

JAROSŁAW BISZCZUK jest nauczycielem konsultantem w Ośrodku Edukacji Informatycznej i Zastosowań Komputerów w Warszawie.

NIECH STANĄ SIĘ OBLICZENIA

JAROSŁAW BISZCZUK



Alan Turing. King's College Library, Cambridge. AMT/K/7/11. By kind permission of the Provost and Fellows of King's College, Cambridge.

RYSUNEK 1. <http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2012/turing-biography>

Program telewizyjny emitowany w odcinkach przez BBC¹, w którym widzowie mogli wybierać ikonę XX wieku, zakończył się wygraną Alana Turinga. Kim był ten człowiek, którego prace za życia nie znalazły dużego odzewu?

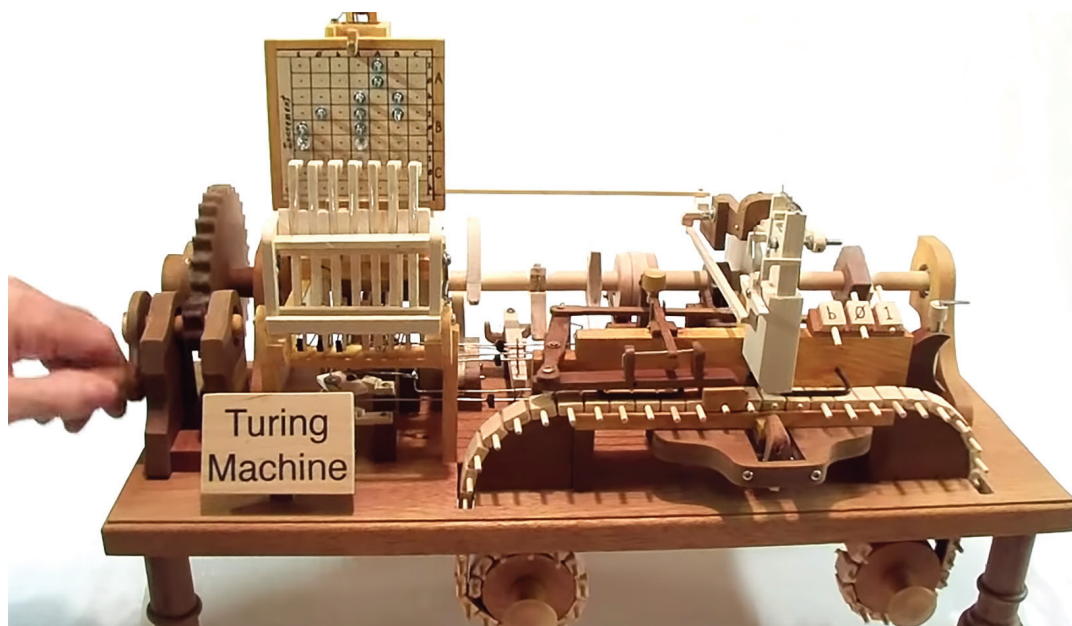
¹ <https://www.bbc.co.uk/mediacentre/latestnews/2019/icons-winner-alan-turing>

W niektórych publikacjach można znaleźć błędną informację, że był Amerykaninem. Rzeczywiście przez kilka lat przebywał w Stanach Zjednoczonych, ale poza tym nie łączyły go z USA żadne związki. Ojciec Julius Turing był kolonialnym urzędnikiem w Indiach. Alan wychowywał się i chodził do prywatnych szkół w Anglii. Wyniki osiągnięte w szkole nie zdradzały, że w przyszłości Alan będzie autorem przełomowych idei w logice i matematyce. Nauczyciele zwracali uwagę na jego niedbale wykonywanie zadań i charakter pisma. W szkole średniej ciekawiła go chemia, a później astronomia. Na studiach skierował swe zainteresowania ku matematyce. Jednym z jego pierwszych osiągnięć było udowodnienie tzw. centralnego twierdzenia granicznego. Okazało się jednak, że zostało już ono udowodnione kilkanaście lat wcześniej. Bardzo ważne było natomiast opracowanie przez Alana ogólnego modelu obliczeń nazwanego później maszyną Turinga.

MASZYNA TURINGA

Na początku XX wieku David Hilbert sformułował 26 problemów matematycznych, które określiły kierunek rozwoju matematyki w XX wieku. Kilka z nich nadal oczekuje na rozwiązanie. Jedno z pytań, na które Hilbert spodziewał się odpowiedzi, brzmiało: Czy system aksjomatów arytmetyki jest zupełny? Innymi słowy: Czy każde twierdzenie arytmetyczne można udowodnić? W 1931 roku austriacki logik Kurt Gödel podał pomysłowy sposób konstrukcji

NIECH STANĄ SIĘ OBLICZENIA



RYSUNEK 2. Mechaniczny model maszyny Turinga z programem (tablica z lewej u góry) zwiększającym liczbę dwójkową zakodowaną na drewnianej taśmie, wood_turing.png. Screen z kanału youtube autor Richard Ridel, <https://www.youtube.com/watch?v=vo8izCKHf0>.

twierdzeń, których nie można udowodnić. Można przyjąć, że twierdzenie jest prawdziwe lub fałszywe (jako kolejny aksjomat). Zbiór aksjomatów jest zatem nieskończony.

Alan Turing spróbował zmierzyć się z problemem, czy istnieje sposób na wykazanie, że dane twierdzenie ma dowód. Postąpił w tym celu konstrukcją myślową nazwaną maszyną Turinga i wykazał, że udowodnienie twierdzenia jest równoważne wykonaniu pewnego obliczenia na tej maszynie. Następnie zadał pytanie, czy istnieje taki ciąg instrukcji, który po przejrzaniu kodu z dowolnej maszyny Turinga stwierdzi, że wykonanie tego kodu zakończy się (tzw. problem stopu). Turing wykazał, że takiego programu być nie może.

Do podobnych wyników niemal równocześnie i niezależnie doszli Alonzo Church – wymyślając rachunek lambda (który później posłużył do definiowania języków funkcyjnych, np. Lisp) oraz logik i matematyk polskiego pochodzenia Emil Post. Post także posłużył się konstrukcją podobną do maszyny Turinga – jednak z taśmy polecenia odczytywał i zapisywał operator – należałoby tu dopatrywać się podobieństwa z linią produkcyjną.

W maszynie Turinga mamy nieskończoną taśmę, na której określone są pola. Z nich można odczytać symbol lub zapisać symbol. Lista symboli jest skończona, tak samo jak skończona jest liczba wykorzystywanych pól taśmy. Symbole na taśmie odczytuje i zapisuje głowica, która może być w jednym ze skończonej liczby stanów. Na podstawie odczytanego symbolu stan głowicy zmienia się, a także może nastąpić przesunięcie głowicy o jedno pole nad taśmą w określonym kierunku. Jeden stan jest wyróżniony – jest to stan „Zatrzymanie”, po którym głowica nie przesuwa się i nie odczytuje kolejnych pól na taśmie.

Po pewnym czasie okazało się, że jest to najbardziej ogólny model obliczeń i nawet najnowsze komputery nie potrafią wykonać więcej – robią to jedynie coraz szybciej i z wykorzystaniem mniejszej ilości energii.

Można pokusić się o oszacowanie energetycznego kosztu działania maszyny Turinga. Zgodnie z zasadą Landauera na wymazanie jednego bitu informacji potrzebna jest energia $k T \ln 2$, gdzie k – stała Boltzmanna, T – temperatura otoczenia. Jest to energia w przybliżeniu $3 \cdot 10^{-21}$ J w temperaturze

JAROSŁAW BISZCZUK

TEORIE I BADANIA

pokoju i jest co najmniej milion razy mniejsza od energii potrzebnej do zapisania bitu informacji we współczesnych układach cyfrowych.

W czasie gdy Turing myślał nad swoją maszyną, obliczenia wykonywane były przez konstrukcje mechaniczne. Dopiero powstawał termin „elektronika”. Ciekawą lekturą może być opis konstrukcji maszyn obliczeniowych Konrada Zusego. Pierwsza z nich – komputer Z1 – to konstrukcja mechaniczna (1938), kolejna – Z2 – wykorzystywała przekaźniki (1940). W Z3 przekaźniki również były stosowane jako jednostki przetwarzania danych, a ponadto był to pierwszy komputer z możliwością wykonywania algorytmów, jakie można wykonać na maszynie Turinga. W kolejnych konstrukcjach Zusego z czasem zaczęły się pojawiać lampy elektronowe, a później tranzystory.

Turing zaczął także konstruować urządzenie do wykonywania obliczeń wykorzystujące „nieciekawą i elementarną” arytmetykę liczb binarnych. Jego urządzenie miało działać na przekaźnikach, które sam wykonywał i w zamyśle mogło pomnożyć dwie liczby. Nie było to urządzenie, które dziś określilibyśmy „zupetnym” w sensie Turinga – czyli nie był to komputer ogólnego przeznaczenia. Innym ciekawym projektem, którego realizacji podjął się Turing, była konstrukcja mechanizmu kół zębatach do obliczeń miejsc zerowych pewnej funkcji, określanej jako funkcja dzeta Riemanna. Określenie zer tej funkcji było tematem jednego z problemów Hilberta. Problem jest nierozwiązany do dnia dzisiejszego.

LATA WOJNY

Z uwagi na zainteresowania logiką, matematyką, a także kryptografią i inżynierią, Alan Turing był naturalnym kandydatem do podjęcia prac nad maszynami szyfrującymi. Podjął pracę w miejscu przekazanym przez Polaków latem 1939 roku.

W 1932 roku trzem polskim matematykom (M. Rejewski, H. Zygalski, J. Różycki) udało się stworzyć matematyczny model maszyny szyfrującej Enigma i wykorzystać go z powodzeniem do dekrzyptażu

korrespondencji. W latach 1932-1939 opracowali oni szereg technik matematycznych i urządzeń pomagających w znajdowaniu ustawienia początkowego Enigmy. Pod koniec 1938 roku w niemieckiej armii zmieniono sposób przekazywania ustawień początkowych i od tego momentu większość transmisji była nieczytelna dla polskich kryptoanalityków. Pomysłem Alana Turinga było skonstruowanie maszyny, która testowałaby ustawienia Enigmy. Nazwano ją Bombe – podobnie jak w Polskim Biurze Szyfrów nazywano ostatnie ze skonstruowanych urządzeń pomagających w szukaniu ustawienia Enigmy. Warsztat matematyczny wykorzystany przy konstrukcji bomb Turinga-Welchmana był odmienny od tego wykorzystanego w polskiej bombie.

Alan Turing brał także aktywny udział przy konstrukcji Collosusa, który miał pomagać w kryptoanalizie maszyny Lorentza wykorzystywanej przy transmisjach rozkazów na najwyższym szczeblu. Colossus okazał się być urządzeniem „zupetnym” w sensie Turinga – czyli był komputerem zdolnym wykonać obliczenia.

TEST TURINGA

Po wojnie Turing zaczął interesować się zagadnieniami, które dziś określamy terminem „sztuczna inteligencja”. Był na tym polu pionierem. W rozważaniach z okresu przedwojennego odwoływał się do pojęć „umysł”, „myślenie” – tak nazywał głowicę swojej maszyny i proces obliczeniowy. Teraz w jego rozważaniach pojawia się słowo „intuicja”. Cytując fragment książki Andrew Hodgesa „Turing”: *nieobca mu była idea, że w momentach „intuicji” umysł czyni, jak się zdaje, coś przekraczającego możliwości maszyny Turinga.*

Maszyny wykonujące w czasie wojny zadania, których ludzie nie zdołali, skłoniły Turinga do rozmyślań nad maszyną grającą w szachy. Sądził, że maszyny o dostatecznym stopniu złożoności mogą wykonywać zadania, do których nie zostały zaprogramowane. Obecnie zjawisko to można zaobserwować w sztucznych sieciach neuronowych. Cechę tę określa się terminem „generalizacja”. W szachach

NIECH STANĄ SIĘ OBLICZENIA



RYSUNEK 3. Benedict Cumberbatch jako Alan Turing przy Bombe. Kadr z filmu „Gra tajemnic”. 538921_1.1.jpg, <https://www.filmweb.pl/film/Gra+tajemnic-2014-644005/photos/528921> (C) foto.FilmNation Entertainment, Black Bear Pictures

podobnie – mamy skończony zbiór jasno określonych reguł do wykonania posunięcia, lecz reguły, którymi kierują się szachiści w czasie partii, są dużo bardziej rozbudowane i często intuicyjne.

Turing był przekonany, że myśli nie są związane z fizycznością obiektu, w którym zachodzą. W argumentacji pozwalał sobie na rozważania związane z religią: „Myślenie jest funkcją nieśmiertelnej duszy człowieka. Dusza jest darem od Boga, jakim obdarza on każdego mężczyznę i każdą kobietę, ale nie jakiegokolwiek zwierzęta czy maszyny. Żadne zwierzę ani maszyna nie jest więc w stanie myśleć.”

Rozważania Turinga nie cieszyły się dużą popularnością wśród współczesnych mu naukowców, nie wspominając o szerokiej opinii publicznej. W artykule „Maszyna licząca a inteligencja”, który ukazał się w 1950 roku, przybliżył czytelnikom swoje poglądy. Pojawił się tam także pomysł na tzw. test Turinga. Otóż w trzech odosobnionych pokojach przebywają dwie osoby i maszyna. Jedna

z osób jest arbitrem i jej zadaniem jest na podstawie prowadzonej konwersacji między drugą osobą a maszyną wytypować, która z nich jest maszyną.

W 1952 roku Turing został skazany w procesie obyczajowym za skłonności homoseksualne. Sędzia pozwolił mu wybrać rodzaj kary – więzienie lub terapię chemiczną. Wybrał terapię chemiczną w nadziei, że dalej będzie mógł pracować nad maszynami liczącymi, lecz wyrok spowodował także odsunięcie go od tajnych prac przy komputerach. W 1954 roku znaleziono go martwego po zatruciu cyjankiem. Obok ciała leżało nadgryzione jabłko. Biografowie sądzą, że wybrał śmierć przez samobójstwo podobną do śmierci Królowy Śnieżki.

W 2009 roku premier Wielkiej Brytanii przeprosił w imieniu rządu za „niesprawiedliwe i straszne” potraktowanie Alana Mathisona Turinga, zaś cztery lata później królowa brytyjska go ułaskawiła. W 2019 został głosami Brytyjczyków wybrany najwybitniejszą postacią XX wieku. ●