

# Aplikace matematiky

---

Morton Nadler

Úvod do číslicových počítačů. Část 1: Přehled typů počítačů.

*Aplikace matematiky*, Vol. 2 (1957), No. 6, 409–423

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/102592>

## Terms of use:

© Institute of Mathematics AS CR, 1957

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## ČLÁNKY

## ÚVOD DO ČÍSLICOVÝCH POČITAČŮ

## ČÁST I.: PŘEHLED TYPŮ POČITAČŮ

MORTON NADLER

(Došlo dne 22. května 1957.)

DT:681.112-83

V článku je uveden přehled nezákladnějších typů počítačů, jejich srovnání a využití.

Mechanické pomůcky početní [1] byly známy již velmi dávno. Zvláště důležité v historii tohoto oboru jsou planimetry a integrafy (integrátory) a jim příbuzné harmonické analyzátoři, kterými lze s přesností postačující pro technickou praxi mechanicky řešit problémy, jež by jinak vyžadovaly velmi pracné výpočty. Takováto zařízení byla zpravidla navržena pro zcela určitou funkci nebo k řešení určité rovnice ev. úzké třídy rovnic. Společným znakem těchto přístrojů je zobrazení číselné hodnoty délkou úsečky nebo úhlovým natočením hřídele, při čemž kontinuum reálných čísel je modelováno kontinuem translace nebo rotace. Mezi operací takového zařízení a modelovanou matematickou operací je jistá analogie; proto nazýváme takové zařízení analogovým zařízením. Theoreticky neomezená rozlišovací schopnost těchto systémů za předpokladu ideálních součástek a přesné analogie je ovšem ve skutečnosti omezena tolerancemi a stabilitou mechanických zařízení, takže skutečný výpočet je zatížen chybou v nejlepším případě řádově 1% až 0,1%. Zatím co tato zařízení mají omezenou přesnost, mají tu přednost, že mohou přímo modelovat hledané funkce.

Jiná třída mechanických zařízení, mající stejně dlouhou historii, používá ozubených koleček k provádění aritmetických operací (sčítání a odčítání) v číslicovém tvaru na libovolný počet míst. Protože lze při numerickém řešení všechny vyšší matematické operace převést na sled operací sčítání a odčítání, bylo možno zracionalisovat numerické počítání pomocí stolního počítačového stroje (kalkulačního stroje) [2]. Moderní stolní počítačové stroje jsou ovšem vybaveny ještě zařízením k automatickému provádění sledů sčítání a odčítání, kterých je zapotřebí pro další dvě aritmetické operace: násobení a dělení.

Koncem devatenáctého století byl učiněn další pokrok v mechanisaci výpočtů zavedením strojů na děrné štítky [3]. Vývoj děrnostítkových strojů dosáhl dnes již takového stupně, že jsou schopny provádět kompletní výpočty z údajů děrovaných ve svazků štítků, a to podle instrukcí buď vyděrovaných do těchto štítků nebo jiným způsobem vložených do stroje.

Podle tvaru (zobrazení), ve kterém jsou údaje (data) na vstupu do těchto strojů, uvnitř stroje i na výstupu, nazýváme tyto stroje číslicovými.

Ze dvou tříd početních pomůcek se vyvinuly dvě třídy počítačů — analogové a číslicové. Počítač je stroj, který samočinně řeší problémy formulované matematickými výrazy podle údajů vložených do něho vstupním zařízením a dává řešení ve výstupním zařízení bez dalšího lidského zásahu.

### 1. Analogové počítače [4], [5]

Integrátory lze navzájem spojit tak, aby řešily jednoduché obyčejné diferenciální rovnice. Počet integrátorů a tím i složitost rovnic jsou však omezeny problematikou mechanického skloubení a přenosu kroutícího momentu. Velkým pokrokem bylo zavedení mechanických zesilovačů momentu BUSHEM [6], které umožnilo spojování výstupu jedné operační jednotky se vstupem jiné, aniž by došlo k zpětnému ovlivnění. To umožnilo řešit rovnice značně složitější a dalo vznik prvnímu matematickému stroji, schopnému řešit velkou třídu problémů — diferenciálnímu analyzátoru — do něhož se jednotlivé problémy vkládají tím způsobem, že se mění vnitřní spojení mezi operačními jednotkami stroje.

Vedle diferenciálního analyzátoru známe dnes ještě řadu jiných analogových strojů. Z nich nejdůležitější jsou:

- a) lineární analyzátor a isografy [7], [8],
- b) analyzátor elektrických sítí [9].

Lineární analyzátor je stroj na řešení soustav lineárních rovnic až do určitého počtu neznámých, na př. 12. Příkladem aplikace takového stroje je analýza záznamu hmotového spektrometru pro určení chemického složení daného vzorku. Isograf naproti tomu je stroj k určení (komplexních) kořenů algebraických rovnic o jedné neznámé a určitého maximálního stupně, na př. 12. Důležitou aplikací takového stroje je určení kořenů charakteristické rovnice servomechanismu nebo regulační soustavy k vyšetření jejich stability.

Analyzátor elektrických sítí byly původně, jak již jejich název ukazuje, vyvinuty pro studium zjevů v systému rozvodu elektrické energie. Analyzátor elektrických sítí je v podstatě diferenciálním analyzátozem pro řešení parciálních diferenciálních rovnic. Rozšíření této metody vedlo k odporovým sítím schopným řešit Laplaceovu a Poissonovu rovnici [10], biharmonické rovnice

atd., které mají velký význam v hydrodynamice, statice, při vyšetřování elektromagnetického pole a v jiných problémech.

Jak je z předchozího patrné, může se methodami analogového počtu řešit značná část problémů vyskytujících se v aplikované fyzice a technice. Velmi důležitou je aplikace těchto method při konstrukci simulátorů a automatických „trenérů“ (výcvikových automatů). Jsou to počítače s reálným časovým měřítkem, t. j. s časovým měřítkem odpovídajícím přímo časovému měřítku napodobeného (simulovaného) skutečného systému, se vstupem napájeným ze stejných ovládacích elementů jako skutečný systém a s výstupem přes servomechanismy, od nichž se požaduje, aby způsobily podobný efekt, jako studovaný systém. To má velký význam při výzkumu zařízení, jako jsou reaktory, raketové střely, trysková letadla a p., kde jsou skutečné experimenty nesmírně nákladné a někdy i nebezpečné, a dále při výcviku obsluhy těchto zařízení, kde otázka bezpečnosti je ještě důležitější.

Analogových početních method se velmi často používá při studiu servomechanismů a regulačních systémů; nehledě k použití isografu, o němž byla zmínka již dříve, je nejkratší cesta k řešení modelovat vyšetřovaný systém na diferenciálním analysátoru a získat tak přímo časovou odezvu systému na poruchový signál.

Přímá aplikace analogových počítačů v oboru automatizace spočívá v použití různých typů těchto počítačů přímo v ovládacích systémech k vyhodnocení okamžitého stavu a jeho vývojového směru k určení operace, která se má na základě tohoto vyhodnocení v daném okamžiku provést. Příkladem takového řízení pomocí počítače je systém pro řízení dělostřelecké palby, používající radaru k zjištění cíle a analogového počítače k zaměření děl na cíl. Za druhé světové války byly takové systémy schopny přímo zasáhnout námořní cíl na vzdálenost přes 20 km. Přestože jsou takové počítače často součástí servomechanismů, nejsou totéž co servomechanismy, ačkoliv v této otázce není dosud zcela jasno. Servomechanismus je zařízení se zpětnou vazbou, které udržuje jednu veličinu (výstupní) na hodnotě předepsané druhou (vstupní) veličinou. Počítač použitý se servomechanismem vyhodnocuje podle dané funkční závislosti převzaté hodnoty jako posloupnost údajů a určuje požadovanou hodnotu výstupní veličiny, t. j. výstup počítače vytváří vstup do servomechanismu v obvyklém slova smyslu. (Ve skutečném provedení může být ovšem toto rozlišení zastřeno skutečností, že parametry servomechanismu mohou samy být částí funkce vyhodnocované počítačem, takže počítač je vlastně součástí zpětnovazební smyčky servomechanismu.)

Každý vhodný fyzikální systém se může stát základem analogového počítače, pokud existuje analogie mezi rovnicemi popisujícími použitý systém a matematickou formulací úlohy. Původní diferenciální analysátor publikovaný Bushem v r. 1931 používal pouze rotačního mechanického systému včetně mechanic-

kých zesilovačů momentu. Moderní elektromechanické analyzátoři obsahují i nadále rotační mechanické integrátory, avšak poháněné servomechanismy, takže jednotlivé integrační jednotky spolu mechanicky nesouvisí. Pro systémy s jednou nezávisle proměnnou (která může být analogově zobrazena časem) lze použít čistě elektronických systémů, v nichž jsou integrační jednotky vytvořeny zesilovači se zpětnou vazbou.

K řešení parciálních diferenciálních rovnic používá se vedle zmíněných již odporových sítí (a R—L—C sítí), elektrolytických van (tanků) a gumových membrán; také pneumatické, hydraulické a tepelné systémy našly své aplikace.

S velkým úspěchem bylo užito také jiných elektromechanických systémů. Tam, kde je analogovou veličinou elektrický potenciál, se často s výhodou používá otáčkových potenciometrů. Zatím co nastavení potenciometrů lze provádět elektricky řízenými servomechanismy (což je velmi účinný prostředek k dosažení velké přesnosti), používají úsporně stavěné a při tom velmi účinné počítače transformačních mezičlánků obsahujících kloubové mechanismy, kde lze téměř každou funkční závislost získat ve tvaru mechanického natočení hřídelů spojených spolu soustavou pák. Tento způsob byl po prvé zaveden za druhé světové války SVOBODOU [11] a dále vyvinut jak ve Spojených státech tak v Československu.

## 2. Číslíkové počítače [12], [13], [14]

Zatím co se používá spojité variace nějaké fyzikální veličiny v analogovém stroji k zobrazení matematické proměnné s jistým stupněm přesnosti, může se použít diskretních stavů takové veličiny k zobrazení čísla o daném počtu platných číslic (míst). Máme-li na př. deset diskretních hladin napětí, které se mohou vyskytnout na elektrodě, můžeme jimi zobrazit dekadickou číslici. Řady takových elektrod můžeme pak použít k zobrazení čísel dekadické soustavy; každá elektroda odpovídá koeficientu příslušné mocniny deseti podle známého vztahu

$$x = a_0 10^n + a_1 10^{n-1} + \dots + a_n 10^0 + a_{n+1} 10^{-1} + \dots + a_{n+q} 10^{-q} = \\ = a_0 a_1 \dots a_n, a_{n+1} \dots a_{n+q},$$

kde  $n + q$  je počet platných číslic a desetinná čárka leží mezi  $a_n$  a  $a_{n+1}$ .

První samočinné číslicové počítače byly elektrickým napodobením obyčejného stolního kalkulačního stroje. Ozubená číslicová kolečka byla nahrazena reléovými nebo elektronickými obvody s deseti rozdílnými stavy a byla přidána paměť pro uložení mezivýsledků a tabulek elementárních funkcí. Celý výpočet se předem připravil (programoval), na př. na děrné pásce, a do stroje se vložil tak, aby se postupně provedly všechny programované operace [15]. Pokud

se rychlosti týče, měl takový stroj málo výhod proti stolnímu počítačimu stroji, neboť každý krok musel se explicitně vyděrovat do řídicí pásky. Jediná úspora byla v rozdílu mezi časem potřebným k popsání operací na pásece a časem, potřebným k výpočtu na stolním počítačím stroji a k vypisování a znovuvložení mezivýsledků. Tabulky elementárních funkcí mohou být nahrazeny algoritmy (uloženými v paměti) pro výpočet hodnot funkcí k libovolnému argumentu. Tím se dosáhne úspory místa potřebného v paměti a vnější program (na př. na děrné pásece) odkáže prostě na algoritmus, který je v paměti ve tvaru subrutiny (podsítě, podprogramu). Přes svou pomalost (podle dnešního hlediska) znamenaly tyto stroje velký pokrok zejména proto, že vyloučily chyby, které se při každém kroku mohly do výpočtu vloudit při vypisování mezivýsledků a při ručním vkládání číselných hodnot do stroje.

Moderní universální počítače jsou řízeny instrukční sítí (programem), která neobsahuje explicitně instrukce pro každý krok (operaci) výpočtu. To je možné proto, že se jednotlivé instrukce instrukční sítě nevládají do stroje zvenčí v časových intervalech podle toho, jak výpočet postupuje, nýbrž celý program se uloží před započatím výpočtu do paměti stroje stejným způsobem jako vstupní číselné hodnoty [16], [17]. Stroj je pak schopen operovat i na instrukcích a přizpůsobovat je během výpočtu podle plánu obsaženého v instrukční sítí. Jako jednoduchý příklad takové činnosti můžeme uvést výpočet hodnoty funkce danému argumentu pomocí konvergentní alternující mocninné řady, na př.  $\sin x$ . Výpočet každého členu je podobný výpočtu členu předchozího, zatím co kriterium pro přerušení výpočtu lze vyjádřit v jednoduchém tvaru, v tomto případě tak, aby absolutní hodnota naposled vypočítaného členu byla menší než dovolená chyba.

Program musí tedy obsahovat jen předpis pro výpočet obecného členu řady, předpis jak provádět zkoušku absolutní hodnoty  $n + 1$ -ho členu a jak použít vzorce pro obecný člen k danému argumentu, když se vyskytne během výpočtu. Sled operací je takový:

1) argument  $x$  se převede do určitého intervalu, na př.  $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$  (normalisuje);

2) vypočítá se první člen řady pro normalisovaný argument;

3) první člen se zkouší, aby se zjistilo, zda snad hodnota funkce není nulová; je-li tomu tak, vloží stroj 0 do paměťového místa rezervovaného pro výsledek a postoupí k dalšímu kroku hlavního programu; nerovná-li se první člen řady nule, uloží hodnotu prvního členu do paměťového místa;

4) počítá druhý člen řady;

5) druhý člen se zkouší, aby se zjistilo, zda hodnota funkce je určena již samotným prvním členem s dostatečnou přesností; je-li tomu tak, postoupí stroj k dalšímu kroku hlavního programu; v opačném případě se přičte druhý

člen k členu prvnímú a součet se vloží do paměťového místa rezervovaného pro výsledek;

6) vypočítá se třetí člen řady, atd., atd.

Po prvním kroku má každá další dvojice operací stejný tvar jako operace 2 a 3, pouze s různým číselným obsahem. Proto může instrukční sít obsahovat jen malý zlomek operací strojem skutečně prováděných během požadovaného výpočtu. Tím se dosáhne velmi značné úspory hodin lidské práce ve srovnání s ručním výpočtem na stolní kalkulačce. Je jasné, že jen určitý poměr mezi časem potřebným k vypracování instrukční sítě a skutečným časem potřebným k provedení výpočtu strojem je ekonomický, neboť počet skupin připravujících program pro samočinný počítač je omezen. Vyžaduje-li na př. příprava programu pro určitý samočinný počítač průměrně jeden pracovní měsíc, zatím co řešení strojem trvá jen 10 hodin, bude zapotřebí skupiny téměř 60 programátorů, aby bylo dosaženo 80%-ního využití stroje. Naopak, když je jednou instrukční sít vypracována a vyzkoušena (což také zabírá část produktivního času stroje), může jí být mnohokrát použito s různými vstupními číselnými hodnotami (podobně, jako když se mění okrajové podmínky partiálních diferenciálních rovnic). Tento případ nastává v technických výpočtech nejčastěji.

V současné době existují dva typy univerzálních počítačů a vzrůstá skupina počítačů speciálních či jednoúčelových. Univerzální počítače jsou jednak „samočinné počítače“ pro vědecké a technické výpočty a „stroje na zpracování údajů (dat)“ pro evidenční, administrativní a plánovací účely. Nejdůležitějším jednoúčelovým číslicovým počítačem je pravděpodobně číslicový diferenciální analyzátor, který řeší obyčejné diferenciální rovnice podobným způsobem jako analogový diferenciální analyzátor s tím rozdílem, že používá numerického postupu [18]. Přesněji řečeno, číslicový diferenciální analyzátor řeší diferenciální rovnice aproximující diferenciální rovnice. Jiné speciální počítače slouží k výpočtu krystalových struktur na základě hodnot získaných analýsou röntgenových krystalografických snímků, k řešení Laplaceovy a Poissonovy rovnice relaxačními methodami atd.

Vědecké a technické výpočty se vyznačují tím, že se na poměrně malém počtu vstupních hodnot provádí poměrně velké množství početních operací a že výsledek je dán rovněž poměrně malým počtem výstupních hodnot. Proto je ekonomické transformovat vstupní hodnoty, dané zpravidla v soustavě dekadické, do soustavy vhodnější pro strojové zpracování, obvykle do dvojkové (binární) soustavy, ač se provádí výzkum i jiných soustav, používajících zbytkových tříd [19], záporných základů [20] a j. Dvojkový systém má výhody z různých důvodů:

a) čísla zaujímají méně místa v paměti než v dekadickém kodu (v pamětech s elementy nabývajících dvou různých stavů);

b) konstrukce stroje je jednodušší a levnější než pro dekadická čísla, neboť dvojková soustava mnohem lépe odpovídá fyzikálním vlastnostem použitých součástek:

c) chyby vzniklé potlačením posledních míst nebo zaokrouhlením jsou menší než v dekadické soustavě při ekvivalentním počtu platných míst.

Pro stroje na zpracování dat je charakteristické, že se na velkém množství vstupních údajů provádějí zpravidla velmi jednoduché výpočty. Proto není ekonomické transformovat čísla z dekadické soustavy do soustavy jiné a pak zase zpět, jelikož úspory získané při vlastním výpočtu by byly převáženy časem a materiálem potřebným k provedení transformace.

Jinak používají stroje na zpracování dat také programů uložených v paměti a schopných modifikace podobně jako samočinné počítače, takže jsou schopny provádět kompletní administrativní práce, jako sledování skladu, fakturování, výpočet mezd a důchodů, sledování bankovních účtů atd. V jiném ohledu se tyto stroje liší od strojů pro vědecké výpočty: určitý program se mnohonásobně opakuje, zatímco počet programů určitého závodu je velmi malý. Proto středisko používající strojů na zpracování dat nebude pravděpodobně potřebovat vlastní skupinu programátorů. Použije však zpravidla programů dodaných buď se strojem jeho výrobcem nebo nezávislou skupinou zabývající se programováním. V případě počítače používaného velkou americkou elektrárnou pro účetní evidenci, vyžadovalo vypracování programu za 13 měsíců dvaceti let práce jednoho člověka [21]. Očekává se však, že se programu bude používat po mnoho let, při čemž může být propuštěno několik set účetářských zaměstnanců.

Nehledě k rozdílům, o nichž již byla zmínka, mají oba typy universálních strojů společné základní rysy a technické problémy. Mohou zpravidla provádět čtyři základní aritmetické operace, sčítání, odčítání, násobení a dělení, po případě počítat přímo druhou odmocninou. Dále poskytují možnost jistého počtu tak zvaných logických operací pro úpravu programu, přenos hodnot uvnitř stroje, manipulaci se vstupními a výstupními hodnotami atd.

Speciální či jednoúčelové číslicové počítače se od nich liší tím, že používají pevného programu, který je měnitelný jen v jistých detailech a že rozsah prováděných operací je daleko menší než v universálních počítačích. Program nelze zpravidla během výpočtu pozměnit a proto se tyto stroje podobají nejstarším samočinným počítačům řízeným vnějším programem. Naproti tomu jsou tyto stroje navrhovány tak, že není třeba instrukce nepřetržitě vkládat do stroje, nýbrž stroj sám provádí iterační nebo rekursivní rutinu.

Typickým příkladem je číslicový diferenciální analyzátor. Programem se zde řídí jen vzájemné spojení integrátorů jako v případě analogového počítače. Stroj pak postupuje podle předem určeného sledu numerické integrace, dokud „přetečení“ určitého integrátoru nedá zakončení výpočtu. Výstupní hodnoty



mohou být vyznačeny ve tvaru křivek nebo vytištěny ve tvaru tabulek, což závisí na modelu, nebo jich může být použito pro jiné účely jak bude uvedeno dále. V číslicovém diferenciálním analyzátoru se používá jen sčítání, odčítání a přenosu informace.

Právě tak jako analogových strojů, může být použito i číslicových počítačů k přímému řízení jiných strojů. Po této stránce je třeba se zmínit o rostoucí důležitosti impulsových systémů pro řízení výrobních postupů a pro servomechanismy [22]. Jako nejpřirozenější pro řízení takových systémů se jeví číslicové počítače, právě tak jako spojitě pracující servomechanismy klasického typu je výhodné ovládat počítači analogovými. Kromě toho je ovšem možná i spolupráce obou systémů za použití analogo-číslcových a číslicově-analogových převodníků, které dovolují také přenos údajů na větší vzdálenost.

V mnoha zemích (včetně ČSR) se velmi intenzivně pracuje na aplikacích číslicových počítačů k samočinnému řízení obráběcích strojů. V současné době lze již použít jednoduchých instrukčních sítí k řízení výroby součástek podle normálních výkresů. Výzkum je nyní zaměřen na možnost řízení výrobního postupu přímo z výkresu, aniž by bylo třeba předem vypracovat detailní instrukční síť.

Číslicových počítačů lze obvykle použít ve všech případech, kde se užívá analogových strojů. Tak na př. v současné době se velmi často používá číslicových systémů pro řízení palby, číslicových simulátorů (výpočty v reálném čase) a výcvikových automatů (automatických trenérů) atd., což bylo umožněno vzrůstem operační rychlosti a zmenšením rozměrů číslicových počítačů vybavených transistory.

### 3. Srovnání typů počítačů a organizace jejich použití

Velká rozmanitost typů počítačů, která se dalším vývojem stále rozšiřuje, umožňuje širokou volbu způsobu, jak řešit daný problém. To je třeba mít na zřeteli při zakládání matematických laboratorí různých typů a při zavádění speciálních strojů pro řízení nebo jiné průmyslové účely.

Nehledě na vývojový směr k menším a výkonnějším strojům obou tříd za použití moderních součástek založených na polovodičích (diodách, transistorech, ferritových jádrech), jsou mezi číslicovým a analogovým typem strojů zcela určité základní rozdíly. Analogový počítač poskytuje obvykle přímější a intuitivně jasnější možnosti řešení a je schopen pracovat s velmi vysokou rychlostí, používá-li moderní elektronické techniky. Číslicový stroj naopak vyžaduje spíše nepřímou cestu k řešení a může být pro mnohá použití příliš pomalý, i když bude vybaven nejrychlejší dnes dostupnou operační jednotkou. Zatím co pro řešení některých problémů vystačíme s analogovým strojem velmi jednoduchým a s malým počtem prvků, základní principy číslicových strojů

vyžadují určitý stupeň jejich složitosti. Přesnost analogového počítače je omezena, kdežto přesnost číslicového stroje je v podstatě neomezena. Pro určitý problém je celková přesnost analogového počítače určena danou přesností poměrně malého počtu operačních jednotek, ale i v číslicovém stroji může dlouhý řetěz aritmetických operací snížit celkovou přesnost natolik, že není o mnoho lepší než při analogovém výpočtu, leda že se bude počítat na velký počet platných míst. Je ovšem snazší rozšířit číslicový počítač o další místa, než zvětšit přesnost analogového počítače. Konečně podstata analogového počítače je taková, že může být jenom jednoúčelovým, kdežto číslicový stroj může být, jak jsme viděli, i univerzálním.

V technických ústavech a odděleních shledáváme, že je zpravidla jen omezený počet typů problémů, které se mají řešit, a dále, že nejčastějšími typy jsou takové, které lze řešit na lineárním nebo diferenciálním analyzátoru. Zdá se, že je to právě rychlost, se kterou lze problém vložit do analogového stroje a vyřešit, jež činí tento typ stroje velmi vhodným pro všechny technické ústavy. I tam, kde jeho omezená přesnost neodpovídá požadované přesnosti řešeného problému, umožňuje rychle dosáhnout přibližného řešení, které lze pak na středně rychlém (a proto laciném) číslicovém počítači zpřesnit. Použití číslicových počítačů k pokusným výpočtům, pro které existují vhodné analogové metody, je neekonomické. Tam, kde se výpočet omezuje na řešení obyčejných diferenciálních rovnic, je také lépe použít číslicového diferenciálního analyzátoru, než samočinného počítače.

Strojní vybavení menšího oddělení aplikované matematiky v průmyslových technických ústavech by mělo tedy obsahovat speciální jednoúčelové analogové a číslicové počítače s možností doplnění středně rychlým univerzálním samočinným počítačem, kde si to povaha a rozsah problémů vyžádá.

Vedle matematických laboratoří tohoto typu by mělo být zřízeno několik výpočtových středisek, kde by se mohly provádět přesnější výpočty. Jak ve vědeckých tak i v některých technických oborech se vyskytují velmi obtížné a obsáhlé výpočty, které lze zvládnout jen největšími a nejrychlejšími typy moderních samočinných počítačů. Zdá se, že požadavky na rychlost takových strojů neznají hranic; na př. v oboru nukleárních reaktorů jsou připraveny problémy, které vyžadují operační rychlosti 100 až 1000-krát větší než mají dnešní nejrychlejší stroje. Mezi vědeckými a technickými obory, které potřebují počítače nejvýkonnějších typů, můžeme vyjmenovat: jadernou fyziku, konstrukci reaktivních a meziplanetárních letadel, astrofyziku, teorii čísel atd. Důležitou otázkou, která je předmětem širokého výzkumu a nebyla dosud uspokojivě vyřešena, je lineární programování [23], jež má velký význam pro racionalisaci národního hospodářství. Otázky optimální distribuce hotových výrobků, spotřeby surovin a p. vedou k velmi rozsáhlým soustavám lineárních rovnic s různými omezujícími podmínkami. Řešení těchto rovnic klasickými

methodami by si vyžádalo neúměrného množství času a materiálu i na dnešních velkých samočinných počítačích.

V těchto výpočtových střediscích musí být velké samočinné počítače doplněny pomocným zařízením různých typů, podle jejich hlavního zaměření. Střediska, která spolupracují se zvláštními obory, jako jsou na př. jaderná fyzika nebo konstrukce reaktivních letadel a výzkum raket, budou potřebovat odpovídající typy analogových strojů a číslicové diferenciální analyzátoři. Pro mnohé typy problémů jsou nezbytné soupravy děroštitkových statistických strojů a podle současné perspektivy budou potřebné ještě po mnoho let.

Vedle těchto středisek, zaměřených na speciální problémy, musíme vzít v úvahu ještě dva další typy matematických laboratoří, kde je třeba provádět pokročilé výpočty. Jsou to jednak střediska odpovědná za výzkum v aplikované matematice a jednak střediska pro výzkum matematických strojů. Důvody pro to jsou zřejmé. Aplikovaná matematika je dnes bez strojů nemyslitelná a hlavní váha výzkumu v tomto oboru je dnes zaměřena na jejich užití. Avšak bez praktického ověření výsledku na strojích a bez řešení skutečných problémů by byl takový výzkum sterilní. Podobně je i výzkum a vývoj matematických strojů podněcován požadavky vyplývajícími ze strojového řešení problémů. Tyto podněty se musí získat v první řadě opět skutečným řešením problémů.

Z těchto důvodů nacházíme v cizině čtyři typy útvarů, kde jsou umístěny velké výpočtové laboratoře vybavené potřebnými stroji:

a) matematické laboratoře při institucích pro vývoj a výrobu matematických strojů, na př. IBM, Институт точной механики и вычислительной техники, Академии наук СССР, National Bureau of Standards v USA atd.,

b) výpočtová střediska jako taková, patřící výzkumným ústavům pro speciální vědecké nebo technické obory a používající koupených strojů, na př. Oak Ridge National Laboratory při Union Carbide Nuclear Company v USA, Spojený ústav jaderné fyziky v SSSR,

c) výpočtová střediska při ústavech aplikované matematiky, používající rovněž koupených strojů, na př. výpočtové středisko Akademie nauk SSSR,

d) průmyslová technická oddělení, na př. v závodě Zeiss v Jeně.

Dnes existuje ve světě na vysokých školách velký počet samočinných počítačů, které byly zkonstruovány jejich pozdějšími uživateli, na př. ILLIAC na universitě v Illinois, několik strojů na Harvardské universitě, počítač na universitě v Manchesteru, na technice v Darmstadtu, v Zürichu atd. To bylo podporováno skutečností, že průmysl matematických strojů byl do nedávna v plenkách a že možnosti nákupu byly daleko předstíženy citelnou potřebou matematických strojů. Konstrukce velkého počtu strojů na vysokých školách nebyla zdaleka škodlivá, nýbrž podpořila prudký rozvoj oboru matematických strojů a rychlé seznámení s problematikou konstrukce strojů a s operační technikou ve velmi širokém měřítku.

Význačným příkladem užitku, jehož bylo dosaženo výzkumem matematických strojů za současného provádění výpočtů, by mohl být National Bureau of Standards (NBS) v USA [24]. Tento státní ústav vyvinul základní součásti a systémy počítačů, kterých se nyní používá v široké míře na vysokých školách i v průmyslu ke konstrukci strojů. Počítačů postavených a operujících v NBS bylo použito k řešení mnoha důležitých problémů jak z vojenské a civilní techniky tak z čisté vědy, včetně teorie čísel. Když jiné státní ústavy zakládají výpočtové středisko, je NBS nápomocno při volbě vhodného typu stroje a pomocného zařízení. Lze říci, že všestranná činnost National Bureau of Standards je dnes velkým činitelem při prudkém růstu samočinných počítačů v USA.

Také v Sovětském svazu shledáváme, že ústřední instituce pověřená vybudováním oboru samočinných počítačů, Институт точной механики и вычислительной техники Академии наук, navrhuje součásti, staví stroje, provádí výzkum početních method a rovněž provádí výpočty pro jiné instituce. AN SSSR má navíc ještě velmi dobře vybavené výpočtové středisko [25], jež si nestaví vlastní stroje a jehož hlavní zodpovědnou úlohou je provádění výpočtů.

#### 4. Počítače a matematika

Úloha matematiky ve výzkumu počítačů a strojových početních method je nemalá. Nejzákladnější je to u problémů při konstrukci strojů a v numerických methodách, ve kterých matematik pomáhá při provozu strojů, nebo při provádění rozsáhlých výpočtů v theorii čísel nebo v algebře, kde zase stroj pomáhá matematikovi. Avšak neustálé pronikání strojových method do nových oborů poskytuje závažné podněty pro další pokrok v theorii algoritmů, theorii náhodných procesů, theorii induktivních pochodů, matematické logice a základech matematiky. Současně zaznamenala velký pokrok matematika aplikovaná v hospodářství, biologii, fyziologii, sociologii a v jiných oborech, v nichž bylo dříve používáno jen nejelementárnějších method. Jen možnost strojového výpočtu činí další vývoj matematických method v těchto oborech uskutečnitelným.

Otázka numerických method je nesmírně důležitá při koncepci stroje. Návrh stroje a jeho operační jednotky může být více či méně účinný, což závisí na použitých základních algoritmech a jejich fyzikální realizaci. Tak na př. rychlost stroje pro řízení frézy vzrostla osmkrát bez jakéhokoliv podstatného přidání materiálu jedině malou modifikací použitého algoritmu [26]. Takové možnosti by se našly v návrhu každého stroje. Při programování pro samočinné počítače lze ušetřit čas nebo kapacitu paměti nebo obojí vyvinutím účinnějších podsítí (subrutin) pro výpočet potřebných funkcí. Tak na

př. přechodem od rozvoje v řadu na aproximaci mnohočlenu lze podstatně ušetřit čas, ale při větší spotřebě paměťových míst. Naopak zase snížení počtu instrukcí potřebných k řešení daného problému má tentýž efekt, jako zvětšení kapacity počítače, neboť kapacita paměti bývá obvykle přísně omezena.

Při studiu statistických jevů je velmi rychlý samočinný počítač ideálním nástrojem k provádění matematických experimentů při analýze dat a ověřování nových metod na jejich zpracování. Jakmile dosáhne experimentování jistého pokročilého stupně, lze uvažovat o analogovém nebo speciálním číslicovém stroji, na němž by se pokračovalo v práci na účinnější základně. To je na př. případ předpovídání počasí. Moderní teorie dynamické meteorologie dává možnost formulovat základní teorii předpovídání počasí na vysoké úrovni. Na neštěstí jsou výpočty potřebné pro 6, 12 nebo 24 hodinové předpovědi příliš rozsáhlé i pro nejrychlejší existující samočinné počítače. Přesto ověření těchto metod na takových počítačích ukazují možnost eventuálního návrhu speciálního počítače na řešení tohoto problému, který by měl vyšší efektivní rychlost [27].

Užití počítačů k řešení numerických problémů, na př. k hledání a provádění důkazů vět v matematické logice [28], ověřování neurofysiologických teorií uspořádání a vzájemných vazeb neuronů v mozku [29] a k překladům z jednoho jazyka do druhého, abychom jmenovali jen některé, položilo nové otázky v teorii algoritmů, matematické logice a v teorii náhodných procesů.

## 5. Závěr

Vývoj samočinných počítačů za posledních dvacet let, zvláště velkých universálních samočinných počítačů od konce druhé světové války, dal aplikované matematice nástroj, který mnohokrát zvětšil její dosah a účinnost. Ve stejné době vyvolaly problémy souvisící s vývojem a aplikací těchto strojů další vývoj oborů, které dříve byly zahrnovány do čisté matematiky.

Použití strojových početních metod v moderních vědách, technologii a národním hospodářství umožňuje řešení nových problémů dosud nepřístupných pro výpočty. Strojové metody jsou zvláště důležité pro další pokrok typicky moderních oborů, jako jsou nukleární fyzika, řízené střely, reaktivní a meziplanetární letadla atd.

Rozvoj oboru matematických strojů v Československu je podmíněn existencí Ústavu matematických strojů (ÚMS) Československé akademie věd, jako střediska pro výzkum strojů a pro teorii strojů analogových i číslicových, s pomocným výpočtovým střediskem, jehož úkolem je ověřovati funkce strojů a strojové početní metody a dávat podněty pro další pokrok v navrhování strojů.

Vedle ÚMS by mělo být zřízeno ještě čisté výpočtové středisko, které by používalo jak dovezených strojů, tak i strojů, které budou u nás v budoucnu vyvinuty a kde hlavní důraz by byl kladen na výzkum numerických method. Tato dvě střediska si nebudou soupeři, nýbrž budou se navzájem doplňovat jak ukazují zkušenosti ze zahraničí. Ba ani dvě střediska provádějící výzkum ve výpočtových methodách a poskytující výpočtovou službu nebudou postarčující. Naopak předběžné zkušenosti získané při provádění strojových výpočtů v Ústavu matematických strojů ukazují, že požadavky rostou rychleji než možnosti, což také potvrzují zkušenosti v cizině.

Z činnosti těchto středisek vyplynou metodologické podklady pro jiná specialisovaná střediska přičleněná k různým vědním a technickým oborům.

Velmi závažná je otázka založení speciálního závodu pro vývoj a výrobu různých typů počítačů.

#### LITERATURA

- [1] *V. Hruška*: Počet grafický a graficko-mechanický, Praha 1952.
- [2] *F. A. Willers*: Mathematische Maschinen und Instrumente, Berlin 1953.
- [3] Stroje na zpracování informací, sb. I, Praha 1953.
- [4] *H. E. Горбунский*: Математические машины непрерывного действия, Москва 1954.
- [5] *Korn and Korn*: Electronic Analog Computers, New York 1952.
- [6] *V. Bush*: The Differential Analyzer, Journal of the Franklin Institute 1931.
- [7] *Прококо*: Приборы для определения корней системы линейных управлений, Успехи матем. наук 1946.
- [8] *Glubrecht*: Elektrisches Rechengert für Gleichungen höheren Grades, Z. Angew. Phys. 1950.
- [9] *M. Šufránek*: Československé modely elektrárenských sítí, Stroje na zpracování informací, sb. III, Praha 1955.
- [10] *J. M. Marek*: Odporový analogon diferenční sítě na řešení rovnice, Stroje na zpracování informací, sb. IV, Praha 1956.
- [11] *A. Svoboda*: Computing Mechanisms and Linkages, New York 1948.
- [12] *A. И. Кумос*: Электронные цифровые машины, Москва 1956.
- [13] *Booth and Booth*: Automatic Digital Computers, London 1953.
- [14] *T. E. Wall*: Electronic Computers, London 1956.
- [15] *Aiken and Hopper*: The Automatic Sequence Controlled Calculator, Electrical Engineering 65 (1946).
- [16] Stroje na zpracování informací, sb. I, Praha 1953.
- [17] *Wilkes, Wheeler, Gill*: The Preparation of Programs for an Electronic Digital Computer, Cambridge 1951.
- [18] *M. Palevsky*: The Design of the Bendix Digital Differential Analyser, Proc IRE, Oct. 1953.
- [19] *M. Valach*: Převod čísel ze soustavy zbytkových tříd do polyadické soustavy změnou měřítka a periody, Stroje na zpracování informací, sb. IV, Praha 1956.

- [20] *A. Wakulicz*: Přednáška v Ústavu matematických strojů.
- [21] Реферативный журнал Электротехника, 1956, реферат № 20468.
- [22] *Ю. З. Цыкин*: Переходные и установившиеся процессы в импульсных цепях, Москва 1951.
- [23] *Charnes, Cooper, Henderson*: Introduction to Linear Programming, New York 1953.
- [24] Symposium on the Impact of Computers on Science and Society, IRE Trans. on Electronic Computers, Sept. 1956.
- [25] *А. А. Дорошущин*: Вычислительный центр академии наук СССР, Вестник АН, I, 1957.
- [26] Podle nepublikované práce Ústavu matematických strojů.
- [27] *J. Raichl*: Řešení jistého problému z meteorologie stroji na zpracování děrných štítků, Stroje na zpracování informací, sb. III, Praha 1955.
- [28] *Newell and Simon*: The Logic Theory Machine, IRE Trans. on Information Theory, Sept. 1956.
- [29] *Rochester et al*: Tests on a Cell Assembly Theory of the Action of the Brain, Using a Large Digital Computer, IRE Trans. on Information Theory, Sept. 1956.

Poznámka: Tento seznam nemá být vyčerpávající; uvádí spíše klíčové práce ke každému předmětu pojednání. Dalším vodítkem při studiu toho kterého předmětu je literatura uvedená v citovaných pracích. Práce [4], [5], [12], [13], [14] právě tak jako Sborníky ústavu matematických strojů jsou vhodné jako všeobecný úvod do celého oboru.

## Резюме

### ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

#### ЧАСТЬ I: ОБЗОР ТИПОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

МОРТОН НАДЛЕР (Morton Nadler)

(Поступило в редакцию 22/V 1957 г.)

В статье описаны различные классические вычислительные пособия, и разъяснена их классификация по аналоговому и цифровому принципу. Дается обзор современных типов аналоговых вычислительных устройств. В работе также содержится довольно подробный разбор различных цифровых вычислительных машин — универсальных и предназначенных для вычислений только одного типа. Основа программ для универсальных машин разбирается с учетом разницы между машинами, применяемыми к научно-техническим расчетам, и машинами к обработке данных. В заключении оцениваются различные типы машин с точки зрения организации их применения в устройствах различного характера. В работе содержится также заметка о взаимоотношении между этой новой областью и классической математикой.

## Summary

### INTRODUCTION TO DIGITAL COMPUTERS PART I.: A SURVEY OF COMPUTER TYPES

MORTON NADLER

(Received May 22, 1957.)

Various classical aids to computation are reviewed and their classification into analog and digital categories explained. Modern types of analog computers are then reviewed. A more detailed discussion of various types of digital computers, both general-purpose and single-purpose follows. The nature of programmes for general purpose machines is indicated, and the differences between scientific and data-processing general-purpose machines discussed. In conclusion the various types of machines are evaluated and the organisation of their exploitation in various types of institutions indicated. A note on the relationship between this new field and traditional mathematics is also included.