

Horváth Péter

Az információtudomány történeti háttere V.

A sorozatban az információtudomány fogalmait, kialakulásukat, megjelenésüket, összefonódásaikat kívánjuk bemutatni történeti fejlődésük keretében. A kultúrtörténeti tabló mellett célunk egy olyan modell kialakítása is, amely egységes keretbe foglalja az információról alkotott képünket. Az ötödik részben áttekintjük az elektromosság és az elektronika korának első másfél évszázadát, az utat, amely elvezetett a digitális számítógépig.

Az elektromosság és mágnesség technikája

A francia *Chappe* fivérek *Delaunay* és *Breugot* mérnökökkel együtt 1792-ben fejlesztették ki a háromkaros szemaforrendszeren alapuló optikai távirót. A következő hat-nyolc évben Európa nyugati részén, Berlinton Párizson át Portsmouthig – részben a vasútépítéssel párhuzamosan – sok ezer kilométernyi táviróhálózat épült ki. A siker óriási volt, és eközben valószínűleg nem sok szó esett arról, hogy 1796-ban Madrid és Aranjuez között *Augustin de Betancourt* megépítette az első elektromos távirót.

A borostyán elektromos és bizonyos vasanyagok mágneses tulajdonságait már évszázadok óta ismerték. *William Gilbert* – *Galilei* kortársaként – írt a föld mágneses hatásairól. *Guericke* 1672-ben szerkesztette meg dörzselektromos gépét. A tudósokat és a közvéleményt mégis a mechanika és az optika nagy eredményei érdekelték.

A 18. század második és a 19. század első fele a nagy elméleti áttörést megelőző kísérletek kora az elektromosság és mágnesség területén. *Coulomb*, *Galvani*, *Volta*, *Oersted*, *Ampère*, *Faraday* és *Ohm* nevét csak azért emeljük ki, mert mindenki számára ismerősen csengenek. Az elméleti összesítést *James Clerk Maxwell* (1831–1879) végezte el a század második felében, a róla elnevezett egyenletek megfogalmazásával. Ezek egyik alapját képezik a 20. század tudományos és technikai forradalmának.

Az elméleti, matematikai fizikát elsősorban az érdekelte, hogy megoldja a fizikai mennyiségek változásait leíró (elsősorban differenciál-) egyenleteket. Ennek ellenére itt sem maradhattak el azok a száraz számítások, amelyek a gyakorlati életben szükségesek. Maxwell is felvetette egyik előadá-

sában a *Leibniz*éhez hasonló gondolatot: „Az emberi elmét ritkán elégíti ki, és bizonyosan nem legmagasabb rendű funkcióját látja el, ha egy számítógép munkáját végzi”, de néha kénytelen hosszadalmas számításokba bonyolódni – teszi hozzá.

Ha az elektromos hírközlés kezdeteit keressük, akkor *Betancourt* után több kísérletet jegyezhetünk fel. 1804-ben *F. Salva* épített galván távirót Barcelonában, öt évvel később *S. T. von Sömmering* német orvos távolból elektromos árammal vizet bontott fel, minden betűhöz külön vezetékot használva, és az így kódolt üzenetet 3–5 km-re juttatta el.

1832-ben ugyanakkor, amikor *Babbage* tervezeti analitikus számológépét, *P. L. Silling* orosz diplomata Berlinben hattús távirót épített. A vevő oldalon az elektromos áram mágnesestekercseken halad keresztül, és mágnesűket mozgat. Egy évvel később a göttingeni egyetemen két tudós zseni, *Carl Friedrich Gauss* és *Wilhelm Eduard Weber* adóvevővel ellátott elektromos-mágneses táviróval kísérletezett. Mágneses hatással keltették, s több mint 2,5 km-es vezetékpáron árammal továbbították a jeleket, és mágnes mozdította az észlelőt is. *André Marie Ampère* már több mint tíz éve, 1820-ban javasolta ezt a módszert telegráfépítés céljára; most *Weber* próbálja eladni az ötletet a vasútnak, de nincs rá vevő. A következő években végrehajtottak néhány európai kísérletet, de igazán 1840 és 1845 között az Egyesült Államokban léptek előre, amikor a kongresszus által korábban kiírt pályázatot *Samuel Finley B. Morse* nyerte meg elektromágneses, relés adójával és vevőkészülékével. Rövid és hosszabb jeleken alapuló távirókódja közel száz évig egyeduralmódóvá vált. Még ebben az évtizedben kezdte el *Werner Siemens* a szigetelt kábelek gyártását. Rövidesen áthúzzák az első kábelt a La Manche csatornán, Amerikát pedig hamarosan kábelrengeteg hálózza be.

Az újításoknak nem akar vége szakadni. 1855-ben *David Edward Hughes* élkerekes betűnyomtatót készített a távirógépekhez, az elektromos jeleket dekódolta, és egy elektromágnes akkor ütötte meg a forgó kereket, amikor a kiválasztott betű a papír előtt futott. A 11 évvel később rendszeresített nyomtató 180 karaktert ütött le percenként. 110 évvel később a hetvenes években még elterjedt volt ez a nyomtatótípus. 1867-ben *Charles Wheatstone* – kilencéves munka után – elkészítette a lyukszalagos távirót. A lassú billentyűnyomogatást ugyan nem iktatta ki, de ez már nem a közvetlen átvitelnél korlátozta a sebességet. Megkezdődött a harc az átviteli sebesség növeléséért, és ennek még ma sincs vége.

A 19. század utolsó két évtizedében újabb igény bukkant fel a számítástechnika kapcsán. Eddig a tudományos számítások rutinmunkáit kívánták automatizálni. 1880-ban az Egyesült Államokban elvégzett népszámlálás után 55 millió ember adatait kellett feldolgozni. Sok száz ember több mint hét évig, csaknem a következő népszámlálásig csoportosította és számolta az adatokat. Igazi rabszolgamunka, arról nem is beszélve, hogy mire megszülettek az eredmények, többnyire már időszerűségüket veszítették.

A probléma megoldása két ember nevéhez fűződik. *J. S. Billings* és *H. Hollerith* együtt dolgoztak a Népszámlálási Hivatalban. Billingsnek jutott eszébe, hogy lyukkártyákra kellene vinni az adatokat, amelyeket valamilyen gép osztályozna, válogatna szét. Hollerith elkészítette a gépet, amelyben a kártyákat elektromos érintkezőkkel letapogató egység, és a hozzá kapcsolt elektromágneses számlálók voltak. Az 1890-es népszámlálás 62 millió emberre vonatkozó adatait 43 géppel négy év alatt dolgozták fel. Hollerith létrehozta a *Tabulating Machine Company* vállalatot, amely 1924-ben vette fel az *International Business Machine Company (IBM)* nevet. A Hollerith által kidolgozott elven működő számláló gépek és a lyukkártya szintén megérték a második világháború utáni évtizedeket.

20. század elején történetünk szempontjából furcsa helyzet állt elő. Míg Hollerith gépével a számítástechnika fejlődése évtizedekig megrekedt, a tudomány és technika minden évben ontotta az új eredményeket, mégpedig minden olyan területen, amelynek valamilyen kapcsolata lesz korunk számítástechnikájával. 1889-ben *A. B. Strowger* – aki különben temetkezési vállalkozó volt, és megunt,

hogy mások belehallgatnak telefonbeszélgetéseibe – feltalálta és szabadalmaztatta az automatikus telefonközpontot. 1915-ben már ismerik a crossbar (elektromechanikus keresztsínes) központot is. Nálunk még a kilencvenes évek elején is működött központ ezen az elven. A magyar történetnek voltak szebb lapjai is: *Puskás Tivadar* 1881. május 1-jén nyitotta meg az első budapesti telefonközpontot, és ugyanebben az évben a párizsi világkiállításon bemutatta telefonhírmondóját.

1894-ben *Guglielmo Marconi*, hét évvel az után, hogy *Heinrich Hertz* fölfedezte az elektromágneses hullámokat, szikratáviróval rádiójeleket adott le. Egy évvel később *Alekszandr Sz. Popov* is kidolgozta szikratáviró készülékét. 1917-ben Marconi már az ultrarövidhullámú rádiózást fejleszti.

A lassan 120 éves elektronika

Sohasem lesz eldönthető, mikor született az elektronika. Az, hogy a műszaki társadalom elfogadja az 1883. esztendőt – amikor *Edison* megépítette azt az izzólámpát, amellyel igazolni tudta a később róla elnevezett hatást, azaz hogy az elektromosság vákuumban is képes terjedni –, megállapodás dolga. Hiszen Hertz korábban kísérletezett elektromos szikrákkal, de Edison jegyzetfűzetében is már 1880-ból találkozhatunk olyan vázlatokkal, amelyek azt igazolják, hogy az izzólámpába beépített fémszál a vákuumon keresztül is érzékeli az áramot. 1883-ban azonban már egy lapos elektrodát helyezett el az izzószál hurkának lábai közé, és úgy találta – pontosabban galvanométerrel kimutatta –, hogy ha a középső elektród az izzószál pozitív végéhez kapcsolódik, akkor áram észlelhető, viszont amikor a másik oldalhoz, akkor nem.

Az Edison által felfedezett hatás gyakorlati alkalmazását *J. A. Fleming* angol tudós dolgozta ki. Már 1883-ban vizsgálta azt a jelenséget, amelyet *J. J. Thomson* értelmezett úgy, mint elektronsugárzást vagy negatív elektromosságot. Fleming a századforduló táján az angol *Marconi Wireless Telegraph Co.* műszaki tanácsadója, és jobb dektort keresve a társaság vevőkészülékeihez, 1904-re tökéletesítette a vákuumcső kialakítását, és felhasználta ezt a nagyfrekvenciás oszcilláció egyenirányítására. Fleming még sok más fejlesztési, szabványosítási projektben vett részt, de az elektroncsövek fejlesztésében a következő jelentős lépést *Lee de Forest* tette meg 1907-ben a

harmadik elektród, a rács bevezetésével, megte-remtve ezzel a jelerősítés lehetőségét. Ezt azonban csak 4-5 évvel később kezdték felismerni.

Ferdinand Braun német fizikus 1897-ben kidolgozta az első olyan katódsugárcsővet, amely a mai televízió-képcsövek őseinek tekinthető. Minden megvolt benne, ami a képközpontozáshoz szükséges: nagyfeszültségű elektronsugár-gyorsítás, elektrosztatikus eltérítő lemezek és fókuszálás, foszforrezkáló ernyő. Nem csoda, hogy tíz év sem telt bele, Németországban megépítették az első televíziómodellt, persze még mechanikus, forgótárcsás képbontással. Két évtized telt el, mire 1923-ban *Vladimir K. Zvorkin* kidolgozta az első elektromos képfelvévőcsövet. Braun nevéhez azonban más esemény is fűződik: még 1874-ben felfedezte a szulfidok egyenirányító képességét; ez egy meglehetősen korai szilárdtest-elektronikai megállapítás. Később kristálydetektoros rádiót épített. Nem csoda, hogy 1909-ben Marconival együtt megkapja a fizikai Nobel-díjat.

A századforduló táján tehát meggyorsult az elektronika (bár ekkor még nem nevezték így) fejlődése. A folyamatot vizsgálhatjuk abból a szemszög-ből is, hogy egyre gyorsabb áramkörök születtek, egyre nagyobb frekvencián működtek a készülékek. A számítástechnikában viszont csend honolt, mert a rendelkezésre álló digitális kapcsolóelem, a relé túlságosan lassú, és sok áramot fogyaszt. Amikor 1941-ben *Conrad Zuse* megépítette kb. 2600 relét tartalmazó számítógépét, az mindenképpen anakronisztikusnak számított, az ipari és katonai számítási igényeknek egyáltalán nem felelt meg. Még ezekkel a gépekkel is több százan dolgoztak egy-egy számítási részfeladat megoldásán, akárcsak 60 évvel korábban az amerikai népszámlálási adatok feldolgozásakor.

Időközben a fizikai kutatás és a technológia fejlesztése sem állt meg. Példa erre a Braun-féle katódsugárcső, és *Wehnelt* 1904-ből származó oxidbevonatú katódja, amely megkönnyítette az elektronok kilépését.

Állítólag 1902-ben *Fleming* használta először az *elektron* és *elektronika* szót a *The Electronic Theory of Electricity* című írásában. Közel százéves tehát korunk egyik leggyakrabban használt szakkifejezése. *J. D. Bernal* szerint az elektronszó az első olyan eszköz az emberiség műszaki fejlesztései során, amely inkább információkat kezel, és nem erőhatásokat továbbít. Nem véletlen tehát, hogy a 20. század végén mindazokat a techniká-

kat, amelyek történetét felvázoltuk, az információ-technika gyűjtőfogaloma foglalja egybe. A 20. század tízes éveiben azután megindult az elektronikus áramkörök gyors ütemű fejlesztése. Az erősítő hatás és a pozitív visszacsatolás alkalmazásával egyre-másra születtek meg a rádiózáshoz szükséges oszcillátorkapcsolások. 1913-ban próbálták ki az első modulátort még az anódon keresztül. Az elektronika következő évtizedeit a rádiózás fejlődése uralja. Meg kell azonban említeni még egy innovációt. 1919-ben dolgozza ki *W. H. Eccles* és *F. W. Jordan* az ún. triggeráramkört, amelyből a komparátor tulajdonságú *Schmitt-trigger*, a monostabil, az astabil és a bistabil multivibrátor származnak, tehát mindazok a kapcsolások, amelyek a digitális elektronika, s így a számítástechnika alapvető elemeivé váltak. A multivibrátorok áramköreiben már felhasználnak egy olyan kibernetikai fogást, amelynek analóg áramköri alkalmazása csak néhány év múlva, 1926–27 körül kerül nyilvánosságra. A negatív visszacsatolásról van szó. Ezzel elérhetővé vált a széles frekvenciasávú erősítés minimális torzítással, továbbá teljesítménystabilizálásra, így automatikus hangerőszabályozásra is fel lehetett használni. *H. S. Black* teszi meg az első lépéseket, de *H. Nyquist*, a Bell Laboratórium munkatársa az, aki az alapvető munkákat elvégzi.

A század harmincas éveibe már úgy lép be az emberiség, hogy az elektronsöves elektronikára hatalmas ipar épül. Több tízezer ember dolgozik ebben a szektorban, és az éves forgalom sok százmillió dollárra rúg. A rádiózás virágkora ez, és viszonylag kevés szó esik arról, hogy szabadalmaztatják a szilárdtest félvezetők erősítő hatását, hogy 1925-ben már szó esik a fémoxid-félvezető tranzisztorról (*J. Lilienfeld*), hogy 1935-ben *O. Heil* felfedezi a térhatású kapcsolótranzisztort. Végül a háborúra való készülődés gyorsítja fel a kutatást és fejlesztést. A gyorsabb hírközléshez gyorsabb, nagyobb frekvencián működő áramkörök, nagyobb teljesítményű, tartósabb, megbízhatóbb alkatrészek szükségesek. A kutatásoknak olyan „mellékeredményei” lesznek, mint az alagúteffektus felfedezése (*C. M. Zener*, 1933.) vagy a vákuumpárolgató technológiájának kidolgozása a Zeiss Műveknél (1935). A számítástechnika számára később oly jelentőssé váló mágneses technológiákban is történt előrelépés. 1932-ben *G. Tauschek* osztrák mérnök kifejleszti a mágnesdobos adattárolót. A forgó henger felületére felvitt ferromágneses réteg az adathordozó, és a mai magnetofonfejek őseinek tekinthető író-olvasó fejek rögzítik és érzékelik a mágnesezettségi állapotot. Elkészült a

modern „bütyköstengely” vagy lyukkártya. A nem túl nagy, 20 cm magas és 10 cm átmérőjű dobon 0,5 Mbit adat helyezhető el statikus módban (tehát nem kell frissíteni), és az átlagos hozzáférési idő néhány ezred másodperc, ami 70 évvel ezelőtt nem akármilyen teljesítmény. Egy évvel később Európában is és Japánban is kifejlesztik a ferrit nevű mágneses kerámiákat, amelyeket vas-oxid kristályokból és más fémek (mangán, nikkél, kobalt) oxidjaiból készítenek. A rádiózásban hamar teret nyernek, de az első kereskedelmi számítógépek operatív memóriáit is ferritmagos tárolókból állítják majd össze az ötvenes években. Azt talán még érdemes megjegyezni, hogy 1935-ben Németországban készítik az első magnetofont, bár hangot már 1898-ban rögzített acélszalagra V. Poulsen és Pedersen, két dán elektrotechnikus.

Igény a számításokra

A digitális számítógépek fejlődése főleg a mechanikus alkatrészek lassúsága miatt akadt el évtizedekig, azonban ez nem azt jelentette, hogy nem történt semmi. Először is nem szűnt meg az igény a nagy tömegű számítások iránt. A táblázatkészítés továbbra is mind a tudományos munka, mind a gyakorlati alkalmazások eszköze maradt. Említhetjük a csillagászati számításokat, akár tengeri vagy repülési navigációs célra, akár azért, hogy a Hold mozgására készített modellek pontosságát igazolják. A katonai igények is egyre több számítást követeltek meg. A ballisztika, a lövedék mozgásának leírása Newton óta foglalkoztatta a matematikusokat és mérnököket. Mivel a középiskolás fizikából ismert parabolapályát a valóságban a közegellenállás is befolyásolja, és ez nem csak a sebesség négyzetével arányos – miként azt Newton feltételezte –, eléggé bonyolult és csak numerikus közelítéssel megoldható feladattal kellett megbirkózni. Nem véletlen, hogy az I. világháború után sok helyen folytattak ballisztikai kutatásokat, így az Egyesült Államokban is a legkiválóbb matematikusokat igyekeztek összegyűjteni az ilyen és hasonló típusú feladatok megoldására.

A század húszas éveiben néhány amerikai egyetemen már kialakultak a számítástechnikai laboratóriumok, és lépésről lépésre fejlesztik a táblázatkezelő differenciagépeket, mintegy megvalósítva Babbage elképzelését. Az IBM cég is folyamatosan korszerűsíti a Hollerith alkotta lyukkártyás gépet. A kor egyik vezető „számítástechnikusa” Wallace J. Eckert, a század egyik legjelentősebb

numerikus csillagásza, aki a harmincas években az IBM támogatásával a cég hagyományos gépeit tudományos számításokra használhatóbbakká fejlesztette. A lyukkártyás gépek számításokra való használatában Nagy-Britanniában is nagy tapasztalatokra tettek szert.

Ezzel egy időben, a harmincas évek második felével kezdődő évtizedben végső alakot öltének az általános célú, automatikus, digitális és elektronikus működésű számítógépek alapelvei. Ismét sok a közreműködő, és a prioritások gyakran kibogozhatatlanok. A francia R. Valtat 1936-ban szabadalmaztat egy kettes számrendszerben dolgozó számítógépet. Ez idő tájt kezd hozzá a már említett német C. Zuse is bináris, reléekkel dolgozó számítógépeinek építéséhez, ami a háború miatt elhalt próbálkozássá vált. Amerikában, a Bell Laboratóriumban G. R. Stibitz, a Harvard Egyetemen H. H. Aiken (ő az IBM támogatásával) szintén jellegős gépeket épít. Aiken 1937-ben négy követelményt szab a tudományos számítógépekkel szemben: automatikus működés, pozitív és negatív számok kezelése, matematikai függvények használata, és a matematikai műveletek természetes sorrendjének megtartása a számítások során.

Csak 1973-ban derült fény arra, hogy 1937 és 1942 között John V. Atanasoff és tanítványa, C. E. Berry az Iowai Állami Főiskolán elsőként megépítették az elektroncsövekkel működő elektronikus, digitális és kettes számrendszert használó számítógépet. Ebben a gépben több olyan elem van, amelynek elvét manapság is alkalmazzák. Így például egyértelműen elkülönül a tároló és a számítás végző logikai egység. Atanasoff határozza el először, hogy elektronikus tárolásra kondenzátorokat használ, és a szivárgóáramok hatását rendszeres felfrissítéssel oldja meg. Aritmetikai egységként kidolgoz egy bonyolult elektroncsöves áramkört, amelynek két bemenetére két bináris számot kell elektronikusan juttatni, és ez a logikai egység előállítja a két szám összegét vagy különbségét. A szorzást és osztást ezekre visszavezetett „makrókkal” hajtja végre, bár tervezte azt is, hogy a jobbra-balra léptetéssel (osztás, illetve szorzás 2-vel) gyorsítja a folyamatot. Atanasoff célgépet tervezett 29 ismeretlenes egyenletrendszer megoldására. A háború miatt Berryvel végzett munkái félbeszakadtak, és feledésbe merültek. Találkozott azonban, és részletesen megbeszélte elgondolásait egy másik fizikussal, John W. Mauchlyval. Ő az ENIAC (Electronic Numerical

Integrator and Computer), az első általános célú, programozható, elektronikus, digitális számítógép egyik megalkotója.

Tegyük rögtön hozzá, hogy a nulladikat, tehát a valódi elsőt két angol matematikus, *Alan M. Turing* és *M. H. A. Newmann* építette meg és helyezte üzembe munkatársaival 1943-ban az angliai Bletchley Kutatóintézetben. A Colossus nevű számítógépről azért nem lehetett sokáig tudni, mert az angol titkosszolgálat egyik legfontosabb feladatán, a német katonai vezérkar Enigma nevű kódrendszerének megfejtésén dolgozott. Ez a II. világháború sorsát talán döntően befolyásoló akció története a program vezetőjének leírásában olvasható, magyarul *Az Ultra titka* című könyvben (OMIKK-kiadás).

Történetünkben most érkezünk el a mai értelemben vett számítógép megszületéséhez.

A számítógép logikája

Boole logikája, mint láttuk, megeremtette a digitális számítástechnika logikai alapjait. Az ő elképzelései azonban nem ezt célozták: látva a szimbolikus logika fejlődését, a logikát a gondolkozásra akarta alkalmazni. Gondolatai az ún. kijelentéslogikába (propositional logic) és a predikátumlogikába (predicate logic) torkolltak. *Frege, Cantor, Peano, Peirce, Russel* és mások munkássága nyomán végbement a gondolkozás folyamatainak egyfajta logikai formalizálása.

David Hilbert a 20. század első évtizedeinek egyik legnagyobb matematikusa volt talán az első, aki 1928-ban felvetette azt a kérdést, hogy lehet-e egy olyan mechanizált eljárást találni, amellyel minden matematikai tétel igazsága vagy hamissága formális lépésekkel, és ezért géppel elvégezhetően bebizonyítható. Az ún. formális rendszereket egyrészt igaznak ismert tényekkel (azaz axiómákkal), másrészt következtetési szabályokkal (amelyek azt mondják meg, hogy az axiómákból származó új tények igazságát vagy hamisságát miként döntsük el) lehet meghatározni. A következtetési szabályokat az axiómákra alkalmazva, az adott rendszerben minden igaz tény leszármaztatható.

A formális rendszer a kijelentések (propozíciók) és predikátumok nyelvét használja. A kijelentések olyan állítások, amelyek csak igazak vagy hamisak lehetnek, és ezeket a Boole-féle bináris műveletekkel (ÉS, VAGY, NEM) kapcsolhatjuk összetett

kijelentésekké. A predikátumok olyan függvénynek tekinthető állítások, amelyeknek igazságértéke a bennük foglalt független változó értékétől függ, és alkalmazhatók rájuk a Frege-féle univerzális és egzisztenciális kvantorok, a MINDEN és a LEGALÁBB EGY.

Például:

az a tény, hogy H. P. nyugdíjas és tanít, így írható le:

„nyugdíjas (HP) AND elfoglaltság (HP, tanít)” ;

az a tény, hogy minden könyvtáros figyelmes:

„MINDEN x-re, könyvtáros(x) \rightarrow figyelmes(x)”;

végül az a tény, hogy megszűntek könyvtárak:

LEGALÁBB EGY x-re, könyvtár(x) \rightarrow megszűnt(x).

A 20. század első harmadának matematikusai a formális rendszereken végzett logikai kalkulus tekintették a világ és a gondolkozás felfedezése leghatékonyabb eszközének. Hilbertnek nem volt szerencséje, mert bár a logika elmélete egyre bonyolultabb lett, számos paradoxon megoldhatatlannak bizonyult. Már Frege elméletében is rábukant egyre Russel, de a tisztán mechanizált matematikai bizonyítás elképzelését *Kurt Gödel* 1931-ben született tétele döntötte romba.

A paradoxonok végső soron mind az ún. önhivatkozásra vonatkoztak. Sok változata közül a legelső a hazug paradoxona. Az az állítás, hogy „Hazudok!” igaz, ha hamis, és hamis, ha igaz. Hilbert már ismerte ezt a problémát, de ő és követői – így *Neumann János* is – megkísérelték különböző utakon feloldani. Megmaradt az a meggyőződésük, hogy lehet találni olyan eljárást, amellyel minden matematikai probléma megoldható. Ezzel szemben Gödel azt bizonyította be, hogy bármely formális rendszer (így az aritmetika) tartalmaz olyan állítást, amelynek igazsága vagy hamissága a rendszeren belül nem dönthető el. Az az állítás, hogy „Z nem bebizonyítható”, akkor és csak akkor igaz, ha nem bebizonyítható. A Gödel-tétel borzasztó következménye az eldönthetlenség, azaz hogy az igazság fogalma nem határozható meg egy logikai rendszeren belül, sőt *Alonzo Church*, *Neumann* munkatársa hamarosan azt is bebizonyította, hogy egy szerényebb cél is elérhetetlen: véges számú lépésben nem lehet kirostálni az eldönthetetlen állításokat sem, nem lehet felsorolni az összes igaz kijelentést.

Hilbert programjának egy jellegzetességét érdemes megjegyezni: nem valamilyen mindenható képletet, formulát keresett, hanem egy mechanizált eljárást, azaz algoritmust. A természettudományok a múlt századokban a törvényeket leíró képletet

keresték, amelyből néhány elem ismeretében matematikai operációkkal közvetlenül megkapható az eredmény. Az algoritmus – mint láttuk – véges és rendezett lépéssorozatot ír elő az eredmény eléréséhez. Az egyes lépések azonban nemcsak matematikai műveleteket jelenthetnek, hanem összehasonlítást, a lépések sorrendjének megváltoztatását is, ami sokkal nagyobb hajlékonyságot jelent a feldolgozásban. Ha pedig az elemi lépések elvégzésére gépet tudunk szerkeszteni, akkor az algoritmus valóban mechanizálható és automatizálható. Ez a megközelítés azért volt hasznos, mert az elméleti munkák során kiderült, hogy a predikátumok mindig átalakíthatók egy függvényre; továbbá hogy egy predikátum igazságértéke akkor és csak akkor eldönthető, ha a neki megfelelő függvény kiszámítható (rekurzív); végül, hogy minden kiszámítható függvényt egy algoritmus határoz meg, ami viszont végrehajtható egy számítógépes programmal. És bár a harmincas években Gödel, Church, Kleene és Turing mind találtak olyan problémákat, amelyekre nincs algoritmikus megoldás, a felismerés döntőnek bizonyult a számítástechnika szempontjából.

Hilbert álmát elméletileg Alan Turing és tőle függetlenül Emil L. Post valósította meg 1936-ban azzal, hogy formalizálták azt, hogyan hajtson végre egy gép logikai műveleteket. Turing úgy határozta meg a számítást, mint szimbólumokon végzett formális műveleteket formális szabályok alkalmazásával, majd megtervezett egy olyan automatát, amely bármely típusú számítást végre tud hajtani. Elméleti gépe ki- és bemeneti egysége olyan író-olvasó elem volt, amely egy négyzetekre osztott végtelen papírszalagra írt vagy arról olvasott jeleket, de törölni is tudta őket. A mozgató mindig egy négyzettel előre vagy hátra történik, de a gép állapotától függően változatlan is maradhat. A Turing-automata minden olyan műveletre képes, amellyel egy logikai számítás elvégezhető: beolvassa az aktuális szimbólumokat (információt szerez a külvilágról), a beolvasott szimbólum és saját állapota függvényében feldolgozza, és eldönti, hogy mit tegyen (merre mozogjon, hogyan változtassa állapotát, milyen szimbólumot írjon ki, megálljon-e). Végeredményben jelsorozatot alakít át másik jelsorozattá előre meghatározott szabály szerint.

Church úgy gondolta, hogy minden, ami kiszámítható, az egy speciális Turing-géppel kiszámítható, és Turing leírta azt is, hogy egy „univerzális” automatával hogyan lehet szimulálni az összes lehet-

séges speciális gépet, amely így képes arra, hogy kiszámítson bármely kiszámítható számot vagy függvényt, képes megoldani bármilyen matematikai problémát. Érdemes még a Church–Turing-tételt még két formában is megfogalmazni, mert segíti a teljesebb körű megértést. Ha valami megfogalmazható úgy, hogy mindenki ugyanazt érti rajta, akkor ugyanaz elmondható egyfajta absztrakt számítógépen működő program formájában is. Vagy egy kissé formalizáltabb nyelven: feltéve, hogy egy értelmes lény valamilyen módon két osztályba sorolja az egész számokat, és ezt az osztályozási elvet kommunikálni tudja bármely eszköz felhasználásával úgy, hogy egy másik értelmes lény azonos eredménnyel tudja megismételni az osztályozást, akkor ez az osztályozási elv matematikai algoritmus formájában is megfogalmazható, és az adott absztrakt számítógépen végrehajtható. Végeredményben a számítógép nem más, mint egy véges memóriával bíró Turing-automata. Neumann ezt az absztrakt automatát fordította le műszaki nyelvre. Hilbert programját szimbólumokon végzett műveletekre redukálták; a logika tehát nem más, mint szimbólumfeldolgozás – és tegyük hozzá: megvalósították Leibniz vágyát „egy olyan általános módszerről, amellyel a józan ész által belátható minden igazság egyfajta számítással redukálható”.

Neumann János és a többiek

A negyvenes évek elejére így megteremtődtek mindazok a feltételek, amelyek lehetővé tették a mai értelemben vett számítástechnika kifejlődését. Hogy ez éppen az Egyesült Államokban jöhetett létre, annak oka könnyen belátható: háború dúlt mind Európát, mind a Távol-Keletet. Amerika ugyan hadban állt – ez jót tesz a kutatás-fejlesztésnek –, de a harci cselekmények messze folytak, nyugodtan lehetett dolgozni, ráadásul a diktatúrák elől menekülő tudósok itt gyülekeztek, a világ szellemi potenciáljának hatalmas koncentrációja jött létre az amerikai egyetemeken, hadi célú és polgári kutatóhelyeken.

A jó gondolatok megvalósulásának egyik feltétele: legyen rá igény. Nos, a ballisztika, a repülő testek mechanikája ismét nagy és gyors számítási igényeket támasztott, nemkülönben a repülőgépek és az atombomba fejlesztése, ahol bonyolult aero- és hidrodinamikai számításokat kellett elvégezni, nemlineáris differenciálegyenletek numerikus megoldásait kiszámítani. Azért, hogy képet kap-

junk az igényekről és lehetőségekről, röviden összefoglaljuk *H. H. Goldstine* becsléseit [1987. p. 128–129.].

Egy tipikus röppálya kiszámításához körülbelül 750 szorzást kellett elvégezni, és ezt egy differenciálanalizátor 0,0005 pontosság mellett 10–20 perc alatt számította ki. Ha tízjegyű számok szorzásával számolunk, akkor ezt

- az ember kézzel 300 s,
- az ember asztali számítógéppel és leírással 10–15 s,
- a Harvard-IBM Mark I. gép 3 s,
- a Bell Lab gépe 1 s,
- a Harvard-IBM Mark II. gép 0,4 s

alatt végezte el. Ennek 750-szeresére volt szükség egy röppálya kiszámításához, és egy táblázathoz átlagosan 3000 röppálya tartozott. Ez a Bell gép esetében 625 órányi számítást követelt meg, a többi ehhez arányosíthatjuk. Jól látható, hogy elektromechanikus eszközökkel a hadsereg háborús igényeit nem lehetett kielégíteni.

Az előbb említett elektromechanikus számítógépekről annyit, hogy a Harvard egyetem és az IBM közös munkája 1939-ben indult, 1944-re fejeződött be, és *Howard H. Aiken* professzor irányításával folyt. Az IBM automatikus, sorosan vezérelt számítógépe 72 számlálóból álló tárolót – 23 számjeggyel és előjellel –, 60 további regisztert az állandók tárolására, és függvényszámolókat tartalmazott a négy alapműveletet végző egységek mellett. Az utasításokat papírszalagról kapta, minden utasítás három részből állt: hol található az adat, amelyen az adott műveletet el kell végezni, hol kell az eredményt tárolni, és végül milyen műveletet kell elvégezni.

A Bell Laboratóriumok gépeit G. R. Stibitz és munkatársai készítették. 1940-re építették meg az első változatot, és 1944-ben fejlesztették ki az általános célú számítógépes rendszert. A több ezer jelfogó – az 1944-es változatban 9000 volt – nem tette igazán gyorsá a berendezést. Ezek az elektromechanikus gépek túl későn születtek. Azonban látni fogjuk, annyi előny mégis származott fejlesztésükből, hogy különböző kutatóhelyeken sok szakember nőtt fel, akik tapasztalatokat szereztek, és az előzőek szerint tisztázódtak azok a logikai elvek is, amelyek azóta a digitális számítástechnikát uralják. 1938-ban doktorált *Claude E. Shannon*, az információelmélet későbbi megalkotója, aki dolgozatában azt tárgyalta, hogyan lehet bonyolult kapcsoló-áramköröket a Boole-algebra segítségével elemezni. Mondhatjuk tehát azt, hogy mindaz a

logikai ismeretanyag, amely a korszerű számítógépek fejlesztéséhez szükséges volt, részleteiben már rendelkezésre állt, csak valakinek el kellett végeznie a szintetizálás feladatát.

Végül *Atanasoff* elképzelései és kezdeti tapasztalatai azt is bizonyították, hogy a gyorsabb működést megvalósító technológia az elektroncsövek alakjában szintén a fejlesztők kezében van. De míg ő rosszabb körülmények között egy sok ötletet tartalmazó célszámítógép megépítéséig jutott el, addig *Mauchly*, akivel 1941-ben megosztotta elképzeléseit, 1942 nyarára már továbbfejlesztette és memorandumba foglalta a nagy sebességű vákuumcsövek számításokra való használatának gondolatát. *Mauchly* a Pennsylvania Egyetem Moore Villamosmérnöki Intézetében dolgozott, *Eckert*tel együtt, aki hamarosan szintén bekapcsolódik a „nagy sebességű” számítástechnika létrehozásába. Az eseményekre döntő hatást gyakorolt, hogy *Goldstine*, aki eredetileg matematikus, a hadsereg hadianyag-ellátási részlege tisztjeként tudatában volt a ballisztikai számítások időproblémáival, és 1942 második félévében sokat beszélgetett *Mauchly*vel ezekről a számítási kérdésekről.

Az események kezdete az volt, hogy 1943 júniusában a Moore Intézet megbízást kapott az ENIAC kutatási munkáira. Milyen is volt ez a két és fél év alatt elkészült történelmi fontosságú számítógép? Hatalmas! 30 m hosszú, U alakú építmény, amely 3 m magas, 1 m mély műszerszekrényekbe épült. Ahogy minden leírásban olvasható, 18 000 elektroncsövet, 70 000 ellenállást, 10 000 kondenzátort és 6000 kapcsolót tartalmazott. A gép még sok jellemzőjében eltért a mai gépek logikai működésétől: tízes számrendszerben működött, tízjegyű előjeles számokat kezelt; aritmetikai egységei több feladatot is végeztek egyszerre. Elektroncsöves billenőkörökből (multivibrátorokból) összeállított „akkumulátor”-aiba impulzussorozatokkal vitték be a kívánt számokat, az állandókat kapcsolókkal állították be – egyszóval mai szemmel nézve eléggé őskori képződmény volt. Emellett annyi áramot fogyasztott, hogy a rossz nyelvek szerint amikor elindították, a környéken elsötétült a közvilágítás. Való igaz, a 140 kW teljesítmény már figyelemre méltó. Ezzel szemben egy összedás vagy kivonás 200 μ s, egy szorzás 3 ms, egy osztás 30 ms időt vett igénybe.

A fejlesztésnek egy igazán kritikus pontja volt: a megbízhatóság. A gép központi órajele 100 kHz frekvenciájú volt. Ha a 18 000 elektroncső közül

csak egy is rosszul működik, akkor az hibát jelent. Egynapos hibamentes működés 10^{-14} -nél jobb hibavalószínűséget igényelt. Ez eddig elképzelhetetlen megbízhatóságot követelt, és Eckert főmérnökként döntő szerepet játszott a megvalósításban. Azt tűzte ki célul, hogy az elektroncsövek élettartama érje el a 2500 órát, ezért a csöveket az anód feszültség maximum felével, azaz a megengedett anódáram negyedével működtették. A passzív alkatrészek minőségével kapcsolatban is a legszigorúbb igényeket fogalmazta meg. Ezt azért kell kiemelni, mert a megbízhatóságra tervezés nem a fejlesztés látványos része, viszont mindig a minőség záloga volt és marad.

Az ENIAC gyors felépítésében részt vevő kutatók hamarosan rájöttek arra, hogy gépük számos problémával küszködik, bár az eredetileg kitűzött célt meg tudja valósítani. Ilyen probléma volt a programozórész alkalmatlansága, továbbá az, hogy a 20 darab elektronikusan vezérelhető tároló regiszter milyen kevés bonyolultabb számítások elvégzésére. Ekkor már a Moore Intézetben dolgozó fejlesztők is felismerték, hogy Babbage, Turing, Stibitz – hogy csak őket említsük – eredményei (a programsorok műveleti kártyás vagy lyukszalagos bevitele) mennyire meggyorsítják a munkát. Stibitz 1943 végén már azt is leírta, hogy a gépnek adandó és szalagon tárolt utasításokat olyan elemekre kell széttörödelni, mint hogy „jegyezd fel, olvasd be vagy írd ki a számokat, add hozzá”. Így 1944 nyarán már megfogalmazódik a fejlesztés továbbfolytatásának gondolata. Kisebb, jobban programozható és nagy tömegű numerikus adatot tárolni képes gépet kell létrehozni.

Az adattárolás megoldásában döntő volt Eckert ötlete, hogy ún. ultrahangos késleltető művonalból építsenek dinamikus tárolót. Ennek a működési elve a következő. Ha egy hosszú csőből álló hangvezetőt (például higánnyal töltve) a két végén piezoelektromos kristállyal zárunk le, akkor a bemenetre érkező elektromos jelet a kimeneten időben késleltetve kapjuk vissza. A piezoelektromos hatás azt jelenti, hogy egy alkalmasan metszett kvarc-kristályra elektromos feszültséget bocsátva, az megváltoztatja alakját, és fordítva: mechanikus alakváltozás esetén a kristálylemez két oldalán elektromos feszültség ébred. Ezek a bemeneti és kimeneti átalakítók. A higanyban az ultrahang sebessége közel 1500 m/s, tehát egy másfél méter hosszú művonallal 1 ms-os késleltetés idézhető elő. Ha a kimenetet és a bemenetet összekötjük az energiaveszteséget pótló és impulzusformáló erősítők közbeiktatásával, akkor akár ezer impulzust

is keringethetünk az eszközben, és kapuáramkörökkel kivehetjük a sorozatot, illetve újakat írhatunk be. Eckert ötlete nemcsak a tárolási problémát oldotta meg, hanem a tároláshoz szükséges elektroncsövek számát is századrészére csökkentette.

A programozási problémák megoldója pedig Neumann János volt, aki 1944 nyarán került kapcsolatba a Moore Intézet kutatócsoportjával. Neumann a huszadik század legnagyobb matematikusai között is előkelő helyet foglal el. Már a húszas évektől kezdve – részben Hilbert munkatársaként – foglalkozott a matematikai logika megoldatlan kérdéseivel. Így ismerte Turing 1936-ban írt dolgozatát az automatának nevezett matematikai fogalomról.

Neumann munkásságának egyik jellemzője, hogy mindig is érdeklődött a matematika alkalmazásai iránt. Így nem véletlen, hogy a 30-as évek közepére a folyadékok és gázok hangsebességénél gyorsabb, turbulens áramlásának problémáin dolgozott a princetoni Felsőfokú Tanulmányok Intézetének professzoraként. A témakörben alkalmazandó nemlineáris parciális differenciálegyenletek analitikusan nem kezelhetők, és a hagyományos közelítő módszerek sem vezettek eredményre. A világháború idején Neumann már a lökés- és robbanási hullámok vezető szakértője volt, így természetes, hogy kapcsolatba került a hadseregben folyó ballisztikai kutatásokkal és az atombomba fejlesztésével is. A problémák elemzésének matematikai nehézségei miatt tisztában volt a numerikus számítások fontosságával, és bár nagy tehetsége volt az ilyen műveletek gyors elvégzésére is, komolyan érdeklődött az automatikus számítások iránt. Goldstine emlékezése szerint 1944 nyarán egy vasútállomáson találkoztak, és az itt folytatott beszélgetés eredményeként Neumann megtekintette az ENIAC-ot, majd be is kapcsolódott az akkor körvonalazódó második számítógép, az EDVAC (*Electronic Discrete Variable Calculator*) fejlesztési munkáiba.

A Moore Intézetben hónapokon keresztül folytak a kötetlen megbeszélések a számítógép logikai vezérlését illetően, és 1945 júniusában született meg Neumann János sokat emlegetett 101 oldalas jelentéstervezete az EDVAC logikai felépítéséről. Ez a belső összefoglalónak szánt anyag később nyilvánosságra került, és talán ez tekinthető a modern számítástechnika legfontosabb dokumentumának. Az ebben az írásban lefektetett elvek a

mai napig a számítógépek működésének alapját képezik.

Talán ő volt az első, aki következetesen nem elektromos eszköznek, hanem logikai funkciókat ellátó berendezésnek tekintette a számítógépet. Megfogalmazza a feladatot, vagyis azt, hogy a számítógép bonyolult számítások elvégzésére vonatkozó utasításokat képes végrehajtani; hogy ezeket az utasításokat teljes részletességgel meg kell adni a gépnek, az általa érzékelhető formában; hogy az utasítások megadása sokféle technikával történhet, lényeges viszont a problémát meghatározó kód, s hasonlóképpen kell az eredményt rögzíteni. A tanulmányban Neumann leírta a berendezés részegységeit: az elemi műveletek elvégzésére képes központi aritmetikai egység, a műveleti sorrendet vezérlő központi vezérlőegység, az utasításokat és adatokat tároló memória, a bemeneti és kimeneti regiszterek (az eddigieket az idegrendszer elemeihez hasonlítja), a bemeneti és kimeneti egységek.

Sok más részlettel is foglalkozik a jelentéstervezet, így javaslatot tesz az EDVAC utasításkészletére is, de a legfontosabb mégis, hogy világosan állást foglalt a számítógépek soros működésmódja mellett, ami azt jelenti, hogy a gép egyszerre csak egyetlen utasítást hajt végre, majd annak befejezése után fog a következőhöz. Ez ellentétben állt az ENIAC párhuzamos működésmódjával. Ez a gondolat hallatlanul leegyszerűsítette és áttekinthetővé tette a számítógép logikai szerkezetét és programozását. Ezt az azóta is használt felépítést joggal nevezik Neumann-féle számítógépnek. Az elmúlt évtizedekben tanúi lehettünk a párhuzamos számítógépes struktúrák térhódításának, mert a soros működés bizonyos feladattípusoknál már szűk műveleti keresztmetszetet jelentett. Beszélnek is manapság nem Neumann típusú számítógép-szervezésről. Ez kétségkívül a fejlődés egy lépése, csak azt nem szabad elfelejtenünk, hogy élete egyik utolsó művében, *A számítógép és az agyban* Neumann János éppen az agy párhuzamos működését állítja szembe az akkor már hagyományossá vált számítógép-felépítéssel.

A félvezetőkorszak kezdete

Talán semmihez sem kötődik úgy a mai számítástechnika, mint a félvezetők fizikájához és technológiájához. Az előzőekben láttuk a számítástechnika fejlesztésével foglalkozók küzdelmét hol az elektromechanikus elemek lassúságával, hol a

sokkal gyorsabb elektroncsövek áramigényével. A negyvenes évek elején mégis kevesen gondolhatták, hogy a fejlődés kulcsa a félvezető anyagok tulajdonságaiban rejlik.

Említettük, hogy a térvezérlésű tranzisztor működési elvét már 1928-ban elméleti úton levezette Julius Lilienfeld német fizikus. 1930-ban az amerikai *H. C. Weber* a szilárd testekben az elektronáram vezérlését, 1934-ben *O. Heil* német fizikus magát a térvezérlésű tranzisztort szabadalmaztatta. Öt évvel később már ismert névvel találkozunk az eseménykrónikában. 1939-ben a német *Walter Schottky*, aki szintén fizikus, leírja az ún. pn-átmenetet félvezetőkben. Amint látható, a fizikusok kezdtek feltárni ezt az érdekes köztes anyagi világot, amely a jól vezető fémek és az elektromosan szigetelő anyagok között fekszik. (Fajlagos ellenállásuk 10^{-4} – 10^{+7} ohm.m, szemben a fémek 10^{-8} ohm.m és a szigetelők 10^{+12} ohm.m jellemző értékeivel.)

A háború alatt és után a német kutatások háttérbe szorultak, és ismét az Egyesült Államokban született meg a – most már műszakilag is használható – félvezető áramköri elem, a tranzisztor. Jó egy évtizedes kutató-fejlesztő munka után, amelynek egyik legfontosabb központja a Bell Laboratórium volt, 1947. december 22-én építettek germániumtűs tranzisztort egy erősítőként működő elektroncső helyére *John Bardeen*, *Walter H. Brattain* és *William Shockley*, a laboratórium munkatársai. Az utóbbi kettő már a harmincas évek közepétől foglalkozott itt félvezető-kutatással, míg Bardeen a háború végén csatlakozott hozzájuk. Ekkor már többen tudták, hogy a félvezető anyagok tulajdonságai lehetővé teszik az áramerősítést. Talán mondani sem kell, hogy a félvezető erősítő kidolgozása nem csak három ember műve volt; sokkal több kutatás, sokkal több részeredmény, vegyészek, kohászok, villamosmérnökök rész munkái is benne foglaltatnak a három kiváló kutató később Nobel-díjat eredményezett felfedezésében.

A tranzisztor mindazt tudja, amit az elektroncső, csak nagyobb áramerősítéssel, és lényegesen kisebb energiaszinten. Az elektroncső még jó darabig tartja magát mint erősítő, de mint kapcsolóelem a tranzisztor fokozatosan kiszorítja; számos terület van, ahol kis mérete és kis teljesítményfelvétele igen előnyös tulajdonság. Ez azonban már egy következő időszak története.

A technológia fejlesztése nem állt meg. A negyvenes évtized végén sikerült megjavítani a germá-

nium egykristály előállításának módszerét. Ezzel sikerült nagytisztaságú szabályos kristályt előállítani, és pontosan bejuttatni a p és n típusú anyag előállításához szükséges „szennyezést”, helyesebben adalékanyagot. Így a tús tranzisztor után elő tudták állítani a Shockley által korábban megálmodott, érintkező (junction), azaz $p-n-p$ rétegekből álló tranzisztort. Ennek tulajdonságai, elsősorban kisebb zaja, lényegesen jobbak voltak tús elődjénél. A tranzisztor életében fontos eseménynek tekinthető, hogy 1952-ben az amerikai ipar jelentős megbízást kapott a hadseregtől mind gyártásra, mind fejlesztésre. Ez szükségessé tette részben a gyártás automatizálását, részben a szabványosítást. A kutatás, a technológiafejlesztés, a gyártás-automatizálás és a tömegtermelés itt kezd szoros szimbiózisban élni, hatnak egymásra, táplálják egymást, és később már nehéz lesz megkülönböztetni, hogy éppen melyik fázisban tart egy alkatrész fejlődése. És ne felejtsük el azt sem – bármennyire szomorú is a történelmi helyzet –, hogy a következő évtizedek technológiai fejlődésének háttérében ott állt a hadsereg mérhetetlen étvágyával, igényeivel és pénzügyi erőforrásaival. A negyvenes évek vége, ötvenes évek eleje már a rakétafejlesztés, az atom- és hidrogénbomba gyártásának időszaka.

Sok más is történt a tudomány és technika világában a háborút követő évtizedben. Az még csak a tudományos-fantasztikus regényeket író *Arthur Clark* fantáziájában ötlük fel, hogy rádiózási és távközlési mesterséges holdat kellene a világűrbe küldeni. Mint tudjuk, nem is volt olyan fantasztikus a javaslata. Ne felejtsük meg arról sem, hogy 1946-ban az amerikai *J. H. Dewitt* és vele csaknem egy időben *Bay Zoltán* Budapestről radarjelviszhangot észlel a Holdról. *Bay Zoltán* sokkal szegényesebb műszaki lehetőségeit a szinkronjelösszegzés technikájával pótolja. Ugyancsak 1946-ban a General Motors egyik mérnöke, *D. S. Harder* önműködő gyári átrakógépek építése közben bevezette az automatizálás fogalmát. Ennél átfogóbb gondolatról írt két évvel később a nagy amerikai matematikus, *Norbert Wiener* – a kibernetikáról (kübernétosz, magyarul hajókormányos). A kibernetika az élő és élettelen rendszerek folyamatainak irányításelmélete. Jelentős szerepe van az információk továbbításának matematikai leírásában is.

1948 más szempontból is jelentős. A Bell Laboratórium az év közepén mutatta be a nyilvánosság előtt a tranzisztort. *John W. Tukey* ugyanakkor először használta a számítástechnika egyik leg-

fontosabb és leggyakrabban használt egységét, a *bit*et, azaz a *binary digit*ből rövidített fogalmat. Ebben az évben helyezték üzembe az IBM jelfogós-elektronikus számítógépét, a SSEC-et (23 000 jelfogó és 13 000 elektroncső), amelyben az aritmetikai egység már elektronikus volt. Ez a gép és az 1949-ben üzembe állított, a cambridge-i egyetemen épült angol *EDSAC* (*Electronic Delay Storage Automatic Computer*) teljesen a Neumann János által lefektetett elvek szerint működött. Az EDSAC-ban minden aktív elem elektronikus volt, tárolója, mint neve is mutatja, itt is készletet művonalakból állt. 1949 további eseménye még a nyomtatott áramköri lemez megjelenése a fotolitográfias eljárás kidolgozásának eredményeként, valamint az első teljesen elektronikus színes televízió elkészítése. Ez utóbbit az RCA cég mérnökei tervezték.

Az étvágy, mint mondják, evés közben jön meg. És az anyagtechnológusok egyre csak keresik azokat a megoldásokat, amelyekkel gyorsabbá tehetők a számítógépek. Anyagtechnológust említettünk, bár ezt a kifejezést az ipari korszakban más szakma művelőire vonatkoztatták. Azonban egy korszakváltás kezdődött, a tudományos-technikai forradalom felgyorsulása, esetleg második szakasza. Most már anyagtudományról beszélhetünk, amelyben nem évről évre, de hónapról hónapra, sőt hétről hétre születnek új és új eredmények.

1950-ben a mágneses anyagokkal foglalkozók lépnek jelentősen előre. A számítási programok nagysága, a feldolgozni kívánt adatok mennyisége folyamatosan nő. Nagyobb és gyorsabb tároló kell mind belső tárolóként, mind háttér- vagy perifériatárolóként. Az 1933-ban kikísérletezett mágnesezhető kerámiaanyag, a ferrit gyártástechnológiájának fejlődésével elő lehetett állítani olyan apró, 0,25–2 mm átmérőjű gyűrűket, amelyeknek mágnesezettségi állapota a gyűrű nyílásán áthúzott huzalon átfolyó áramimpulzussal volt beállítható, illetve megváltoztatható. Ezzel lehetővé vált akkori mértékkel igen gyors, nagyméretű belső, más néven operatív táruk készítése, amelyekben a tartalom állandó frissítéséről sem kellett gondoskodni, mert a ferrit mágnesezettségi állapota gyakorlatilag a következő áramimpulzusig fennmaradt.

A működő megoldásban persze nem minden gyűrűhöz vezetett külön huzal. Az egyes elemek mátrixszerű hálóban rendeződtek el. A mátrix egyik oldala annyi elemből állt, ahány bit volt a számítógép egy „szava”. A másik oldalt természetesen

olyan „hosszú”-ra készítették, ahány szóból állt a belső tároló. Minden oszlopon és soron végighúztak egy-egy szálat, amelyek félárammal működtek, így csak azokon a „koordinátpontokon történt” beírás, amelyeken mind a sor-, mind az oszlopvezeték vezérlést kapott. A kiolvasás fordított áramlökésekkel történt, de az indukciós feszültség érzékeléséhez kellett egy újabb vezeték, amelyet minden ferritgyűrűn áthúztak. Végül még egy dolgot kellett megoldani. A kiolvasáskor törlődött az információ, ezért egy áramkörnek azonnal vissza kellett írnia azt a megfelelő címre. Kicsit bonyolultan hangzik a dolog, de nagy lépés volt előre: ez a tároló sokkal több lehetőséget adott a tervezők kezébe, mint a késleltető művonal.

Ugyanebben az évben jelent meg perifériás tárolóként a mágnesszalag. Bár a lyukszalag és a lyukkártya még évekig tartja magát, de nagyon lassúak, és most ők lettek a gyorsabbá vált processzorok mellett a teljesítménykihasználás gátjai. Persze a rendszertervezők sem maradtak tétlenek. Amíg a periféria átvette vagy átadta az adatot, addig más feladatot találtak – ha tudtak – a központi egységnek. Például egyszerre több munkát bízta rá. Ehhez viszont olyan működtető (operációs) programot kellett szerkeszteni, amely felügyeli, adminisztrálja és irányítja a több egymás mellett futó munkát, és a számítógép különböző egységeit. Ezáltal a mágnesszalagon jóval több adatot lehetett jóval gyorsabban elhelyezni.

A mágnesszalag nem csak a számítástechnikában hódított. 1951-ben Kaliforniában már fejlesztették a később a kereskedelemben is megjelenő mágneses képrögzítőt, a videomagnetofont. Hamarosan a világ elektronikus eszközöket gyártó sok vállalata megjelent velük a piacon. Közben a Harvard Egyetemen Aiken a harmadik Mark típusú gépet fejlesztette ki. Ez az óriásgép még mindig tartalmazott reléket, de lényeges elemei elektroncsöves felépítésűek, háttértárolói pedig mágnesdobok és -szalagok. Az alaplételekhez szükséges idők viszont már az ezred másodperces tartományban voltak.

1952-ben elkészültek az első magnetronok és klisztronok, a száz gigaherzes frekvenciatartományban működő mikrohullámú csövek. Ezzel nemcsak a radartechnika lépett előre, hanem a távközlés is új lehetőségekkel gyarapodott. Ebben az évben, harminc évvel az első kísérletek után Németországban hozzákezdtek az országos távhívó telefonhálózat kiépítéséhez, amely egy-két évtizedes programot jelentett.

A Bell Laboratórium ismét alkotott valami előremutatót (ámbar nem valószínű, hogy volt olyan év az elmúlt évtizedekben, amikor nem hallatott magáról). Kifejlesztették azt az eljárást, amelynek során a polikristályos, tehát szabálytalan alakzatba szerveződött szilíciumrudat nagyfrekvenciás fűtőtestek között tolnak át, ahol mindig csak egy vékony réteg olvad meg és hűl le, miközben a szilícium szabályos kristályalakzatba rendeződik. Így nagy mennyiségű és nagy tisztaságú szilícium egykristályhoz lehetett jutni. És talán nem mondunk nagyot azzal, ha azt állítjuk, hogy ez az anyagfajta az eltelt korszak jelképe is lehetne. A germánium félvezetők még nem tudtak igazi áttörést hozni; amit azóta az elektronika és a számítástechnika elért, azt döntően a szilícium megmunkálási technológiájának köszönheti. Talán az is jelképes lehet, hogy ebben az évben egy brit mérnök, *G. W. A. Dummer* elsőként fogalmazza meg azt a gondolatot, hogy az elektronika diszkrét alkatrészeit, ellenállásokat, kondenzátorokat, diódákat és tranzisztorokat össze kellene építeni kis térfogatba, minimálisra csökkenteni az összekötő vezetéseket, ami javítaná az áramkörök tulajdonságait, és csökkentené az előállítás költségeit. Bár az első ún. hibrid áramkörök – nyomtatott ellenállással és tokozatlan tranzisztorokkal – még nem voltak az igaziak, és csak rövid epizódot jelentettek a fejlődésben, mégis előrevetítették az integrálás jövőjét, amely több mint egy évtizeddel később a monolitikus áramköri technológiában jutott valódi jelentőséghez.

Irodalom

- BREUER, Hans: Informatika (SH Atlasz). Springer, Budapest, 1995.
- CSORBA József: Az elektronika története. Cikksorozat a Magyar Elektronika 1984–85-ös számaiban.
- GOLDSTINE, H. H.: A számítógép Pascaltól Neumannig. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- HODGES, Andrew: Alan Turing – a short biography. <http://www.turing.org.uk/turing/bio/>
- HORVÁTH Péter: A számítástechnika története. Cikksorozat a Mikrovilág magazin, 8. köt. 4–7. számában.
- NEUMANN János: Számítógép és az agy. Gondolat, Budapest, 1964.
- PATURI, Felix R.: A technika krónikája. Officina Nova, Budapest, 1991.
- SCARUFFI, Piero: Thinking About Thought (machine). <http://www.thymos.com/tat/machine.html>
- SIMONYI Károly: A fizika kultúrtörténete. Gondolat, Budapest, 1978.

Beérkezett: 2001. VII. 12-én.