O maszynie różnicowej Charlesa Babbage i innych starych komputerach

Andrzej Krasiński
Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Polska Akademia Nauk, Warszawa

Streszczenie: W artykule opisano krótko najciekawsze eksponaty (stare komputery i ich podzespoły) znajdujące się w zbiorach Muzeum Historii Komputerów w Mountain View w Kalifornii. Są to mianowicie: pierwsza maszyna Hermanna Holleritha użyta do spisu ludności w USA w r. 1890, pierwszy programowalny komputer ENIAC (1946), komputer UNIVAC 1, który trafnie przewidział wynik wyborów prezydenckich w r. 1952, Whirlwind I – pierwszy komputer z pamięcią magnetyczną, pierwszy stos firmy Google, komputer Apple I i niesławnej pamięci „komputer kuchenny" firmy Honeywell. Główna część artykułu jest poświęcona mechanicznym maszynom liczącym zaprojektowanym przez Charlesa Babbage w I połowie XIX wieku i uwieńczonej sukcesem rekonstrukcji jednej z nich, Difference Engine no. 2, dokonanej w latach 1985–2002 w Muzeum Nauki w Londynie.

On Charles Babbage's difference engine and other old computers

Abstract: The article describes the most interesting specimen (old computers and their sub–units) that are in the collection of the Computer History Museum in Mountain View, California. These are: the first Hermann Hollerith machine that was used in the US census in 1890, the first programmable computer ENIAC (1946), the UNIVAC 1 computer, which correctly predicted the outcome of the presidential election in 1952, the Whirlwind I – the first computer with magnetic core memory, the first Google stack, the Apple I computer and the infamous „kitchen computer" (Honeywell_316). The main part of this article is devoted to the mechanical computing machines designed by Charles Babbage in the first half of the 19th century, and to the successful reconstruction of one of them, Difference Engine no. 2, done in the period 1985 – 2002 in the Science Museum in London.

Ten tekst został zainspirowany zbiorami Muzeum Historii Komputerów w Mountain View w Kalifornii[1]. Muzeum gromadzi egzemplarze wszystkich komputerów, które odegrały ważną rolę w rozwoju techniki cyfrowej. Najcenniejszym i najbardziej fascynującym eksponatem jest jedna z dwu istniejących na świecie (i działających!) replik maszyny różnicowej nr 2 Charlesa Babbage – mechanicznego komputera zaprojektowanego w latach 1847–1849. Obydwie repliki zostały zbudowane w Muzeum Nauki w Londynie, dokładnie według oryginalnego projektu.

Informacje podane w niniejszym artykule pochodzą w większości ze strony internetowej muzeum w Mountain View[2], z uzupełnieniami zaczerpniętymi ze strony internetowej Muzeum Nauki w Londynie[3], z artykułu Dorona Swade [1] oraz z kilku innych, osobno wskazanych źró-

[1] Computer History Museum, 1401 N. Shoreline Blvd, Mountain View, Ca 94 043.

[2] http://www.computerhistory.org/

[3] http://www.sciencemuseum.org.uk/onlinestuff/stories/babbage.aspx

deł. Zdjęcia 1–7 i 12 zostały wykonane przez autora w muzeum w Mountain View, pozostałe ilustracje pochodzą ze źródeł wskazanych w odpowiednich miejscach.

1. Muzeum Historii Komputerów w Mountain View i jego najciekawsze eksponaty

Computer History Museum w Mountain View (zdjęcie nr 1) jest organizacją non–profit, powstałą w roku 1999. Obecny budynek został zakupiony w r. 2002 i w r. 2003 otwarty dla publiczności. Wstęp do muzeum jest bezpłatny. Pracownicy tej instytucji rozumieją swoją działalność jako misję edukacyjną i utrzymują ją z dobrowolnych wpłat indywidualnych entuzjastów.

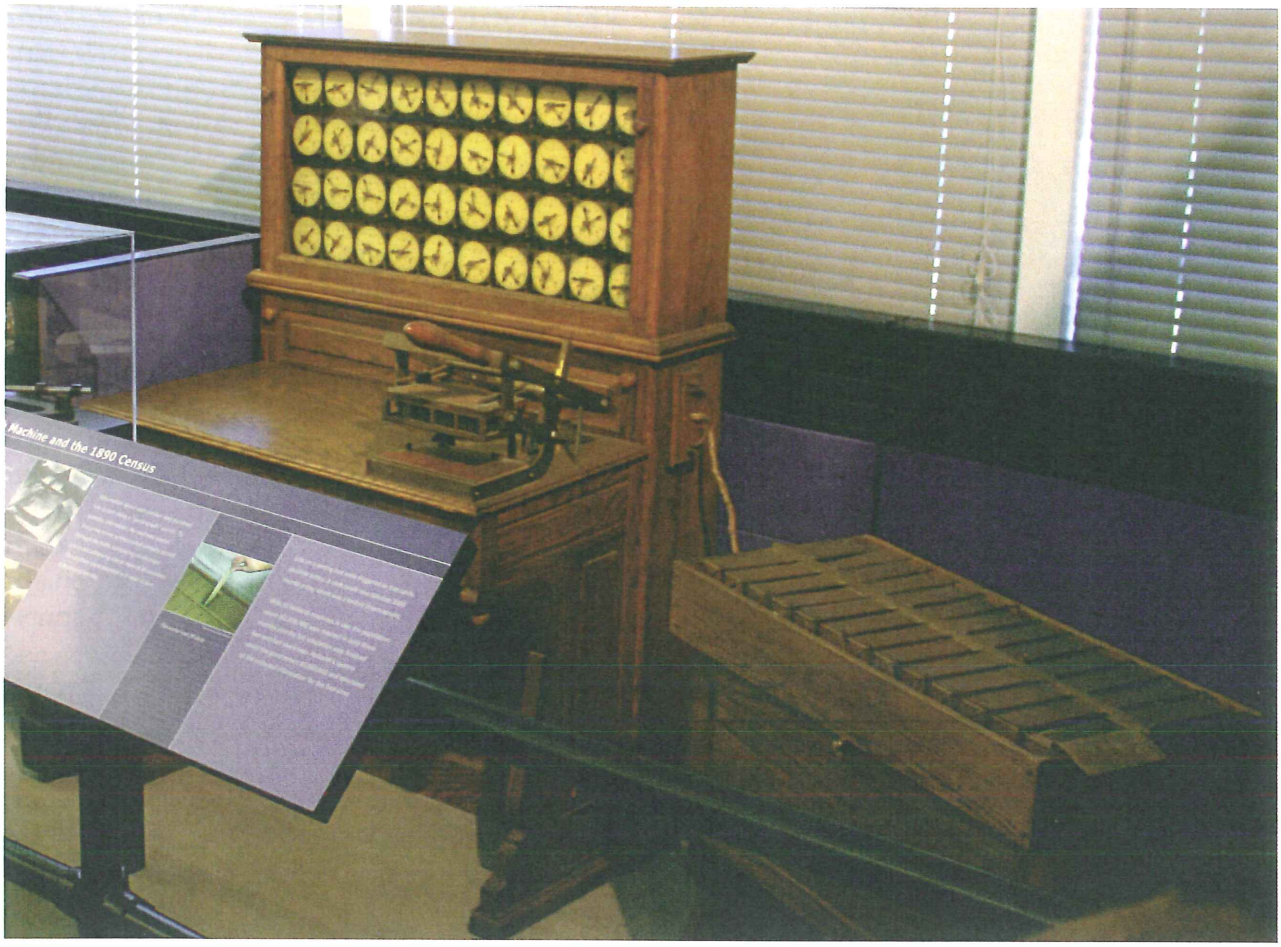
Historia obliczeń jest tu potraktowana poważnie i szeroko. Chronologicznie uporządkowana wystawa eksponatów zaczyna się od liczydeł z początków 19 wieku (starsze liczydła, np. niemieckie z 17 wieku, pokazane są na fotografiach), a kończy na komputerach, które starsi z nas mogli widzieć w działaniu (np. Cray i pierwsze modele Apple) albo nawet pamiętają je jako swoje narzędzia pracy (np CDC Cyber). Zwiedzanie odbywa się w grupach z przewodnikiem, o tej samej godzinie każdego dnia, i trwa ok. 2 godzin.

Pierwszą maszyną liczącą, zastosowaną na dużą skalę w praktyce, była maszyna do czytania kart perforowanych Hermanna Holleritha (1860–1929), pokazana na zdjęciu nr. 2. Pięćdziesięciu takich maszyn użyto podczas spisu ludności USA w roku 1890. Dzięki ich zastosowaniu liczba ludności była znana po 3 miesiącach, a pełne wyniki spisu były dostępne po niecałych 3 latach, podczas gdy opracowanie wyników poprzedniego spisu zajęło 7 lat.

Informacje o każdej osobie kodowano na karcie za pomocą ręcznego perforatora widocznego na pulpicie maszyny. Każdą kartę trzeba było włożyć do czytnika i ręcznie uruchomić proces odczytu. Czytnik sumował dane z kart i aktualizował wskazania poszczególnych liczników. Na koniec każdego dnia pracy spisywano wskazania liczników, po czym liczniki zerowano.

Proces kodowania danych na kartach i odczytywania ich został później zautomatyzowany. Karty perforowane były potem przez wiele dziesięcioleci podstawowym sposobem przechowywania danych i wprowadzania ich do komputera. Były w użyciu jeszcze w latach 1980–tych.

1. Budynek Muzeum Historii Komputerów w Mountain View



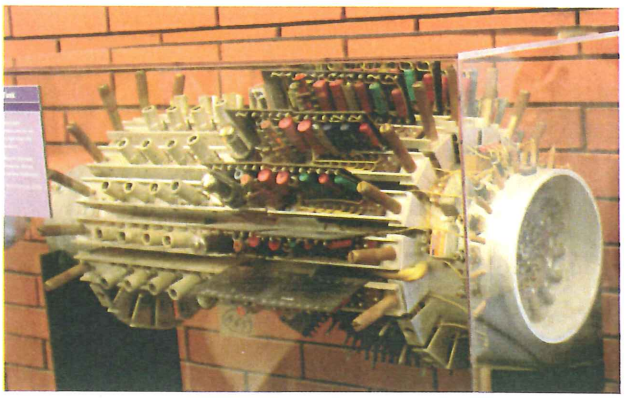
2. Maszyna do czytania kart perforowanych Hermanna Holleritha, użyta w spisie ludności USA w roku 1890. Na pulpicie stoi perforator, obok maszyny – pojemnik do magazynowania kart. Więcej objaśnień w tekście

Hermann Hollerith sprzedał swoją firmę (Tabulating Machine Corporation) w roku 1911. Poprzez różne operacje handlowe stała się ona później częścią Computing-Tabulating-Recording Company, która w roku 1924 zmieniła nazwę na International Business Machines Corporation (IBM).

ENIAC (skrót od Electronic Numerical Integrator and Computer) jest konwencjonalnie uznawany za pierwszy w historii komputer. Składał się on z 40 paneli takich, jaki pokazano na zdjęciu nr 3. Jego głównym zadaniem miało być obliczanie tablic artyleryjskich podczas II wojny światowej, ale prace konstrukcyjne trwały dłużej niż przewidywano. Oddano go do użytku dopiero w roku 1946 na Uniwersytecie Stanu Pennsylvania; głównymi projektantami byli J. Presper Eckert i John Mauchly.

ENIAC nie był pierwszą elektroniczną maszyną liczącą, ale pierwszą, którą można było, z pewnym trudem, programować. Każda z wcześniejszych maszyn była hardware-owo ustawiona na jeden rodzaj obliczeń. „Programowanie" ENIACa polegało na przełączaniu przewodów. Program wprowadzany do pamięci komputera razem z danymi to nieco późniejszy wynalazek.

3. Jeden z 40 paneli komputera ENIAC



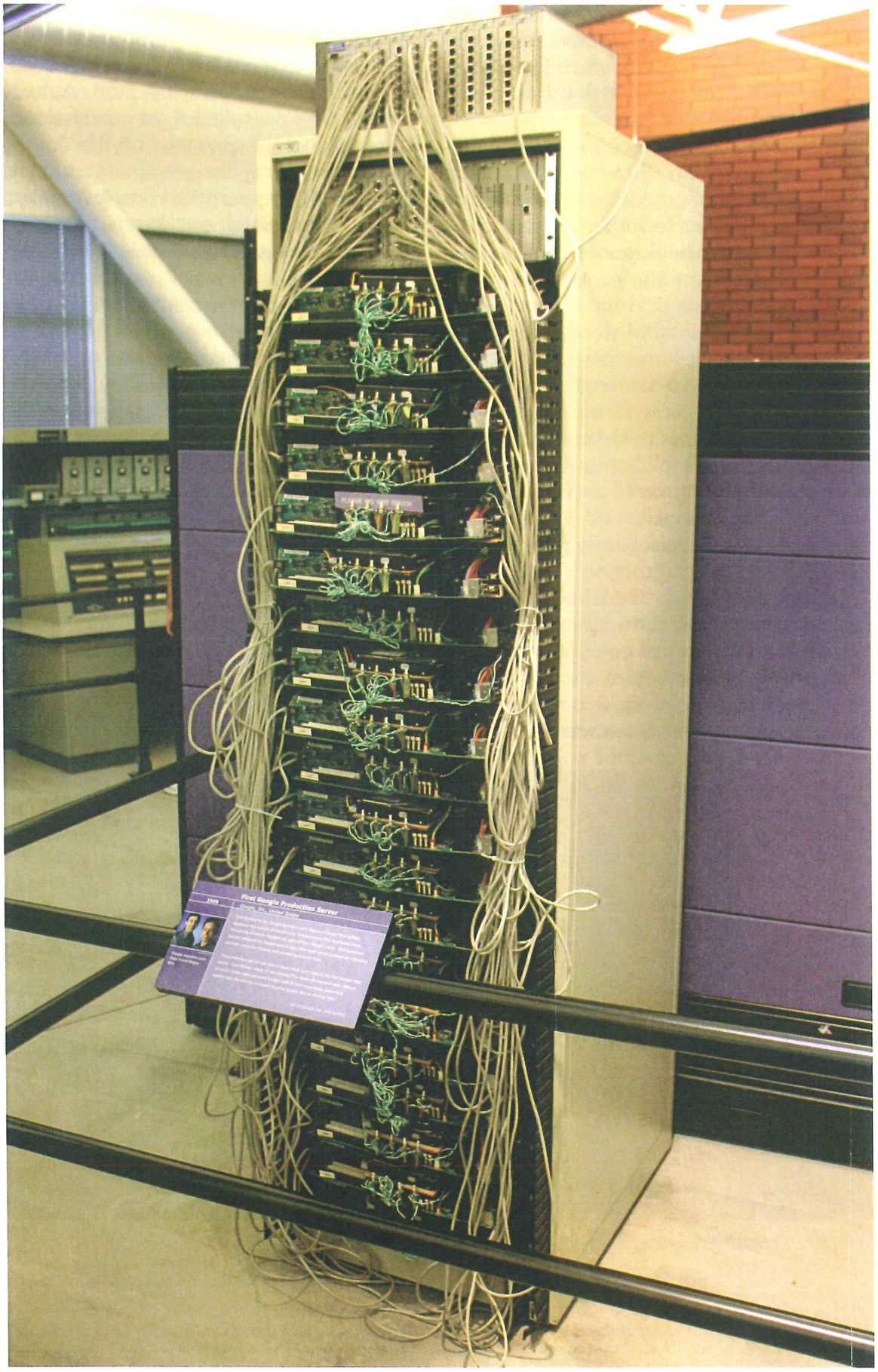
4. Jednostka pamięci komputera UNIVAC1, który odegrał historyczną rolę w wyborach prezydenckich w r. 1952. Dane były przechowywane w postaci fal akustycznych krążących w rurkach wypełnionych rtęcią

ENIAC zawierał ok. 18 000 lamp próżniowych, 70 000 oporników i 10 000 kondensatorów. Zużywał energię elektryczną, która wystarczyłaby dla 50 gospodarstw domowych. Pracował do roku 1955, kiedy to został zniszczony przez uderzenie pioruna. Różne muzea posiadają dziś fragmenty tej maszyny. Widoczny na zdjęciu panel służył do wczytywania danych.

Zdjęcie nr 4 przedstawia fragment pamięci komputera UNIVAC I, skonstruowanego w roku 1951. Był to pierwszy elektroniczny komputer zbudowany w celach komercyjnych, tzn. na sprzedaż. Odegrał historyczną rolę podczas wyborów prezydenckich w USA w r. 1952. Badania opinii publicznej przeprowadzone tradycyjną metodą przewidywały wysoką wygraną Adlai Stevensona. Komputer został użyty do liczenia oddanych głosów i trafnie przewidział zwycięstwo Dwighta Eisenhowera. Gospodarze telewizyjnego programu wyborczego, Walter Cronkite i Charles Collingwood, nie chcieli uwierzyć w ten rezultat i zakwestionowali trafność komputerowej prognozy. Została ona ogłoszona ze znacznym opóźnieniem. Widoczny na zdjęciu element pamięci przechowywał dane w postaci fal akustycznych krążących w rurkach wypełnionych rtęcią. Przed rozpowszechnieniem się pamięci magnetycznej było to często spotykane rozwiązanie.

Zdjęcie nr 5 przedstawia moduł pamięci komputera Whirlwind I. Był to pierwszy komputer (wprowadzony do produkcji w r. 1951), w którym zastosowano pamięć magnetyczną, bardziej niezawodną i szybszą niż wcześniejsze rozwiązania. Pojedynczy prostopadłościenny blok mieścił 1kb.

5. Moduł pamięci komputera Whirlwind I – pierwszego, w którym zastosowano pamięć magnetyczną. Jeden prostopadłościenny blok mieścił 1kb.



6. Stos serwerów z pierwszego działającego zespołu firmy Google

Zdjęcie nr 6 pokazuje stos serwerów z pierwszego działającego zespołu firmy Google, z roku 1999. (Firma Google ma swoją siedzibę w odległości ok. 1 km od muzeum w Mountain View.)

Zdjęcie nr 7 pokazuje egzemplarz komputera Apple I z roku 1976. Jest to bardzo rzadki eksponat, którego zdobycie było trudne nawet dla muzeum, ponieważ założyciele firmy, Steve Jobs i Steve Wozniak, zaoferowali wszystkim posiadaczom wymianę na znacznie udoskonalony model Apple II.[4]

Model Apple I składał się z płytki obwodów drukowanych, zestawu części do samodzielnego montażu i 16–stronicowej instrukcji montażu. Do tego użytkownik musiał dołączyć zasilanie, klawiaturę i ekran. Od pierwszej chwili sprzedawcy zaczęli jednak zamawiać u producentów gotowe, zmontowane zestawy. (Pierwsze zamówienie przyszło od Byte Shop w Mountain View.) Sukces komercyjny modelu Apple I, sprzedawanego za cenę 666.66 dolarów, zachęcił autorów do skonstruowania modelu Apple II, który wszedł do sprzedaży w roku 1977. Ten model zawierał pełny zmontowany układ elektroniczny, klawiaturę, zasilanie i język BASIC umieszczony na stałe w pamięci. Jako monitor mógł służyć zwykły telewizor.

Gdy Apple I został wprowadzony na rynek w roku 1976, typowe komputery kosztowały setki tysięcy dolarów i zajmowały pomieszczenia wielkości kilku dużych mieszkań. Autorzy projektu Apple I przewidzieli, że w przyszłości komputery staną się sprzętem użytku domowego, o cenie dostępnej dla przeciętnie zarabiającego człowieka, i od początku konsekwentnie dostosowali swoją działalność do tej wizji. Komputery Apple nie były jedyną propozycją rynkową tego typu, ale dzięki innowacyjnemu oprogramowaniu, łatwemu do nauczenia się i do użycia dla laika,[5] zdobyły wielką popularność i przez kilka lat były liderem rynku. Dopiero później zaczęły być wypierane przez komputery osobiste firmy IBM, która zdobyła przewagę dzięki swojej bardzo silnej pozycji na rynku i wielkiej zamożności, pozwalającej na kosztowne akcje promocyjne, mimo gorszej jakości komputerów i oprogramowania.

W zbiorach muzeum w Mountain View znajduje się szereg innych ciekawych eksponatów. Jednym z nich jest komputer SAGE („mędrzec"; skrót pochodzi od Semi–Automatic Ground Environment), wyprodukowany przez firmę IBM dla armii amerykańskiej w r. 1954. Powstał on na bazie ulepszonej wersji komputera Whirlwind I. Był połączony z radarami sys-

7. Egzemplarz z najstarszej serii komputerów Apple I.

[4] Legendarny garaż, w którym Jobs i Wozniak uruchomili produkcję, mieścił się w Los Altos (2066 Crist Drive, Los Altos, CA 94024, informacja z Google Maps i z http://www.landsnail.com/apple/local/garage/apple.html). Obecnie Apple Computer jest dużą firmą, która ma swoją siedzibę w Cupertino (19333 Vallco Parkway, Cupertino, CA 95014, informacja z Google Maps). Obydwa miasta sąsiadują z Mountain View.

[5] Tak oczywiste dziś dla wszystkich „mysz" i manewrowanie kursorem po ekranie za jej pomocą upowszechniły sie razem z komputerami firmy Apple. Przedtem komendy dla systemu operacyjnego trzeba było wystukiwać na klawiaturze.

temu obrony przeciwlotniczej i pokazywał obraz nieba nad całym terytorium USA. Mógł też przekazywać dane dla myśliwców.

Ciekawostką jedyną w swoim rodzaju jest „komputer kuchenny" (zdjęcie nr 8), zbudowany w r. 1969 na bazie jednego z pierwszych minikomputerów, Honeywell_316. W zastosowaniach naukowych i biznesowych minikomputery tej marki dobrze zapisały się w historii, ale „komputer kuchenny" stał się spektakularną porażką komercyjną. Różne źródła internetowe twierdzą, że nie zachowała się informacja o sprzedaniu choćby jednego egzemplarza. Don Kelemen, projektant tego komputera, napisał jednak:[6] „Niestety, sprzedaliśmy kilka, więc musieliśmy uruchomić seryjną produkcję". Bill Sisti, technik, który instalował „komputer kuchenny" na potrzeby świątecznej konferencji prasowej firmy Neiman Marcus,[7] wspomina na tej samej stronie internetowej, że widział jeden lub dwa zainstalowane egzemplarze pokazowe.

8. Reklama „komputera kuchennego" firmy Honeywell z roku 1969. (Reprodukcja z katalogu firmy Neiman Marcus.)

Komputer ten miał służyć gospodyniom domowym do przechowywania przepisów na potrawy. Prawdopodobnymi przyczynami klęski marketingowej były: cena (10 600 dolarów – w tamtym czasie równowartość czterech samochodów[8]) i skomplikowany sposób obsługi. Komputer kuchenny nie miał klawiatury ani monitora, tylko układ światełek i dwupozycyjnych przełączników. Firma Honeywell oferowała nabywcom dwutygodniowy kurs „programowania". Nie udało mi się znaleźć w internecie instrukcji obsługi.

Bliska zera liczba wyprodukowanych egzemplarzy sprawiła, że tylko kilka osób ma osobiste doświadczenia z tą maszyną. Stworzyło to korzystne warunki dla rozpowszechniania legend internetowych. Twórcy legend twierdzą, że charakterystyczny duży pulpit miał być blatem do cięcia mięsa. Według D. Kelemena blat był przeznaczony do rozkładania instrukcji obsługi. Najbardziej wiarygodne wyjaśnienie (chociaż najbardziej ośmieszające całe przedsięwzięcie) oferuje B. Sisti. Pisze on, że w komputerze tym nie przewidziano możliwości notowania własnych przepisów kuchennych użytkownika. Wszystkie dane były wprowadzone do pamięci przez producenta; były to sugestie zestawów potraw na różne okazje. Gdy hipotetyczna gospodyni domowa zdecydowała się już na zestaw dań, komputer miał wyświetlać numer strony w książce kucharskiej, która była sprzedawana w pakiecie razem z komputerem. Blat miał służyć do rozkładania tejże książki.

2. Charles Babbage i błędy w tablicach matematycznych

Tablice liczbowe były w XVIII wieku w dość powszechnym użyciu, np. w inżynierii i w nawigacji morskiej. Drukowano je jedynym znanym wtedy sposobem – wyniki obliczeń (niekoniecznie wolne od błędów) były przepisywane ręcznie na maszynach drukarskich. W rezultacie, publikowane tablice zawierały nieznaną liczbę ukrytych błędów.

Charles Babbage (1791–1871, patrz zdjęcie nr 9[9]), angielski matematyk i wynalazca,

[6] http://www.old-computers.com/museum/doc.asp?c=927

[7] Firma ta, istniejąca do dzisiaj, podjęła się sprzedaży komputerów kuchennych. Specjalizowała się ona w handlu artykułami luksusowymi i kosztownymi do granicy absurdu.

[8] Torin Darkflight, http://www.old-computers.com/museum/computer.asp?st=1&c=927

[9] Image=10303452 ze zbiorów Science Museum, London/SSPL, skopiowany za pozwoleniem Muzeum. Jest to kopia ryciny wykonanej w roku 1833 z obrazu będącego w posiadaniu rodziny Babbage (http://www.life.com/image/50703305).

spotkał się z tym problemem w roku 1821. Przeglądając tablice astronomiczne i znajdując w nich błąd za błędem, według relacji świadków, wykrzyknął: „Na Boga, chciałbym, żeby te rachunki były wykonane za pomocą pary wodnej!". Miał na myśli maszynę parową.

9. Charles Babbage w roku 1833

Idąc za tym pomysłem, zaczął tworzyć projekt maszyny, która wykonałaby w sposób automatyczny, bez udziału człowieka – a więc bezbłędnie – cały proces obliczania i drukowania tablic matematycznych. Zanim opiszemy losy tego projektu, przedstawimy metodę rachunkową, na której był on oparty.

3. Metoda różnic skończonych

Metoda ta opiera się na następującej obserwacji. Dla dowolnego $a \neq 0$ i dowolnej liczby naturalnej k wyrażenie $[(x + a)^k - x^k]$ jest wielomianem stopnia $(k - 1)$. Weźmy więc wielomian $W_n(x)$ stopnia n i obliczmy różnicę:

$$d_1(x) = W_n(x + a) - W_n(x). \tag{3.1}$$

Wielomian $d_1(x)$ jest stopnia $(n - 1)$. Powtórzmy tę samą operację dla niego:

$$d_2(x) = d_1(x + a) - d_1(x); \tag{3.2}$$

otrzymany w wyniku wielomian $d_2(x)$ jest stopnia $(n - 2)$. Jest jasne, że po n–krotnym powtórzeniu tej operacji dostaniemy wielomian stopnia 0, czyli funkcję stałą.

Tabela poniżej demonstruje ten fakt na przykładzie wielomianu:

$$W(x) = x^3 + 3x^2 + 2x + 5, \tag{3.3}$$

dla którego stała jest trzecia różnica; w tym przykładzie przyjęto $a = 1$.

x	$W(x)$	$d_1(x)$	$d_2(x)$	$d_3(x)$
0	**5**	**6**	**12**	**6**
1	**11**	**18**	**18**	6
2	**29**	**36**	24	6
3	**65**	60	30	6
4	125	90	36	
5	215	126		
6	341			

Stałość n–tej różnicy pozwala obliczać wartości wielomianu dla kolejnych wartości argumentu wyłącznie za pomocą dodawania liczb, bez konieczności wykonywania mnożeń i dzieleń, które są znacznie trudniejsze do zautomatyzowania. Przykład z tabeli pokazuje, jak to można zrobić. Liczby wydrukowane większą i pogrubioną czcionką stanowią minimalny zestaw danych początkowych, które trzeba obliczyć „ręcznie". Dalej rachunek przebiega następująco. Wiemy, że $d_3 = 6$ niezależnie od x. Zatem

$$d_2(2) = 6 + d_2(1) = 6 + 18 = 24. \tag{3.4}$$

Następnie:

$$d_1(3) = d_1(2) + d_2(2) = 36 + 24 = 60, \tag{3.5}$$

$$W(4) = W(3) + d_1(3) = 65 + 60 = 125. \tag{3.6}$$

Mając wyniki (3.4) – (3.6) możemy powtórzyć rachunek dla następnej ukośnej linii w tabeli, otrzymując

$d_2(3) = 30 \rightarrow d_1(4) = 90 \rightarrow W(5) = 215.$

W projekcie swojej maszyny Charles Babbage założył obliczanie wartości wielomianów do 7 stopnia z dokładnością do 31 cyfr znaczących. Maszyna operuje tylko na liczbach naturalnych, naturalne muszą więc być współczynniki wielomianu oraz $a = 1$.

4. Maszyna różnicowa nr 1

Pierwszy projekt maszyny realizującej obliczenia przedstawione w poprzednim paragrafie i automatycznie drukującej ich wyniki powstał w latach 1820-tych i został później nazwany Maszyną Różnicową nr 1.[10] Według tego projektu maszyna miała składać się z 25 000 części i ważyłaby 15 ton. Części miały skomplikowane kształty i musiały być wykonane w setkach identycznych egzemplarzy. Było to krańcowo trudne wyzwanie dla inżynierii i techniki tamtych czasów. Nie istniały wtedy urządzenia do automatycznego wyrobu identycznych obiektów.

Przed przystąpieniem do produkcji, Babbage zwiedził różne manufaktury i zakłady rzemieślnicze w Anglii i Europie i przestudiował ich możliwości techniczne. Wynikiem tych badań była książka p.t. „O ekonomii maszynerii i manufaktur", wydana w roku 1832 i wysoko wówczas ceniona.

Jako wykonawcę projektu Babbage zatrudnił w roku 1823 Josepha Clementa, mistrza w kreślarstwie i wytwarzaniu narzędzi. Produkcja szła sprawnie przez 10 lat. W roku 1832 Clement zbudował mały podzespół maszyny dla celów pokazowych (1/7 części obliczeniowej), który zachował się do dziś i jest w posiadaniu londyńskiego Muzeum Nauki.

Przedsięwzięcie załamało się w roku 1833 z powodów, których błahość, w zestawieniu ze wspaniałym celem, jest zdumiewająca. Aby *usprawnić produkcję* Clement został poproszony o przeniesienie warsztatu bliżej domu Babbage'a. Clement spełnił prośbę, ale upomniał się o zwrot kosztów tej operacji.[11] Wynikła stąd dyskusja doprowadziła do konfliktu, a w następstwie do likwidacji warsztatu Clementa i zwolnienia robotników. (Według relacji różnych autorów Babbage był człowiekiem bezkompromisowym o usposobieniu trudnym do zniesienia w sytuacjach konfliktowych.) Maszyna nie została nigdy zbudowana; około 12000 wykonanych już części przetopiono później jako złom. Rząd brytyjski, który finansował to przedsięwzięcie, wydał w sumie 17500 funtów, co było równe cenie 22 lokomotyw Stephensona według jednego źródła[12], albo dwu okrętów wojennych według innego.[13]

5. Maszyna analityczna i narodziny teorii programowania

Po niepowodzeniu projektu Maszyny Różnicowej nr 1, Babbage rozpoczął prace nad jeszcze ambitniejszym przedsięwzięciem – Maszyną Analityczną. Miał to być mechaniczny

10. Ada Byron (1815 – 1852) w roku 1836. Portret namalowany przez Margaret Sarah Carpenter

komputer ogólnego przeznaczenia. Obliczenia miały być programowane za pomocą kart perforowanych. Maszyna miałaby „magazyn" (store) – prototyp pamięci, gdzie miały być przechowywane dane liczbowe i wyniki pośrednie,

[10] W angielskiej terminologii przyjęło się wyrażenie „difference engine".

[11] „You ordered a first–rate article, and you must be content to pay for it" („Zamówił Pan artykuł pierwszej kategorii, więc musi Pan zgodzić się na zapłatę za niego") – http://www.computerhistory.org/babbage/people/.

[12] http://www.computerhistory.org/babbage/history/

[13] http://www.sciencemuseum.org.uk/objects/computing_and_data_processing /1862–89.aspx

oraz „młyn" (mill), gdzie miały być wykonywane obliczenia. Według projektu, Maszyna Analityczna mogła realizować pętle rekurencyjne i wyrażenia warunkowe (IF ... THEN ...). (Użyta tu terminologia jest zapożyczona z dzisiejszej – Babbage nie znał takich pojęć jak „program", i oczywiście nie mógł znać nazw elementów programu, takich jak „pętla rekurencyjna".)

W roku 1833 Charles Babbage poznał na przyjęciu towarzyskim w Londynie 17–letnią Adę Byron, córkę poety George'a Byrona. Ada Byron – patrz zdjęcie nr 10[14] – przeszła do historii jako hrabina Ada Lovelace, ale ten tytuł odziedziczyła wraz z mężem, Williamem Kingiem, dopiero w roku 1838.

Matka Ady, Anne Isabella Milbanke, chcąc uchronić ją przed rujnującym wpływem uprawiania poezji na życie osobiste, którego to wpływu gorzko doświadczyła w krótkotrwałym małżeństwie z George Byronem, zapewniła jej wykształcenie w dziedzinie matematyki.[15] Pod wpływem znajomości z Babbage'm Ada zainteresowała się Maszyną Analityczną i w pełni zrozumiała zasadę jej działania. Gdy w roku 1842 włoski matematyk, Louis Menebrea, opublikował artykuł na temat Maszyny Analitycznej, Babbage poprosił Adę o przetłumaczenie tego tekstu z języka francuskiego. Tłumaczka wykonała zadanie z nadwyżką – dodała swoje własne komentarze, których łączna długość była trzykrotnie większa od długości artykułu.

W komentarzach Ada (wtedy już Lovelace) stworzyła podstawy teorii programowania, a w jednej dygresji podała sposób obliczania liczb Bernoulliego, uznawany dziś za pierwszy w historii program komputerowy. W części ogólnej swoich komentarzy przewidziała, że maszyna mogłaby przetwarzać nie tylko liczby, ale także symbole reprezentowane przez liczby, na przykład litery alfabetu albo nuty.

6. Maszyna Różnicowa nr 2

Podczas pracy nad projektem Maszyny Analitycznej Babbage wpadł na pomysł, jak uprościć konstrukcję Maszyny Różnicowej. W latach 1847–1849 sporządził projekt Maszyny Różnicowej nr 2. Nowa maszyna miała składać się z 8000 części i ważyć 5 ton. Istotnego ulepszenia dokonał Babbage w projekcie drukarki. Nowa drukarka miała nie tylko drukować wyniki obliczeń na papierze, ale też wytłaczać je w miękkim materiale (np. folii metalowej), aby można było użyć go do zrobienia płyty drukarskiej i powielania wydruku. Również możliwe było formatowanie wydruku (wysokość linii, szerokość marginesu, liczba kolumn druku, i inne parametry).

Babbage próbował zdobyć poparcie i finansowanie rządu brytyjskiego dla budowy Maszyny nr 2. W jego liście do premiera, lorda Derby, z roku 1852 widać próbę rehabilitacji za wcześniejsze niepowodzenie [1]. Prośba ta została jednak odrzucona i projekt nigdy nie wystartował. Natomiast dwaj szwedzcy konstruktorzy, ojciec i syn, Georg i Edvard Scheutz zbudowali dwa działające egzemplarze, w r. 1853 w Sztokholmie i w r. 1859 dla londyńskiego Urzędu Stanu Cywilnego (Register Office). Według autorów strony www muzeum w Mountain View, obie maszyny działały niedoskonale i budziły niezadowolenie klientów. Maszyna pracująca w Londynie nie miała zaprojektowanych przez Babbage'a zabezpieczeń i często zacinała się. Wymagała więc stałego nadzoru. Ojciec i syn zbankrutowali. Zbudowane przez nich maszyny pozostają dziś w zbiorach muzeów.

Najmłodszy syn Charlesa, Henry Prevost Babbage, próbował kontynuować dzieło ojca. Zbudował on 6 pokazowych podzespołów Maszyny Różnicowej nr 1 oraz czterofunkcyjny kalkulator Maszyny Analitycznej.[16] Nie wzbudziły one jednak zainteresowania potencjalnych użytkowników i producentów. Po śmierci Babbage'a juniora idea mechanicznego komputera poszła w zapomnienie na kilka dziesięcioleci. Prace eksperymentalne, które doprowadziły do wyprodukowania pierwszych działających komputerów, były prowadzone w oparciu o procesy elektroniczne i nie były kontynuacją badań Babbage'a. Idee programowe Babbage'a i Ady Lovelace zostały w 100 lat później odkryte niezależnie.

[14] Zdjęcie nr 10 zostało skopiowane z Wikimedia Commons i nie jest chronione prawami autorskimi (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ada_Lovelace.jpg); życiorys Ady: http://www.sdsc.edu/ScienceWomen/lovelace.html.

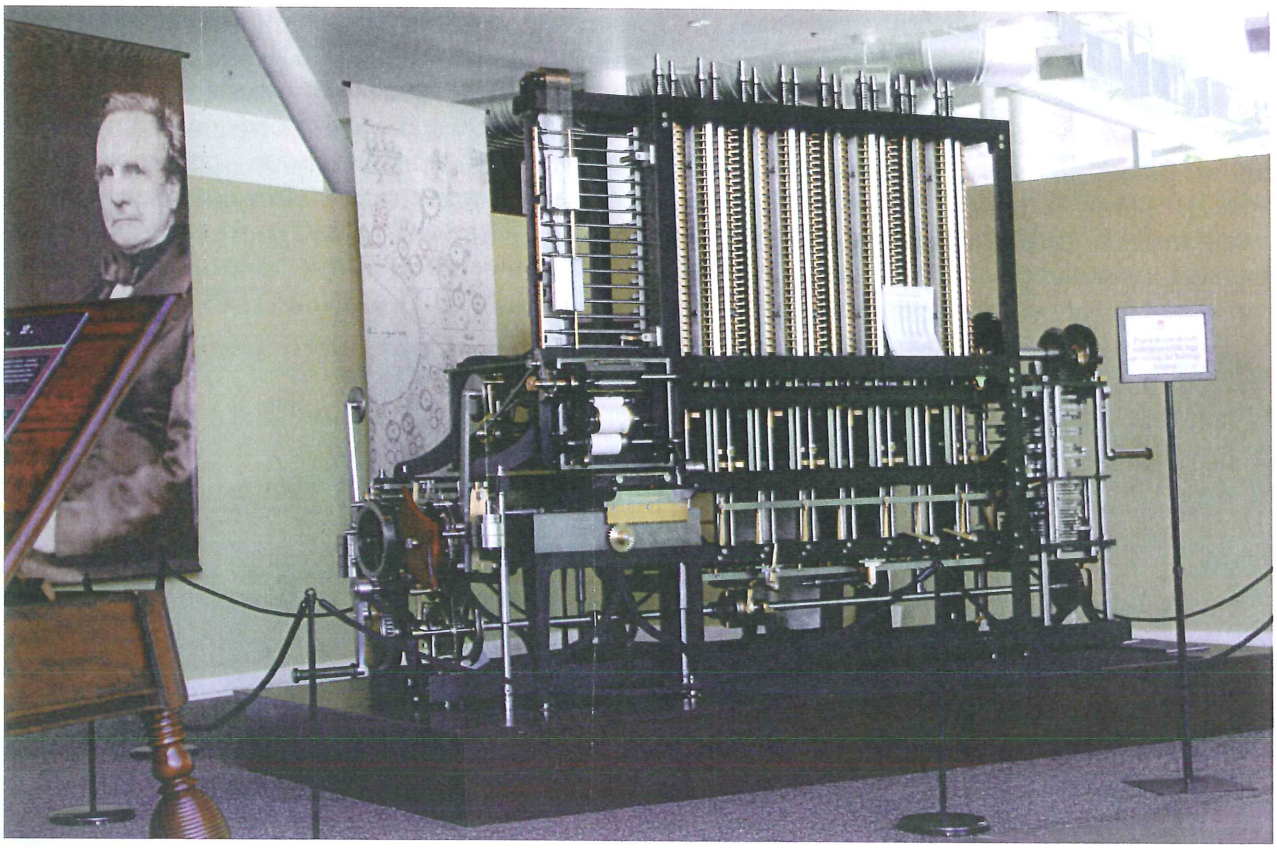
[15] Matka Ady też miała wykształcenie matematyczne, które kultywowała z zamiłowaniem. George Byron nazywał ją „księżniczką równoległoboków" – http://www.ask.com/wiki/Anne_Isabella_Byron,_Baroness_Byron.

[16] Babbage junior wysłał jeden z podzespołów Maszyny Różnicowej nr 1 do Harvardu, jego pozostałe dzieła są dziś w zbiorach Muzeum Nauki w Londynie.

7. Sukces 120 lat po śmierci

Charles Babbage umarł w roku 1871, zgorzkniały i rozczarowany porażką. Pozostała po nim sławna wypowiedź: „Another age must be the judge" ([naszym] „sędzią musi być inny wiek"). Był on geniuszem wyprzedzającym swoje czasy o tak wielki dystans, że nie znalazł zrozumienia za życia. Maszyny liczące nie były jego jedynym wynalazkiem. Między innymi wynalazł on mechanizm do sterowania sygnałami świetlnymi w latarniach morskich, charakterystyczny zderzak dla lokomotyw nazywany „łapaczem krów", zaprojektował „czarną skrzynkę" do rejestrowania parametrów jazdy lokomotywy (w celu ustalenia przyczyn ewentualnej katastrofy), niezawodne i szybko rozpinające się po-

11. Konstruktorzy z Muzeum Nauki w Londynie, którzy zbudowali replikę Maszyny Różnicowej nr 2 w latach 1985 – 2002. U góry, od lewej: Allan Bromley, Reg Crick, Michael Wright i Peter Turvey. Na dole: Barrie Holloway (po lewej) i Doron Swade (kustosz oddziału komputerów i kierownik projektu, po prawej



12. Replika Maszyny Różnicowej nr 2 wystawiona w Muzeum Historii Komputerów w Mountain View. Lewa część, z niebieskawą płytką na pierwszym planie, to drukarka, prawa część, na prawo od czarnej ramy, to przekładnia do ręcznego napędu redukująca siłę w stosunku 1:4. Osiem pionowych kolumn zawiera liczby reprezentujące siedem różnic i wartość wielomianu 7 stopnia. Każda kolumna składa się z 31 kółek zębatych reprezentujących poszczególne cyfry

łączenia do wagonów kolejowych, altimetr, sejsmograf i szereg innych urządzeń.[17]

W latach 1980-tych grupka pracowników Muzeum Nauki w Londynie postanowiła sprawdzić, czy Maszyna Różnicowa nr 2 miała szansę zadziałać. Po dokładnym przeanalizowaniu projektu doszli do wniosku, że był on poprawny od strony logicznej i prawie poprawny od strony inżynierskiej; drobne błędy w rysunkach technicznych były możliwe do poprawienia [1]. Następną decyzją zespołu było: budujemy![18] W listopadzie 1991 r., miesiąc przed 200 rocznicą urodzin Babbage'a, działający egzemplarz sekcji obliczeniowej był gotowy. Jego zbudowanie wymagało przerysowania i powiększenia 20 starych rysunków; zbudowano też małą część próbną, aby sprawdzić działanie mechanizmu dodawania i przenoszenia dziesiątek.

W budowie repliki użyto nowoczesnej technologii do wytwarzania identycznych kopii poszczególnych części, ale starannie „zepsuto" nowoczesną precyzję wykonania, aby dostosować ją do poziomu osiągalnego dla Babbage'a. Poprzez pomiary istniejących podzespołów Maszyny nr 1, konstruktorzy (Bromley i Wright) stwierdzili, że Clement potrafił wykonywać kopie jednakowych części z dokładnością do 0.002 cala [1]. Tę dokładność przyjęto jako granicę, której, dla zachowania autentyczności rekonstrukcji, nie wolno było przekraczać. Użyto materiałów takich samych, jakie Babbage mógł mieć do dyspozycji, i zrezygnowano z techniki CAD przy rysunkach projektowych – użyto tradycyjnych rysownic i ołówków.

W roku 2002, 17 lat po rozpoczęciu pracy, ukończono budowę sekcji drukującej, która też działała prawidłowo. Zespół, który tego dokonał, składał się z 6 osób, pokazanych na zdjęciu nr 11.[19]

[17] http://www.computerhistory.org/babbage/charlesbabbage/

[18] Początki i postępy tego projektu relacjonował na bieżąco tygodnik *Nature*.

[19] Autorem wszystkich trzech zdjęć jest Doron Swade; są one tu reprodukowane za jego zgodą. Górne zdjęcie 11 zostało zrobione podczas spotkania w styczniu 1990 r., na którym zadecydowano, jakich materiałów należy użyć do wyrobu każdej z 4000 części maszyny.

Drugi egzemplarz Maszyny Różnicowej nr 2 został zbudowany na prywatne zamówienie jednego ze sponsorów projektu. Był nim Nathan Myhrvold, były główny inżynier i wice-szef oddziału w firmie Microsoft. N. Myhrvold wypożyczył swój egzemplarz muzeum w Mountain View, gdzie można go nie tylko oglądać – zdjęcie nr 12 – ale też zobaczyć podczas pracy. Film pokazujący pracującą replikę maszyny Babbage'a można obejrzeć na stronie http://www.computerhistory.org/babbage.

Tyle mówią strony internetowe muzeów w Londynie i Mountain View. Więcej szczegółów o maszynie i historii budowy jej repliki można znaleźć w pracach D. Swade i jego współpracowników, np. [1 – 2] i w cytowanej tam literaturze. Dalszy ciąg niniejszego artykułu jest oparty na pracy [1].

Dane początkowe dla obliczenia wartości wielomianów według schematu z par. 3 są ustawiane ręcznie przez obracanie odpowiednich kółek zębatych. Kółka te są ustawione w 8 kolumnach po 31 na jednej osi (patrz zdjęcie nr 12). Siedem kolumn zawiera informacje o siedmiu różnicach dla wielomianu 7 stopnia, ósma zawiera wynik pojedynczego obliczenia; 31 kółek odpowiada 31 cyfrom. Maszyna produkuje średnio jeden wynik w ciągu 6 sekund.

Początkowo zespół konstruktorów zamierzał zbudować kompletną Maszynę Różnicową nr 2 na 200 urodziny Charlesa Babbage, 26 grudnia 1991. W trakcie prób i przygotowań okazało się to nierealne. Przewidywane koszty produkcji części i montażu maszyny, które trzeba było zlecić zewnętrznym podwykonawcom, przekraczały granice możliwości Muzeum Nauki, finansowanego z ciągle malejących grantów rządowych. Trzeba było szukać prywatnych sponsorów, a koszty budowy drukarki zniechęciłyby każdego z nich. Założono więc, że na 200 urodziny Babbage'a zostanie zbudowany tylko kalkulator.

Po pokonaniu wszystkich przeszkód organizacyjnych i finansowych, 4000 części kalkulatora zostało wykonanych w ciągu 6 miesięcy przez 46 podwykonawców. Maszyna była montowana przez Cricka i Hollowaya w miejscu widocznym dla publiczności – w przezroczystym boksie zbudowanym na parterze Muzeum Nauki i wyposażonym w podstawowe narzędzia inżynierskie i warsztatowe. Konstruktorzy testowali podzespoły maszyny w trakcie budowy. Oczywiście, nowo zbudowane podzespoły klinowały się podczas pracy i wymagały ręcznego poprawiania pozycji i kształtu poszczególnych części. Pierwsza próba przeprowadzenia rachunku odbyła się 23 czerwca 1991 r. i natychmiast doprowadziła do zaklinowania mechanizmów. Pierwszy rachunek uwieńczony sukcesem – bezbłędne obliczenie tablicy wartości funkcji $y = x^7$, odbył się 29 listopada 1991.

Po 200 urodzinach Babbage'a nie istniał naturalny termin ukończenia budowy drukarki, ale działający kalkulator był dobrym narzędziem do zdobywania sponsorów. Przełom nastąpił 3 grudnia 1995. W ramach promocji swojej książki „The road ahead" przyjechał do Londynu Bill Gates, aby dać się sfotografować przy korbie Maszyny Różnicowej. Jedna z osób towarzyszących Gatesowi skontaktowała Dorona Swade'a z Nathanem Myhrvoldem. Jak pisze Swade [1], nastąpiły potem trwające rok „zaloty przez email" do Myhrvolda, ukoronowane jego wizytą w Londynie 13 marca 1997 r. i pokazem kalkulatora. Wkrótce potem Myhrvold zaproponował sfinansowanie ze swoich własnych pieniędzy dwu egzemplarzy drukarek i drugiego egzemplarza kalkulatora. Pierwsza drukarka miała zostać w muzeum w Londynie, jako dopełnienie już zbudowanego kalkulatora, druga para kalkulator-drukarka stałaby się prywatną własnością N. Myhrvolda, wystawioną i czasem używaną w jego domu w Seattle.

Budowa drukarki rozpoczęła się pod koniec 1999 roku. Dobudowano ją, w tym samym widocznym dla publiczności miejscu, do istniejącego kalkulatora. Ta część zadania okazała się znacznie trudniejsza od pierwszej. Drukarka ma niewiele powtarzających się części i trudny dostęp do już zmontowanych podzespołów. Praca trwała ponad 2 lata, a gotowa maszyna została po raz pierwszy wypróbowana w marcu 2002 r. Między początkiem pracy – oficjalną propozycją Allana Bromleya złożoną Muzeum Nauki w maju 1985 r. – a końcową datą (marzec 2002) minęło 17 lat.

Autorzy repliki zrobili kilka modyfikacji w oryginalnym projekcie Babbage'a. Trzy najważniejsze to: przekładnia dodana do korby ręcznego napędu, redukująca siłę w stosunku 1:4, sprzęgło pozwalające odłączyć drukarkę od kalkulatora oraz korba do napędu drukarki po odłączeniu. Modyfikacje te okazały się potrzebne w fazie budowy kalkulatora i drukarki dla ułatwienia testów podzespołów maszyny.

Drugi egzemplarz Maszyny Różnicowej został ukończony i wysłany do USA w I połowie 2008 roku. Z powodów, których nie udało mi się ustalić, maszyna nie pojechała do prywatnego domu p. Myhrvolda, lecz została zdeponowana w muzeum w Mountain View.[20] Jest tam przechowywana nadal, pokazy dla publiczności ciągle trwają i są planowane na rok 2011 (piszę to w grudniu 2010). Według informacji p. Judy Strebel z muzeum w Mountain View (w liście do mnie), p. Myhrvold zaakceptował tę sytuację i jest zadowolony z faktu, że maszynę może oglądać duża liczba ludzi.

8. Uwagi końcowe

Niniejszy tekst nie mógł przedstawić wszystkich szczegółów procesu rekonstrukcji Maszyny Różnicowej; dokładna relacja przekroczyłaby granice cierpliwości Czytelników i kompetencji autora. O szczegółach tych informują prace D. Swade'a [1 – 2]. Poświęcenie, z jakim pracował zespół rekonstruktorów, budzi najwyższy szacunek. Ich praca i jej końcowy sukces są pięknym przykładem triumfu idealizmu nad ciasno pojętym materializmem. Z czysto praktycznego punktu widzenia dwie repliki Maszyny Różnicowej nr 2 nie są nikomu potrzebne. Zespół D. Swade'a chciał za ich pomocą udowodnić, że projekty Babbage'a były realistyczne i że był on autentycznym pionierem nowoczesnej techniki cyfrowej, a nie tylko marzycielem. Ich zapał udzielił się nawet przedstawicielowi tak, zdawałoby się, nieromantycznej grupy zawodowej jak bogaci biznesmeni, który na tę pozornie bezużyteczną zabawkę wyłożył niemałą sumę własnych pieniędzy (publicznie dostępne źródła nie podają tej sumy). Dopóki istnieją tacy ludzie, nasza kultura i cywilizacja nie zgubią kontaktu ze swoimi najlepszymi tradycjami.

Podziękowanie.

Dziękuję następującym osobom:

1. Pani Judy Strebel (Computer History Museum w Mountain View) za szereg użytecznych informacji.
2. Panu Johnowi Herrickowi (Photo Studio Picture Researcher, Information Group, NMSI, London Science Museum) za zezwolenie na reprodukcję ilustracji 9 i skontaktowanie mnie z prof. Doronem Swade.
3. Profesorowi Doronowi Swade, kierownikowi projektu rekonstrukcji Maszyny Różnicowej, za dostarczenie wszystkich części ilustracji 11, zezwolenie na jej reprodukcję, za kopię artykułu [1], szereg innych dodatkowych informacji oraz cierpliwe odpowiadanie na zadawane korespondencyjnie pytania.
4. Antoniemu i Karolinie Krasińskim, mojemu Synowi i Synowej, za pomoc w odnalezieniu i zwiedzeniu Muzeum w Mountain View oraz za uściślenie informacji topograficznych.

Literatura

[1] Doron Swade, The Construction of Charles Babbage's Difference Engine No. 2. *IEEE Annals of the History of Computing* **27**.3, 70–88 (2005).

[2] Doron Swade, The Cogwheel Brain: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer. London: Little, Brown, 2000. (Opublikowane też w USA w r. 2001 przez wydawnictwo Viking p.t. *„The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer"*).

[20] Przewodnicy z Mountain View twierdzą, że dom p. Myhrvolda nie był przygotowany na obciążenie 5 ton i wymagał przebudowy. D. Swade, w prywatnym liście do mnie, kwestionuje tę informację. Według niego, p. Myhrvold znał parametry maszyny, a dom w Seattle był budowany w tym samym czasie, co maszyna.