

50 lat polskich komputerów

9 kwietnia 2013



W 1948 roku, w wyniszczonym kraju, kilku entuzjastów kończących przerwane wojną studia postanowiło zbudować matematyczną maszynę cyfrową podobną do skonstruowanej zaledwie rok wcześniej w USA. Bez potrzebnej wiedzy, materiałów, narzędzi i pieniędzy. To może być tylko polska historia.

W czwartek 23 grudnia 1948 roku, w Gmachu Fizyki Doświadczalnej przy ul. Hożej w Warszawie, z inicjatywy wybitnego polskiego matematyka Kazimierza Kuratowskiego, profesora Uniwersytetu Warszawskiego, dyrektora świeżo organizowanego Państwowego Instytutu Matematycznego, spotkało się kilku entuzjastów elektronicznych maszyn liczących. Byli to, obok inicjatora spotkania: prof. Andrzej Mostowski, matematyk zajmujący się głównie logiką matematyczną i algebrą, dr Henryk Greniewski, matematyk i logik, oraz trzech młodzi inżynierowie znający się ze studiów na Politechnice Gdańskiej: Krystyn Bochenek, Leon Łukaszewicz (na zdjęciu obok) i Romuald Marczyński, późniejsi profesorowie. Wszyscy oni znali już publikacje na temat pierwszej elektronicznej maszyny matematycznej ENIAC.

Profesor Kuratowski podzielił się z zebranymi swoimi wrażeniami z naukowego pobytu w USA. Stwierdził, że niezwykle ważne dla zastosowań matematyki mogą być elektroniczne maszyny liczące, które widział za oceanem, i że chociaż jedna taka maszyna powinna być zbudowana w kraju. W rezultacie tego spotkania zapadła decyzja powołania w ramach Państwowego Instytutu Matematycznego Grupy Aparatów Matematycznych (GAM) w wyżej wymienionym składzie, pod kierunkiem Henryka Greniewskiego. Zamierzenie było właściwie nierealne, albowiem maszyna ENIAC, wzorzec prac, była gigantem, zawierającym przeszło 18 000 lamp elektronowych. W kraju wyniszczonym wojną nie było ani właściwego sprzętu, ani materiałów, ani też niezbędnego doświadczenia w budowie tak złożonych urządzeń. Nie tylko zresztą w tej dziedzinie.

W pierwszym półtorarocznym okresie GAM nie miała nawet lokalu w jeszcze zburzonej Warszawie. Jak pisał we wspomnieniach Leon Łukaszewicz: „Okres ten więc upływał nam na planowaniu zajęć laboratoryjnych, studiowaniu zaczynającej docierać literatury zagranicznej oraz spotkaniach seminaryjnych. Jednym z tematów tych spotkań było poprawne zdefiniowanie pojęcia maszyny liczącej, a więc problemu, mówiąc współcześnie, z zakresu matematycznych podstaw informatyki. Prowadził je oczywiście, jako logik, dr Henryk Greniewski.”

Dopiero jesienią 1950 roku GAM otrzymał trzy pokoje w odbudowywanym gmachu dawnego Warszawskiego Towarzystwa Naukowego przy ul. Śniadeckich 8. W jednym z nich odbywały się wspólne spotkania, w drugim znajdował się magazyn części i elementów, a w trzecim, największym – laboratorium dla trzech zespołów. Krystyn Bochenek pracował nad Analizatorem Równań Algebraicznych Liniowych (ARAL), Leon Łukaszewicz nad Analizatorem Równań Różniczkowych (ARR) zaś Romuald Marczyński opracowywał maszynę cyfrową: Elektroniczną Maszynę Automatycznie Liczącą (EMAL).

W trakcie prac do grupy dołączyło wielu bardzo zdolnych młodych entuzjastów maszyn matematycznych. Byli to między

innymi (wymienieni w kolejności dołączania) inżynierowie: Zygmunt Sawicki, Zdzisław Pawlak, Andrzej Łazarkiewicz, Jerzy Fiett, Wojciech Jaworski, Stanisław Majerski, Jerzy Dańda, Marek Karpiński, Eugeniusz Nowak i Tadeusz Jankowski; matematycy: Adam Empacher, Andrzej Wakulicz, Antoni Mazurkiewicz, Tomasz Pietrzykowski, Józef Winkowski, Jerzy Swianiewicz, Krzysztof Moszyński, Paweł Szeptycki, Jan Borowiec, Jan Wierzbowski, Stefan Sawicki, Andrzej Wiśniewski, Zofia Zjawin-Winkowska i Ewa Zaborowska oraz laboranci: Michał Bochańczyk, Henryk Furman, Andrzej Świtalski, Konrad Elżanowski, Antoni Ostrowski i Henryk Przybysz.

Prace konstrukcyjne nad komputerami rozpoczęto w GAM w 1952 roku. Pierwszym powstałym urządzeniem była stosunkowo szybka ultradźwiękowa pamięć rtęciowa zbudowana w 1953 roku przez Romualda Marczyńskiego z Henrykiem Furmanem. Działanie pamięci ultradźwiękowej opiera się na dużo mniejszej prędkości rozchodzenia się fali akustycznej (w tym przypadku w stalowej rurze wypełnionej rtęcią) w porównaniu z sygnałem elektrycznym, co umożliwia zbudowanie linii opóźniającej. Z informatycznego punktu widzenia był to więc rejestr FIFO, z krążącą ze stałą prędkością informacją. Opracowana pamięć rtęciowa miała do 1959 roku decydujący wpływ na konstrukcje dalszych polskich maszyn, w tym XYZ.

W roku 1953 Leon Łukaszewicz ukończył swój Analizator Równań Różniczkowych (ARR), który składał się z 400 lamp elektronowych i rozwiązywał układy równań różniczkowych z dokładnością do kilku promili. Parametry rozwiązywanych równań zmieniano się łatwo przez pokręcanie gałkami potencjometrów, a efekty tych zmian były natychmiast widoczne. Otrzymywane rozwiązania można było obserwować jednocześnie na kilku ekranach. Takimi możliwościami jeszcze długo nie dysponowały urządzenia cyfrowe. Była to pierwsza w kraju systematycznie eksploatowana maszyna licząca. Jej twórcy otrzymali nagrodę państwową II stopnia w dziale nauki (1955).

EMAL I XYZ

Pierwszą polską maszyną cyfrową był EMAL, budowany w latach 1953–1955. Była to maszyna szeregową, dwójkową, jednoadresową, zbudowana z 1000 lamp, z rtęciową pamięcią ultradźwiękową o pojemności 512 słów 40-bitowych (32 rury z rtęcią) i pracującą na częstotliwości 750 kHz. Maszyna ta niestety nigdy w pełni nie pracowała ze względu na niemożliwość osiągnięcia odpowiedniej niezawodności. Dostępne wtedy w Polsce elementy (lampy, łączówki, itp.) były złej jakości i powodowały problemy bardzo trudne do pokonania przy konstrukcji tak dużej maszyny. W rezultacie, mozolnie uruchomione zespoły maszyny po dwu lub trzech dniach przestawały funkcjonować. Naprawy wymagały ciągłego dobierania wartości podzespołów, co przy dużej złożoności całego urządzenia było zadaniem beznadziejnym.



Na początku 1956 roku kierownictwo Instytutu (od 1952 roku włączonego do PAN) zdecydowało, aby wszystkie siły ówczesnej GAM – przemianowanej na Zakład Aparatów Matematycznych PAN (w skrócie ZAM), a wkrótce potem na Instytut Maszyn Matematycznych – połączyć w jeden zespół pod kierunkiem Leona Łukaszevicza, z zadaniem ponownej próby zbudowania maszyny cyfrowej. Tym razem, dzięki poprzednim doświadczeniom, prace zakończono sukcesem – jesienią 1958 roku uruchomiono pierwszą polską poprawnie funkcjonującą maszynę cyfrową, nazwaną XYZ.

Organizacja logiczna maszyny była wzorowana na architekturze IBM 701. Podstawowymi układami logicznymi były dynamiczne przerzutniki na jednej triodzie (wymagające dwa razy mniej lamp), podobne do stosowanych w rosyjskich BESM 6, oraz diodowo-ferrytowe bramki składające się z transformatora impulsowego i ostrzowych diod germanowych. Z maszyny EMAL, po udoskonaleniu, pochodziła rtęciowa, akustyczna pamięć operacyjna. Ze względu na to, że nie odznaczała się ona niezbędną niezawodnością, zastąpiono ją pamięcią opartą na tej samej zasadzie działania, lecz innej konstrukcji – rury z rtęcią zastąpiono drutami niklowymi jako akustowodami.

Stworzenie oprogramowania dla XYZ było wyzwaniem. Wspomina Antoni Mazurkiewicz: „Programować zaczęliśmy abstrakcyjnie, bez maszyny i bez jakichkolwiek doświadczeń. Początkowo jedynie Andrzej Wakulicz i Adam Empacher wiedzieli, co to jest elektroniczna maszyna cyfrowa i na czym polega jej programowanie, potem matematycy pracujący przy maszynach analogowych (Józef Winkowski, Tomasz Pietrzykowski i ja) dołączyli do wtajemniczonych. Żaden z nas nie widział wówczas działającej maszyny cyfrowej, wiedzę o oprogramowaniu czerpaliśmy z nielicznych publikacji zagranicznych; pamiętam, że jedną z nich była książka Wilkesa z Wielkiej Brytanii. Było to jedyne źródło naszej wiedzy o kodach, adresach, pseudorozkazach, tworzeniu pętli i rozgałęzień.”

XYZ była dynamiczną maszyną szeregową, liczącą w arytmetyce binarnej. Maszyna nie miała początkowo statycznej pamięci, tylko wspomnianą akustyczną pamięć RAM. Później dodano magnetyczną pamięć bębnową. Urządzenia wejścia/wyjścia to prymitywna konsola sterująca i reproducer kart (później czytnik/perforator taśmy). Wykonywała ona, dzięki szybkiej pamięci akustycznej, około 800 operacji na sekundę, co dawało jej przewagę szybkości nad wszystkimi maszynami cyfrowymi, jakie zdołały zbudować inne ośrodki krajowe w ciągu następnych kilku lat.

Tak opisywał pierwsze dni pracy polskiego komputera Antoni

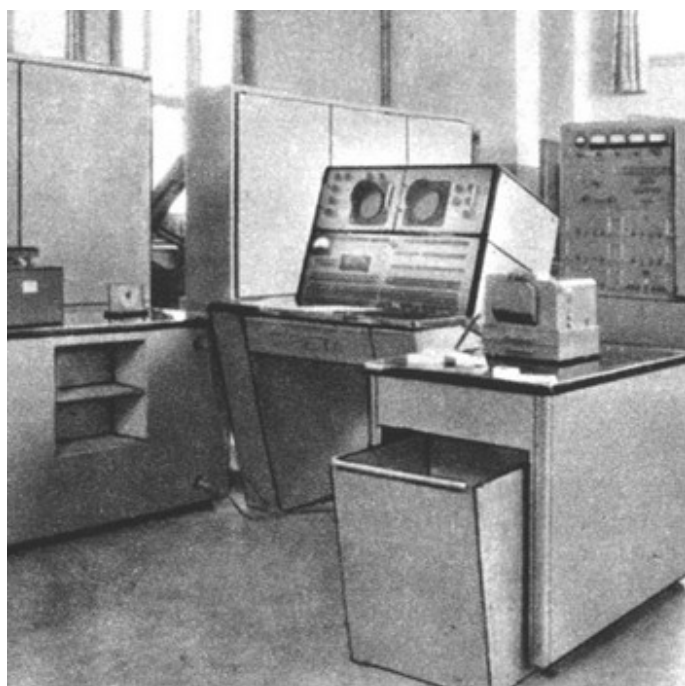
Mazurkiewicz: „Oglądaliśmy z przejęciem wzrastanie zawartości liczników (wówczas dla nas zawrotnie szybkie, zmienność dopiero szóstego bitu od końca dawała się zauważyć! XYZ liczył bowiem z niebagatelną w tym czasie szybkością ok. 1000 operacji arytmetycznych na sekundę). Na drugim oscyloskopie można było zobaczyć na własne oczy, jak powstaje wynik dodawania, mnożenia, a nawet podzielenia dwóch słów binarnych. W tym czasie charakterystyczny był w Zakładzie Aparatów Matematycznych widok programisty siedzącego przy pulpicie XYZ, wpatrującego się w owe oscyloskopy i naciskającego jeden klucz, bardzo ważny i najczęściej używany, powodujący wykonanie pojedynczego kolejnego rozkazu programu (z angielska „single shot”). Tak właśnie uruchamiało się programy – wykonywało się mianowicie kolejno instrukcję po instrukcji i obserwowało się na oscyloskopie efekty ich działania. Najwięcej kłopotów było z wyprowadzaniem wyników. Początkowo jedynym medium wyjściowym były karty perforowane. Urządzenie wyjściowe dziurkujące karty było wielkości biurka, niezmiernie ciężkie, masywne i hałasujące tak, że wyprowadzanie wyników było słychać w całym gmachu przy ul. Śniadeckich 8. Co więcej, nie było na miejscu urządzenia tabulującego zawartość kart, trzeba było jeździć z kartami do Głównego Urzędu Statystycznego, aby dowiedzieć się, co maszyna naniosła na karty wyjściowe.”

Organizowane dla władz oraz szerokiej publiczności pokazy XYZ wywoływały ogromne zainteresowanie. Powtórzmy zatem nazwiska autorów opracowania. Kierownictwo: Leon Łukaszewicz, projekt logiczny i elektronika: Antoni Mazurkiewicz, Zdzisław Pawlak, Jerzy Fiett, Stanisław Majerski, Zygmunt Sawicki, Jerzy Dańda, oprogramowanie: Antoni Mazurkiewicz, Jan Borowiec, Krzysztof Moszyński, Jerzy Swianiewicz, Andrzej Wiśniewski.

Maszyna XYZ już wkrótce po swoim uruchomieniu została oddana do regularnej eksploatacji w Biurze Obliczeń i Programów – wydzielonej jednostce Zakładu Aparatów Matematycznych. Biuro to wykonywało liczne odpłatne zamówienia, co przyniosło nam

cenne doświadczenia. Pomyślna eksploatacja maszyny miała dla początków rozwoju polskiej informatyki przełomowe znaczenie. Wykazała przede wszystkim, że wytwarzanie sprawnie działających uniwersalnych maszyn cyfrowych o niemałych jak na owe czasy możliwościach obliczeniowych jest w Polsce osiągalne. Problematyką tą zainteresowały się więc szybko władze gospodarcze. Od tej chwili rozwój informatyki w Polsce stał się sprawą państwową.

PIERWSZA PRODUKCJA. IMM PAN I ZAM-2



Z dużym rozmachem przystąpiono do organizacji przemysłowej produkcji maszyn cyfrowych. W tym celu już w 1959 roku utworzono Zakład Produkcji Doświadczalnej Maszyn Matematycznych przy IMM, w skrócie Zakład Doświadczalny IMM. Zatrudniono w nim wkrótce zespół inżynierów o dużym doświadczeniu w produkcji profesjonalnego sprzętu elektronicznego. Pierwszym zadaniem tego Zakładu było opracowanie udoskonalonej i nadającej się do seryjnej produkcji wersji maszyny cyfrowej XYZ pod nazwą ZAM-2. Nie było to łatwe zadanie wobec braku jakichkolwiek doświadczeń w produkcji maszyn matematycznych. W 1961 roku wyprodukowano pierwsze maszyny ZAM-2, a do roku 1964 Zakład Doświadczalny IMM opuściła seria dwunastu tych komputerów. W międzyczasie, w 1963 roku, Instytut Maszyn Matematycznych,

liczący już wraz z Zakładem Doświadczalnym około 800 pracowników, został przeniesiony w całości z PAN do urzędu Pełnomocnika Rządu do Spraw Informatyki.

Komputery ZAM-2 miały, podobnie jak XYZ, masowe pamięci bębnowe oraz szybką ultradźwiękową pamięć operacyjną. W tej ostatniej średni czas dostępu wynosił 0,5 ms. Wszystkie inne komputery budowane do roku 1965 miały jedynie pamięci bębnowe o średnim czasie dostępu 5 milisekund, były więc wielokrotnie wolniejsze. Ponadto Maszyny ZAM-2 były w latach 1961–1965 najlepiej oprogramowanymi komputerami produkowanymi w kraju. System Adresów Symbolicznych SAS (makroassembler) oraz System Automatycznego Kodowania SAKO zwany też polskim Fortranem były osiągnięciami wyprzedzającymi wszystkie kraje sąsiednie. SAS i SAKO opracowane zostały w latach 1957–1960 przez zespoły, do których należeli w różnych okresach: Leon Łukaszewicz, Antoni Mazurkiewicz, Jan Borowiec, Ludwik Czaja, Jowita Koncewicz, Maria Łacka, Tomasz Pietrzykowski, Stefan Sawicki, Jerzy Swianiewicz, Piotr Szorc, Alfred Szurman, Józef Winkowski i Andrzej Wiśniewski.

Warto wspomnieć, że przy maszynie tej pracował jako operator Konrad Fijałkowski, późniejszy wybitny profesor informatyki i znany literat, autor nowel i powieści science fiction. W 1963 roku opublikował on w WNT monografię maszyny ZAM-2. Autor niniejszego artykułu również pracował na maszynie ZAM-2 w ramach ćwiczeń z programowania prowadzonych dla studentów Wydziału Elektroniki PW przez wspomnianą wyżej Zofię Zjawin-Winkowską w 1962 roku.

Za osiągnięcia związane z XYZ i ZAM-2 pracownicy IMM zostali nagrodzeni w roku 1964 kolejną nagrodą państwową II stopnia. W skład nagrodzonego zespołu weszli: Zygmunt Sawicki jako kierownik realizacji XYZ oraz pierwszego egzemplarza ZAM-2, Antoni Mazurkiewicz jako kierownik realizacji SAKO, Eugeniusz Nowak jako wybitny konstruktor bębnow magnetycznych, Jerzy Rossian oraz Eligiusz Rosolski reprezentujący konstruktorów i technologów Zakładu Doświadczalnego IMM oraz Stanisław

Kowalski, Stanisław Majerski, Krzysztof Moszyński, Jerzy Swianiewicz, Tadeusz Zemła i Władysław Ciastoń.

W roku 1961 Instytut Maszyn Matematycznych otrzymał rządowe zlecenie opracowania nowoczesnego komputera do przetwarzania dużej ilości danych i nadającego się między innymi do zarządzania przedsiębiorstwami czy systemów bankowych. W efekcie w 1963 roku powstał prototypowy komputer ZAM-41. Wyposażony był w opracowane w Instytucie szybkie pamięci ferrytowe, pamięci bębnowe oraz pamięci masowe na taśmach magnetycznych – o długim czasie dostępu, lecz dużej pojemności. Komputer ZAM-41 mógł wykonywać kilka niezależnych zadań jednocześnie. W latach 1967–1970 w Zakładzie Doświadczalnym IMM wyprodukowano szesnaście tych maszyn.

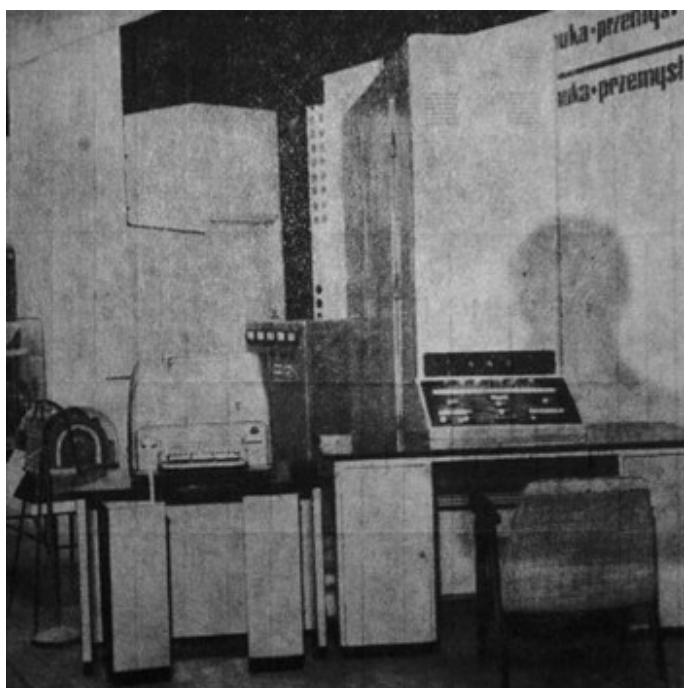
Wielkim osiągnięciem IMM i jego Zakładu Doświadczalnego rzutującym na rozwój całej polskiej informatyki w latach 60. były opracowania wspomnianych już magnetycznych pamięci bębnowych. Warto o tej technice powiedzieć więcej. Prace nad pamięcią bębnową rozpoczęte w 1958 roku w Zakładzie Aparatów Matematycznych PAN umożliwiły jej wykorzystanie w 1960 roku w maszynie XYZ. Bęben miał pojemność ok. 300 kilobitów. Pamięć ta była bardzo czuła na zmiany wymiarów wywołane wahaniami temperatury. W następnym modelu, przewidzianym dla komputera ZAM-2, podwojono liczbę głowic i pojemność. Zastosowano też taki dobór materiałów, aby zmiany wymiarów współpracujących ze sobą elementów pod wpływem temperatury kompensowały się nawzajem, dzięki czemu wyeliminowano termostaty. W latach 1961–1966 zbudowano kilkadziesiąt tych pamięci, przy czym lampy zastąpiono tranzystorami oraz wprowadzono nowy bęben, o zmniejszonej do 12 μm grubości warstwy magnetycznej przy odległości głowic od powierzchni 16 μm . Dzięki temu zwiększono gęstość zapisu z 6 do 9 bitów/mm, a pojemność pamięci do około 1 Mb. Taką pamięć oraz kolejne ulepszone wersje (na przykład z głowicami unoszącymi się nad powierzchnią bębna na poduszce powietrznej) stosowano nie tylko w ZAM-41, ale również w maszynach Odra 1204 i 1300 (ELWR0) i Robotron 300

produkowanych w NRD.

UMC-1. POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Prace w dziedzinie elektronowych układów liczących prowadzono w latach pięćdziesiątych także na Politechnice Warszawskiej. W katedrach Konstrukcji Telekomunikacyjnych i Radiofonii (kierownikiem był prof. Antoni Kiliński) oraz Technologii Sprzętu Elektronicznego opracowano między innymi serię przeliczników elektronowych dla potrzeb rodzącej się energetyki jądrowej. Podstawowym problemem w tych urządzeniach było zapewnienie dostatecznej niezawodności. Prace te stanowiły zatem znakomite przygotowanie do podjęcia konstrukcji komputerów, w których parametry niezawodnościowe były zawsze kwestią pierwszoplanową.

W roku 1958 późniejszy profesor Zdzisław Pawlak (1926–2006) przeszedł z Zakładu Aparatów Matematycznych PAN, gdzie właśnie uruchomiono pierwszą polską maszynę cyfrową XYZ, do Katedry Konstrukcji Telekomunikacyjnych i Radiofonii PW. Zaproponował realizację koncepcji budowy komputera pracującego w korzystnej konstrukcyjnie arytmetyce o podstawie -2.



W 1960 roku zbudowany został prototyp tego komputera, któremu nadano nazwę UMC-1. Był to pierwszy komputer produkowany w Polsce seryjnie, najpierw w

liczbie pięciu sztuk na Politechnice Warszawskiej, a następnie, po przekazaniu jego dokumentacji do ELWR0 w 1961 roku – w serii dwudziestu pięciu sztuk do 1964 roku.

Maszyny UMC-1 były stosunkowo wolnymi lampowymi komputerami wyposażonymi wyłącznie w pamięć bębnową. W roku 1965 opracowano tranzystorową wersję tych maszyn (UMC-10) oraz uruchomiono ich trzy egzemplarze. Ciekawostką jest to, że na maszynie UMC-10 tworzone pierwsze w Polsce prognozy numeryczne w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym.

Jak się okazało, minusdwójkowa arytmetyka maszyn UMC dawała tylko nieznaczne oszczędności sprzętowe, natomiast wyraźnie utrudniała ich oprogramowanie. Z tego względu pomysł ten zarzucono. Cenną cechą komputerów UMC była ich wysoka niezawodność.

W roku 1963 Katedry Konstrukcji Telekomunikacyjnych i Radiofonii PW oraz Technologii Sprzętu Elektronicznego zostały połączone w Katedrę Budowy Maszyn Matematycznych, którą przekształcono w 1970 roku w Instytut Budowy Maszyn Matematycznych PW, a w roku 1975 – w Instytut Informatyki PW, którymi kierował prof. Antoni Kiliński (1906–1989).

W Instytutach tych zaprojektowano i wyprodukowano wiele wyspecjalizowanych systemów komputerowych jak na przykład ANOPS (ANalizator Okresowych Przebiegów Szumowych zespołu prof. Konrada Fijałkowskiego, wspomnianego już jako operatora ZAM-2) czy GEC-20 – maszynę do rutynowych obliczeń geodezyjnych.



6 lutego 1959 roku powołano do życia państwowe przedsiębiorstwo Wrocławskie Zakłady Elektroniczne ELWRO. To tam powstała legenda polskiej informatyki: komputer Odra.

Głównymi powodami utworzenia firmy były: nadwyżka kadry technicznej (absolwentów Wydziału Łączności Politechniki Wrocławskiej) oraz potrzeba wzmocnienia zaplecza kooperacyjnego Zjednoczenia UNITRA, w tym Warszawskich Zakładów Telewizyjnych i dzierzoniowskich Zakładów Radiowych DIORA. Zarówno decydenci, jak i członkowie środowiska naukowego Wrocławia byli od początku zgodni, że wobec sukcesów w konstrukcji maszyn matematycznych w Warszawie WZE ELWRO powinno być pierwszą w Polsce fabryką komputerów. Do rozpoczęcia montażu maszyn cyfrowych było jeszcze daleko, a doraźne decyzje gospodarcze nakazywały szybkie rozpoczęcie produkcji kooperacyjnej między innymi przełączników kanałów i zespołów odchyłania do odbiorników telewizyjnych oraz głowic UKF do odbiorników radiowych. Równocześnie rozpoczęto jednak prace przygotowawcze do wprowadzenia techniki cyfrowej.

W 1959 roku we Wrocławiu wiedzę o komputerach miało zaledwie kilka osób skupionych w Politechnice Wrocławskiej wokół prof. Jerzego Bromirskiego. Środowisko warszawskie budowało już w tym czasie działające maszyny cyfrowe, podjęto więc decyzję o

skorzystaniu z tych doświadczeń. Utworzono dwie grupy, z których jedna była szkolona w Zakładzie Aparatów Matematycznych PAN pod kierownictwem Leona Łukaszewicza (wówczas docenta), a druga w Instytucie Badań Jądrowych PAN pod kierownictwem Romualda Marczyńskiego (wówczas również docenta). Po powrocie obu grup z Warszawy w Biurze Konstrukcyjnym ELWRO utworzony został jeden zespół pod kierunkiem prof. Jerzego Bromirskiego (później Zbigniewa Wojnarowicza), który przystąpił do prac konstrukcyjnych zmierzających do zbudowania własnej maszyny cyfrowej. Wstępnie rozpoczęto prace nad cyfrowym przelicznikiem S-1 (maszyna cyfrowa o stałym programie) opracowanym w ZAM PAN przez zespół Jerzego Gradowskiego. Posługiwano się przy tym otrzymaną z ZAM dokumentacją logiczną i publikacjami naukowymi dotyczącymi elementów podstawowych.

W ten sposób rozpoczęła się budowa modelu maszyny cyfrowej Odra 1001, której logika oparta była na S1. Prototyp Odry 1001 został uruchomiony w czerwcu 1961 roku, jednak już wcześniej stwierdzono, że nie nadaje się on do produkcji seryjnej wskutek zbyt małej niezawodności tej maszyny. Już w maju 1961 roku opracowano założenia techniczne komputera Odra 1002, następnej wersji maszyny 1001. Poprawiono konstrukcję elementów podstawowych, starzono i selekcjonowano tranzystory i diody, wprowadzono dokładne sprawdzanie montażu pakietów. Zabiegi te nie przyniosły radykalnej zmiany. Jakkolwiek Odra 1002 była lepsza niż Odra 1001, to jednak jeszcze niewystarczająco.



W połowie 1961 roku kierownictwo ELWRO doszło do wniosku, że z istniejących w kraju modeli maszyn cyfrowych do produkcji nadaje się najlepiej opisana wyżej maszyna UMC-1 opracowana w Katedrze Budowy Maszyn Matematycznych PW prof. Antoniego Kilińskiego. W celu uruchomienia jej produkcji w ELWRO powołano zespół konstrukcyjno-technologiczny pod kierownictwem Eugeniusza Bilskiego. W jego skład weszli: Jan Bocheński, Stanisław Gacek, Zbigniew Krukowski, Stanisław Lepetow, Andrzej Niżankowski i Henryk Pluta. W trakcie prac dołączyło do nich jeszcze dwóch absolwentów Politechniki Wrocławskiej: Bronisław Piwowar (późniejszy dyrektor IMM) i Jerzy Pacholarz. Łącznie w latach 1963 i 1964 wyprodukowano 24 maszyny UMC-1.

Równolegle z uruchomieniem produkcji UMC-1, w ELWRO opracowano w roku 1963 prototyp nowej maszyny Odra 1003. Była to już konstrukcja uwzględniająca wymogi technologiczne produkcji seryjnej. W 1966 roku produkowano już Odrę 1013, która oprócz pamięci bębnowej miała szybką pamięć ferrytową o pojemności 256 słów. Dzięki temu uzyskano wielokrotnie większą szybkość niż w Odrze 1003.

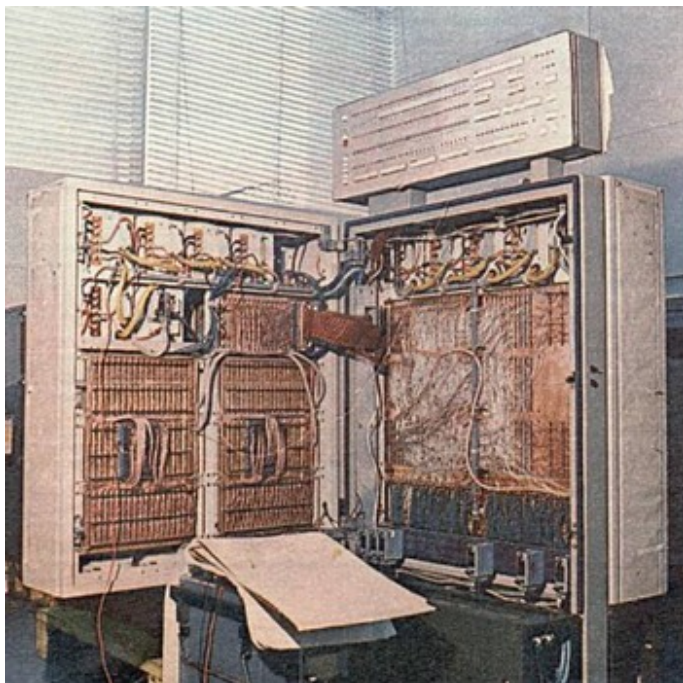
KOMPUTERY ODRA. LEGENDA POLSKIEJ INFORMATYKI

W 1966 roku zmontowano w ELWRO dwa komputery ZAM-21 na

podstawie dokumentacji z IMM w Warszawie. Egzemplarze te uznano jednak za zawodne i nie podjęto produkcji seryjnej tych maszyn, choć komputery ZAM-21 budowane w IMM nie psuły się. W roku 1967 opracowany został w ELWRO komputer Odra 1204 o parametrach znacznie przewyższających Odrę 1013. Jego konstruktorami byli twórcy Odry 1003 i Odry 1013 oraz nowa grupa inżynierów, w tym Bronisław Piwowar, Alicja Kuberska, Adam Urbanek i czworo absolwentów Politechniki Warszawskiej, wychowanków prof. Antoniego Kilińskiego: Bogdan Kasierski, Ryszard Fudala, Kazimiera Hejnał i Grażyna Węgrzyn. Komputer był wyposażony w pamięć ferrytową oraz pamięć bębnową opracowaną przez zespół Eugeniusza Nowaka w IMM. Łącznie wyprodukowano 179 tych komputerów, z czego wyeksportowano 114 egzemplarzy.

Wadą maszyny Odra 1204 było bardzo ubogie, w porównaniu z maszynami firm zachodnich, oprogramowanie podstawowe. Jego opracowanie było w krótkim czasie niemożliwe, więc powstał pomysł skonstruowania polskiej maszyny kompatybilnej z oprogramowaniem podstawowym i użytkowym którejś z firm zachodnich. Po przeprowadzeniu szeregu rozmów handlowych okazało się, że proponowaną współpracą zainteresowana jest firma International Computers and Tabulators (ICT, później ICL). Wynegocjowano kontrakt i jesienią 1967 roku grupa logików ELWRO rozpoczęła w ICL przeszkolenie na maszynie ICL 1904. Od początku 1968 roku rozpoczęły się prace nad konstrukcją Odry 1304. Na początku 1970 roku wykonano osiem maszyn Odra 1304 i stwierdzono ich pełną zgodność z ICL 1904. W porównaniu z poprzednimi maszynami wzrosła liczba urządzeń zewnętrznych. Doszły: czytnik kart, drukarka wierszowa, a później multipleksery i terminale. Istotną rolę w rozwinięciu produkcji maszyn Odra 1300 na większą skalę odegrało utworzenie nowych zakładów produkujących urządzenia informatyczne, takich jak ZMP Błonie (drukarki wierszowe) oraz MERAMAT (pamięci taśmowe). Zakłady te były nie tylko kooperantami ELWRO, ale szybko stały się samodzielnymi eksporterami swoich wyrobów. Odra 1304 miała następujące

oprogramowanie podstawowe: system operacyjny, języki programowania ALGOL, FORTRAN i COBOL, język konwersacyjny JEAN, języki symulacyjne CSL i SIMON, bibliotekę ponad 1000 programów i podprogramów standardowych oraz 15 pakietów programów użytkowych z zakresu planowania i zarządzania.



Odra 1304 oraz jej następczynię, Odra 1305 (opracowana przy współudziale Instytutu Maszyn Matematycznych) i Odra 1325, zbudowane już na podstawie techniki układów scalonych, były na początku lat siedemdziesiątych najlepszymi maszynami w krajach Europy Środkowej i Wschodniej. Posiadając bogate oprogramowanie oraz pełny asortyment urządzeń zewnętrznych, stały się pełnosprawnymi narzędziami informatyzacji wielu przedsiębiorstw i instytucji. Łącznie wyprodukowano 587 egzemplarzy maszyn serii 1300, co umożliwiło informatyzację całych branż, takich jak budownictwo i kolej, oraz instytucji, jak na przykład GUS i WUS-y oraz szkoły wyższe. Przedostatnia Odra 1305, wyprodukowana przed trzydziestu laty przez ELWRO, została wyłączona na zawsze 18 lipca 2003 roku. Przez trzy dekady służyła wrocławskiej fabryce Hutmen. Odra działała podobno bezawaryjnie (zużywały się tylko części) i odmawiała jedynie włączenia, kiedy w pomieszczeniu było za zimno. Obecnie Odra pracująca poprzednio w Hutmenie znajduje się w skansenie kolejnictwa w Jaworzynie Śląskiej. Ostatnia Odra

pracuje jeszcze na stacji towarowej PKP Wrocław-Brochów.

RIAD? TEŻ TO ZROBIMY!

W roku 1968 na spotkaniu RWPG w Moskwie postanowiono, że komputery szerokiego przeznaczenia produkowane w krajach socjalistycznych powinny być kompatybilne, by wspólnymi siłami produkować cały typoszereg maszyn cyfrowych. Ustalono, że będzie to produkcja wzorowana na amerykańskich komputerach IBM. Projekt nosił nazwę Jednolitego Systemu RIAD. Zakładom ELWRO przypadła w udziale produkcja maszyn R30 według projektu opracowanego w Erewaniu (Armenia). Projekt ten odbiegał od nowszej technologii stosowanej przy produkcji maszyn z serii Odra 1300, Dlatego w ELWRO opracowano pod kierunkiem Bogdana Kasierskiego zupełnie nowy projekt maszyny, programowo zgodnej z pozostałymi komputerami Jednolitego Systemu RIAD, lecz o parametrach technicznych kilkakrotnie wyższych od R30. Projekt ten został przyjęty pod nazwą R32 i wdrożony do produkcji, która wyniosła ponad 150 maszyn. W latach 1972–1973 prowadzone były w ELWRO równoległe prace nad komputerami 1305 i 1325 oraz modelem R32.

W roku 1973 na Targach w Brnie odbyło się porównanie wszystkich modeli serii RIAD skonstruowanych w byłym bloku socjalistycznym. W Czechosłowackiej Akademii Nauk przygotowano mieszankę miliona operacji i zmierzono czasy jej wykonania przez różne modele. R32 okazał się najsprawniejszym relatywnie komputerem z serii.

MINIKOMPUTERY. K-202 – FAKT CZY MIT? FAKT

W początkach lat 1970., wraz z opracowaniem cyfrowych układów scalonych pojawiły się pierwsze minikomputery. Były one mniejsze, tańsze i nie wymagały do obsługi specjalnie przeszkolonych specjalistów. Polskie minikomputery to między innymi K-202, MOMIK 8b, Mera 300, Mera 400, SM4. Wszystkie te maszyny zostały opracowane w Instytucie Maszyn Matematycznych i wdrożone do produkcji w zakładach zjednoczenia MERA.

Pierwszy z nich obrósł legendą jego konstruktora Jacka Karpińskiego, człowieka niezwykle zdolnego, ale i bardzo trudnego we współpracy. Urodzony w 1927 roku, był żołnierzem Szarych Szeregów w Batalionie Zośka i trzykrotnie odznaczono go Krzyżem Walecznych. Ciężko ranny w pierwszym dniu Powstania Warszawskiego i sparaliżowany, został ewakuowany z miasta. Po rehabilitacji od 1946 roku studiował na Politechnice Łódzkiej, a potem Warszawskiej. W 1957 roku, jako adiunkt w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, skonstruował swoją pierwszą maszynę do analizowania dużych zbiorów danych w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym. Dwa lata później powstał AKAT-1 – pierwszy na świecie tranzystorowy analizator równań różniczkowych.

Rok później Karpiński został jednym z sześciu laureatów ogólnopolskiego konkursu młodych talentów techniki organizowanego przez UNESCO (200 kandydatów, po jednym z każdego kraju). W nagrodę przebywał dwa lata w USA, studiując między innymi na Harvardzie i Massachusetts Institute of Technology. Miał okazję poznać osobiście Johna P. Eckerta, jednego z twórców ENIAC-a. W latach 1970–1973 Jacek Karpiński, wraz z zespołem w składzie: Elżbieta Jezierska, Andrzej Ziemkiewicz, Zbysław Sz waj, Teresa Pajkowska (która, notabene brała udział w uruchomieniu produkcji maszyny UMC-1 w ELWRO), Krzysztof Jarosławski, opracował i skonstruował minikomputer 16-bitowy K-202. Pracował on z prędkością miliona operacji na sekundę i jako pierwszy w historii stosował stronicowanie adresowania pamięci, co było autorskim wynalazkiem Jacka Karpińskiego i umożliwiało rozbudowę pamięci operacyjnej do astronomicznej wówczas wielkości ośmiu MB.



Wdrożenie tego komputera do produkcji nie odbyło się bez wielu problemów. Bardzo zdolny, ale i gwiazdorski konstruktor, na dodatek o „niesłusznej” przeszłości, nadawał na innej fali niż przedstawiciele ociężałej administracji państwowo-gospodarczej. Mimo wielu starań, udziału kapitału zagranicznego, zorganizowania specjalnie dla tego produktu Zakładu Mikrokomputerów w fabryce mierników ERA (nie bez wsparcia niektórych ówczesnych czynników politycznych i środków przekazu), liczba wyprodukowanych K-202 nie przekroczyła trzydziestu sztuk przeznaczonych na eksport i około stu na rynek krajowy, choć trzeba zauważyć, że w owych czasach nie było to mało. Do chwili obecnej osoba Jacka Karpińskiego budzi emocje w środowisku: przez jednych uważany jest za geniusza, inni zarzucają mu gigantomanię, sprawny – jak by się powiedziało dziś – PR, a nawet oszustwo. Jednak konstrukcje Jacka Karpińskiego istniały, funkcjonowały, a obecnie są ważnymi eksponatami warszawskiego Muzeum Techniki. I trzeba wspomnieć, że w czasie prac związanych z wdrożeniem do produkcji minikomputera K-202 Jacek Karpiński był Dyrektorem Zakładu Doświadczalnego Minikomputerów IMM.

MOMIK 8b to 8-bitowy minikomputer zbudowany na układach scalonych TTL. Opracowany przez Instytut Maszyn Matematycznych w 1973 roku, był produkowany seryjnie przez Zakład Systemów

Minikomputerowych MERA od 1974 roku i stosowany w serii MERA 300 (MERA 300 – to rozbudowany i współpracujący z szeregiem urządzeń peryferyjnych MOMIK 8b). System ten okazał się udanym rozwiązaniem technicznym i wkrótce znalazł szerokie zastosowanie w księgowości oraz przemyśle, gdzie używano go do sterowania procesami technologicznymi, na przykład produkcją polipropylenu. Natomiast MERA 400 był 16-bitowym minikomputerem wzorowanym na komputerze K-202, ale zbudowanym na krajowej bazie elementowej, produkowanym w latach 1976–1987. Również doczekał się wielu zastosowań w gospodarce.

Ostatnim znaczącym krokiem w konstrukcji minikomputerów było opracowanie w IMM i wdrożenie do produkcji w fabryce ERA (w 1983 roku) minikomputera SM4, będącego logicznym odpowiednikiem maszyny PDP-11 firmy DEC (przedsiębiorstwo to, drugie w świecie po IBM, było wówczas modne w socjalistycznej części Europy). Ze względu na kłopoty z COCOM-em SM4 produkowano głównie na elementach krajowych. Był on stosunkowo nowoczesny, ale szybko stał się drogi i przestarzały. Jego odpowiednik firmy DEC był produkowany tylko rok, SM4 zaś ponad pięć lat, przy czym dość rzadko wprowadzano nowinki technologiczne – oprócz zastosowania pamięci półprzewodnikowej dotyczyły one urządzeń peryferyjnych. W 1986 roku najtańszy SM4 produkcji polskiej kosztował 16 mln złotych plus 8 tys. dolarów, zaś najdroższy produkcji rumuńskiej kosztował 100 mln złotych. W tym czasie pojawiła się już w kraju konkurencja w postaci sprowadzanych prywatnie klonów mikrokomputera IBM PC/XT w cenie 3–4 mln złotych. Nadeszła era mikrokomputerów, czyli tak zwanych komputerów osobistych (PC).

MAZOVIA. ŁABĘDZI ŚPIEW

Jeszcze raz okazało się, że środowisko naukowców i inżynierów IMM jest merytorycznie elastyczne i – jakby się powiedziało dziś – on line. Idea budowy polskiego komputera osobistego wzbudziła nowe emocje. Do pracy zabrano się z niezwykłą, jak na owe czasy, sprawnością i energią, w czym liczne zasługi mieli ówczesny dyrektor IMM dr inż. Bronisław Piwovar oraz

współpracujący z nim zastępca ds. ekonomicznych mgr inż. Roman Czajkowski (późniejszy wieloletni Dyrektor IMM, który przeprowadził Instytut przez trudne lata dziewięćdziesiąte). Powołano międzyzakładowy zespół konstrukcyjny, w którego skład weszły oprócz Instytutu Maszyn Matematycznych także Zakłady Polkolor, Era i Błonie, dzięki czemu prace nad jednostką centralną, monitorem, klawiaturą i drukarką prowadzono równocześnie. Kierownikiem międzyzakładowego zespołu był mgr inż. Jerzy Sławiński z IMM. Dzięki udanej współpracy Instytutu z zakładami produkcyjnymi udało się przejść z rozwiązań naukowych na technologiczne. Wspomniane firmy (IMM, ERA, POLON, MERA-BŁONIE, POLKOLOR, MERA-SYSTEM, MERAL, BIUROTECHNIKA, MERA-REFA, MERAMAT, METRONEX i PHZ UNITRA) założyły spółkę Mikrokomputery, której głównym celem była produkcja komputera osobistego nazwanego Mazovia 1016.

Prace nad konstrukcją Mazovii były prowadzone nie tylko sprawnie i energicznie, lecz również nowocześnie, na co miał szczególny wpływ dyrektor Bronisław Piwowar. Po raz pierwszy bowiem w historii polskich komputerów równie wielką wagę przywiązywano zarówno do konstrukcji, jak i wzornictwa. Opracowanie i ujednolicenie wyglądu wszystkich elementów systemu (jednostki centralnej, monitora, klawiatury i drukarki) zlecono profesjonalnej firmie. Było to w pełni uzasadnione przewidywaną grupą odbiorców, w której obok dotychczasowych przedstawicieli gospodarki państwowej mieli znaleźć się liczni użytkownicy prywatni oraz raczkujące małe przedsiębiorstwa tzw. sektora nieuspołecznionego.

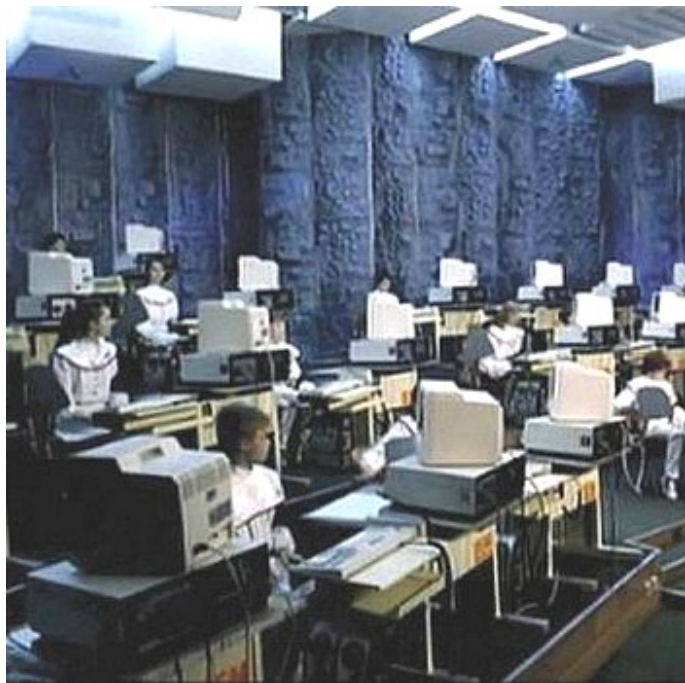


Nowy polski komputer musiał mieć litery z polskimi znakami diakrytycznymi. Zmuszenie procesora i monitora do wyświetlania „ą”, „ę” czy „ż” okazało się jednym z najpoważniejszych problemów technicznych. Trzeba było stworzyć specjalną tablicę kodową Mazovia autorstwa mgr inż. Jana Klimowicza, z polskimi literami w drugiej połówce (powyżej 126). Wiele dyskusji poświęcono klawiaturze: czy ma być zupełnie nowa, czy taka jak w maszynach do pisania. Szefem zespołu konstrukcyjnego Mazovii w IMM był mgr inż. Krzysztof Dzik, obecnie kierownik Zakładu Systemów Identyfikacji i Urządzeń Laserowych.

Mazovia ujrzała światło dzienne w roku 1984. Pod kilkoma względami była lepsza od istniejących ówczesnie pecetów IBM, choć była z nimi w pełni kompatybilna. Miała przede wszystkim lepszy, 16-bitowy procesor, odpowiednik 8086. Jej wadą była niewystarczająca niezawodność, bowiem ze względu na obowiązujące wówczas embargo COCOM-u na dostawy zaawansowanych technologii do krajów komunistycznych, większość elementów i podzespołów pochodziła z krajów strefy rublowej, a ich jakość nie była niestety najlepsza. Egzemplarze zbudowane z podzespołów zachodnich były już zupełnie niezłe.

Mazovia 1016 była pierwszym polskim komputerem, który współtworzył scenografię popularnego filmu fabularnego.

Krzysztof Gradowski wykorzystał te mikrokomputery w roku 1988, kręcąc trzecią część swojej trylogii o Panu Kleksie, zatytułowanej „Pan Kleks w kosmosie”. Urządzenia te stanowiły wyposażenie Centrum Dowodzenia Siłami Kosmicznymi.



Mazovia jako produkt przestała istnieć ze względu na prymitywne metody organizacji produkcji w polskich fabrykach. Brak automatyzacji, nowoczesnej organizacji zaopatrzenia, aparatury testowo-produkcyjnej i systemów kontroli jakości, a nawet profesjonalnej organizacji magazynów i ekspedycji wyrobów gotowych – to cechy polskich zakładów produkcyjnych, a raczej nieźle zorganizowanych manufaktur. W efekcie w latach osiemdziesiątych wyprodukowano zaledwie kilka tysięcy sztuk pierwszej wersji Mazovii, a kolejne modele zaistniały tylko w pojedynczych egzemplarzach. Komputer był za drogi nie tylko na kieszeń przeciętnego polskiego naukowca czy amatora informatyki, ale nawet dla instytucji, na przykład szkół. Jak niosła fama, polskie komputery PC byłyby tanie wtedy, gdyby całe i zmontowane przyjeżdżały do nas z dalekiego wschodu już zapakowane w pudła z napisem Made in Poland i pod dodatkowym warunkiem, że zamówimy ich jednorazowo przynajmniej 10 000 szt. Z produkcją Mazovii wygrał import prywatny – szybszy, tańszy i różnorodny.

W 1990 roku koniec historii pierwszego polskiego – mówiąc żargonem – peceta zbiegł się w czasie z końcem romantycznej ery konstrukcji naszego własnego, antyimportowego krajowego sprzętu elektronicznego, nie tylko komputerów. Reforma Balcerowicza i drastyczny spadek kursu dolara w stosunku do złotówki wywrócił rynek elektroniki do góry nogami. Wszystko co przywożone stało się tanie, a było lepsze. Na szczęście dla naszego samopoczucia, to samo traumatyczne przeżycie spotkało wkrótce wszystkich wielkich, za sprawą zalewu taniej produkcji dalekowschodnich tygrysów.

Na koniec przypomnijmy, że do roku 1968 używano określeń „maszyny matematyczne”, „automaty liczące”, a nauka zajmująca się nimi nie była nazwana. Termin „informatyka” jako nazwę tej dziedziny wiedzy zaproponował jako pierwszy w 1968 roku prof. Romuald Marczyński na konferencji w Zakopanem (uzasadniając to istnieniem już nazw Informatik w języku niemieckim i informatique w języku francuskim), jeden z twórców pierwszego polskiego komputera XYZ.

Autor: Wojciech Nowakowski

Zdjęcia: Janina Wasierowska-Bierzanek (1), Sławomir Umpirowicz (5), Marcin Marucha (6) i Damian Dudek (7) na licencjach CC BY-SA 3.0 (pozostałe zdjęcia pochodzą z domeny publicznej)

Źródło: Histmag.org

Licencja: [CC BY-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)

O AUTORZE

Wojciech Nowakowski – profesor nadzwyczajny w Instytucie Maszyn Matematycznych w Warszawie. W latach 1967–1990 był pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej, gdzie uzyskał stopień doktora. Od 1990 roku jest pracownikiem naukowym Instytutu Maszyn Matematycznych, gdzie kierował zespołem systemów pomiarowych sterowanych cyfrowo, a obecnie prowadzi prace związane z metodami szyfrowania transmisji cyfrowych. Jest autorem kilku książek oraz kilkudziesięciu

artykułów naukowych i popularno-naukowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Bilski Eugeniusz, Wrocławskie Zakłady elektroniczne ELWR0. Okres maszyn cyfrowych typu ODRA, nr „Informatyka”, 8–12/1989, s. 26–30.
2. Borowiec Jan, Mazurkiewicz Antoni, Wierzbowski Jan, Osiągnięcia Instytutu Maszyn Matematycznych w oprogramowaniu i zastosowaniach maszyn cyfrowych, „Informatyka”, nr 3/1973, s. 8–11.
3. Fiett Jerzy, Problemy realizacji technicznej polskich komputerów do 1968 roku, „Informatyka”, nr 8–12/1989, s. 6–9.
4. Fiett W., Rosolski Eligiusz, Działalność produkcyjna i udział Instytutu Maszyn Matematycznych w tworzeniu polskiego przemysłu sprzętu informatyki, „Informatyka”, nr 3/1973, s. 19–24.
5. Greniewski Marek J., Kilka uwag o powołaniu Centrum Obliczeniowego PAN. [w:] 40 lat informatyki w Polsce, Materiały konferencji PTI, Warszawa 1988.
6. Groszkowski Janusz, Parę słów z okazji jubileuszu Instytutu Maszyn Matematycznych, „Informatyka”, nr 3/1973, s. 1–5.
7. Kiliński Antoni, O osiągnięciach Instytutu Informatyki Politechniki Warszawskiej zastosowanych w praktyce, „Informatyka”, nr 8–12/1989, s. 21–23.
8. Knysz Józef, Elektroniczne maszyny matematyczne, [w:] Rozwój techniki w PRL, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
9. Lewandowski Konrad T., Termopile polskiej informatyki, „Mówią Wieki”, nr 12/2002 (516), s. 44.
10. Łukaszewicz Leon, Informatyka polska powstała w PAN,

„Nauka”, nr 3/2003, s. 75–78.

11. Tenże, 0 początkach informatyki w Polsce, [w:] 40 lat informatyki w Polsce...

12. Tenże, Od Grupy Aparatów do Instytutu Maszyn Matematycznych, „Informatyka”, nr 8–12/1989, s. 2–4 i 23.

13. Tenże, Mazurkiewicz Antoni, System automatycznego kodowania SAKO, Zakład Narodowy im. Ossolińskich–Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław–Warszawa–Kraków 1966.

14. Madey Jan, Sysło Maciej M., Początki Informatyki w Polsce, „Informatyka”, nr 9/2000 i 10/2000.

15. Majerski Stanisław, Marczyński Romuald, Ewolucja struktur i architektury maszyn cyfrowych, materiały na sesję naukową z okazji Roku Nauki polskiej i XV-lecia IMM, IMM, Warszawa 1973, s. 24.

16. Majerski Stanisław, Mazurkiewicz Antoni, XYZ – pierwsza polska elektronowa maszyna cyfrowa, „Młody Technik”, nr 12, Warszawa 1958, str. 7–12.

17. Marczyński Romuald, Jak budowałem aparaty matematyczne w latach 1948–1950, „Informatyka”, nr 8–12/1989, s. 16–19.

18. Mazurkiewicz Antoni, Jak się programowało XYZ czyli początki programowania w Polsce, „Informatyka”, nr 8–12/1989, s. 10–12.

19. Moszyński Krzysztof, Moja praca w Biurze Obliczeń i Programów w Zakładzie Aparatów Matematycznych Polskiej Akademii Nauk [w:] 40 lat informatyki w Polsce...

20. Nowak Eugeniusz, Sawicki Zygmunt, Pamięci maszyn cyfrowych konstrukcja i technologia, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.

21. Pawlak T., Konstrukcje Instytutu Maszyn Matematycznych,

„Informatyka”, nr 3/1973, s. 11–18.