

## Rozważania w duchu Kurta Gödla o granicy między umysłem i maszyną

### §1. Wprowadzenie

Umieściłem nazwisko Gödla w pierwszej części tytułu, przed sformulowaniem głównego problemu, żeby zaakcentować wagę tego nazwiska w myśli współczesnej. Jest ona porównywalna z wagą nazwiska Einsteina, choć w powszechnej świadomości zachodzi ogromna różnica w recepcji obu tych postaci. O Einsteinie wie każde dziecko, o Gödlu jedynie garstka specjalistów od logiki matematycznej i teoretycznych podstaw informatyki.

Taki jest stan faktyczny, ale powinien on ulec zmianie, jeśli nasza świadomość ma nadażyć za tą eksplozją cywilizacyjną, jaką jest społeczeństwo informatyczne. Czym jest dla energetyki energia atomowa, mająca u podstaw słynny wzór Einsteina, tym dla informatyki jest odkrycie Gödla wskazujące drogę, jak coraz bardziej zwiększać moc obliczeniową maszyn.

To jest jeden wkład cywilizacyjny Gödla. A drugi i nie mniejszy jest taki, że nakreślił on jako pierwszy i z wielką mocą argumentacyjną granicę między umysłem ludzkim a maszyną matematyczną do przetwarzania informacji, czyli komputerem. Problem relacji między umysłem i komputerem stanowi jądro światopoglądu elity w epoce informatycznej, a co jest dziś elitarne, jutro będzie masowe.

Dotyczące tej sprawy wyniki logiczno-matematyczne Gödla, uzyskane przezeń w latach 30-tych ubiegłego wieku, są nie mniej trudne do wyłożenia niż, powiedzmy, ogólna teoria względności. Starając się za nimi nadażyć, ocieramy się o granice paradoksu, nie mówiąc o piętrzących się szczegółach technicznych. Wikłamy się też w zagadki filozoficzne, które różni różnie próbują rozwiązywać, a powstały z tego zgiełk kontrowersji trudno śledzić, o ile się z tego nie uczyni własnej specjalności badawczej.

Jeśli jest jakiś sposób, żeby temu zadaniu edukacyjnemu podolać, to polega na tym, żeby nie pretendując do odtworzenia toku rozumowania Gödla, dojść do jego konsekwencji filozoficznych przez pewną dostępną każdemu refleksję. Mianowicie refleksję nad stosunkiem między myśleniem a językiem.

Nie może to być odtworzenie argumentacji Gödla co do litery, ale przynajmniej w ogólnych zarysach co do ducha. Rzecz bowiem w tym, że to co ma wspólne człowiek i komputer, to operowanie językiem w celu rozwiązywania problemów. Tym zaś, co różni jest to, że komputer nie potrzebuje myśleć, korzysta bowiem z myśli ludzkiej zawartej w oprogramowaniu oraz w sformułowaniu problemu i danych wyjściowych do jego rozwiązania. Poświęćmy więc uwagę interakcji procesów myślenia z procesami powstawania języka.

A przedtem jeszcze biologicznym podstawom ludzkiej zdolności do posiadania problemów. Jej źródła są w naszej naturze zwierzęcej, całkowicie obcej maszynom. Ma to taki związek z kwestią granicy między umysłem i maszyną, że początkiem myślenia autentycznego (a nie jego maszynowej imitacji) jest podbudowany biologicznie niepokój z potrzeby rozwiązania problemu.

Jego emocjonalny aspekt trafnie ujął Charles Sanders Peirce, wielki filozof umysłu i prekursor logiki matematycznej, określeniem „irritation of doubt”. Tak się irytować nie umie maszyna, umie zaś człowiek. I w tym jego przewaga.

### §2. Zwierzę, człowiek, komputer Porównanie i wnioski w kwestii testu Turinga

#### §2.1. Głód energetyczny jako właściwość organizmów

Każdy układ wykonujący jakieś czynności musi skądś czerpać do tego energię. Maszynom, a także prostym narzędziom, jak młotek poruszany ręką ludzką, dostarcza energii człowiek, bądź bezpośrednio, bądź wyřęczając się zwierzętami lub silnikami. Istoty żywe same muszą o to zadbać, co zresztą jest racją, dla której zaliczamy je do żywych.

Na poziomie organizmów zwierzęcych niedostatek energii przejawia się cierpieniem w postaci głodu, a gdy nie jest on w porę zaspokojony – dolegliwego osłabienia. Takie odczucia mobilizują organizm do działań w poszukiwaniu energii. A także – do samodzielnego myślenia, czyli *rozwiązywania problemów!* Jak ten, gdzie znaleźć i dosięgnąć obiekt nadający się na zaopatrzenie; jak go doścignąć, gdy będzie uciekał, jak walczyć, gdy będzie się bronił itp.

Słowem, od zjawiska metabolizmu nieodłączna jest u zwierząt wrażliwość, która przez odczucie cierpienia motywuje do zachowań pozyskujących energię. Oprócz metabolizmu problemy stwarza także potrzeba odpowiedniej do życia temperatury, z czego biorą się kwestie, jak uniknąć nadmiernego zimna i nadmiernego gorąca. Oraz pytania jak uniknąć urazów, które mogą powstać przy niektórych czynnościach.

Od tego wszystkiego wolny jest robot, czy to w postaci pudła na biurku czy w zwierzęcopodobnej. Energii dostarcza mu człowiek przez podłączenie do prądu; wcześniej ręczne kalkulatory napędzała dłoń ludzka, a w gigantycznym projekcie komputera realizowanego przez Babbage’a miała to być maszyna parowa. Dlatego robot nie ma własnych problemów, a jedynie te, które wdrukuje mu inżynier oprogramownia, np. pytanie, czy zainstalować nową wersję przeglądarki. Nie cierpi on też z powodu przegrzania (choć ten stan fizyczny mu się przydarza) ani z po-

wodu ułamania się jakiejś części, nie ma więc i w tych sprawach własnych problemów. A zatem nie ma warunków, żeby pojawiło się myślenie.

Oczywiście, problem jak przeżyć w sensie biologicznym, angażujący bez reszty zwierzęta – oprócz problemów wydania i wychowania potomstwa – jest tylko jedną z niezmiernie wielu kwestii zaprzatających gatunek ludzki. Ale i w każdej innej dochodzi do głosu owa zdolność doznawania dolegliwości. Nie jest to już dolegliwość fizyczna lecz umysłowa, ale ma to samo co cielesne cierpienia podłoże biologiczne, właściwe naturze zwierzęcej.

O tym jak kolosalne i do cna wyczerpujące wysiłki podejmował Newton rozwiązując problemy, na które odpowiedzią była teoria grawitacji, świadczy min. relacja służącego, który zastał uczonego w stanie skrajnego wyczerpania fizycznego w chwili, gdy dotarł on do rozwiązania. Podobna jest relacja o stanie Eisteina w momencie, gdy kończył opracowanie swej uogólnionej teorii grawitacji. Widać więc po skutkach, jak wielką dolegliwością był brak odpowiedzi na nurtujące umysł kwestie, skoro ów brak wymuszał na nich tak wielkie trudy. Peirce'owskie „rozdrażnienie wątpliwością” wywoływało w nich skrajne przeciążenia.

Nie mamy natomiast relacji o skrajnym wyczerpaniu energetycznym np. IBM-owskiego komputera Deep Blue po rozegraniu przezeń zwycięskiej partii szachów z Kasparowem. Nie wiemy, czy Kasparow śniał się potem z wyczerpania, ale to by nas nie dziwiło, podczas gdy zdziwiłyby nas niepomierne takie objawy u Deep Blue.

### §1.2. Głód informacji jako właściwość organizmów

Oprócz głodu energetycznego występuje w organizmach, w każdym razie u wyższych zwierząt, głód informacji. Można to też nazwać zapotrzebowaniem na bodźce, podniety, wrażenia, także ciekawością, ale pojęcie *głodu informacji* najlepiej ujmuje całość interesującego nas zjawiska. Wyjaśnia ono, dlaczego dokuczliwa jest monotonia, tak bardzo, że jest jednym ze składników kary więzienia, i dlaczego takie zyski przynosi pismom brukowym zaspokajanie żądzy sensacji.

A szczególnie dające do myślenia jest to, że ludzie tak chętnie wierzą w cuda i, ogólniej, w różne rzeczy nieprawdopodobne, choć wydawałoby się, że istota rozumna za motyw przekonania powinna mieć prawdopodobieństwo, a nie jego brak. Jak jednak widać, potrzeba pobudzenia umysłu przez wiadomości jak najbardziej niezwykle jest silniejsza niż ostrożność nakazująca strzec się przed błędem; tę chawalebną postawę nazywamy krytycyzmem, ale rzadkość tej cnoty świadczy o sile głodu informacyjnego w większości populacji.

Dobrze wiadomo, że ów głód, który nierzadko zwodzi na manowce, jest też niezwykle potężnym czynnikiem wiedzytwórczym, bez którego nie mogłaby powstać cywilizacja, bo ta jest napędzana wiedzą, a wiedza głodem informacji w postaci ciekawości.

Jeśli ktoś miałby wątpliwości, czy jest to czynnik biologiczny czy raczej kulturowy, niech się przyjrzy

objawom ciekawości np. u psa. Pies pokojowy, gdy się dowiaduje, że opuści ze monotonią obwąchanego już do cna mieszkania, udając się ze swym panem w pełne zapachów tereny łąkowo-leśne nie posiada się z radości, a w trakcie spaceru wyrwa się ku wciąż nowym dla wężu podnietom.

Akcentując ten zwierzęcy u swych podstaw charakter głodu informacji, szukamy bowiem w tym rozważaniu wyrazistej granicy poznawczej oddzielającej świat ludzki od świata komputerów. Gdyby głód informacyjny był czynnikiem wyłącznie kulturowym, można by rozważać, czy nie przysługuje on potencjalnie komputerom, które w miarę rozwoju oprogramowania można by wyposażać w kulturowe atrybuty człowieka, jak zdolność liczenia, rozumowania, porządkowania według danego kryterium, wyszukiwania danych etc. Natomiast właściwości biologiczne są tym, co wyklucza sama natura komputera. Chyba, że w jakiejś przyszłości uda się wyhodować komputer z żywej tkanki i sam dbający o swoje zaopatrzenie w energię; wtedy jednak nie będzie to już komputer w dzisiejszym rozumieniu, lecz nowy gatunek zwierzęcy.

### §3. Interakcja myśli, języka i mechanizacji myśli w przypadku arytmetyki

#### §3.1. Jak idea kodowania pomaga zrozumieć stosunek między umysłem i maszyną do przetwarzania danych

W tej opowieści, w której głównym problemem jest stosunek między umysłem i maszyną, postaciami, które grają główne role są arytmetyka i logika matematyczna. Zrozumienie tego stosunku jest w dziejach myśli rzeczą stosunkowo nową. Jeśli pominąć prekursorów, którzy się pojawiali od 17-go wieku, a był nim w szczególności genialny Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), to za datę pierwszego tej myśli przeblysku trzeba uznać rok 1879. W tym roku niemiecki matematyk Gottlob Frege wydał broszurę, zatytułowaną: *Begriffsschrift: Eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*.

Jest to sformułowanie tak wiele dające do myślenia, że trzeba je przytoczyć w oryginale, a następnie komentować słowo po słowie. Występują w nim dwa pojęcia, które mamy oddane po polsku w tytule obecnego odcinka (§3) mianowicie pojęcia: *język* oraz *myśl*. Nie mówi się tu wprost o maszynie, ale położone jest jakby pierwsze przęsło mostu w tym kierunku. Jest to termin „Formel” w złożeniu „Formelsprache”.

Dał on początek pojęciu formalizacji języka, a jak zobaczymy, droga od formalizacji do mechanizacji jest prosta, o ile dysponujemy mechanizmem do zapisywania wyrażen sformalizowanych. Wkroczone na tę drogę tropem Fregego w latach 30-tych 20-go wieku, z trzema bohaterami w rolach głównych. Ich imiona to David Hilbert (Getynga), Kurt Gödel (Wiedeń) i Alan Turing (Cambridge). Niezbędny zaś mechanizm dostała nauka do dyspozycji po skonstruowaniu komputera cyfrowego w latach 40-tych.

Po skomentowaniu dzieła Fregego skupimy się na Gödla, do czego są w naszym temacie szczególne powody. Chwila jednak uwagi należy się Turingowi, którego przełomowy wkład w logiczne podstawy informatyki, jak i rola głównego eksperta od dekodowaniu depesz podczas drugiej wojny światowej, rzucają snop światła na istotę powiązań myśli z maszyną. Jej zrozumienie pomoże uchwycić główny wątek metody Gödla, która polega na cyfrowym kodowaniu rozumowań matematycznych.

Widać te powiązania choćby na sławnym przykładzie maszyny kodującej zwanej Enigmą. Jej sekrety przejął Turing od trzech matematyków z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu zatrudnionych w służbie wywiadu wojskowego. W okresie międzywojennym oni pierwsi rozszyfrowali kod Enigmy i przekazali swe odkrycie sprzymierzonym wywiadam Francji i Anglii.

Kolosalne doświadczenia w dekodowaniu, które Turing uzyskał podczas wojny, przyczyniły się w istotny sposób do jego późniejszych projektów konstrukcji i zastosowań komputera. Szyfrowanie bowiem to nic innego, jak przekładanie ludzkich myśli na stany fizyczne maszyny. Medium tego przekładu stanowi umowny, umyślnie do tego celu stworzony język, który dostarcza klucza kodowego.

### §3.2. Od Fregego do Gödla: język graficzny dla pojęć jako krok w kierunku cyfrowego kodowania formuł

Wyposażeni w ideę kodowania, wróćmy do Fregego. Pierwsze słowo jego tytułu – „Begriffsschrift” – tłumaczymy zwrotem „pismo pojęciowe”. Toruje ono drogę metodzie kodowania arytmetycznego stworzonej przez Gödla. Oddaje ono bowiem każde z pojęć logiki stosowanych w dowodzeniu za pomocą pojedynczego symbolu, a podobnie jest z pojęciami arytmetyki. Np. zamiast słowa „istnieje” (8 liter w polskim) mamy pojedynczy symbol  $\exists$ , któremu łatwo przyporządkować jakiś jeden numer (zamiast numerować osiem liter, co zresztą się zmienia od języka do języka).

Pomysł więc Fregego, który dopracują technicznie Gödel i Turing (każdy na swój sposób), polega na tym, żeby zapis myśli matematycznych, oparty dotąd częściowo na fonetyce języka naturalnego, zastąpić całkowicie niezależnym od fonetyki językiem graficznym. Można to porównać do hieroglifów czy do pisma chińskiego; pamiętając jednak o tej istotnej różnicy, że ów język obrazkowy dla potrzeb nauki nie kształtuje się żywiołowo, lecz dzieje się to według planu mającego na uwadze maksymalną precyzję myślenia oraz wyrażanie pojęć wysoce abstrakcyjnych.

Na przykład, zamiast pięciosylabowego zwrotu „następnik zera”, mamy zestawione kolejno: pojedynczy znak „0” oraz pojedynczy znak „S”, oznaczający następnik (łac. sequens). Kolejnością kieruje zasada, że najpierw stawiamy symbol orzekający coś o drugim, a potem ten

drugi; mamy więc S0 lub, dla większej przejrzystości, z nawiasami: S(0).

Do czasów Fregego tę ideę najlepiej realizowała arytmetyka, stąd w jego tytule fraza, że kształtuje on język myśli na wzór arytmetycznego: *der arithmetischen nachgebildete Formelsprache*. Język czystej myśli (des reinen Denkens) oznacza tu język oddający pojęcia najbardziej abstrakcyjne, których nie da się wywieść z danych zmysłowych bez pomocy pozazmysłowej „czystej” myśli (np. pojęcie zbioru obejmujące zbiory nieskończone).

Fakt, że jest to język formalny (Formelsprache) ma podstawowe znaczenie dla jego przekładalności na język maszynowy. Chodzi o to, że każde pojęcie zaliczone do pierwotnych jest wyrażane przez pojedynczy i dokładnie określony fizyczny kształt (czyli formę) symbolu. Taka fizyczna precyzja i istnieje w tradycyjnym języku jakby wyspowo, rozszkana np. w pewnych fragmentach arytmetyki. Dla całości matematyki wypracował to Frege, a dzięki temu stało się możliwe cyfrowe kodowanie zdań matematycznych dokonane przez Gödla.

Wystarczy teraz każdemu pojedynczemu symbolowi przyporządkować jednoznacznie wybraną do tego celu cyfrę lub układ cyfr, i dostajemy zapis zdania w postaci ciągu cyfr będących tego zdania numerem. Metodę wypracował Gödel, stąd taki układ cyfr nazywamy numerem gödla.<sup>1</sup>

Powiedzmy, że „0” ma numer 6, „S” (następnik) numer 7, lewy nawias 8, prawy 9, a zmienna „x” numer 11. Spację zastępuje znak mnożenia wybrany przez Gödla do tego celu ze względu na pewne własności wykorzystane przy dekodowaniu numeru czyli rozpoznawaniu, gdy dany jest numer formuły, jaki ma kształt zakodowana nim formuła.

Jedną z przejrzystych metod numerowania polega na tym, że liczby od 1 do 10 srosuje się do numerowania symboli logicznych, kilku podstawowych symboli arytmetyki (0, S, =) i znaków interpunkcji, a dla zmiennych – poczynając od 11, kolejne liczby pierwsze podnoszone do potęgi w ten sposób, że dla zmiennych indywidualnych (reprezentujących liczby naturalne) wykładnik potęgowy wynosi 1, dla zmiennych zdaniowych 2, a dla zmiennych predykatowych 3. To nas orientuje, jakiego typu zmienna jest reprezentowana przez dany numer. Np.  $ng[p \rightarrow q] = 11^2 \times 13^2$ .

I tak, formułę „S(x)” kodujemy pd numerem gm[S(x)], tzw. numerem gödla (skr. gm), jako iloczyn liczb będących numerami kolejnych symboli. Obliczmy ten numer:

$$ng[S(x)] = 6 \times 8 \times 11 \times 9 = 4752.$$

Dla porównania:  $ng[S(0)] = 6 \times 8 \times 6 \times 9 = 2592$  (gdzie zero przydzielimy numer 6).

<sup>1</sup> Przykłady przyporządkowań numerów symbolom logicznym i arytmetycznym są zaczerpnięte z tomiku: Ernest Nagel and James R. Newman, *Gödel's Proof*, New York University Press, 1952. Polski przekład Barbary Stanosz pt. *Twierdzenie Gödla*, PWN 1966, rozdział 7.

#### §4. O prawdach, które są dostępne dla ludzi i maszyn i prawdach dostępnych ludziom lecz nie maszynom

##### §4.1. Co sprawia, że maszyna może dowodzić prawdy?

Wiemy już, jak uzyskać zapis cyfrowy formuły matematycznej. Najpierw trzeba ją zakodować w graficznym języku logiczno-arytmetycznym, a następnie przejść od tego zapisu do kodu cyfrowego. Przećwiczmy to na przykładzie.

Niech będzie nim nie cokolwiek, lecz jedna z kilku formuł u samych podstaw arytmetyki, mianowicie jeden z jej aksjomatów. W formalizacji podanej w pewnym podręczniku występuje on jako pierwszy w kolejności, stąd oznaczenie A1.<sup>2</sup>

Rozważymy następujące jego ujęcia: zapis w potocznej polszczyźnie (AP), potem zapis w języku sformalizowanym na sposób Fregego, następnie numer tego aksjomatu w cyfrowym kodzie dziesiętnym uzyskany metodą Gödla, mianowicie  $ng[A1]$ ; wreszcie, przykładowy fragment tego numeru zapisany w kodzie binarnym determinującym język maszynowy. Oto kolejne sformułowania.

AP. Zero nie jest następnikiem żadnej liczby.

A1.  $\neg \exists x 0 = S(x)$ .

$ng[A1] = 1 \times 4 \times 11 \times 6 \times 5 \times 7 \times 8 \times 11 \times 9$ .

Ten sam iloczyn można zapisać w notacji binarnej. Nie ma tu potrzeby przepisywać go w całości, wystarczy dla naszych rozważań jeden przykład. Niech będzie to numer 9, który w zapisie binarnym ma postać 1001. W tej postaci można go odwzorować w niezliczonych układach fizycznych zdolnych do oddziaływania przyczynowego w obrębie jakiegoś mechanizmu, gdzie symbol „1” oznacza stan wzbudzenia zdolny wywołać jakiś inny stan fizyczny, podczas gdy „0” jest symbolem bierności czyli braku pobudzenia.

Np. w elektromagnesie stan wzbudzenia powstaje w momencie styku ramienia z cewką, a ustaje w chwili oddalenia. Można więc konfigurację 1001 zrealizować fizycznie jako rząd czterech elektromagnesów, w którym skrajne wysyłają impulsy, a środkowe są bierne. Takie konfiguracje impulsów wzbudzają inne stany fizyczne. Np. działanie drukarki igłowej, która poruszona przez idące z elektromagnesów impulsy prądu odtwarza je jako serię uderzeń igły w taśmę, tak skonfigurowanych, że drukuje się symbol „9”.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Został tu wykorzystany podręcznik Andrzeja Grzegorzcyka, *Zarys arytmetyki teoretycznej*, PWN 1971, §1.1.

<sup>3</sup> Pierwsze komputery cyfrowe, konstruowane w Niemczech przez Konrada Zuse z początkiem lat czterdziestych ubiegłego wieku, działały na elektromagnesach (wyprzedzając o kilka lat komputery lampowe brytyjskie i amerykańskie, ale nie dorównując im szybkością działania).