

## JAK HARTOWA A SIĘ POLSKA ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

Bogusław TWARÓG

Instytut Informatyki, Uniwersytet Rzeszowski  
tel.: 17-851-8755, e-mail: btwarog@ur.edu.pl

**Streszczenie:** W tak zwanej minionej epoce różnie rozwijające się światy, kapitalistyczny i komunistyczny, realizowały zmagania w wyścigu technologicznym i militarnym. Mimo, że Polska znalazła się w bloku ideologii niesprzyjających gospodarce rynkowej, to stawiała mocne kroki na drodze do modernizacji państwa i społeczeństwa informacyjnego. Wybrane technologie czy systemy informatyczne pojawiały się w PRL głównie na zamówienie aparatu represji, potrzebującego metod komputerowego zbierania i analizowania informacji o obywatelach. Polska na przemyśle komputerowym wypromowała wielu wykształconych inżynierów i informatyków także dzięki uczelniom, które zapewniały dobre wykształcenie mimo odcięcia od źródeł nauki zachodniej. W artykule nie by o zamiarem autora ocenianie decyzji dokonywanych przez polskich kreatorów świata cyfrowego, lecz przedstawienie tego, czego dokonali i ich wpływu na rozwój elektronicznej techniki komputerowej pomimo trudnego okresu komunistycznego. Rozważania dotyczą okresu od lat powojennych do siedemdziesiątych XX wieku i krótko charakteryzują wybrane procesy kształtowania się technicznej myśli komputerowej i jej wkładu w światowy układ cyfrowy.

**Słowa kluczowe:** maszyny cyfrowe, elektroniczna technika obliczeniowa, animatory komputerizacji, komputery.

### 1. WPROWADZENIE

#### 1.1. Zarys światowych osiągnięć

Analizując ogólnie dostępne definicje informatyki konstatujemy, że jest to dziedzina naukowa i techniczna zajmująca się metodami przechowywania, przetwarzania i przesyłania informacji oraz maszynami i środkami technicznymi służącymi temu celowi. Udającymi pierwowzór takich urządzeń były arytmometry mechaniczne, skonstruowane przez Pascala w 1642 czy Leibniza w 1672 roku. Dopiero po raz pierwszy zasady maszyny cyfrowej sterowanej programowo opracował Charles Babbage, który w latach 1812-1834 skonstruował mechaniczną maszynę analityczną, sterowaną przez program zapisany na taśmie perforowanej. Pierwszą w pełni działającą maszyną cyfrową przekątnikowo - mechaniczną *MARA I* została zbudowana w latach 1938-1944 przez Howarda Aikena, profesora harwardzkiego uniwersytetu. Jej parametry na dzień dzisiejszy nie powalają, operacja mnożenia dwóch liczb wynosiła 6 sekund, dzielenia 15 [1].

Właściwa historia ery komputerowej datowana jest na rok 1945, gdy na Uniwersytecie w Pensylwanii powstał najsłynniejszy komputer świata *ENIAC* (Electronic Numerical Integrator and Computer) zbudowany przez fizyka J. W. Mauchly'ego i inż. J. P. Eckerta. Jego konstrukcja oparta była na 18 tysiącach lampach

elektronowych, wykorzystująca dwójkowy system liczbowy, a jej szybkość to 5 tysięcy operacji dodawania na 1 sekundę.

W celu zlokalizowania omawianych tematów w czasoprzestrzeni świata informatyki, spójrzmy na podział urządzeń cyfrowych ze względu na epoki technologiczne. Generacją zero określane są cyfrowe maszyny mechaniczne i elektromechaniczne zbudowane przed rokiem 1946. Komputery oparte na elektronicznej technice lampowej to sprzęt I generacji, które pracowały z szybkością od kilku do kilkudziesięciu tysięcy operacji na sekundę, a przedstawicielem może być komputer *MESM*, opracowany w Instytucie Elektroniki A.N. USRR w 1950 roku. Generacja II obejmuje maszyny, których produkcja przypada na lata 60. wykorzystująca elementy tranzystorowe pozwalającą na pracę z szybkością od 50 do 100 tysięcy operacji na sekundę. Przedstawicielem tej grupy był amerykański model *IBM 7070*. Kolejną grupą to komputery III generacji, budowane na układach scalonych, których produkcja rozwijała się w latach siedemdziesiątych, a osiągnięte prędkości to 200 tysięcy do milionów operacji na sekundę. Należy tutaj wymienić komputer amerykańskiego koncernu IBM, a konkretnie *IBM 360*. Następną grupą to komputery IV generacji, powstałe na bazie układów scalonych o wielkiej skali integracji itd. generacje pędzą dalej [4].

#### 1.2. Polska po zdradzie politycznej

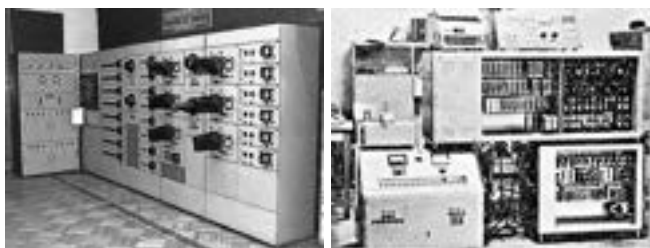
Dla warunków polskich, analizę należy rozpocząć od trudnych lat powojennych, kiedy to rozpoczęto odbudowę kraju po ogromnych zniszczeniach, borykając się równocześnie z izolacją międzynarodową, zwłaszcza w stosunku do technologii rozwijanej w państwach zachodnich. Pomimo tego, w dość szybkim czasie zaprojektowano i zbudowano działające egzemplarze, najpierw maszyn analogowych, a następnie cyfrowych. Niestety w tym czasie istniała ogromna zależność tej dyscypliny naukowej od stanu politycznego państwa. Centrala polityczna eksponowała m.in. konieczność tworzenia baz ewidencyjnych, materiałowych i kadrowych oraz rozszerzania sieci ośrodków obliczeniowych głównie w celu zbierania i analizowania informacji o obywatelach. Równoległe wczesna informatyka wykorzystywana była w hutach i przedsiębiorstwach oraz służyła inżynierom i badaczom w pracach nad kierunkami jej rozwoju. Państwo niestety jak zwykle, przeznaczało na ten cel niewielkie środki finansowe pomimo, że uchwały plenium KC PZPR stawiały odpowiedzialne i zaawansowane zadania przed aktywnym naukowym i gospodarczym w dziedzinie elektronicznej techniki obliczeniowej. Dla porównania,

w tym samym czasie, ukazujące się komunikaty prasy zachodniej, informowały np. o takich inwestycjach jak: *Amerykańskie Ministerstwo Obrony zakupi w roku bieżącym 1965 1966 na potrzeby Pentagonu maszyny cyfrowe wartości 41 milionów dolarów* (Electronics Nr 8/1965) [9, 15].

## 2. WCZESNA POLSKA MYŚL CYFROWA

Pierwsze dwie dekady powojenne to rozwój informatyki, w którym czynny udział brały instytucje związane z Polską Akademią Nauk, wyższymi uczelniami oraz w zakładami Elwro we Wrocławiu. W grudniu 1948 roku wybitny polski matematyk prof. Kazimierz Kuratowski po powrocie z wizyty w Stanach Zjednoczonych, gdzie poznał prekursorski komputer ENIAC, zaproponował powołanie Państwowego Instytutu Matematycznego (PIM). W ramach instytutu dr Henryk Greniewski rozpoczął organizację laboratorium Grupa Aparatów Matematycznych (GAM), którego pierwszymi pracownikami oprócz Greniewskiego byli: prof. Leon Łukasiewicz, prof. Kazimierz Kuratowski, mgr Krystian Bochenek oraz mgr Romuald Marczyński. Aktywne i dynamiczne działania doprowadziły do powstania pierwszej polskiej maszyny liczącej, pierwszego polskiego komputera GAM I, który był zminiaturyzowanym modelem maszyny przekątnikowej z mocą obliczeniową jednej operacji na sekundę. Maszyna była prototypem, niedrożym do produkcji seryjnej, a wykorzystywanym jedynie do celów szkoleniowych. Po 1950 roku powstały kolejne polskie maszyny liczące: mgr Krystian Bochenek Analizator Równań Algebraicznych Liniowych (ARAL), prof. Leon Łukasiewicz Analizator Równań Różniczkowych (ARR), mgr Romuald Marczyński Elektroniczna Maszyna Automatycznie Licząca (EMAL) później EMAL 2. Przyczyną niepowodzenia w realizacji poszczególnych rozwiązań, nie należy szukać w koncepcji, a jedynie w problemach technicznych, związanych z zastosowaną techniką lampową, nie uwzględniającą rozrzutów parametrów początkowych oraz niestabilności w czasie i pod obciążeniem. W efekcie uruchamiane zespoły maszyn po paru dniach przestawały funkcjonować [7, 9].

Eksplorując parametry techniczne poszczególnych maszyn stwierdzimy, że analogowy analizator ARR składa się z około 400 lamp elektronowych, które pracowały w dedykowanych układach liczących: osiem integratorów, osiem sumatorów, sześć układów mnożących i sześć nieliniowych układów funkcyjnych. Dzięki niej można było rozwiązywać układy do ośmiu równań różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu.



Rys. 1. ARR – Analizator Równań Różniczkowych [5], EMAL 2 – Elektroniczna Maszyna Automatycznie Licząca [7]

Z kolei maszyna EMAL 2 miała już hierarchiczną strukturę sterowania, bardzo podobną do później opracowanych przez Petriego sieci. Zbudowana została ze standardowych elementów pamiętająco-logicznych. Ciekawostką jest fakt,

że do budowy wykorzystano plastikowe klocki, obecnie Lego, a w latach pięćdziesiątych pod nazwą Mody Architekt produkowane przez Chemiczną Spółdzielnię Pracy Świt. Wewnątrz każdego klocka montowano układy elektroniczne, by potem można je było dowolnie składać, a w przypadku awarii bardzo łatwo wymieniać. Prawdopodobnie byłoby to pierwsze na świecie zastosowanie takiego rozwiązania. Jedną z istotnych cech maszyny była bardzo wysoka niezawodność logicznych układów ferrytowych. Później maszyna stała się załącznikiem Centrum Obliczeniowego Polskiej Akademii Nauk [11].



Rys. 2. Prof. Łukasiewicz demonstruje prototyp pamięci taśmowej prof. Januszowi Groszkowskiemu, ówczesnemu prezesowi PAN (1964) [5] oraz EMAL podczas uruchamiania przez R. Marczyńskiego [7]

Zespół GAM, pracując dalej pod kierownictwem prof. Łukasiewicza, zbudował w 1958 roku pierwszy w Polsce elektroniczny komputer cyfrowy o charakterystycznej nazwie XYZ. To wydarzenie uważane za jedno z ważniejszych w historii polskiej informatyki, potwierdziło, że budowa maszyn cyfrowych w Polsce jest rzeczą możliwą i spowodowało jeszcze większe zainteresowanie w naszym kraju tą dziedziną. Jednostka oparta była na uproszczonej architekturze komputera IBM 701 oraz dokumentacji radzieckiego komputera BESM 6. Wykonywała aż 800 operacji na sekundę używając pamięci EMAL-a skonstruowanej przez R. Marczyńskiego i H. Furmana. Istotne jest to, że komputer ten działał i był największym tego typu osiągnięciem w krajach komunistycznych. Oczywiście Związek Radziecki miał komputery znacznie większe od polskiego XYZ, ale to polski wynalazek był od nich znacznie prostszy, łatwiejszy w użyciu i o wiele szybszy. Następnie został poprawiony i pojawił się w produkcji jako ZAM-1, ZAM-2, ZAM-21 i ZAM-41, maszyny II generacji. Budowa XYZ i ZAM-2 oraz opracowanie nowych języków programowania przyniosły prof. Łukasiewiczowi i zespołowi w 1964 roku Nagrodę Państwową II stopnia. Wśród nagrodzonych wsiedlił m.in. pewien współpracujący inżynier, który po latach został generałem dywizji Służby Bezpieczeństwa, a później wiceministrem resortu spraw wewnętrznych w Warszawie. Zapewne była to znana wiadomość w kręgach nagrodzonych [2, 3, 10].

## 3. FATUM OKRESU DEMOKRACJI LUDOWEJ

### 3.1. Polityczna rywalizacja maszyn

Partia PZPR i rząd PRL doceniły znaczenie informatyki dla rozwoju kraju, co potwierdziła powołanie Krajowego Biura Informatyki, a także nałożenie obowiązku na Polską Akademię Nauk prac w kierunku rozwoju podstaw naukowych informatyki. Niestety, jednak w tych czasach w naszym kraju panowała duża cenzura i wszystko z zepsutym zachodem i nowoczesnymi rozwiązaniami

technologiczne nie miały oficjalnego dostępu do opinii publicznej. W połowie lat sześćdziesiątych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pojawiały się nowe inicjatywy i działania dzięki którym skonstruowano pod kierunkiem inż. Jacka Karpińskiego komputer KAR-65. Komputer wykorzystywany był na wydziale przez wiele lat do analizy danych, w dydaktyce i badaniach naukowych. Maszyna była dwa razy szybsza i kilkadziesiąt razy tańsza od Odry promowanej przez dyrekcję Zjednoczenia Przemysłu Automatyki i Aparatury Pomiarowej MERA. Niezależnie od skarg do partyjnej centrali o wrogim działaniu byłego akowca, KAR-65 został zaprezentowany szerokiemu gronu odbiorców w 1968 r. podczas pierwszego Ogólnopolskiego Sympozjum Maszyn Matematycznych w Zakopanem [5].

Późniejszym, ważnym komputerem produkowanym w zakładach zjednoczenia MERA był mikrokomputer K-202, bardzo szybka maszyna wykonująca około milion operacji na sekundę, zaprojektowana przez inż. Jacka Karpińskiego. Produkcja K-202 ruszyła dopiero dzięki wsparciu Sekretarza PZPR Edwarda Gierka oraz brytyjskich firm Data-Loop i MB Metals. Mimo tego projekt nie zdążył wkroczyć na rynki światowe, gdyż na drodze do sukcesu stanęli inni partyjni decydenci, którzy z powodzeniem zahamowali rozwój wynalazku, pozwalając na produkcję tylko 30 sztuk, z których 15 wyeksportowano do Wielkiej Brytanii. K-202 przewyższała produkowane na terenie PRL komputery (w tym *Odrę*) tak bardzo, że przodujące dotychczas w inżynierii informatycznej wrocławskie zakłady Elwro postanowiły usunąć konkurencję poprzez dobre kontakty dyrektora fabryki z premierem Piotrem Jaroszewiczem, który osobiście napisał na jego teczkę w biurze paszportowym: Nie wydawać paszportu. Powód: dywersja gospodarcza. Po zerwaniu umowy na produkcję K-202 Karpińskiemu uniemożliwiono rozwój dalszej kariery naukowej. Szykany administracyjne prowokowane przez SB dotyczyły również jego rodziny, a najdotkliwszą dla Karpińskiego represją było odebranie możliwości wyjazdu na Zachód i uwięzienie w granicach PRL. Tak wspomina to Jacek Karpiński: *Nie chciano dopuścić do realizacji mojego projektu, bo Polska miała być krajem, gdzie uprawia się kartofle i buraki, a nie tworzy minikomputery* [14]. Czyżby Déjà vu po 50 latach?



Rys. 3. Jacek Karpiński z zespołem przy komputerze KAR-65 obok przy komputerze K-202 [12]

Rok 1968 był przełomowy nie tylko ze względu na ekscesy antysemickie i związaną z nimi emigrację wielu cennych matematyków i informatyków. Również dlatego, że w tym samym czasie, na polecenie Moskwy, państwa bloku wschodniego musiały dzielić się produkcją komputerów. Zrealizowano pomysły skopiowania nie najnowszej amerykańskiej maszyny IBM serii 360 i 370 przeznaczając Polsce produkcję modelu średniej mocy RIAD32 (R32). Najbardziej perspektywiczne i najpotężniejsze komputery

z punktu widzenia zastosowań wojskowych m.in. R20 i R22, przejęły do produkcji ZSRR.

### 3.2. Trudne relacje polityczne polskich geniuszy

Pomimo różnych osiągnięć technologicznych, badania nad maszynami informatycznymi i informatyzacją przemysłu w latach sześćdziesiątych były prowadzone biernie i nieprofesjonalnie. Według ówczesnych opinii Instytut Maszyn Matematycznych (IMM) ze swoją liczną, kilkusetosobową kadrą i rozbudowanymi strukturami administracyjnymi był kosztowny, nie umiał ostatecznie zbudować nowoczesnej maszyny cyfrowej i generował deficyt na poziomie jednego miliarda złotych rocznie. Publikacje naukowe Instytutu były tak nieaktualne, że aby uniknąć kompromitacji, publikowano je w bardzo niskich nakładach. Kierujący nim prof. Leon Łukaszewicz był uważany za dyktatora i antytalent techniczno-inżynierski, który IMM traktował jak prywatny folwark. Na kierowniczych stanowiskach obsadzał ludzi mało kreatywnych, ale posusznych. Forsowała realizację tylko w swoich pomysłach, a co gorsza nie dopuszczała do gromadzenia i zdolnych naukowców. IMM konstruowała i produkowała maszyny same dla siebie, rozdmuchiwała dokumentację konstrukcyjną i sprawozdawczość, która pozwalała na czerpanie jeszcze większych pieniędzy z budżetu państwa [8].

Jacek Karpiński pochodził ze środowiska patriotycznego, którego zaangażowanie w konspirację, służbę w Szarych Szeregach i uczestnictwo w powstaniu warszawskim, trzykrotne odznaczenie Krzyżem Walecznych, dawało powody, dla których został zauważony przez funkcjonariuszy Ministerstwa Bezpieczeństwa Publicznego. Bezpieka widziała w nim człowieka niepewnego klasowo i potencjalnego wroga nowego ustroju. Można powiedzieć, niestety, dzięki swojej doskonałej znajomości technologii cyfrowych w latach 50. i 60. Karpiński zaczął aktywnie współpracować z polskim wywiadem. SB wysłała go w charakterze informatycznego szpiega do zagranicznych krajów, w tym również Stanów Zjednoczonych. Zadaniem Karpińskiego było zbieranie informacji o zachodnich wynalazkach, jak i personaliach amerykańskich naukowców. Podczas spotkań z oficerami prowadzącymi Karpiński dzielił się swoimi spostrzeżeniami z kolejnych podróży, z których przywiózł ponad 150 kg materiałów naukowych, wiele tajnych lub na prawach rękopisu. Departament I MSW zajmujący się wywiadem, uważał, że jego znajomości pozwolą organizować staże lub stypendia na Zachodzie dla polskich naukowców, co pozwoli na poszerzenie naukowych i technologicznych horyzontów. Współpraca Jacka Karpińskiego z wywiadem PRL przyniosła mu wiele korzyści finansowych i zawodowych. Wydział sponsorował wyjazdy zagraniczne i wynagradzał za opracowywanie i tłumaczenie materiałów technicznych. Karpiński nie dostrzegł jednak zagrożeń, które niesła współpraca z komunistyczną bezpieką. Do podstawowych zadań SB nie należało reformowanie polskiej nauki i przemysłu, a trzymanie w ryzach niepokornych obywateli PRL [8].

W 1978 r. przeniósł się na wieś, na Mazury. Hodował kury, świnie i krowę. W przełomowym 1980 roku, po wybuchu Solidarności, wyjaśnił dziennikarzom swoje zaangażowanie w rolnictwo *Bo wolę mieć do czynienia z prawdziwymi świniami*. Genialny konstruktor maszyn matematycznych, którego talent zmarnowano, został

pośmiertnie odznaczony przez prezydenta RP Krzyżem Komandorskim Orderu Odrodzenia Polski [8, 13].

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

W Polsce nie istnieje przemysł komputerowy, instytucje zajmujące się produkcją komputerów są filiami zagranicznych firm albo zajmują się głównie ich składowaniem z importowanych części. Osiągnięcie korzystnych rezultatów w technice, a w sprzęcie komputerowym w szczególności, wymaga w ściślejszych prognozach tendencji rozwojowych na świecie, nieulegania przejściowym modom, podejmowania kompleksowych działań, uwzględniających wszystkie czynniki ograniczające rozwój w danej dziedzinie. Nasz przemysł komputerowy okazał się zbyt mało konkurencyjny i czuły w skali światowej. W roku 1990 ELWRO sprzedano firmie Siemens, która wkrótce zlikwidowała produkcję.

Na skutek przyjscia na świat komputera, zmieniły się utrwalone od wieków struktury prawa, narodu czy geopolityki. Doszły do głosu chaotyczne wahania w relacjach międzyludzkich, a nawet i w samej psychice człowieka, którego mózg musi selekcjonować, filtrować informacje, wybierając tylko te najcenniejsze, najbardziej wartościowe. Inwazja mieszanej informacji powoduje dodatkowo wewnętrzne rozstroje, zachowania neurotyczne i psychotyczne, niezbadane jeszcze patologie.

Nie jest łatwo ocenić i docenić dorobek twórcy poszczególnych osób biorących udział w kreowaniu polskiej myśli cyfrowej w tamtych latach. Trudny okres kolonizacyjny zmusza niejednokrotnie do podejmowania skomplikowanych i niejednoznacznych decyzji przez wielkich konstruktorów maszyn cyfrowych. Przedstawione wybrane okoliczności ich działalności oraz przypisane sukcesy i porażki pozwolą każdemu czytelnikowi na indywidualne przemyślenia i klasyfikację dorobku naukowego.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Encyklopedia Multimedialna PWN, PWN 1998.

2. Madey J., Sys o M. M.: Początki informatyki w Polsce, Informatyka, Nr 9 i 10, Warszawa 2000.
3. Marczyński R.: The first Seven Years of Polish Digital Computers, Annals of the History of Computing 2, 1980, s. 37-48.
4. Kubiński G.: Historia informatyki w Polsce (czasy PRL i początki transformacji), 1999.
5. Noga M., Nowak J.: Polska informatyka: wizje i trudne początki, PTI Warszawa, 2017.
6. Maszyny matematyczne, automatyka i elektroniczna aparatura pomiarowa w PRL. W: Historia elektryki polskiej. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. T. III: Elektronika i telekomunikacja, WNT Warszawa, 1974.
7. Marczyński R.: Jak budowałem aparaty matematyczne w latach 1948-1958, Informatyka 8-12, 1989
8. Kochajkiewicz A.: Działania służb specjalnych Polski Ludowej wobec inżyniera Jacka Karpińskiego w latach 1950-1990, Przegląd Archiwalny Instytutu Pamięci Narodowej 5, 2012, s.247-295.
9. Wykorzystano materiały opublikowane w czasopiśmie Informatyka z okazji 25-lecia (nr 3/1973) i 40-lecia (nr 8-12/1989) polskiej informatyki.
10. Obserwator świata. Przed i po XYZ, <https://bogdan.wordpress.com/2015/07/25/przed-i-po-xyz/>, data dostępu 01.02.2024.
11. Leon ukaszewicz pionier polskiej informatyki, <https://www.polskieradio.pl/39/156/artikel/3073690,leon-lukaszewicz-pionier-polskiej-informatyki>, data dostępu 01.02.2024.
12. Jacek Karpiński: inżynier, który w latach 70 zbudował w Warszawie minikomputer rozmiarów walizki, <https://przypomniani.pl/jacek-karpinski/>, data dostępu 01.02.2024.
13. Lipiński P.: Geniusz i świnię rzecz o Jacku Karpińskim, wydawnictwo JanKa, 2014.
14. Jacek Karpiński - Bill Gates, tyle że bez pieniędzy, <https://nto.pl/jacek-karpinski-bill-gates-tyle-ze-bez-pieniedzy/ar/4105941>, data dostępu 01.02.2024.
15. Pod red. dr. Sikory M.: High-tech za żelazną kurtyną. Elektronika, komputery i systemy sterowania w PRL, IPN Katowice Warszawa, 2017.

### HOW POLISH ELECTRONIC COMPUTING TECHNOLOGY WAS HARDENED

After the war, Poland found itself in a socialist bloc that was not conducive to a market economy and the modernization of the state and information society. Poland's computer industry promoted many educated engineers and computer scientists, and thanks to universities that provided good education. The considerations in the article cover the period from the post-war years to the 1970s and briefly characterize selected processes of the formation of technical computer thought and its contribution to the global digital system. Computer science during this period develops mainly in two cities, Warsaw and Wrocław, in institutions closely associated with the Polish Academy of Sciences, universities and the Elwro plant in Wrocław. The main initiators of computer activities were internationally renowned mathematicians, in Warsaw Kazimierz Kuratowski, director of the State Mathematical Institute, and in Wrocław Edward Marczewski, rector of Wrocław University. In turn, the designers of the first computers came from among the best students of mathematics and electronics, among whom were many winners of mathematics Olympiads. The most important issues emphasized are the advances in the physical basis of computing techniques. It is associated with the transition from mechanical to electronic designs, and then within electronics, from vacuum tubes to solid-state transistors and integrated circuits.

**Keywords:** digital machines, electronic computing technology, computerization animators, computers.