



# PV109: Historie a vývojové trendy ve VT

## Analogové a hybridní počítače, číslicové počítače 0. generace

Luděk Matyska a Eva Hladká

podzim 2024

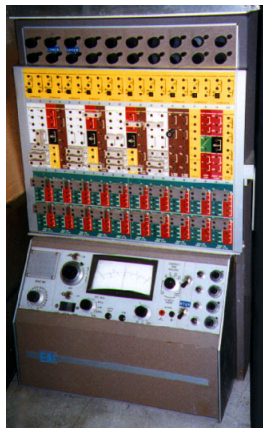


# Číslicové počítače

- Zpracovávají logické a číselné hodnoty
- Operace jsou prováděny v aritmetické jednotce za sebou
- Základní části:
  - aritmetická jednotka
  - paměť
  - řadič
  - periferní zařízení

## Analogové počítače

- Analogový počítač je založen na podobnosti různých systémů, tj. jejich analogii, která spočívá ve shodném matematickém vyjádření těchto systémů.
- Založeny na zpracování analogových (spojitých) signálů.
- Použití:
  - matematické stroje
  - simulátory – např. pro testování drahých strojů, u nichž lze chování popsat pomocí dif. rovnic
  - trenažéry – pro výcvik operátorů různých zařízení
  - řídicí systémy – analogový počítač řídí nějaký technologický proces, dle odběru řídí rychlost a intenzitu výrobního procesu



# Dělení analogových počítačů dle *použité analogie*

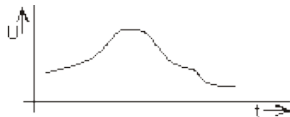
## ■ Mechanická analogie

- Veličiny zkoumané soustavy jsou vyjádřeny mechanickými veličinami (např. posunutí, pootočení, otáčky).
- Mechanické počítací členy: vytvořeny pomocí hřídelí, ozubených kol, vaček, třecích mechanismů apod.
- Přesnost závisela na přesnosti použitých částí a na měřítku zobrazení – pro vyšší přesnosti bylo nutné zvětšit měřítko (problematické).
- Složitě a nákladně na údržbu a provoz.

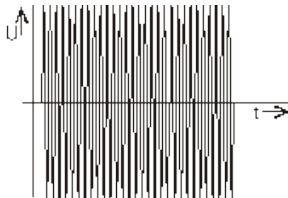
## ■ Elektrická analogie

- Zkoumané veličiny byly vyjádřeny el. napětím nebo proudem.
- Stejnoseměrné – okamžitá velikost napětí je úměrná velikosti původní hodnoty. Sčítání je řešeno operačním zesilovačem nebo pasivní odporovou sítí. Násobení mechanické veličiny a el. napětí bylo realizováno např. potenciometry.
- Střídavé – pro odečtení hodnoty se používala modulace signálu.
- Integrovaní a derivování: integrační/derivační operační zesilovač u stejnosměrného. U střídavého napětí je nutné pracovat s původním signálem.

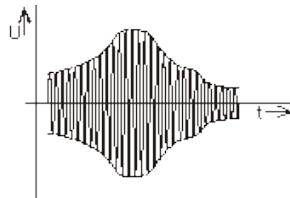
# Časový průběh stejnosměrného a střídavého napětí



Stejnoseměrné napětí



Nemodulované střídavé napětí



Modulované střídavé napětí

# Stavební prvky

- Potenciometr
  - Elektromechanický prvek
  - Převod mechanického pohybu na změnu el. odporu
  - Použití: násobení konstantou, nastavení koeficientů, převod fyzikálních veličin na elektrické
- Lineární operační jednotky
  - Invertor, sumátor, integrátor, derivátor
  - Základem je stejnosměrný operační zesilovač, který umí obracet fázi vstupního signálu o  $2\pi$  (záporná zpětná vazba).
- Nelineární operační jednotky
- Diodové omezovače napětí a proudu, funkční měniče, násobičky atd.

# Lineární operační jednotky I.

## ■ Invertor

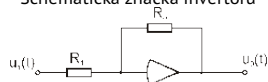
- Do vstupu operačního zesilovače zapojíme pouze jeden odpor  $R_1$  a do zpětné vazby rovněž jeden odpor  $R_0$ . Invertor násobí konstantou a obrací znaménko vstupního napětí.

## ■ Sumátor

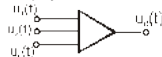
- Do vstupu zapojíme  $n$  odporů a do zpětné vazby rovněž odpor  $R_0$ . Sumátor násobí vstupy konstantami, provede jejich sečtení a obrátí znaménko.



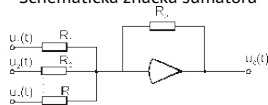
Schematická značka invertoru



Zapojení invertoru



Schematická značka sumátoru



Zapojení sumátoru

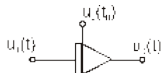
## Lineární operační jednotky II.

### ■ Integrátor

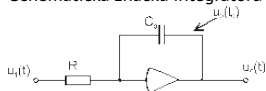
- Vstupní impedance je tvořena odporem  $R_1$  a zpětnovazební impedance kondenzátorem  $C_0$ . Integrátor násobí vstup konstantou a tuto veličinu integruje, přičemž obrací znaménko.
- Jestliže v čase  $t=0$  bylo na zpětnovazebním kondenzátoru nenulové napětí, pak to znamená počáteční podmínku. Ve schématu se značí pouze je-li nenulová.

### ■ Derivátor

- Lineární operační jednotka s jedním vstupem, kde vstupní impedance je tvořena kondenzátorem  $C_1$  a zpětnovazební impedance je tvořena odporem  $R_0$ .
- Derivátor násobí vstupní napětí konstantou, derivuje a obrací znaménko.



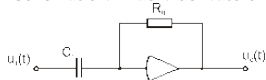
Schematická značka integrátoru



Zapojení integrátoru



Schematická značka derivátoru



Zapojení derivátoru

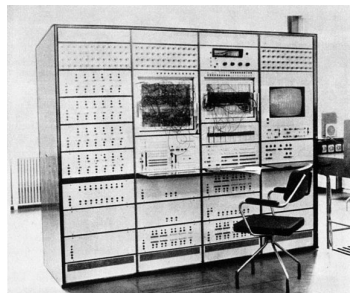


# Programování na analogových počítačích

- Vhodné schéma = rozdělení úlohy na základní operace
- Využívají se dva způsoby:
  - pomocí symbolických programovacích schémat (klasický způsob programování)
  - maticové (tabulkové) programování
- Průběh výpočtu
  - Operační jednotky vytváří počítačí síť, která je elektronickým modelem řešeného problému.
  - Podle toho, jak výpočet probíhá, rozlišujeme:
    - *Přímý výpočet* – zapojení, kdy signál prochází přes jednotky a nevrací se zpět, všechny veličiny jsou předem známé.
    - *Nepřímý výpočet* – vyznačuje se tím, že při výpočtu jedné veličiny se předpokládá, že ostatní jsou známé. Jsou zde zpětné vazby.
    - *Implicitní výpočet* – používá se pro výpočet inverzní funkce, řešení soustav lineárních algebraických rovnic, či určování kořenů algebraických rovnic vyšších řádů.
    - *Elektronické modelování* – při projektování nových soustav a zařízení, modelováním lze najít řešení s vyšší stabilitou a optimalizovat jeho vlastnosti.

## Hybridní počítače

- Kombinují kladné rysy analogových a číslicových počítačů.
- Číslicová složka zastává funkci *řídící jednotky* a provádí logické operace.
- Analogová složka slouží pro výpočet diferenciálních rovnic.
- Vyznačují se vysokou rychlostí (průchod signálu počítačící sítě), mají však omezenou přesnost (3–4 desetinná místa).



Polský hybridní počítač WAT 1001  
Zdroj: <http://en.wikipedia.org>

## Konrad Zuse (1910 – 1995)

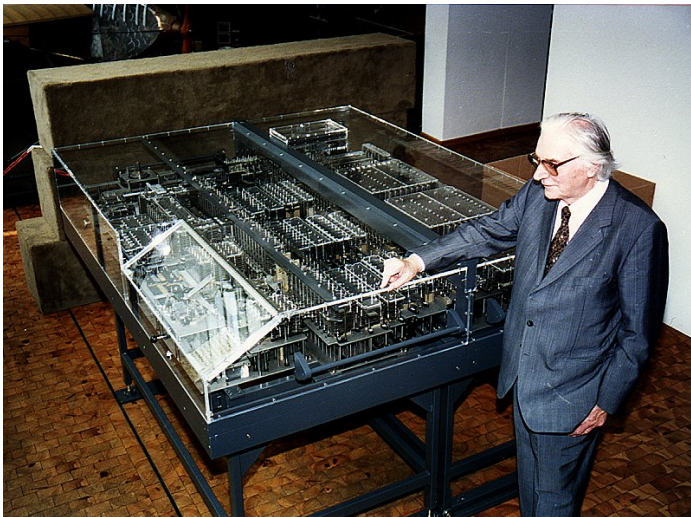
- Německý stavební inženýr.
- Navrhl a sestrojil několik typů počítačů (od mechanických po elektronické).
- V roce 1937 předložil dva patenty předvídající von Neumannovu architekturu (nebyly přijaty).
- I přes intelektuální izolaci v letech 1936 – 1945 dokázal se svým týmem sestavit počítače pro vojenské účely.
- Jako první využil binární soustavu v počítačích.
- Navrhl též vyšší programovací jazyk *Plankalkül* (1946).



## Z1 (1936)

- Čistě mechanický počítač. Zuse jej postavil v domě rodičů.
- Šlo o binární mechanický kalkulátor s pohyblivou řadovou čárkou a omezenými možnostmi programování.
- Instrukce byly načítány z 35mm kinofilmu.
- Mechanická paměť dokázala pojmout 16 22bitových binárních čísel.
  - Implementována jako systém volně pohyblivých jehel zasazených do otvorů v kovové desce.
  - Zatlačený hrot znamenal binární 0, vystouplý 1.
- Vstup byl realizován 4místnou číselnou klávesnicí, výstup na 4místný displeji.
- Tři hlavní části: paměť, ovládání, aritmetická jednotka.
- Z1 byl dokončen v roce 1938, obsahoval 30000 kovových částí a kvůli nepřesným dílům nepracoval správně.
- Byl zničen během 2. světové války i s plány, v letech 1987–1989 však Zuse sestavil jeho repliku.

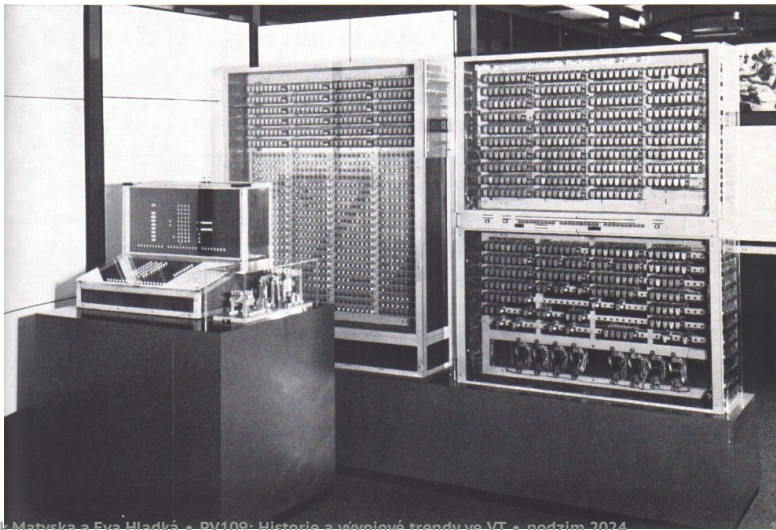
# Replika Z1



## Z2 a Z3

- V roce 1939 byl Zuse povolán do vojenské služby.
- První počítač, který sestavil, byl Z2 – přepracovaná verze Z1 využívající telefonních relé.
- V témže roce zakládá společnost *Zuse Apparatebau*.
- 1941: Dalším vylepšením Z2 vznikl počítač Z3.
- Paměť měla kapacitu 64 22bitových slov (14 mantisa, 7 exponent, 1 znaménko)
- Byl programovatelný, obsahoval smyčky ale nevyužíval podmíněné skoky.
- I přes absenci podmíněných skoků byl Z3 považován za Turing-kompletní počítač.
- V roce 1945 byla při náletu spojeneckých vojsk zničena Zuseho společnost, přišel i o dokumentace k Z1, Z2 i Z3.
- Posledním z válečné řady byl Z4, následovaný po konci 2. světové války počítačem Z5. Stroje Z4 a Z5 lze považovat za první komerčně realizované počítače na evropském kontinentu.

# Replika Z3



## Z4

- Poslední z řady Zuseho elektromechanických počítačů.
- Opět pouze mechanická paměť, slova měly délku 32 bitů
- Poprvé se tu objevuje prvek obdobný primitivní cache paměti – čtečka načítala data vždy dva kroky před právě prováděnou instrukcí.
- To umožňovalo urychlovat výpočet jedním ze 3 způsobů:
  1. Dvě následující instrukce mohly být vykonány v obráceném pořadí.
  2. Dvě další operace s pamětí mohly být vykonány předem.
  3. Řídící jednotka mohla uchovat číslo místo jeho uložení do paměti, pokud by bylo použito v následujících instrukcích.



## Počítač Z4 v Deutsches Museum, Mnichov



## Vannevar Bush (1890 – 1974)

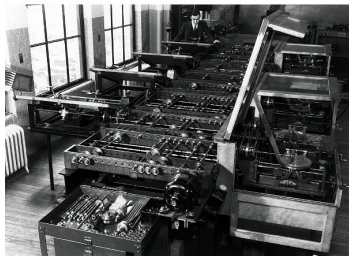
- Americký inženýr, vynálezce, profesor na MIT.
- 1945: V práci *As We May Think* de facto předpověděl koncept hypertextu, jež označoval jako *memex* (memory+index).
- Pracoval na stavbě analogových počítačů.
- Během 2. světové války vedl National Defense Research Committee a byl poradcem presidenta F. D. Roosevelta ve věcech vědy.



Zdroj: <http://www.kerryr.net>

# Differential Analyzer

- Čistě mechanický analogový počítač postavený počátkem 30. let.
- Sloužil k modelování napájecí soustavy.
- Na jeho stavbě se vedle Bushe podíleli např. Harold Hazen, Gordon Brown či Claude Shannon.



Zdroj: <http://www.computerhistory.org>

## Howard Hathaway Aiken (1900 – 1973)

- Počítačový průkopník.
- Hlavní inženýr stavby jednoho z prvních počítačů firmy IBM – Harvard Mark I.
- Inspiroval se Babbageovým Diferenčním strojem.
- Za svůj přínos oblasti IT získal několik významných ocenění:
- Na jeho počest byla na odvrácené straně Měsíce pojmenována pánev Aiken (největší deprese povrchu na Měsíci).

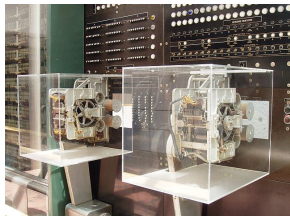


Zdroj:  
<http://en.wikipedia.org>

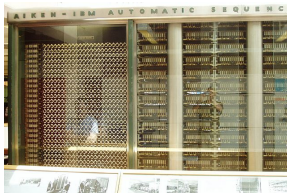
## Harvard Mark I. (1944)

- Elektromechanický počítač o rozměrech  $16 \times 2,4 \times 0,6$  metrů a váze cca 5 tun.
- Původní název: *The IBM Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC)*
- Operace byly synchronizovány mechanicky pomocí průchozího hřídele délky 15,5 m otáčeného elektromotorem o výkonu 4 kW.
- Výpočetní výkon byl 3 op/s pro sčítání a odčítání a 6 op./s násobení
- Obsahoval 72 mechanických registrů schopných uložit až 23 dekadických míst.
- Bylo možné mechanicky zadat až 60 konstant (v podstatě stejný koncept jako paměti ROM – read-only memory).
- Program se načítal z děrné pásky, data z několika dalších pásek nebo z čtečky děrných štítků.
- Byl používán v součinnosti s radarem v systému GCD (Ground Controlled Descent) pro navádění pilotů na přistání.

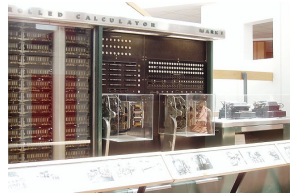
# Harvard Mark I.



Detail vstupní a výstupní jednotky  
Zdroj: <http://en.wikipedia.org>



Levá strana



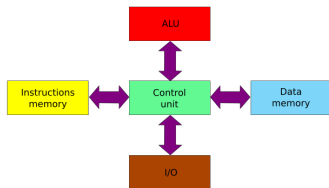
Pravá strana

## Mark 2 (1947)

- Vyroben na objednávku Námořnictva Spojených států.
- Oproti svému předchůdci byly použity elektromagnetické relé.
- Sčítání trvalo 0,125 s (8 Hz), násobení 0,750 s ( $2,6 \times$  rychlejší než Mark I.)
- Byl schopen práce v pohyblivé řadové čárce.
- Obsahoval specializované prvky HW pro druhou a reciprokovou odmocninu, logaritmické a exponenciální funkce a několik trigonometrických. Vykonání těchto operací trvalo mezi 5 a 12 sekundami.

## Harvardská architektura

- Architektura počítačů, která fyzicky odděluje paměť programu a dat a jejich spojovací obvody.
- Počítač Harvard Mark I. byl na této architektuře postaven.
- Není nutné mít paměť stejných parametrů a vlastností pro data a program.
- Paralelní přístup k oběma pamětem zvyšuje rychlost zpracování



Zdroj: <http://en.wikipedia.org>



## Grace Murray Hopper (1906–1992)

- Americká matematická, počítačová vědkyně a důstojnice námořnictva Spojených států.
- Spolupracovala na vývoji Mark I. a Mark II.
- Vyvinula první kompilátor pro počítačový programovací jazyk pro počítač UNIVAC.
- Díky svým schopnostem získala přezdívku „Amazing Grace“.
- 1986: Jako první žena v historii dosáhla hodnosti kontraadmirál ve výslužbě.



Zdroj:  
<http://en.wikipedia.org>

## Antonín Svoboda (1907–1980)

- Vynálezce a počítačový vědec, vystudoval elektrotechnické a strojní inženýrství na ČVUT a fyziku na UK.
- Konstruktor prvních československých samočinných počítačů – SAPO a EPOS 1.
- V roce 1936 byl povolán do armády a pověřen prací na protiletadlových zaměřovačích.
- Po obsazení ČSR se mu podařilo i s rodinou emigrovat do USA.
- Během 2. světové války pracoval na vývoji protiletadlových zaměřovačů, spolupracoval s H. Aikenem či V. Bushem na MIT.
- Dle jeho návrhu byl realizován mechanický analogový počítač používaný v protiletadlovém zaměřovacím systému MARK 56.



Zdroj: <http://www.nyx.cz>

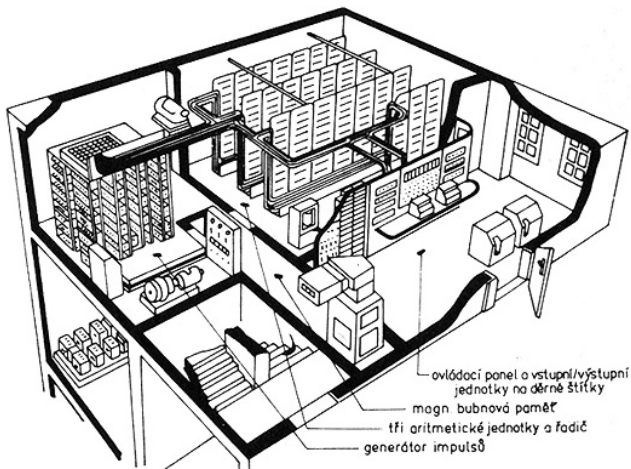
## Antonín Svoboda

- V roce 1946 se vrátil do ČSR, habilitaci ani místo na ČVUT však nedostal.
- 1950: Vzniká *Oddělení matematických strojů* při Ústředním matematickém ústavu.
- 1951: Začíná vyvíjet SAPO (SAmočinný POčítač).
- 1955: Zakládá *Výzkumný ústav matematických strojů*
- 1964: Podruhé emigruje do USA, dostává místo na UCLA.
- Spolupracuje s NASA na vývoji počítačů pro let na měsíc.
- U nás se o Svobodovi a jeho práci nesmělo psát ani mluvit až do roku 1990.

## SAPO – SAmočinný POčítač

- Základem byla elektromagnetická relé (7000 ks). Pracoval v binární soustavě s pohyblivou řádovou čárkou.
- Vstup byl dvojkový nebo dekadický na děrných štítcích.
- Součástky nebyly příliš kvalitní (pocházely ze zemí východního bloku),
- Pro zajištění spolehlivosti byla ALU ztrojena a o správném výsledku rozhodovalo „hlasování“.
- Stejný princip později použil i při práci v NASA.
- Výpočetní rychlost byla cca 3 operace za sekundu.
- 1958: Vývoj trval 7 let a v době dokončení byl již zastaralý.
- V roce 1960 zachvátil požár reléové části stroje. Ačkoliv byly poškozeny pouze 2 % zařízení, již nedošlo k opravě.

# Schéma počítače SAPO



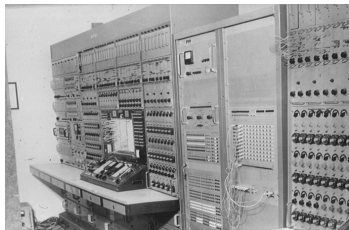
Zdroj: <http://www.historiepcitacu.cz>

## Analogové a hybridní počítače v Československu

- V ČSSR započal vývoj analogových počítačů počátkem 50. let 20. století.
- První, jednoúčelový, elektronkový analogový počítač byl dokončen ve *Vojenském technickém ústavu* – **EUZ I.**
- Výzkumem v této oblasti byly pověřeny: Výzkumný ústav telekomunikací v Praze (VÚT), Výzkumný ústav matematických strojů (VÚMS), Ústav teorie informace a automatizace (ÚTIA) ČSAV v Praze, Ústav pro výzkum radiotechniky (ÚVR).
- Sériově se analogové počítače vyráběly v n. p. Tesla Vysočany, n. p. Tesla Opočíněk a Závodech průmyslové automatizace
- Zajímavostí je, že ve výrobě analogových počítačů se čs. průmyslu dařilo dosahovat řádově lepších výsledků, než při výrobě počítačů číslicových.

## Počítače řady AP a ANALOGON

- Řada počítačů AP3 a AP4 byly vyráběny v Tesla Pardubice (závod Opočíněk).
- AP4 byl malý počítač, jehož sériová výroba začala v roce 1961.
- Od roku 1962 se v Opočínku kompletoval i střední analogový počítač AP 3M, který byl největším analogovým počítačem v ČSSR.
- Pro školní účely byl vyroben tranzistorový analogový počítač AP Š (Š – školní), jehož cena byla 75 000 Kčs.
- ANALOGON – byl vyroben pouze prototyp, nepodařilo se jej prosadit do sériové výroby



Zdroj: <http://historiepocitacu.cz>

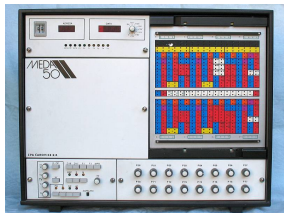
## Řada počítačů MEDA

- MEDA – Malý Elektronkový Diferenciální Analyzátor
- Vyráběly se sériově od roku 1964. Vývoj probíhal ve spolupráci VÚMS a n. p. Aritma Praha
- Vedle elektronkových počítačů vznikla i řada MEDA T, využívající tranzistory (např. MEDA 40 T, TS, 60 T, 80 T)
- V polovině 70. let překročil počet prodaných počítačů řady T 1000 ks (více než polovina šla na export).
- Získali několik mezinárodních ocenění – např. zlaté medaile na veletrhu INFORGA 1965, na Mezinárodním veletrhu v Brně 1966 a Lipském veletrhu 1967.
- Počítač MEDA TS byl využíván mj. pro školní výuku na vysokých školách. Jeho pořizovací cena byla 150 000 Kčs.





# MEDA 50



Čelní a zadní panel



Interface SO 03

Zdroj: <http://litildivil.cz/sbirka/pocitace/MEDA50/MEDA50.htm>

## Hybridní počítač ADT 7000

- Byl vyvinut v letech 1972–1974.
- Tvořily jej číslicový počítač ADT 4000 (nebo 4316) + analogový počítač ADT 3000
- ADT 4000: kopie minipočítače Hewlett-Packard 2100
- Byl určen pro řešení širokého sortimentu úloh diferenciálního charakteru s možností časově paralelního nebo sekvenčního řazení jednotlivých operací.
- Často se pořizovala pouze číslicová část.

## ADT 4316 a ADT 4500



Počítače ADT, kopírující řadu Hewlett-Packard 2100, měly programové vybavení převzaté od počítačů HP. To zaručilo jejich rozumnou kvalitu. Na obrázku ADT 4316.



ADT 4500 – Pro překonání politických potíží byly počítače této řady dodávány pod krycími názvy, např. „digitální seismická centrála“ nebo „číslicová část ADT 7000“.