekwiwalentny proces cyfrowy jest możliwy, ale ze względu na złożoność algorytmów obliczanie zajęłoby rok, podczas gdy żywy strzelec wykonuje to w ułamku sekundy. Powiemy wtedy, że strzelec dysponuje większą mocą obliczeniową niż opisany zestaw pomiarowo-komputerowy, a ma ją dzięki cechom analogowości i interaktywności.

Gdy wrócimy do przykładu z dowódcą, okazuje się, że aby uzyskać te dwie cechy, musi się uprawiać obliczanie dystrybucyjne czyli zdecentralizowane. Skoro bowiem zarządzanie tak skomplikowanym procesem jest niemożliwe dla kwatery głównej, trzeba upoważnić do decyzji, a więc i do wykonywania procesów obliczeniowych, decydentów lokalnych z różnych szczebli dowodzenia. Armia funkcjonująca na tej zasadzie wykaże się większą mocą obliczeniową niż armia, w której zasada maksymalnej centralizacji czyni niemożliwym usprawnienie procesów obliczeniowych na zasadzie analogowości, pociągającej interaktywność i dystrybucyjność. Poruczającym na to przykładem jest porównanie funkcjonowania sztabów sowieckich i niemieckich w czasie drugiej wojny światowej, dokonane przez znanego historyka wojskowości Wiktora Suworowa. Dla zaostrenia konturów opisu, przerysowałem rzecz wyżej w kierunku skrajnego absurdu, kiedy to dowódcy najniższego szczebla musieliby każdy ruch uzgadniać z naczelnym dowództwem. W realnym świecie opisanym przez Suworowa było tak, że sowiecki dowódca frontu mógł według swego uznania dysponować nie tylko piechotą lecz także lotnictwem, w zależności od swego dokonanego na miejscu rozpoznania sytuacji, podczas gdy dowódca niemiecki nie miał prawa tego uczynić bez zgody głównego dowódcy floty powietrznej Hermana Göringa, który jednak musiałby uzyskać w tym celu upoważnienie samego Hitlera. A jeśli trzeba by wezwać na pomoc dywizje SS, analogiczna procedura musiałaby być uruchomiona z udziałem Himmlera jako szefa SS (zob. Wiktor Suworow, *Samobójstwo*, Wyd. Adamski i Bieliński, Warszawa 2002, s. 161nn). Ten sposób działania, w którym krańcowa centralizacja wyklucza dystrybucyjność, a wraz z nią interaktywność wyroczni analogowej, obniża drastycznie moc obliczeniową układu w dwóch wymiarach: zmniejsza szanse trafności decyzji oraz niepomiarowo ją opóźnia w warunkach, gdy trzeba decydować błyskawicznie.

Parabola wojskowa dobrze oddaje istotne powody przewag gospodarki rynkowej, a więc korzystającej z dobrodziejstw, jakimi są analogowość, interaktywność i dystrybucyjność procesów obliczeniowych, czyli procesów przetwarzania informacji. W przypadku rynku mamy do czynienia z jeszcze jednym rysem, który stanowi o mocy obliczeniowej układu. Jest nim zdolność do *samoorganizacji*, w wyniku której z iluś układów liczących (w sensie obejmującym także obliczenia analogowe) powstaje całość o nieporównanie większej mocy obliczeniowej niż ta, jaką dałoby zsumowanie mocy składników. Tę całość ma na myśli analityk giełdowy, gdy np. powiada, że na ograniczenie dostaw ropy rynek zareagował wzrostem jej ceny. Fenomen ten Hayek nazywał samorzutnym łaodem (*spontaneous order*, a Smith niewidzialną ręką. Dziś potrafimy go zrozumieć nawet lepiej niż klasycy ekonomii, a to dzięki badaniom, w których się symuluje samoorganizację, za model obliczeniowy biorąc automaty komórkowe; automaty reprezentują graczy starających się maksymalizować zyski wedle reguł branż z teorii gier i decyzji (omówienie tego rodzaju badań przekraczałoby ramy niniejszego tekstu, pozostaje więc poprzestać na niniejszej wzmiance).

Dodajmy „kropkę nad i”: zdolności do samorganizacji gospodarczej brak w systemie centralnego planowania, a zdolności do samoorganizacji politycznej brak w ustroju dyktatorskim. Obniża to drastycznie moc obliczeniową, a więc czyni te systemy słabszymi w konkurencji z systemami wolnego rynku i demokracji; spektakularnym tego przejawem jest przegranie zimnej wojny przez Związek Radziecki.

**5.5.** Patrząc na struktury organiczne i struktury społeczne pod kątem ich zdolności do przetrwania i rozwoju, zauważamy potężną interakcję procesów *przetwarzania informacji* i *przetwarzania energii*. Obie te kategorie wyczerpują w pewien sposób całość problematyki biologicznej i społecznej. Kategoria materii, trzeci człon kosmicznej trójcy informacja-energia-materia, jest podporządkowana dwom pozostałym w tym sensie, że w praktycznych problemach przetrwania i rozwoju materia interesuje nas tylko jako źródło energii lub jako nośnik informacji. I tak, na poziomie egzystencji pierwotnych zbieraczy (przed powstaniem rolnictwa) problemem numer jeden było znalezienie pokarmu, a więc utrzymania i zwiększenia mocy energetycznej, a tym większa na to była szansa, im lepszy słuch, wzrok, węch i zdolność rozumowania, a więc moc obliczeniowa. Z kolei, człowiek odżywiony, a więc o większej mocy energetycznej, ma większą niż wycieńczony sprawność percepcji i rozumowania, a więc większą moc obliczeniową.

Zwrotne sprzężenie dodatnie czyli wzajemna intensyfikacja tych dwu mocy występuje w coraz to nowych odmianach na każdym kolejnym szczeblu rozwoju. Rozwiązanie problemu produkcji żywności przez uprawę ziemi i hodowlę to jeden z wielkich sukcesów ludzkiej mocy obliczeniowej. Dzięki niemu niepomniernie wzrosła dostawa żywności czyli wysokoenergetycznych związków, których rozpadanie się dostarcza organizmom energii. Gdy żywności było więcej niż niezbędne do utrzymania przy życiu jej producentów, nadwyżki można było przeznaczyć dla tych, co zamiast siał i orać zajmą się administracją, stanowieniem i egzekwowaniem praw, nauczaniem, a więc powiększaniem mocy obliczeniowej społeczeństwa. Tak powstawały pierwsze twory państwowe. Ich rośnięcie w siłę demograficzną i zdolność utrzymania klasy wojowników („siła żywa” mówi się o nich w pismach strategów), a więc czynnik energetyczny, zrodził zdolność dokonywania podbojów. Tego wynikiem było powstawanie państw coraz silniejszych, to zaś służyło rozwojowi nauki, techniki, sztuki, a więc mocy obliczeniowej. Wynalezienie silników, kolejny epokowy wkład mocy obliczeniowej w moc energetyczną, przyniosło kolosalny wzrost gospodarczy, a wraz z tym począł ostro wspinać się do góry wykres wzrostu nowych potencji obliczeniowych i energetycznych. Tak można bez końca ciągnąć epopeę tego sprzężenia zwrotnego.

Nie miejsce tutaj, by rozwijać tę epopeę. Dla ukierunkowania wyobraźni, która dopowie resztę, niech posłuży przykład wojny, który jest o tyle wart uwagi, że odstęp czasowy między przyczyną (np. defektem mocy obliczeniowej) i skutkiem (np. klęską) jest krótszy, a przez to związek bardziej uchwytny niż w długofalowych procesach cywilizacyjnych. Do militarnej sfery energetycznej należy liczebność siły żywej, siła ognia, środki transportu, zapasy amunicji i paliw itp. Do sfery obliczeniowej – doktryna wojenna, metody dowodzenia, regulaminy, mapy, wyniki działalności wywiadowczej itp.

Oto przykład roli czynnika obliczeniowego na wojnie. Do klęsk Armii Czerwonej w pierwszej fazie wojny w roku 1941, ponoszonych mimo jej przewag w sile żywej i sile ognia, znacząco przyczynił się brak map ZSRR. Wzięło się to z efektu zaskoczenia będącego atutem strony niemieckiej. Mianowicie, kierownictwo ZSRR, planując od lat, że zaatakuje Niemcy i dalej Europę w momencie, gdy walczące strony, Niemcy i ich zachodni przeciwnicy, wzajemnie się osłabiają, zgromadziło na swej granicy zachodniej kolosalny potencjał uderzeniowy. Szykując tę gigantyczną ofensywę, a nie licząc się z uderzeniem prewencyjnym ze strony Niemiec, poniechano przygotowań do obrony własnego terenu, które obejmowałyby sporządzenie jego map. Powstały natomiast w kolosalnych ilościach doskonałe mapy Niemiec; składowane nad granicą, zostały one zniszczone w ogniu pierwszych dni wojny lub

dostały się w ręce niemieckie. Bez map nie można dowodzić armią, a więc nie można wygrywać bitew (por. Wiktor Suworow, *Ostatnia Republika*, Wyd. Adamski i Bieliński, Warszawa 2000, rozdz. 14). Inne istotne czynniki ze sfery obliczeniowej to. oczywiście, łączność i wywiad.

Na zakończenie, w myśl starożytnej reguły retorycznej, jest pora na *refutatio* czyli odparcie możliwych zarzutów. Może nasunąć się obiekcja, że tezy tego eseju są zbyt oczywiste, by warto było im poświęcać tyle miejsca. Co mądrzejsze dziecko potrafi zauważyć, co następuje: im więcej się wie, sprawniej myśli i więcej ma w tym celu pomocy, jak książki czy komputery (moc obliczeniowa), oraz im więcej ma się sił fizycznych, umysłowych i wspomagających je urządzeń, jak np. pojazdy (moc energetyczna), tym większe ma się sukcesy, tym lepiej się żyje. Osoba wykształcona historycznie bez trudu przeniesie takie spostrzeżenia na społeczeństwa i cywilizacje.

Tak by się wydawało a priori. A jednak, gdy sięgnąć do rozmaitych uczonych rozpraw z nauk społecznych i filozofii, oraz do publicystyki i felietonistyki w pismach społecznych i kulturalnych, to rzadko natrafi się na ślad tego rodzaju świadomości. Często natomiast pojawi się pogląd o dominującej roli czynnika moralnego w rozwoju cywilizacji, połączony z diagnozą, że pod względem moralnym nigdy dotąd nie było z ludzkością tak źle, jak obecnie.<sup>1</sup> Osobną specjalizację w tej dyscyplinie stanowią krytycy obecnej rzeczywistości polskiej, zgodni w jej ganieniu, choć dający skrajnie odmienne diagnozy; jedni winią czerep sarmacko-katolicki, a inni, odwrotnie, lewicowy relatywizm. Co do terapii, to jedni, odpowiednio, zalecają wierne trzymanie się nauk Kościoła, inni poprawność postmodernistyczną. W każdym razie, ani jedni ani drudzy nie wychodzą w swych diagnozach i receptach poza horyzont moralistyczny.

Główna idea tych rozważań nie ma nic wspólnego z niedocenianiem roli czynników moralnych. Żeby ideę tę osadzić w odpowiedniej perspektywie, zauważmy, że są trzy kategorie czynników stanowiących o postępie cywilizacji: (A) wielkie wizje etyczne poparte heroicznym świadectwem ich autorów, jak Sokrates czy Chrystus oraz dobra wola rzesz zwykłych ludzi; (B) interesowne dążności do zysku i dominacji, których pozytywną rolę dla rozwoju społecznego odmalował z pasją, choć może i z pewną przesadą, Mandeville w *Bajce o pszczołach*; (C) moralnie neutralne osiągnięcia naukowe i techniczne, z których każde, jak choćby mowa czy druk, może być wykorzystane dobrze lub źle, ale bez których byśmy pozostawali na poziomie szympanсів.

W tej ostatniej sferze mieści się moc naukowa i moc energetyczna. Nie jest to, jak widać, jedyna siła zasłużona dla cywilizacji. Ale gdy ma ona, powiedzmy, tych zasług jedną trzecią, podczas gdy liczni intelektualiści redukują je do zera, wynosząc do roli uniwersalnej czynnik etyczny, wydają się być nie od rzeczy, takie jak obecne, rozważania o wkładzie mocy obliczeniowej w dzieło cywilizacji.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ponieważ najbardziej ganioną w tej moralistyce cechą jest żądza zysku, z której mają wywodzić się naganne zachowania kapitalistyczne, warto przypomnieć uwagi poczynione w tej materii przez Maxa Webera [1904/1994, s.4n]. Zwracał on uwagę, że dążenie do zysku jest odwieczne i powszechne, nie nadaje się więc na definicyjny wyróżnik kapitalizmu. Pisał w tej sprawie, co następuje. „Dążenie takie istniało i istnieje wśród kelnerów, lekarzy, woźniców, artystów, kokot, sprzedajnych urzędników, żołnierzy, bandytów, krzyżowców, żebraków. Porzucenie raz na zawsze łączenia tego z naiwnym pojęciem kapitalizmu – to zasada kulturowo-politycznego przedszkola.” Tym, co według Webera definiuje kapitalizm nie jest samo dążenie do zysku, lecz racjonalne metody osiągania zysku. Obejmuje je Weber mianem obliczalności (*Berechenbarkeit*). Analiza jego sposobu posługiwania się tym pojęciem, obecnego w szczególności w dziele *Gospodarka i społeczeństwo* [1922/2002] ukazuje ważne podobieństwa z występującym w obecnym tekście szerokim pojęciem obliczalności.

<sup>2</sup> Niniejszy tekst, mimo okazałej objętości, daleki jest od należytego uwzględnienia całej gamy pojęć mających udział w dokładnym określeniu pojęcia obliczalności. Więcej na ten temat i odpowiedni do

## Literatura cytowana

Pominięte są tu pozycje wykorzystane w celach wyłącznie egzemplifikacyjnych, opisane w odpowiednich miejscach tekstu.

Butler, Eamon. *Hayek. His Contribution to the Political and Economic Thought of Our Time*, Universe Books, New York 1983.

Lange, Oskar. „On the Economic Theory of Socialism”, *Review of Economic Studies* 4(1): 53-71, October 1936, and 4(2): 123-142, February 1937.

Lange, Oskar. „The Computer and the Market”, in: C. Feinstein (ed.), *Socialism, Capitalism and Economic Growth*, Cambridge University Press, Cambridge 1967.

Marciszewski, Witold. *Sztuczna Inteligencja*, Znak, Kraków 1998.

Tarski, Alfred. „Prawda i dowód” w: Alfred Tarski, *Pisma logiczno-filozoficzne. Tom I. Prawda*, pod red. Jana Zygmunta, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1995.

Turing, Alan. „On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”, *Proc. of the London Math. Society*, Series 2, 42, pp. 230-265, 1936.

Turing, Alan. „Systems of logic based on ordinals”, *Proc. of the London Math. Society*, Series 2, 45, pp. 161-228, 1939. Cytowane jako Turing [1938] ze względu na datę samego odkrycia, wyprzedzającą datę publikacji.

Von Neumann, John. *The Computer and the Brain*, Yale Univ. Press, New Haven 1958. Przekład Klemensa Szaniawskiego pt. *Maszyna matematyczna i mózg ludzki*, PWN, Warszawa 1963.

Weber, Max. *Etyka protestancka a duch kapitalizmu*, tłum. Jan Miziński, Test, Lublin 1994. Oryginał *Die protestantische Ethik und der Geist des Kapitalismus*, 1904-1905.

Weber, Max. *Gospodarka i społeczeństwo. Zarys socjologii rozumiejącej*, tłum. Dorota Lachowska, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa. Oryginał *Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie*, 1922.

---

tego wykaz literatury podaje mój artykuł pt. „Nierozstrzygalność i algorytmiczna niedostępność w naukach społecznych” w *Filozofii Nauki* 2004. Tamten i obecny tekst powstały w wyniku realizacji tego samego projektu badawczego wspieranego finansowo przez KBN, nr 2H01A03025, dotyczącego nierozstrzygalności i niedostępności algorytmicznej w badaniach społecznych.