Nemes Tihamér

KIBERNETIKAI GÉPEK

148 ÁBRÁVAL ÉS 14 TÁBLÁZATTAL

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Nemes Tihamér

KIBERNETIKAI GÉPEK

A kiváló kibernetikus jelen — postumus — művében célul tűzte ki, hogy amennyire ez összefoglaló munkában lehetséges, ismertesse a kibernetikai technika mai állását és megmutassa a fejlődés várható útját.

A monográfia bevezetőben foglalkozik a kibernetikai gépek működésének megértéséhez szükséges szimbolikus logikával és információelmélettel. Ezután tárgyalja a logikai ítéletkalkulus műveletei elvégzésére szolgáló gépeket.

A munka részletesen feldolgozza nemcsak a szoros értelemben vett logikai gépek, hanem többek között a statisztikai gépek és az elektronikus számológépek (a digitális matematikai gépek), a betűolvasó, beszédíró, akusztikai vagy optikai ingereket érzékelő gépek, vezérlőgépek, biológiai vagy tudatos működéseket utánzó gépek, játékokat játszó gépek, zenei komponáló gépek és fordítógépek szinte teljes hozzáférhető irodalmát, többek között a szerző számos eredeti konstrukcióját is. Kitűnő ábraanyaga — a művet 148 ábra és 14 táblázat teszi szemléletessé — a legegyszerűbb műszaki ismeretekkel rendelkező olvasó számára is világosan megmagyarázza a legtöbb ilyen gép konstrukcióját és működési elveit.

AKADÉMIAI KIADÓ
BUDAPEST

NEMES TIHAMÉR

KIBERNETIKAI GÉPEK

KIBERNETIKAI GÉPEK

ÍRTA

Dr. Ing. NEMES TIHAMÉR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1962

Lektorálták:

ÁDÁM GYÖRGY
az orvostudományok kandidátusa (1.6, 3.2 *c*, 3.3–3.5, 3.6 *abcgh*)

BÁRDOS LAJOS
zeneszerző és karnagy (3.6 *r*)

KALMÁR LÁSZLÓ
a Magyar Tudományos Akadémia lev. tagja (I–III)

RÉNYI ALFRÉD
a Magyar Tudományos Akadémia r. tagja (II)

SZÉKELY-DOBY SÁNDOR (I–III)

TARJÁN REZSŐ
a műszaki tudományok doktora (3.11, 3.13, 3.52, 3.6 *t*)

A hagyatékot gondozta és szerkesztette
HORVÁTH FERENC

Printed in Hungary

NEMES TIHAMÉR

1895—1960

A nagy eszmék és gondolatok harcban születnek. Nemes Tihamér eszméi és gondolatai az idealizmus ellen folytatott harcban jöttek létre. Szilárd és következetes materialista szemlélettel foglal állást a mindent megismerhetőség tagadóival szemben. Ez a szilárd állásfoglalás hatja át egész egyéniségét, tudományos munkáját; és szüksége is van erre a szilárd nézőpontra, mert tudományos munkájának, egész életének célkitűzése rendkívül merész és nagyvonalú. A zseni szerénytelenségével, rendkívül magas igényével veti fel az emberiség egyik legnagyobb kérdését, azt, hogy mi az ember. Erre a kérdésre rendkívül széles műszaki és természettudományi ismeretével, olyannal, amilyennel csak kevesen rendelkeznek, kísérli meg a válaszadást. Az emberi cselekvés és gondolkodás megismerését mérnöki módszerekkel, szerkezeti elemekkel, áramkörökkel közelíti meg.

Élete nagy célkitűzése tudományos munkája során egyre határozottabban formálódik. A hanganalízisre vonatkozó tanulmányai a beszédíró gépnek képezik részfeladatát. A beszédíró gép szükségszerű logikai funkciói irányították tevékenységét a gépesített agy problémáira. A színes televízióra vonatkozó szabadalmai főleg az emberi látás mechanizmusának mélyebb megismerése szempontjából voltak érdekesek számára. A lépkedő gépre vonatkozó szabadalma az emberi idegrendszer automatizálásának mélyreható tanulmányozásából született. Ezek a nagyjelentőségű felismerések és megoldások a harmincas évekre *esnek, egy olyan időszakra, amikor még nem volt ismeretes a kibernetika fogalomköre. Nem voltak ismeretesek azok a módszerek és eszközök, amelyekre a kibernetika tudománya épül. Ebben az időszakban, amikor a tudomány még nem ismerte azt a szót, hogy kibernetika, korát megelőzve, kutatja az emberi szervezet és a gépi szerkezet közti közös vonásokat, és ezzel lerakja alapját a kibernetika tudományának.*

A könyv, bár rengeteg anyagot ölel fel a kibernetikai gépek területéről, mégsem kompiláció. A kibernetikai tudomány eredményeinek ismertetése csak eszköz alapvető központi gondolatainak kifejtéséhez. Tudományos munkáját mély humanizmus hatja át. Gondolkodó gépe nem a pusztításnak eszköze. Az ő gépe fáradságos munkától kíméli meg az emberiséget. Az ő gépe játszik és nevet.

Felvetődik a kérdés, életműve-e a szerzőnek a „Kibernetikai gépek" című könyv. Erre a kérdésre azok, akik ismerték és becsülték, úgy válaszolnak, hogy nem. Bár a könyv igen sokat ad, de nem adja vissza N e m e s T i h a m é r rendkívül színes, szellemes, bölcs egyéniségét. A vele való találkozás barátai, munkatársai számára mindig rendkívüli élményt jelentett. Élményt jelentett gondolatainak sziporkázása, keserű humora és bölcsességének megnyilvánulása. Nem adja vissza a könyv N e m e s T i h a m é r művészi megnyilvánulásait, rajzait, karikatúráit. Nem adja vissza a könyv állandó vitáit az emberiség tudatos butítóival szemben, akik ellen éles logikával és metsző humorral harcolt. Ez csak emlék marad. Ami maradandó, azt e könyv tartalmazza.

Budapest, 1961. október 20.

Bognár Géza
a Magyar Tudományos Akadémia
r. tagja

TARTALOMJEGYZÉK

I. LOGIKAI BEVEZETÉS

E rövid bevezetés célja a kibernetikai gépek megértéséhez szükséges logikai alapok ismertetése. Nem tarthatunk tehát igényt a teljességre; sok fontos dolgot csak érintenünk, illetőleg mellőznünk kellett.

A logika a helyes gondolkozás alaki törvényszerűségeinek tudománya. A formális logika meghatározása (Akagyemije Nauk SSSR Insztyitut Filoszofii ,,Logika'' 1956, p. 15):

,,A logika (értsd: a formális logika) a gondolkozás strukturális szempontból vizsgált formáinak, a következtetés útján való ismeretszerzés törvényeinek és szabályainak tudománya; a logika továbbá a valóság megismerésében használt logikai módszereket is tanulmányozza.

A logikát nem szabad a dialektikus materializmus részének, a marxista—leninista filozófia részének tekinteni. Mint már mondottuk, a dialektikus materializmus, a dialektikus logika szintén tanulmányozza a gondolkozást, de más szempontból.''

A szimbolikus logika e törvényszerűségek vizsgálatában a matematikai jelölések mintájára szimbólumokat használ.

Szokásos elnevezések még: logikai algebra, egzakt logika, új logika, logisztika, matematikai logika stb. A szimbolikus logika elnevezést azért választottuk, mert pl. a ,,matematikai'' arra látszik mutatni, mintha csak matematikai gondolkozást vizsgálna, a logisztika egy nyugati filozófiai irányzat megjelölésére is használatos.

A legegyszerűbb ítélet két fogalom kapcsolatából áll elő, pl. ,,a fű zöld'', ,,a bálna emlős''. A fogalmak általában osztályokat képviselnek, pl. a bálna fogalmába beleértendők az összes bálnák, a ,,háromszög'' minden lehetséges háromszöget foglal egy osztályba. Pontosabb megjelölés kedvéért előnyt adunk a ,,minden bálna emlős'' alaknak. Két ítélet kapcsolatából azonban ismét csak ítéletet kapunk, pl. ,,ha a nap felkel, világos lesz''. Minthogy az ítéletek rendszerében ily módon csak ítéletek szerepelnek, e rendszer egyszerűbb, mint az osztályoké, ahol, mint látni fogjuk, osztályok kapcsolatából ítéletek is előállhatnak. Ezért szokás ma a szimbolikus logikát az ítéletkalkulussal kezdeni.

1.1. ÍTÉLETKALKULUS

*Ítélet*et fejez ki bármely (kijelentő) mondat, amely lehet *igaz* vagy *hamis*, pl. ,,a kutya ugat'' igaz, ha valóban ugat, hamis, ha nem ugat; ,,én férfi vagyok'' igaz, ha férfi mondja, hamis, ha nő mondja. Igaz ítélet tehát az, amelyik egyezik a valósággal. A formális logikában azonban e ,,tárgyi'' igazság eredete nem érdekel minket, megelégszünk annak csupán jelölésével. Az igaz ítélet értékét rendszerint az 1 konstanssal jelölik, a hamisét 0-val, mnemotechnikailag ugyanis ez a legkézenfekvőbb, s a műszaki alkalmazásban ez is terjedt el általánosan. Az ítéletkalkulusban a legkisebb egység az ítélet. Az ítéletek jelölésére az *abc* végén levő kisbetűket, p, q, r, s stb. fogunk használni.

A legegyszerűbb logikai művelet a *tagadás (negáció)*. Legyen a p ítélet: ,,a kutya ugat'', akkor $\bar{p}$: ,,a kutya nem ugat'' vagy: ,,nem igaz, hogy a kutya ugat'' jelenti a p tagadását. Legrövidebb és legáttekinthetőbb jelölése a BOOLE által először alkalmazott felülhúzás, amelyet PORECKI-nél is megtalálunk.

BOOLE először ($1-p$)-vel jelölte a p tagadását, mert az 1-et vagy 0-t helyettesítve a p-be, az ellenkező értékeket kapjuk. Később rövidítésként a felülhúzást vezette be. A felülhúzás előnye még az is, hogy egész kifejezéseket lehet vele tagadni és így zárójelet megtakarítani.

Előnyös egy másik tagadójelet is használni, amelyet az ítélet elé helyezünk, pl. $\neg p$ olyan esetekben, amikor valamilyen ok miatt fontos, hogy a jelek sorra következzenek egymás után, pl. amikor gépi leolvasásról van szó.

Az ítélet elé tett szintén szokásos $\sim$ jel még a logika irodalmában is sokértelmű; WHITEHEAD—RUSSELL: *Principia Mathematika,* 1912 (továbbiakban röviden *P. M.)* és a mai *Zeitschrift für mathematische Logik* folyóiratban tagadást, HILBERT-nél ekvivalenciát, a logikai irodalmon kívül ,,körülbelül''-t s a villamosságtanban periódust jelent.

Nyomdai jel hiányában a *non* (p) jelölés is szokásos. Ha $p = 1$, akkor *non* $(p) = 0$, és ha $p = 0$, akkor *non* $(p) = 1$. Látjuk, hogy egy egyváltozós függvénnyel van dolgunk, amelynek azonban csak két értéke lehet, és változójának is csak két értéke van (l. *1. táblázat* 1., 2. és 14., 16. oszlopát). A kétszeres tagadás tehát újra az eredeti állítást adja vissza: $\bar{\bar{p}} = p$.

Példái: ,,Nem igaz, hogy Géza nem jön el'' = ,,Géza eljön''. Az ,,igen'' kétszeres tagadásának egy példája a ,,dehogyisnem'', mely újra csak ,,igen''-t jelent (eltekintve e kötőszó egyéb relációitól). Sok nyelvben előfordul a kétszeres tagadás az egyszerű tagadás hangsúlyozásaként is, pl. ,,Itt nincs senki'' (helyes volna: ,,Itt nincs valaki'') stb.

Két ítéletből alkotható ítéletek igazságértékeit (truth values, Wahrheitswerte, más szakkifejezéssel: logikai értékeit) az *1. táblázat* további oszlopai csoportosítják. A két ítéletet összekötő műveletek jeleit *funktor*oknak nevezzük.

Két ítélet *konjunkció*ja (l. *1. táblázat* 3. oszlopát) akkor igaz, ha a p és q ítéletek mindegyike igaz. A táblázatban az első két oszlop a p és q

1. táblázat

Az ítéletkalkulus műveleteinek igazságértéke

A táblázatban az 1. és 2. oszlop a változók lehetséges értékeit adja meg s a vízszintes sorok egy-egy ilyen értékpárhoz megadják a megfelelő oszlopban funktorokkal jelölt logikai műveletek eredményeinek igazságértékét.

Megjegyzés: a 6. és 11. oszlopban leírt konverz implikáció és konverz non-implikáció nem használatos, helyette $q \supset p$ és $q \not\supset p$-t írnak, így elkerülhető a jelek megfordítása.

Zárójel mentes jelölés		*Kpq*	*Apq*	*Cpq*		*Epq*	*Dpq*				*Rpq*		*Np*		*Nq*		
Jelölés folyó írással		et (p, q)	vel (p, q)	seq (p, q)		aeq (p, q)	Az első öt művelet tagadásai						non (p)		non (q)		
Név és olvasás		Konjunkció *p és q*	Diszjunkció *p vagy q*	Implikáció *ha p, akkor q*	Konverz implikáció *ha q, akkor p*	Ekvivalencia *csak akkor p ha q*	Inkompatibilitás (összeférhetetlenség) *nem p vagy nem q*	*sem p, sem q*	Inhibíció (gátlás): Non-implikáció *nem q és p*	Inhibíció (gátlás): Konverz non-implikáció *nem p és q*	Kizáró diszjunkció (antivalencia) *vagy p, vagy q*	*p* állítás	*p* tagadás	*q* állítás	*q* tagadás	A konstansokat kiadó értékcsoportok	
Müveletek (Funktorokkal kapcsolt változók)		pq $p \cdot q$ $p \wedge q$ $p \& q$	$p \vee q$ $p + q$	$p \supset q$ $p \rightarrow q$	$p \subset q$ $p \leftarrow q$	$p \equiv q$ $p \supset \subset q$ $p \leftarrow \rightarrow q$	$p \mid q$ $\overline{p \cdot q}$	$p \downarrow q$ $\overline{p \vee q}$ $p \overline{\vee} q$	$p \not\supset q$ $\overline{p \supset q}$ $p \multimapinv q$	$p \not\subset q$ $\overline{p \subset q}$ $p \multimap q$	$p \not\equiv q$ $\overline{p \equiv q}$ $p \forall q$	p	$\bar{p}$ $\neg p$	q	$\bar{q}$ $\neg q$	1	0
Változók *p*	*q*																
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

lehetséges értékeit tünteti fel. Ha $p = 1$ és $q = 1$, akkor konjunkciójuk $pq = 1$, azaz igaz, a többi három értékpárra zérus, azaz nem igaz. Legrégibb és ma is legelterjedtebb jelölése az algebrai szorzásból kölcsönvett pont a két ítélet közt: $p \cdot q$, vagy pedig szintén az algebrai szorzás mintájára a két ítéletet jelölő két betű egyszerű egymás mellé írása. E jelölést az indokolja, hogy az ,,igaz''-nak az 1 jelölést adva, az algebrai szorzással teljesen egyező eredményt kapunk: $1 \cdot 1 = 1$, $1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0 \cdot 0$. Régebben ezért a konjunkciót ,,logikai szorzás''-nak nevezték általánosan, ma viszont csak a ,,metszet''-et szokták logikai szorzatnak nevezni (l. később, 29. o.). Függvényalakban is kifejezhetjük: $et(p, q)$, amely kétváltozós, kétértékű függvény; összes lehetséges értékei: $et(1, 1) = 1$, $et(1, 0) = 0$, $et(0, 1)$, $et(0, 0) = 0$.

Lukasiewicz zárójelmentes jelölésében a p és q konjunkcióját Kpq-val jelöljük. A többi művelet zárójelmentes jelölését is megtaláljuk a táblázatban. Magyarázatukat a *Burroughs Corp.* logikai gépének leírásában közöljük. A konjunkció egyéb szokásos jelölései még: Hilbert és Ackermann jelölése: &. A szerzőket az vezethette az addig szokásos jelek megváltoztatásában, hogy az írógépen már meglevő jeleket használhassák, így pl. a diszjunkció (l. később) jelölésére közönséges kis *v* betűt használtak. A *Zeitschrift für mathematische Logik* a konjunkció számára a diszjunkcióval való dualitást hangsúlyozni kívánó $\wedge$ jelet ajánlja (bár ez le volt foglalva egy másik logikai fogalom számára). Általában, ha nem gépek programozását vagy más gépies eljárást kell előkészíteni, nincs szükség külön jelre a konjunkció számára, ezáltal a képletek rövidebbek és áttekinthetőbbek lesznek.

A konjunkciót (bármivel is jelöljük) kitünteti az összes lehetséges műveletekkel szemben az, hogy csak egyetlen értékpárra igaz, és e két érték mindegyike az ,,igaz'' logikai érték.

A konjunkcióban szereplő két ítéletet a beszédben az ,,és'' kötőszóval kötjük össze; pl. ,,Beborult az ég és az eső esik'', vagy egyszerűen csak vesszőt teszünk közéjük.

Más kötőszók is jelölhetnek konjunkciót, pl.: továbbá, azonban, de, stb., ezek azonban egyúttal még más relációkra is utalnak.

A nyelvtani ,,és'' azonban nemcsak a konjunkciót jelöli, hanem sokkal szélesebbkörű szerepe van: különféle viszonylatok (relációk) olyan változóit köti össze, amely változók összetartozó párjai szimmetrikusak, pl. ,,Ákos és Aladár testvérek'', ,,Géza a fa és a kút közt áll'' stb. Azt, hogy valóságos konjuncióval van dolgunk, arról ismerhetjük fel, hogy az ilyen ítélet két (vagy több) egymással konjunkcióban levő ítéletté bontható. Például ,,Ákos és Aladár sétál'' = ,,Ákos sétál és Aladár sétál''. De e felbontás nem lehetséges az előző példában: ,,Ákos testvér és Aladár testvér'', tehát ez nem konjunkció. A nyugati nyelvek többnyire a nyelvtani ,,és''-sel jelzik az aritmetikai összeadást: ,,kettő és öt az hét'', mert szimmetrikus reláció (ui. ,,öt és kettő az hét'', pontosan ugyanazt jelenti), de nem konjunkció, mert ,,kettő az hét és öt az hét'' nem áll. A magyar nyelv az aritmetikai összeadásra a ,,plusz''-t jelentő ,,meg''-et használja. Ez két szót összeköthet, de két ítéletet csak a normálistól eltérő szórenddel, pl. ,,*A* eszik, *B* meg iszik'' de itt a ,,meg'' a ,,pedig'' helyett áll, s a két mondat ellentétességére figyelmeztet.

Az ,,is'' két olyan ítéletben, amelyek csak egy fogalomban különböznek, a megválasztott fogalom után áll, pl. ,,*A* eszik, *B* is (eszik)'', ,,*A* eszik, (*A*) iszik is''. E relációkra itt azért tértünk ki, mert a fordítógépek programozásában lényeges szerepet játszanak.

A két állítás, amelyet konjunkcióval kapcsolunk egybe, az értelmes beszédben nem lehet egymástól független; a két állítás között mindig valamilyen tartalmi kapcsolatnak kell lennie. Az ilyen ítélet pl.: ,,Napóleon Szt. Ilona szigetén halt meg és nekem van egy zsebkésem" az értelmes beszédben nem fordul elő, s ha tévedésként vagy célzatosan mégis előjön, nagymértékben komikus.*

A többszörös konjunkció pl. $pqrs$ akkor igaz, ha minden tagja igaz. A tagok zárójeles csoportosítása tetszés szerinti lehet éppúgy, mint a matematikai szorzásban a tényezőké, pl.: $pqrs = p(qrs) = (pq) \cdot (rs)$, stb.

Az *1. táblázat* negyedik oszlopában a *diszjunkció* igazságértékeit találjuk. Funktorjele a $\vee$, ezt „vagy"-nak olvassuk.

A diszjunkció funktora az egyetlen ítéletkalkulusbeli jel, amelyet minden szerző elfogadott, bár a kapcsolástechnikában gyakran a *Boole*-féle $+$ jellel is jelölik.

Két ítélet diszjunkciója (l. *1. táblázat* 4. oszlopát) igaz, ha két ítélet közül bármelyik, vagy mindkettő igaz. Logikai összegnek is nevezték (ma ez szigorúan csak az „egyesítés"-re áll, l. később, 29. o.), mert az aritmetikai összeadáshoz annyiban hasonlít, hogy zérust vagy (zérustól különböző) „számot" kapunk az 1 és 0 értékek behelyettesítésekor: $1 + 1 = 1$, $1 + 0 = 0 + 1 = 1$, $0 + 0 = 0$ („szám" itt az „igaz"-nak felel meg).

A beszédben itt is megtaláljuk azt a szétbontási és összevonási lehetőséget, amit a konjunkció esetében is láttunk: „Géza el fog jönni vagy Ákos el fog jönni" helyett röviden „Géza vagy Ákos el fog jönni" a szokásos. Eljöhetnek egyszerre mindketten is, ezért a diszjunkció e típusát *megengedő diszjunkció*nak vagy *alternatívá*nak *(alternáció)* nevezzük.

Két ítélet *kizáró diszjunkció*ja (néhány szerző ezt nevezi minden jelző nélkül diszjunkciónak vagy antivalenciának) (l. *1. táblázat* 12. oszlopát) igaz, ha $p = 1$ és $q = 0$, valamint $p = 0$ és $q = 1$, a másik két esetben hamis.

Példái: „Fej vagy írás!", „Vagy engem válassz, vagy őt!" Ilyenkor az első ítélet elé is kívánkozik a „vagy". A kétféle diszjunkciót a beszédben rendszerint egyformán, egyszerű vagy-gyal mondjuk, mert az ítéletek, ill. fogalmak jelentése legtöbbször elárulja, melyikről van szó. Ha ez nincs meg, komikus félreértések keletkezhetnek mint pl. e régi apróhirdetésben: „Tiszta szoba kiadó mérnök vagy úriembernek". Itt a hirdetés megszerkesztőjének naivitásán is nevetünk, aki „megengedő vagy"-ra gondolt s nem vette észre, hogy ez „kizáró vagy"-nak is érthető.

A kizáró diszjunkció funktorjele $\not\equiv$ (az ekvivalencia tagadása, l. a továbbiakban).

Újabban a $\forall$ jel is szokásos, de ez nem szerencsésen választott jel, mert újabban ugyanezt használják az egyik kvantor (l. a továbbiakban) számára is. Az ilyen változtatásokat nem lehet előnyösnek minősíteni.

A beszédben egyik változata a diszjunkciónak (jobban mondva alkalmazása) az „akár ..., akár ..." E mondatban pl.: „Akár ezt, akár azt választom, mindig ugyanazt az eredményt kapom", az „akár"-t a „vagy"-gyal helyettesíteni csak erőltetve lehet, míg e mondatban: „Vagy engem válassz, vagy őt", erőszakkal sem lehet helyettesíteni a „vagy" helyébe az „akár"-t.

Értelmes beszédben a diszjunkcóban is a két ítélet között valamiféle tartalmi kapcsolatnak kell lennie.

* Sokszor csak más tények ismeretében jövünk rá, hogy van tárgyi kapcsolat két állítás között. Például az orosz közmondásban szereplő példa összefüggéstelen állítások összekapcsolására: „A bodzafa a kertben virágzik és a nagybátyám Kievben van" értelmessé válik, ha olyan valaki mondja, Kievtől távol, akinek nagybátyja a bodzafélék virágzása iránt érdeklődő botanikus. *(Kalmár László* megjegyzése alapján; *Szerkesztő.)*

A többszörös megengedő diszjunkcióban éppúgy, mint a konjunkció esetén, a tagok zárójeles csoportosítása tetszés szerinti; pl.: $p \vee q \vee r \vee s = (p \vee q) \vee (r \vee s) = (p \vee q \vee r) \vee s$ stb., tehát a többszörös diszjunkció csak akkor nem igaz, ha minden tagja egyszerre hamis. A többszörös kizáró diszjunkció esetére tetszés szerinti zárójeles csoportosíthatóságot kikötve érdekes eredményt kapunk: páratlan számú tagnak kell igaznak lenni ahhoz, hogy igaz legyen. Így pl. három tag esetén igaz a kizáró diszjunkció, ha külön-külön vagy p, vagy q, vagy r, vagy pedig mindhárom egyszerre igaz. Négy tag esetén igaz a kizáró diszjunkció, ha vagy a négy tag egyenként igaz, vagy hármasával igaz, de együtt a négy nem lehet igaz és így tovább. A beszédben az ilyen értelemben vett kizáró diszjunkciót nem használjuk; ha mégis előfordul, mindenki úgy érti, hogy az adott ítéletek közül, akárhányan is vannak, egy és csak egy igaz.

Két ítélet *implikáció*ja, $p \supset q$ (olvasása: ha p akkor q) akkor igaz, ha $p = q = 1$, vagy $p = 0$, $q = 1$, vagy $p = q = 0$ (l. *1. táblázat* 5. oszlopát). A p és q itt már nem cserélhető fel, s ezért elnevezzük a funktor előtt álló tagot előtagnak, az utána állót utótagnak.

Az értékcsoport nagyon önkényesnek látszik, pedig ez is a természetet tükrözi. Ha az ok megjelenik, az okozat is bekövetkezik; ha nem jelenik meg, akkor az okozat megjelenhet valami más ok folytán; végül semmi ok nem jelentkezvén, az okozat sem következik be. De az az eset, hogy az ok előfordultával az okozat ne következzen be, a természetben nem fordul elő. Látjuk, hogy az implikáció e relációt pontosan ábrázolja. Az implikáció tartalma nemcsak ok-okozat lehet, hanem bármely indokolás, továbbá önkényes játékszabály is. A beszédben „q mert p" is használatos. Utóbbi inkább megtörtént eseményekre használatos, míg a „ha . . . akkor" jósló jellegű, pl. „Ha a cinket kénsavba teszem, a sav pezsegni fog", „A sav pezseg, mert cinket tettem bele". Ha utópiát, vagy szándékunkban nem levő cselekedetet akarunk kifejezni, akkor feltételes igemódba tesszük az implikációban levő két ítélet igéit. Például: „Ha egy millióm volna, akkor . . .", „Ha a Nap felületén sétálnék, akkor . . . .", „Ha e mély tó vékony jegének közepére futnék, akkor . . .".

Az implikáció funktora $\supset$ PEANO-tól származik, s tőle vette át a *P. M.*, s azóta is a legszélesebb elterjedtségű. SCHRÖDER már előbb bevezette az implikáció számára is a $\Subset$ jelet, de ezt elsősorban az osztálykalkulusban alkalmazta (ahol ma $\subseteq$). A $\supset$ jelnek időbeli elsőségén kívül is döntő előnye, hogy sehol más célra nem használják s így félreérthetetlen. A *Hilbert*-féle vízszintes nyíl alkalmazásának hátránya az, hogy már sok helyen le van foglalva (általános mutatójel, matematikai jel stb.) már a logikában is pl. a relációkalkulusban, újabb szerzőknél (pl. CHURCH) a definíció számára stb.

A. KOLMOGOROV is a $\supset$ jelet használja az implikáció funktorául (a negációra alán ő alkalmazta először a $\neg$ funktort, a konjunkcióra a $\wedge$ jelölést).*

A $p \supset q$ ítéletet olyankor, amikor valami tartalmi kapcsolat van p és q között *hipotetikus ítélet*nek is nevezik. *Konnex hipotetikus ítélet*eknek nevezzük a következő ítéleteket: $p \supset q$, $q \supset p$, $\bar{p} \supset \bar{q}$, $\bar{q} \supset \bar{p}$ csoport, ahol ha $p \supset q$ igaz, akkor csak az első és utolsó ítélet igaz, a másik kettő nem mindig igaz, de a plauzibilis gondolkozásban hathatós segédeszköznek bizonyulnak.

Már BOOLE figyelmeztetett arra az érdekességre, hogy az implikáció is összevonható a konjunkcióhoz és diszjunkcióhoz hasonlóan úgy, hogy a „ha . . akkor" két *fogalmat* kössön össze, pl.: „Ha nem *A*, akkor *B* ül előttem", „*A* ha hoz, akkor eszik".

* A. KOLMOGOROV: Recueil Math. de la Société Math. de Moscou. 1924—1925. vol. **32.** 646; idézi G. KLAUS: Einführung in die formale Logik. 1959.

Két ítélet *ekvivalenciá*ja (egyértékűsége): p és q akkor ekvivalens, ill. $p \equiv q$ akkor igaz, ha $p = q = 1$, vagy $p = q = 0$ (l. *1. táblázat* 7. oszlopát). Szokásos olvasása: „akkor és csak akkor p, ha q".

Rövidség kedvéért csupán „csak akkor p, ha q"-t fogunk mondani oly értelemben, hogy ez ezt jelenti: „máskor nem, de akkor biztosan", azaz „pontosan akkor" és a „csak" másik jelentését, a „legfeljebb csak"-ot, ha előfordul, mindig egészen kiírjuk.

A szimmetria folytán nyilvánvaló, hogy az ekvivalencia logikai értéke nem változik, ha tagjait (jobb- és baloldal) felcseréljük. Például: „A háromszög csak akkor egyenlőoldalú, ha szögei egyenlők". A természet sok példát mutat ilyen megfordítható jelenségpárra, melyeknek két ítéletben való leírása az ekvivalencia példája lehet: „Ha a kvarckristály térfogatát mechanikusan megváltoztatjuk, elektromos feszültséget ad. Ha a kvarckristályra elektromos feszültséget adunk, térfogata megváltozik". Látjuk, hogy itt valójában két implikációt mondtunk. Könnyen bizonyítható, hogy ha az implikáció és megfordítása egyszerre igazak, akkor a két tag ekvivalencia viszonyában van: $(p \supset q) \cdot (q \supset p) = (p \equiv q)$. (Az ítéletkalkulusbeli bizonyítások általános módját később ismertetjük.)

Többtagú ítéletek tagadása. Az említett műveletek során nyert ítéletek egészükben is tagadhatók. Ilyenkor az egész kifejezés fölé vonalat húzunk, például $\overline{pq}$, $\overline{p \supset q}$ stb., vagy pedig a $\neg(pq)$, $\neg(p \supset q)$ jelöléssel élünk. Ha most e zárójeleket fel akarjuk „oldani", azaz azt kívánjuk, hogy olyan képletünk legyen, amelyben legfeljebb csak egyes változók legyenek tagadva, akkor azt az eljárást alkalmazhatjuk, amelyet a következő példán érthetünk meg: Ha tagadjuk azt, hogy egyszerre igaz az, hogy „*A* sétál és *B* dolgozik", akkor három dolog lehet igaz: *A* sétál és *B* nem dolgozik, vagy *A* nem sétál és *B* dolgozik, vagy *A* nem sétál és *B* nem dolgozik. Ha megnézzük a konjunkció értékoszlopát (l. *1. táblázat)* látjuk, hogy a tagadással nem tettünk egyebet, mint kicseréltük a 0-kat 1-esekkel, s azt a 8. oszlopban már készen találjuk. A konjunkció tagadásának külön neve is van: az „összeférhetetlenség" (inkompatibilitás, stroke-function), jele a „*Sheffer*-funktor": $|$. Ennek jellemző sajátsága az, hogy vele egyedül valamennyi többi funktor kifejezhető. Például p tagadása: $\bar{p} = p \mid p$; ezt bizonyíthatjuk úgy, hogy a második oszlopban q-t a p-vel egyenlőnek tekintjük, amikor is csak az első és utolsó sor lesz lehetséges variáció; e sorokban a 8. és 14. oszlopban egyenlő értékeket találunk, tehát $p \mid p = \bar{p}$. Az ítéletkalkulus néhány fontosabb azonosságát, a funktorok kifejezését a *2. táblázat*ban megtaláljuk.

2. táblázat

Az ítéletkalkulus néhány fontosabb törvénye és azonossága

Kommutatív törvények:	$p \cdot q = q \cdot p$; $p \vee q = q \vee p$; $p \equiv q = q \equiv p$.
Asszociatív törvények:	$(p \cdot q) \cdot r = p \cdot (q \cdot r)$; $(p \vee q) \vee r = p \vee (q \vee r)$; $(p \equiv q) \equiv r = p \equiv (q \equiv r)$; $(p \cdot q) \cdot (r \cdot s) = p \cdot (q \cdot r \cdot s)$; $(p \vee q) \vee (r \vee s) = p \vee (q \vee r \vee s)$.
Disztributív törvények:	$(p \cdot q) \vee r = (p \vee r) \cdot (q \vee r)$; $(p \vee q) \cdot r = (p \cdot r) \vee (q \cdot r)$ $(s \supset (p \supset q)) = (s \supset p) \supset (s \supset q)$

Az inverzió példái: $\overline{p\cdot q\cdot r\cdot s}=\bar p\vee\bar q\vee\bar r\vee\bar s$; $\overline{p\vee q\vee r\vee s}=\bar p\cdot\bar q\cdot\bar r\cdot\bar s$.

1) $p\cdot q=\overline{\bar p\vee\bar q}$, } *De Morgan*-féle szabályok { 6) $\overline{p\cdot q}=\bar p\vee\bar q$,

2.) $p\vee q=\overline{\bar p\cdot\bar q}$, } { 7) $\overline{p\vee q}=\bar p\cdot\bar q$,

3) $p\supset q=\overline{p\cdot\bar q}$, 8) $\overline{p\supset q}=p\cdot\bar q$,

4) $(p\equiv q)=(p\vee\bar q)\cdot(q\vee\bar p)$, 9) $p\supset q=\bar q\supset\bar p$ (kontrapozíció törvénye),

$(p\equiv q)=(\bar p\cdot\bar q)\vee(p\cdot q)$, 10) $\bar p\supset q=\bar q\supset p$,

5) $p\not\equiv q=\overline{p\equiv q}=\bar p\equiv q=p\equiv\bar q$, 11) $p\,|\,p=\bar p$,

$p\not\equiv q=(p\cdot\bar q\vee q\cdot\bar p)=(\bar p\vee\bar q)\cdot(p\vee q)$, 12) $p\,|\,q=\overline{p\cdot q}=p\supset\bar q=\bar p\vee\bar q$,

$p\not\equiv q=\overline{p\cdot q}\cdot(p\vee q)=(p\vee q)\cdot(p\supset\bar q)$, 13) $p\cdot q=(p\,|\,q)\,|\,(p\,|\,q)$,

14) $p\vee q=(p\,|\,p)\,|\,(q\,|\,q)$,

15) $p\supset q=p\,|\,(q\,|\,q)$.

16) Abszorpció törvénye: $p\cdot(p\vee q)=p$; $p\vee(p\cdot q)=p$.

17) Importáció törvénye: $p\supset(q\supset r)=(p\cdot q\supset r)$. (Visszafelé exportáció.)

18) Kompozíció törvénye: $(p\supset q)\cdot(p\supset r)=p\supset q\cdot r$; $(p\supset q)\cdot(r\supset s)\supset(p\cdot r\supset q\cdot s)$

19) Tranzitivitás törvénye: $(p\supset q)\cdot(q\supset s)\supset(p\supset s)$; $(p\equiv q)\cdot(q\equiv r)\supset(p\equiv r)$.

20) $p\cdot p=p$, $p\vee p=p$, $(p\equiv p)=1$, $p\cdot\bar p=0$, $p\vee\bar p=1$,

$p\supset\bar p=\bar p$, $\bar p\supset p=p$, $p\equiv\bar p=0$, $0\cdot p=0$, $0\vee p=p$,

$0\supset p=1$, $p\supset 0=\bar p$, $1\cdot p=p$, $1\vee p=1$, $1\supset p=p$,

$p\supset 1=1$, $\bar{\bar p}=p$.

21) Egyszerűsítések: $p(q\vee\bar q)=p$, $p\vee(q\cdot\bar q)=p$, $p\vee q\vee\bar q=1$,

$p\cdot q\cdot r\cdot s\cdot\bar p=0$, $p\vee q\vee r\vee\bar p=1$.

Megjegyezzük, hogy a megengedő diszjunkció tagadása *(1. táblázat 9. oszlop)* is alkalmas arra, hogy vele egyedül kifejezzük valamennyi több funktort.

A többi funktor tagadására is áll az, amit a konjunkciónál mondottunk, azaz az oszlopában a zérusok helyébe 1-esek és viszont helyettesítendők, egyébként a táblázatban készen állnak a tagadott műveletek is.

A konjunkcióval, diszjunkcióval és implikációval (egy-eggyel közülük egyedül) a többi művelet nem fejezhető ki (kivéve az implikációval a diszjunkció), hozzá kell vennünk mindegyikhez a tagadást (negációt) is *(3. táblázat)*.

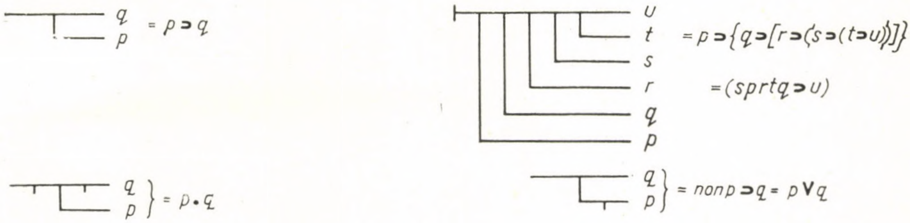
3. táblázat

Az egyes logikai műveletek kifejezése a többi logikai művelet által

	$p\cdot q$	$p\vee q$	$p\supset q$	$p\equiv q$	$p\not\equiv q$
Konjunkció és negáció	$p\cdot q$	$\overline{\bar p\cdot\bar q}$	$\overline{p\cdot\bar q}$	$\overline{p\cdot\bar q}\cdot\overline{\bar p\cdot q}$	$\overline{\overline{p\cdot\bar q}\cdot\overline{\bar p\cdot q}}$
Diszjunkció és negáció	$\overline{\bar p\vee\bar q}$	$p\vee q$	$\bar p\vee q$	$\overline{\overline{\bar p\vee q}\vee\overline{p\vee\bar q}}$	$\overline{\bar p\vee q}\vee\overline{p\vee\bar q}$
Implikáció és negáció	$\overline{p\supset\bar q}$	$\bar p\supset q$ $(p\supset q)\supset q$	$p\supset q$	$\overline{(p\supset q)\supset\overline{(q\supset p)}}$	$(p\supset q)\supset\overline{(q\supset p)}$

BRENTANO konjunkcióval és negációval, FREGE implikációval és negációval, RUSSEL diszjunkcióval és negációval dolgozta ki rendszerét. FREGE jelölései kétdimenziósak *(1. ábra)*, s ezért, noha nagyon is áttekinthetők és gyorsírásszerűen tömörek, soha nem akadtak követőkre.

Az *1. ábra* az alapműveleteket és a többszörös importáció egy példáját tünteti fel. A tagadást rövid függélyes vonalak jelölik.



1. ábra
FREGE „fogalomírása”

Az *1. táblázat* 10. és 11. oszlopában találjuk az *implikáció tagadását.* Ez például egy fontos fiziológiai folyamatot tükröz, a *gátlás*t (inhibició), amikor is egy bizonyos idegreakció (itt a művelet eredménye), amelyet (pl. a 11. oszlop szerint) a q ingernek kell felidézni, nem következhetik be egy másik inger (p) gátló hatása folytán. Négy értékpárja: $p = 1$, $q = 1$, nincs reakció, mert p jelen van és gátol; $p = 1$, $q = 0$, szintén nincs reakció; $p = 0$, $q = 1$, p nem gátol, de van q, s ekkor van reakció; végül $p = {}$ $= q = 0$, nincs gátlás, de q sincs, tehát ismét nincs reakció. A „kivétel” (excepció) elnevezés is szokásos a kapcsolástechnikában: „q működtet, kivéve, ha p megjelen”. (Jelölésére átvettük a gátló szinopszis fiziológiai jelölését.) Az implikáció tagadását konjunkcióval és tagadással is kifejezhetjük (10. oszlop), pl.: „Nem igaz, hogy ha e követ eleresztem, leesik” = „Eleresztem e követ, és nem esik le”.

Az *ekvivalencia tagadása* a már említett *kizáró diszjunkció (1. táblázat,* 12. oszlop). Funktora: $\not\equiv$. Jelölései közül fontos még az $\forall$, melyet BIRKHOFF alkalmazott.

Az $\forall$ jelnek csupán az a hibája — mint már említettük —, hogy kétértelmű, mert ugyanazt a jelet használják újabban az egyik kvantor jelölésére is (univerzális kvantifikátor, lásd 25. o.).

Az *1. táblázat* további négy oszlopának műveletei csak az egyik változótól függenek, az utolsó két oszlop műveletei pedig egyik változótól sem függenek.

Az egyes műveletek közti kapcsolatokról már szóltunk *(3. táblázat).* Az ítéletkalkulus néhány törvényét és azonosságát a *2. táblázat*ban soroltuk fel. Bizonyítások, levezetések esetén az azonosságok éppúgy kezelendők, mint pl. az algebrában; az egyik oldal helyébe a másik mindig behelyettesítható. Továbbá: az összetett ítéletek is ítéletek lévén, az egyes változók helyébe mindig behelyettesíthetünk bármily összetett ítéletet. Legegyszerűbb esete ennek az, ha pl. valamelyik változó helyébe annak tagadását tesszük; például $p \supset q = \bar{p} \vee q$ képletben p-t tagadjuk, kapjuk $\bar{p} \supset q = \bar{\bar{p}} \vee q = p \vee q$ azonosságot.

Hogy e műveletek és átalakítások nem csupán elvont, l'art pour l'art jelentőségűek, hanem gondolkozásunkban fontos szerepet játszanak, az alábbi példák mutatják: A következő implikáció: ,,Ha a cinket kénsavba teszem, akkor pezsgést látok'' ($p \supset q$), átalakítva $\bar{p} \vee q$ alakba: ,,Nem tettem kénsavba a cinket, vagy pezsgést látok'', ami szintén igaz, végül $\overline{p \cdot \bar{q}}$ alakban: ,,Nem igaz az, hogy cinket tettem a kénsavba és nem látok pezsgést''. A $p \vee q = \bar{p} \supset q$ azonosságra példa: valaki behoz a szobába egy csukott dobozt és kijelenti; ,,e dobozban van egy kutya vagy egy macska, tessék kitalálni mi van a dobozban, ha elárulom, hogy nincs benne kutya''. Mindenki, aki sohasem tanult logikát, azonnal rávágja, hogy ,,macska'', e következtetést pedig pontosan a $\bar{p} \supset q$ implikáció alapján tette meg (,,ha e dobozban nincs kutya, akkor e dobozban macska van''), de eljárását tudatosan nem ismeri, mint ahogyan a nyelvtant sem kell ismernünk ahhoz, hogy beszélni tudjunk.

Dualitás és inverzió. Az ítéletkalkulus $f(p, q, r, \ldots)$ függvényének *duál*ja: $f(\bar{p}, \bar{q}, \bar{r}, \ldots)$, pl. pq duálja $\overline{\bar{p}\,\bar{q}} = p \vee q$.

Az ítéletkalkulus $f(p, q, r, \ldots)$ függvényének tagadása (inverze): $\bar{f}(p, q, r, \ldots)$. Ha a tagadáson kívül csupán a konjunkcióra és diszjunkcióra szorítkozunk, akkor egy képlet *inverz*ét úgy kapjuk meg, hogy a változókat tagadjuk, a két funktort pedig egymással felcseréljük, például:

$$\overline{p \cdot q} = \bar{p} \vee \bar{q}\,, \quad \overline{p(q \vee r)} = \bar{p} \vee \overline{qr}\,.$$

A zárójelek pontozással való helyettesítéséről: A *P. M.* a zárjelek helyett pontozást vezetett be. Magasabbrendű zárójeleknek fokozatosan több pontból álló pontcsoport felel meg, s a képlet végeire eső zárójeleket nem kell pontokkal helyettesíteni. Ma már használata mindinkább gyérül, főleg azért, mert nem áttekinthető és egyesek, mint pl. CHURCH, másfajta pontozási rendszert használnak.

A normálalak. Bizonyítható, hogy az ítéletkalkulus bármily összetett kifejezése (képlete) visszavezethető az ún. normálalakokra. Kétféle normálalakot ismertetünk: 1. a konjunktív normalalakban a változók olyan tagokba csoportosulnak, amelyekben a változókat (vagy tagadásokat) diszjunkció köti össze, s az így kapott tagok pedig egymással konjunkcióban vannak; pl. $(p \vee q) \cdot (p \vee \bar{r} \vee s) \cdot (\bar{q} \vee s)$, 2. a diszjunktív normálalakban viszont a konjunkcióval kapcsolt változók (vagy tagadott változók) csoportjai vannak egymással diszjunkcióban; pl. $(p\bar{q}\bar{r}) \vee (\bar{r}s) \vee (\bar{p}\bar{q}\bar{s}) \vee p$. (Természetesen nincs értelme ugyanazt a tagot többször, a változók más sorrendjével is fölírni, valamint nem fordulhat elő egy tagban ugyanaz a változó többször, pl. állítva és tagadva is.)

Teljes normálalak (kitüntetett normálalak) a normálalak olyan változata, amelynek minden egyes tagjában a képlet *összes* változója szerepel; pl. $\bar{q}r(p \vee \bar{p})$ háromváltozós kifejezés teljes diszjunktív normálalakja: $p\bar{q}r \vee \bar{p}\bar{q}r$. Egy adott kifejezés teljes normálalakját úgy kapjuk meg, hogy a benne levő implikációkat és ekvivalenciákat a *2.* és *3. táblázat* átalakításaival konjunkciókká és diszjunkciókká alakítjuk, a zárójeleket és együttes tagadásokat szintén a táblázat segélyével felbontjuk, és addig végzünk átalakításokat, amíg a kívánt diszjunktív vagy konjunktív normálalakot meg nem kapjuk. Teljessé úgy tesszük a normálalakot, hogy a hiányos (diszjunktív, ill. konjunktív) tagokat kiegészítjük, pl. pq-ból $pqr \vee pq\bar{r}$ lesz háromváltozós kifejezés esetén. Ilyen eljárásra azonban nincs is szükségünk, mert van egészen gépies módszerünk is. (A teljes konjunktív normálalak alkalmazása ritkábban fordul elő.)

Teljes normálalak képzése algoritmussal. Algoritmusnak nevezzük az olyan sorozatos eljárást, amelyben a későbbi lépések az előzők eredményei. Példaképpen megadunk egy algoritmust, amelynek segítségével az ítéletkalkulus tetszőleges adott kifejezése teljes diszjunktív normálalakját meg lehet kapni. Legyen az adott kifejezés:

$$\overline{r\overline{(p \supset \bar{q})}} \supset (\bar{q}(p \vee r))$$

alakú, akkor a tagadásokat átírva $\neg$ funktorra és a konjunkció-pontokat is kitéve, a képletet a következő alakban írjuk fel (minden funktor és betű alatt oszlopnak hagyva helyet):

$\neg$	$(r$	$\cdot$	$\neg$	$(p$	$\supset$	$\neg$	$q))$	$\supset$	$(\neg$	q	$\cdot$	$(p$	$\vee$	$r))$
0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)

Először a változók oszlopába beírunk 1- és 0-kat oly módon, hogy a lehetséges ismétléses variációkat kapjuk meg a sorokban, tehát három változó esetén 8 sorunk lesz (két elemből képezett harmadosztályú ismétléses variációk száma $2^3 = 8$). Legegyszerűbb eljárás az, ha pl. r oszlopába 11110000, p oszlopába 11001100 és q oszlopába 10101010 kerül. A q $\neg$ tagadójelének oszlopába a q értékeinek ellenkezőjét írjuk (1 helyett 0-t, 0 helyett 1-et). A legbelső zárójeleken kezdve a feloldást, először $p \vee r$-t képezzük oly módon, hogy a $\vee$ jel (14) oszlopába írjuk a $p \vee r$ igazságértékeit soronkint (mindenhová 1-et, csak a két utolsó sorba 0-t, mert ott $p = r = 0$). Most felírhatjuk már a $\bar{q}(p \vee r)$ konjunkcióértékeit a pont alá, ezeket úgy kapjuk, hogy a $\neg$ (10) és a $\vee$ jel (14) oszlopainak értékeiből a konjunkcióértékeket kiszámítjuk (csak 1 és 1 ad 1-et, a többi zérust). Most rátérhetünk a $p \supset \bar{q}$ kiszámítására, a p (5) és $\neg$ (7) oszlopból, az előbbiekhez hasonlóan, csakhogy most csupán 1 és 0 esetén írunk 0-t, a többi esetben 1-et, a $\supset$ jel (6) oszlopába. Az így kapott értékek tagadását írjuk a $\overline{(p \supset \bar{q})}$ értékeinek szánt $\neg$ (4) oszlopba. Ez értékeknek még r-rel való konjunkcióját kell képeznünk r (2) és az $\neg$ (4) oszlop értékeiből, s beírni a pont (3) alá. A legelső oszlopba írjuk a pont (3) alatti értékek ellenkezőjét. Az utolsó lépés a két, zárójeles kifejezés közti implikáció műveletét elvégezni, tehát a két aláhúzott oszlop értékeinek megfelelő implikációértékeket beírni a vastag vonások közti oszlopba (főoszlop), s kapjuk az

11010100 értéksorozatot. Ily módon egy tetszőleges összetett ítélet értéktáblázatát megkaphatjuk. A képletünk által kifejezett ítélet tehát igaz a változók amaz értékcsoportjainál, amelyek a főoszlop 1-eseinek sorába esnek. Írjuk ki e sorokból a változók oszlopaiban levő értékeket, de mindjárt a változót magát az 1-esek és tagadását a 0-k helyébe, s ekkor kapjuk az első sorból pqr, a másodikból $p\bar{q}r$, a negyedikből $\bar{p}\bar{q}r$ és a hatodikból $p\bar{q}\bar{r}$ csoportot. A teljes diszjunktív normálalak tehát: $(pqr) \vee (p\bar{q}r) \vee$ $\vee (\bar{p}\bar{q}r) \vee (p\bar{q}\bar{r})$.

Vegyünk egy másik példát: bizonyítsuk be, hogy $(p \supset q) \equiv (\bar{q} \supset \bar{p})$, azaz igazoljuk a kontrapozíció törvényét.

$(p$	$\supset$	$q)$	$\equiv$	$(\neg$	q	$\supset$	$\neg$	$p)$
1	1	1	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0

Azt az eredményt kapjuk kifejtésünk során, hogy képletünk a változók bármely értékcsoportjánál igaz (a főoszlopban csupa 1-es áll). A teljes diszjunktív normálalakjában minden variáció szerepel: $pq \vee p\bar{q} \vee \bar{p}q \vee \bar{p}\bar{q}$. Ilyenkor a kifejezést (képletet) *tautológiá*nak vagy *logikailag igaz*nak nevezzük. Azt is látjuk, hogy adott számú változó mellett minden tautológia teljes normálalakja ugyanaz, pl. minden kétváltozós tautológia teljes diszjunktív normálalakja azonos. A teljes konjunktív normálalak ilyenkor „megsemmisül", azaz egyetlen tagja sincsen.

A következő példa azt az esetet mutatja be, amikor a főoszlopban csupa zérust kapunk.

$(p$	$\supset$	$q)$	$\cdot$	$\neg$	$(\neg$	p	$\vee$	$q)$
1	1	1	0	0	0	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0

Ilyenkor a kifejezés *ellentmondó (kontravalid)* vagy *logikailag hamis.* Ilyenkor a teljes diszjunktív normálalaknak nincs egy tagja sem, viszont a teljes konjunktív normálalaknak van meg minden lehetséges tagja.

Az első példánk azt a harmadik lehetőséget mutatja be, amikor a főoszlopban talált igazságértékek vegyesen 1- és 0-ok. Ekkor a kifejezést *kontingens*nek nevezzük.

Most már megmondhatjuk, hogy értéktáblázatunkból *(1. táblázat)* is felírhatjuk az abban szereplő műveletek diszjunktív normálalakját, pl. az implikáció, $p \supset q$ teljes diszjunktív normálalakja: $pq \vee \bar{p}q \vee \bar{p}\bar{q}$, melyet az első két oszlop és az implikáció-oszlop egybevetésével („főoszlop", az implikáció oszlopa) beláthatunk.

Képletsorozatunk *(2.* és *3. táblázat)* valamennyi azonosságát a fenti kifejtéssel igazolhatjuk. Fejtörést talán éppen a legegyszerűbbek *(2. táblázat,* 20. csoport) okoznak. Például a $p \vee \bar{p} = 1$ azért igaz, mert kifejtésében csak 1, 0 és 0, 1 szerepel, márpedig $1 \vee 0$ és $0 \vee 1$ mindegyike igaz.

$1 \supset p = p$ szintén igaz, mert p-be csak 1-et vagy 0-t helyettesíthetünk; az első esetben igaz, a másik esetben hamis az eredmény, de mindig ugyanaz, ami p. A fent leírt algoritmus csak akkor igényel sok papírt, ha nagyon sok a változó. Ilyenkor, a lépésenkénti átalakításokkal sokszor rövidebb úton is eredményhez jutunk.

Ha az algoritmus-táblázatból csak a változók oszlopait írjuk ki, akkor egy ,,igazságfüggvény'' táblázatát kapjuk. Példaképpen az előző kifejezés esetén:

p	q	r	$\overline{r(\overline{p \supset \bar{q}})} \supset (\bar{q}\,(p \vee r))$
1	1	1	1
1	1	0	0
1	0	1	1
0	1	1	0
0	1	0	0
0	0	1	1
0	0	0	0

Általános alakban:

p	q	r	s . . .	$f(p, q, r, s, \ldots)$
1	1	1	1 . . .	0
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	0	0	0
.	.	.	. . . .	.
.	.	.	. . . .	.
.	.	.	. . . .	.
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1

Minden ítélet, az ítéletkalkulus bármely kifejezése igazságfüggvény, melynek értéke csak 1 vagy 0 lehet.

Kitűnik azonnal, hogy a függvénytáblázatban n változó esetén 2^n sorunk van (két elemből az n-ed osztályú ismétléses variációk száma 2^n). Mármost könnyen eldönthetjük, hogy n változó esetén egyáltalán hány igazságfüggvény lehetséges. Minden sorhoz ugyanis csak kétféle függvényérték tartozhat, 1 vagy 0. A táblázat f oszlopának 2^n tagja van, tehát az f oszlop annyiféle lehet, ahány 2^n-es osztályú ismétléses variáció van két elemből, tehát 2^{2^n}. Tehát ennyiféle n-változós ítélet lehetséges. $n = 1$ esetén 4, $n = 2$-nél 16, $n = 3$-nál 256, $n = 4$-nél 65 536, $n = 5$-nél 4 294 967 296, $n = 6$-nál 18 446 744 073 709 551 616.

A táblázatok mutatják, hogy az igaz és hamis legrégibb (*Boole*-féle) jelölése 1- és 0-val felismeréstechnikailag is talán a legszerencsésebb. Ugyanis a két jel közt semmi hasonlóság sincsen (csak magasságuk és vonalvastagságuk egyezik), nincsenek egyező vonalelemeik sem s így jól elkülönülve egymástól, semmiképp sem téveszthetők össze s a táblázat messziről is jól áttekinthető.

Műveletek teljes diszjunktív normálalakokkal. Ha a normálalak van adva, akkor tagadását úgy képezzük, hogy egyszerűen felírjuk a hiányzó tagokat, például

$$\overline{pq \vee \bar{p}q \vee \bar{p}\bar{q}} = p\bar{q}.$$

Ugyanazon változókat tartalmazó két teljes diszjunktív normál alakot úgy szorzunk (helyesebben konjunkcióba hozunk), hogy csupán a közös tagokat tartjuk meg, a többit elhagyjuk. Két teljes diszjunktív normál alak diszjunkcióját úgy képezzük, hogy összes tagjaikat megtartjuk, de a kétszer előfordulókat csak egyszer írjuk föl. Az implikációt úgy kezeljük, mint a diszjunkciót, de az előtagot előzetesen tagadjuk. Ha n_1 az egyik, n_2 a másik normálalak, akkor

$$(n_1 \equiv n_2) = (n_1 n_2 \vee \bar{n}_1 \bar{n}_2) \text{ és } (n_1 \not\equiv n_2) = (n_1 \bar{n}_2 \vee \bar{n}_1 n_2) .$$

Az utóbbi műveletek is elvégezhetők egy lépésben. Ha ugyanis a teljes diszjunktív normálalakot az algoritmus főoszlopával adjuk meg (azaz a függvény lehetséges értékeinek sorozatával), akkor a két főoszlopon ugyanúgy végzünk el bármely műveletet, mint ahogyan eddig végeztük két oszlop közt. Például az alábbi táblázatban két háromváltozós függvény (F, G) főoszlopait és az ezekből kapott eredményoszlopokat *lefektetve* írtuk le (ezáltal mint biner számok, egyúttal „leltári számai" is a megadott háromváltozós függvényeknek):

$$F = 0\,1\,0\,0\,1\,1\,0\,0\,,$$
$$G = 1\,1\,0\,0\,1\,0\,1\,0\,.$$

$$(F \cdot G) = 0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,, \qquad (G \supset F) = 0\,1\,1\,1\,1\,1\,0\,1\,,$$
$$(F \vee G) = 1\,1\,0\,0\,1\,1\,1\,0\,, \qquad (F \equiv G) = 0\,1\,1\,1\,1\,0\,0\,1\,,$$
$$(F \supset G) = 1\,1\,1\,1\,1\,0\,1\,1\,, \qquad (F \not\equiv G) = 1\,0\,0\,0\,0\,1\,1\,0\,.$$

1.11. AZ ITÉLETKALKULUS ALKALMAZÁSA A KAPCSOLÁSTECHNIKÁBAN

Képzeljünk el valamely huzalhálózatot, amelynek két kivezető pontja van, s e két pont pl. egy lámpán keresztül egy telephez van kapcsolva. A huzalokba tetszés szerint záró vagy bontó kapcsolók vannak iktatva, amelyekkel a huzalok folytonossá tehetők, illetőleg megszakíthatók.

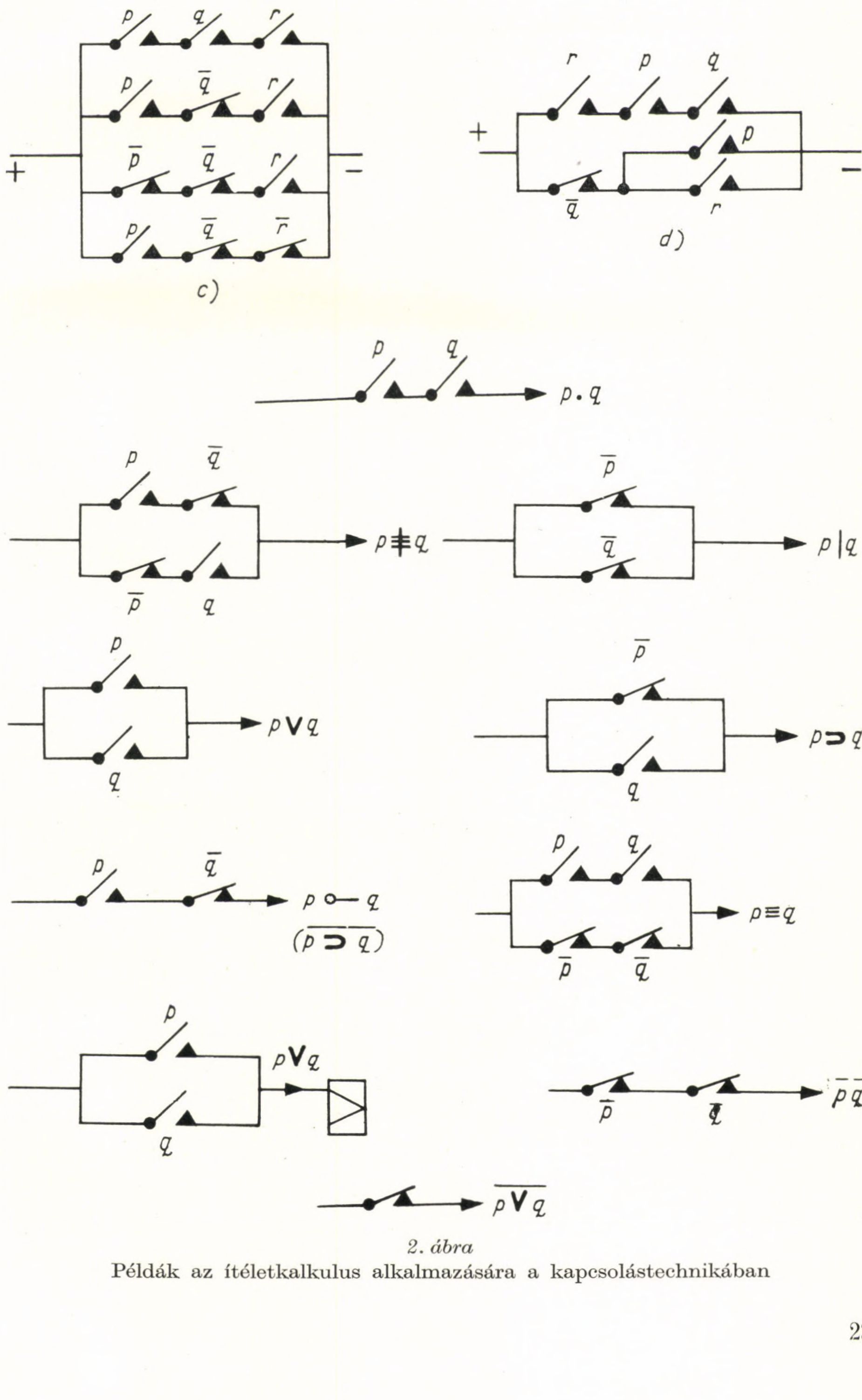
A nyugalmi helyzetben nyitott érintkezőt (kontaktust) *zárónak* nevezzük és egyszerű kisbetűvel jelöljük, a nyugalomban vezető érintkezőt *bontónak* nevezzük és felülhúzott kisbetűvel jelöljük. Ha az érintkezőket relékkel működtetjük, akkor nevezzük e reléket sorra R_1, R_2, R_3, R_4-nek, és azt az állapotot, mikor a relé áram alatt van és érintkezőjét (illetőleg érintkezőit) működteti, 1-gyel, árammentes, nyugalmi állapotát pedig 0-val jelöljük *(2a ábra)*. Az ítéletkalkulus analógiája a „kapcsolásalgebrá"-val mármost abban áll, hogy soros kapcsolásnak konjunkció, párhuzamos

R_1	R_2	R_3	R_4
1	0	1	1

a)

b)

2. ábra



2. *ábra*
Példák az ítéletkalkulus alkalmazására a kapcsolástechnikában

kapcsolásnak diszjunkció felel meg a fenti körülmények között, hozzávéve még, hogy a lámpa égő állapotát is 1-gyel jelöljük, árammentes állapotát pedig 0-val. A *2b ábrán* feltüntetett egyszerű kapcsolásban a lámpa csak akkor világít, ha r_1-, r_3-, r_4-et bekapcsoljuk, és $\bar{r}_2$-t zártan hagyjuk, tehát reléik sorra 1, 0, 1, 1 állapotban vannak. Ez megfelel az $r_1\bar{r}_2r_3r_4$ konjunkciónak. Ezen az alapon mindjárt felrajzolhatjuk egyik példánk, a $\overline{r(p \supset \bar{q})} \supset$ $\supset (\bar{q}(p \vee r))$ kifejezés analogonját *(2c ábra)*. Azt is észrevehetjük, hogy a normálalak szerinti kapcsolást ugyan gépiesen azonnal felrajzolhatjuk, de e kapcsolás korántsem a legegyszerűbb.

A lámpának fel kell villannia, valahányszor egy párhuzamos ág vezetővé lesz. A hálózat lépésenkénti egyszerűsítésével a kapcsolók számát csökkenthetjük, míg végül a *2d ábrán* látható alakot kapjuk, amely kezdeti képletünk kissé egyszerűsített alakjának felel meg. A kapcsolások problémáiba itt nem mélyedünk bele, csupán az alapműveleteknek megfelelő kapcsolásokat tüntetjük fel a *2. ábrán*. Természetesen egyetlen relé elég pl. az összes p és $\bar{p}$ érintkezők működtetésére.

Az ítéletkalkulust talán „kétértékű változós, kétértékű függvények algebrájának" nevezhetnénk, és az „igaz", „hamis" elnevezések helyett csak az 1 és 0 külön jelentés nélküli konstansok mellett maradnánk, ez esetben e kalkulust az értelmes ítéletekre csak „alkalmaznánk", éppúgy, mint a kapcsolásokra stb. Az alkalmazás főfeltétele: egy képlet csak akkor tükrözi hűen a valóságos kapcsolást, illetőleg az értelmes ítéletet, ha a valóságos kapcsolásban, illetőleg az értelmes ítéletek közt ugyanazok a relációk állnak fenn, mint a képlet szimbólumai közt. Például két, soros záró kapcsolónak csak a konjunkció felel meg, de nem felel meg az implikáció. Az elő-tagban foglalt ítélet az utótagéhoz „diszparát" viszonyban van, semmi összefüggés nincs köztük, tehát ez az összetett ítélet sem igaz, sem hamis, hanem értelmetlen.

1.2. ÁLLÍTMÁNYKALKULUS

Az állítmánykalkulus a függvénykalkulus egy része. A függvénykalkulus a logikai függvényekkel, vagyis olyan függvényekkel foglalkozik, amelyek az „igaz" és „hamis" értékeket vehetik fel. Az állítmánykalkulusban csak egyváltozós logikai függvények szerepelnek. Az állítmánykalkulus magában foglalja az ítéletkalkulust, de ezen túlmenőleg az ítéletek belső szerkezetét is vizsgálja. Az ítéletek általában valamely „tárgynak" valamely tulajdonságát mondják ki, pl. „a fű zöld", „a kutya ugat". Ha az illető „tárgyból" csak egy van, akkor *szinguláris* (egyedi, egyéni) *ítélet*tel van dolgunk, pl. „Zoltán lovagol", ha csak egy bizonyos Zoltánt értünk alatta. E tulajdonneveket az *abc* elejéről vett kisbetűkkel jelöljük, és *egyéni (individuális) konstans*oknak nevezzük. Az ítélet többi, esetleg sokszavas része a tulajdonságot írja körül, e részt f, g, h betűkkel jelöljük, és *állítmánykonstans*nak nevezzük, ui. rendszerint egy betűvel egyfajta tulajdonságot foglalunk le (amennyiben a „konstans" is változna, ezt külön megmondjuk, s ekkor *függvényváltozó*nak nevezzük). A szinguláris ítéletet a következő alakban írjuk fel, pl.: $f(a), g(a), f(b)$ stb. (szokták zárójel nélkül is írni). Az $f(a)$ olvasása tehát „a-nak f tulajdonsága van", például: „Péter ember", „Zoltán bement a házba" stb. Az $f(a)$, $g(b)$ alakú ítéleteken természetesen az ítéletkalkulus minden műveletét végezhetjük, például: $f(a) \vee g(a)$ = „Aladár tanul vagy alszik", $f(a) \cdot f(b)$ = „Aladár és Zoltán tanul", $f(a) \supset g(b)$ = ,,Ha Aladár tanul, akkor Zoltán alszik", stb. Az egyén megadásához külön leírás még név esetén is szükséges, ha félreértés gyanítható; ha név nincs, akkor elkerülhetetlen, például ,,a = a bp.-i állatkert jelenlegi (dátum) wombatja" (ebből az erszényesből csak egy példányunk van).

Az $f(x)$, $g(x)$ alakú kifejezések azonban már nem ítéletek, hanem *ítéletfüggvények*. Az $f(x)$ olvasása pl. ,,x ember".

Kvantorok. Az $(x)f(x)$ kifejezés már ismét ítélet és így olvasandó: ,,minden x f tulajdonságú" vagy ,,minden x-re áll, hogy x-nek f tulajdonsága van". Az $\exists x f(x)$ szintén ítélet, és így olvasandó: ,,van olyan x, amely f tulajdonságú". (Már előre megjegyezzük, hogy bármi lehet tulajdonság, csak a létezés nem !)

Az (x) jelölés elnevezése ma is a legszélesebb körben ,,minden"-operátor (Alloperator, Allzeichen), az $\exists x$ jelölésé pedig a ,,lét"-operátor (existence operator, Seins-Zeichen), de kezd elterjedni a nagyon is hosszú ,,univerzális kvantifikátor" és ,,egzisztenciális kvantifikátor" elnevezés is; szerencsésen elterjedt azonban a rövid ,,kvantor" is, s így mi itt a rövid ,,minden-kvantor" és ,,lét-kvantor" elnevezéseket fogjuk használni. Az (x) helyett a már említett $\mathsf{A}x$ is használatos, előnyének tartják egy zárójel(pár) megtakarítását. De a húzandó vonalak száma a zárójel(pár)-nál csak kettő, az $\forall$-nál pedig három, tehát az utóbbi éppen a megtakarítás szempontjából hátrányos.

Az x-ek individuum-tartományát (J) előre meg kell adni, pl. legyen $f(x)$ = ,,x egy hegy Magyarországon", akkor ,,a Badacsony egy hegy Magyarországon" egy igaz ítélet. Ha J a fizikai testek tartománya, akkor pl. ,,kabátom egy hegy Magyarországon" egy értelmes, de hamis ítélet, mert a kabátom is fizikai tárgy. De pl. ,,Napóleon győzelmeit", nem lévén fizikai test, x-be helyettesítve sem igaz, sem hamis ítéletet, hanem értelmetlenséget kapunk. Ha pl. J a természetes számok halmaza, és $f(x)$ legyen ,,x primszám", akkor $f(x)$ igaz ítéletet szolgáltat, ha x helyébe bármely primszámot helyettesítünk; hamis, ha bármily más természetes számot helyettesítünk, és értelmetlen, ha pl. törtszámot helyettesítünk be. Példánkban $(x) f(x)$ nem igaz, de $\exists x f(x)$ igaz.

Ha kvantoros kifejezést tagadunk, elég a kvantort fölülhúzni. Az $\exists x$ és (x) kvantor közt a következő, közvetlenül is belátható azonosságok állnak fenn (melyeket később mint transzformálási szabályokat értékesíthetünk): $\overline{\exists x}\, f(x) = (x)\, \overline{f(x)}$, azaz ,,nincs olyan x, amely f (tulajdonságú)" = ,,minden x nem f". (A köznyelv megszokottabb kifejezése: ,,egy x sem f".) $\exists x\, f(x) = \overline{(\bar{x})\, \overline{f(x)}}$, azaz: ,,van olyan x, amely f" = ,,nem minden x nem f"; $(x)\, f(x) = \overline{\exists x\, f(x)}$, azaz: ,,minden x f" = ,,nincs olyan x, amely nem f"; végül $(\bar{x})\, f(x) = \exists x\, \bar{f}(x)$, azaz: ,,nem minden x f" = ,,van olyan x, amely nem f". E képletek segítségével a kvantor nagációja kiküszöbölhető.

Abban a speciális esetben, melyben az egyén-tartománynak csak egyetlen eleme van: $(x)\, f(x) = \exists x\, f(x)$.

A kvantorban megjelölt változót *kötött változó*nak nevezzük, s ez azt jelenti, hogy amíg a kvantor a képlet előtt áll, addig nem lehet x-be egyéni értéket behelyettesíteni, pl. nincs értelme $(x)\, f(\bar{x})$-ben x helyébe a-t helyettesíteni.

Néhány szó a kvantoros kifejezésekkel való műveletekről. Ha például $f(x)$ jelentése: ,,x ember" és $g(x)$ jelentése: ,,x jóindulatú", akkor $\exists x \big(f(x) \cdot \cdot g(x) \big)$ jelentése: ,,van olyan ember, aki jóindulatú". Látjuk, hogy itt már nem egyének, hanem osztályok kapcsolatait fejezzük ki. (Az individuum-tartomány e példákban lehet pl. az élőlények kategóriája.) De $\exists x\, f(x) \cdot \exists x\, g(x)$ mást jelent: ,,vannak emberek és vannak jóindulatú (élőlények)''. $\overline{\exists x}\big(f(x) \cdot g(x)\big) =$,,egy ember sem jóindulatú''; $\overline{\exists x}\big(f(x) \cdot \overline{g(x)}\big) =$,,nincs rosszindulatú ember''. Az $(x)\big(f(x) \supset g(x)\big)$ jelentése: ,,minden x-re áll az, hogy amennyiben x ember, akkor x jóindulatú'', azaz röviden: ,,minden ember jóindulatú''.

Első pillanatra az előző hosszabb mondat nagyon nyakatekertnek tűnik: hát mégsem minden x-re áll a ,,minden'', hanem csak ,,amennyiben''? Annyi bizonyos, hogy rendes körülmények közt így nem gondolkozunk. E komplikáltság onnan ered, hogy a matematikai logikában arra törekszünk, hogy közös individuumtartományt használjunk különböző ítéletek esetében (pl. a ,,valami''-k osztályát), míg a természetes gondolkozás ítéletről ítéletre váltogatja az individuumtartományt. Például azt, hogy ,,a bálna emlős'' (pontosabban: ,,minden bálna emlős''), $(x)\, f(x)$ alakú ítéletnek tekintjük (,,minden x emlős''), ahol $f(x)$ jelentése ,,x emlős'' és az individuumtartomány a bálnák osztálya, tehát x csak bálna lehet. Nehézkes volna azonban pl. egy következtetés minden egyes premisszájában és konklúziójában más-más individuumtartományt használni. Ezért a következő fogáshoz folyamodunk. Ha egy $(x)\, f(x)$ alakú ítéletben (pl. ,,minden x emlős'') x valamely J individuumtartományon fut át (pl. a bálnák osztályán) és I egy bővebb individuumtartomány (pl. a ,,valami''-k osztálya), akkor ezt az ítéletet így lehet kifejezni olyan (x) kvantorral, amelyben x az I individuumtartományon fut át: $(x)\big(g(x) \supset f(x)\big)$, ahol $g(x)$ jelentése: x a (szűkebb) J individuumtartományhoz tartozik (szavakban: I minden x elemére áll az, hogy ha x a J-nek eleme, akkor $f(x)$, pl. ,,minden valami''-re áll az, hogy ha x bálna, akkor x emlős''). Valami hasonló átalakítást megtesz a köznyelv is: a ,,minden bálna emlős'' így is mondható: ,,Ha ez itt bálna, akkor ez itt emlős''. Hasonlóan, az $\exists x\, f(x)$ ítélet, ahol x a szűkebb J individuumtartomány elemét jelenti (pl. ,,van jóindulatú ember'', azaz ,,van jóindulatú x'', ahol x ember), így is kifejezhető a bővebb I individuumtartományra vonatkozó ítélettel: $\exists x\, \big(f(x) \cdot g(x)\big)$, ahol x az I individuumtartomány elemét jelenti és g(x) jelentése ismét: x a J-hez tartozik (pl. ,,van olyan valami, amely jóindulatú és ember is'').

Az $\exists x\big(f(x) \vee g(x)\big)$ jelentése: ,,van olyan x, melyre áll $f(x)$ vagy $g(x)$''.

Az $\exists x\big(f(x) \vee \overline{f(x)}\big)$, bármit is jelentsen az f, mindig igaz, viszont $\exists x\,\big(f(x) \cdot \overline{f(x)}\big)$ mindig hamis.

Expanzió. Ha az individuumtartománynak csak véges sok eleme van, akkor $\exists x\, f(x)$ csak akkor igaz, ha $f(a_1) \vee f(a_2) \vee f(a_3) \vee \ldots \vee f(a_n)$ igaz, ahol az a-k a behelyettesíthető egyének (individuumok) nevei. Az $(x)\, f(x)$ csak akkor igaz, ha $f(a_1) \cdot f(a_2) \cdot f(a_3) \cdot \ldots \cdot f(a_n)$ igaz. Ezt így is mondhatjuk: igaz a kvantoros kifejezés, ha az ítéletkalkulus szerinti *expanzió*ja igaz. A két kvantor közötti dualitást mutatja be az alábbi két azonosság:

$$f(a_1) \vee f(a_2) \vee \ldots \vee f(a_n) = \overline{\overline{f(a_1)} \cdot \overline{f(a_2)} \cdot \ldots \cdot \overline{f(a_n)}}\,,$$

$$f(a_1) \cdot f(a_2) \cdot \ldots \cdot f(a_n) = \overline{\overline{f(a_1)} \vee \overline{f(a_2)} \vee \ldots \vee \overline{f(a_n)}}\,.$$

Továbbá közvetlenül is belátható, hogy: $(x)\, f(x) \supset f(a)$, azaz: ,,Ha minden x-re áll f, akkor a-ra is áll'', és $f(a) \supset \exists x\, f(x)$, azaz: ,,Ha a f tulajdonságú, akkor van olyan x, amely f tulajdonságú''.

A kielégíthetőség kérdése. Kielégíthető valamely ítélet, ha lehet úgy értelmezni a benne szereplő függvényeket alkalmas individuumtartományon, hogy az ítélet igaz legyen; más szóval, ha az ítélet nem önellentmondó, azaz nem mindig hamis. Például $\exists x\,\big(f(x)\cdot\overline{g(x)}\big)$ kielégíthető, mert igaz lesz, ha pl. $f(x)$ azt jelenti, hogy x ember, $g(x)$ pedig azt, hogy x jóindulatú (és az individuumtartomány pl. az élőlények osztálya), ugyanis vannak rosszindulatú emberek. Ezzel szemben $\exists x\,\big(f(x)\cdot\overline{f(x)}\big)$ mindig hamis, tehát nem elégíthető ki. Több ítélet egyszerre (együttesen, szimultán) kielégíthető, ha nemcsak külön-külön kielégíthetők, hanem lehet úgy értelmezni a bennük szereplő függvényeket egy közös individuumtartományon, hogy mindegyik igaz legyen. Például $\exists x f(x)$ és $\exists x\,\overline{f(x)}$ egyszerre kielégíthetők ($f(x)$ jelentése lehet pl. ,,x jóindulatú'', az individuumtartomány az emberek osztálya, ekkor van olyan x individuum is, amelyre $f(x)$ igaz, olyan is, amelyre $\overline{f(x)}$ igaz, a két individuumnak ui. nem kell megegyeznie), de $(x)\,f(x)$ és $(x)\,\overline{f(x)}$, bár külön-külön kielégíthetők, de egyszerre nem. Azt a problémát, hogy mely ítéletek kielégíthetők, *eldöntésproblémának* nevezzük.

*Az állítmánykalkulus többváltozás kifejezései. Atomkifejezések*nek nevezzük az $f(x)$, $g(x)$, $f(y)$ alakú képleteket. Atomkifejezésekből igazságfüggvények segítségével egyváltozás logikai függvényeket is képezhetünk, pl. $f(x) \supset g(x)$, $g(y) \vee h(y)$, de többváltozásokat is, pl. $f(x) \supset g(y)$. Az ily módon, akár az igazságfüggvények többszörös alkalmazásával képezett kifejezéseket *nyílt kifejezések*nek nevezzük, pl. $f(x) \supset \big(g(x) \vee h(y)\big)$. Logikai kifejezések úgy is keletkezhetnek, hogy kvantorokat is alkalmazunk, pl. $\exists x\,\big(f(x) \supset g(y)\big)\cdot(x)\,f(x) \supset \big((y)\,f(x) \vee \exists y\,h(y)\big)$. Ha ezáltal minden változó kötött változó lesz, mint a második példában, akkor *zárt kifejezés*ről beszélünk. Az első példában y még szabad változó, ezért $\exists x\,(f(x) \supset g(y))$ nem zárt kifejezés. Ezzel szemben $\exists x\,\exists y\,\big(f(x) \supset g(y)\big)$ már zárt kifejezés, és így olvasandó: ,,van olyan x és van olyan y úgy, hogy ha x-nek f tulajdonsága van, akkor y-nak g tulajdonsága van''. Ha $f(x) =$,,x piros'' és $g(y) =$,,y kerek'', akkor $\exists x\,\exists y\,\big(f(x)\cdot g(y)\big) = \exists x\,f(x)\cdot\exists y\,g(y) =$,,van valami, ami piros és van valami, ami kerek'' (individuumtartomány a ,,valamik'' osztálya), ellenben $\exists x\,\big(f(x)\cdot g(x)\big) =$,,van valami, ami egyszerre piros és kerek''. Ugyanígy $\exists x\,\exists y\,\big(f(x) \vee g(y)\big) = \exists x\,f(x) \vee \exists y\,g(y)$. Ha a képlet elején csak egyféle kvantorok szerepelnek, akkor azok sorrendje felcserélhető; pl. $(x)\,(y)\,f(x, y) = (y)\,(x)\,f(x, y)$. Vegyes kvantorok sorrendjének megváltoztatása azonban az értelmet is megváltoztatja. Ha pl. $f(x, y)$ jelentése az, hogy ,,y nagyobb, mint x'' (relációkalkulusbeli példa), akkor $(x)\,\exists y\,f(x, y)$ igaz ítélet, mert ,,minden x-hez van olyan y, amely x-nél nagyobb'', ellenben $\exists y\,(x)\,f(x, y)$ hamis ítélet, mert az, hogy ,,van olyan y, amely minden x-nél nagyobb'' nem igaz (az individuumtartomány a természetes számok osztálya). De felcserélhető a vegyes kvantorok sorrendje is, ha a függvény egyváltozós függvényeknek például a következő kapcsolata: $\exists x\,(y)\,\big(f(x)\cdot g(y)\big) = (y)\,\exists x\,\big(f(x)\cdot g(y)\big) = \exists x\,f(x)\cdot(y)\,g(y)$.

Ilyen és ehhez hasonló átalakítások révén (a bizonyítást mellőzzük) olyan normálalakot hozhatunk létre, amelyben az összes kvantorok a képlet elején állnak, s utánuk már kvantornélküli képlet áll, amelyre a kvantorok vonatkoznak, a „mag". Az egész képlet az ún. *prenex normálalak*. Ha pedig ezenkívül minden létkvantor a mindenkvantorok előtt áll, az ún. *Skolem-féle normálalak* van előttünk.

(A prenex szó két okból is helytelen rövidítés: 1. a görögből átvitt latin „nex" hullát jelent s a nexus jelenti a viszonyt, 2. az előírásos magyar átíráskor a latin -um-us-is stb. végződést tilos levágni. Ugyanily okból a „normál" sem helyes.)

Az állítmánykalkulus néhány azonossága. Az $(x)\, f(x) \cdot (y)\, g(y) = (x)\big(f(x) \cdot g(x)\big)$ és $\exists x\, f(x) \vee \exists y\, g(y) = \exists x\, (f(x) \vee g(x))$ azonosságokban feltűnhet az y változó eltűnése. Az első azonosság az (x) kvantor helyébe tett $\exists x$ kvantorral nem áll, a második meg „minden" kvantorral nem áll. A következő implikációk csak a megadott irányban állnak:

$$(x)\big(f(x) \supset g(x)\big) \supset \big((x)\, f(x) \supset (y)\, g(y)\big),$$

és

$$\big(\exists x\, f(x) \supset \exists y\, g(y)\big) \supset \exists x\big(f(x) \supset g(x)\big).$$

Ha p ítélet (amely egyébként bármily összetett lehet) független x-től, akkor a következő azonosságok érvényesek:

$$p \cdot (x)\, f(x) = (x)\big(p \cdot f(x)\big),$$
$$p \vee (x)\, f(x) = (x)\big(p \vee f(x)\big),$$
$$p \supset (x)\, f(x) = (x)\big(p \supset f(x)\big),$$
$$p \supset \exists x\, f(x) = \exists x\big(p \supset f(x)\big),$$
$$(x)\, f(x) \supset p = \exists x\big(f(x) \supset p\big),$$
$$\exists x\, f(x) \supset p = (x)\big(f(x) \supset p\big).$$

Ezek átalakítások sorával bizonyíthatók. Példa kedvéért bizonyítsuk be az utolsót abban az esetben, amikor az individuumtartomány véges számú elemből áll, expandálás segítségével is. Egyszerűség kedvéért az individuum tartománynak csak két eleme legyen: $f(a) = q$ és $f(b) = r$ (természetesen több elem esetén is ugyanígy megy a bizonyítás, csak hosszadalmasabb). Ekkor expandálással: $\exists x\, f(x) = q \vee r$, $\exists x\, f(x) \supset p = (q \vee r) \supset p$, $(x)\big(f(x) \supset p\big) = (q \supset p) \cdot (r \supset p)$. Elegendő tehát megmutatnunk, hogy $(q \vee r) \supset p = (q \supset p) \cdot (r \supset p)$. E képlet függvénytáblázatát felírva látjuk, hogy a jobb- és baloldal normálalakja egyenlő, az azonosság tehát fennáll. Ez az egyszerű levezetés egyben egy speciális eset annak bemutatására, hogy véges individuumtartomány esetén hogyan oldható meg az eldöntésprobléma az állítmánykalkulus esetében.

A fenti azonosság szóbeli példája: ha egy kosárban van olyan alma, amely férges, akkor mondjuk, csengetünk; ez azt jelenti, hogy a kosár minden almájára áll az, hogy amennyiben férges, csengetünk.

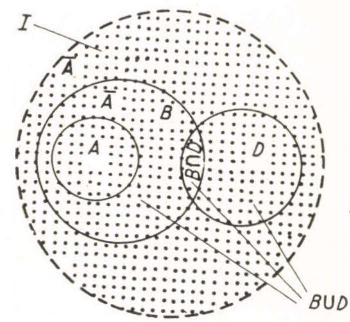
1.3. NÉHÁNY SZÓ AZ OSZTÁLYKALKULUSRÓL

Az állítmánykalkulusban, mint láttuk, az $f(x)$ valamely tulajdonságot nevez meg. Mindamaz egyének (individuumok, „tárgyak"), melyeknek ugyanaz a tulajdonságuk van, ezáltal egy „gyűjteménybe" csoportosulnak. Az ilyen csoportokat *osztály*oknak nevezzük, a ,,tárgyakat'' pedig az *osztály elemei*nek. Van olyan osztály is, amelynek csak egy eleme van (pl. az ateista fáraók osztálya csupán Khu-en-Aton-t tartalmazza). Az üres osztálynak egyetlen eleme sincs (pl. a kettőnél nagyobb páros primszámok osztálya, az élő krioszfinxek osztálya stb.).

Megjegyzendő: a sárkányok, krioszfinxek alkothatnak osztályokat, mint ,,mesealak'', ,,mitológiai alak'', csak mint ,,valóban létezett lények'' nem.

Azt, hogy pl. a individuum eleme az A osztálynak, ezt az ítéletet a következő módon jelöljük: $a \in A$.

Peano a görög *abc* nálunk is használatos kis epszilonjával jelölte a fenti relációt, ma elterjedtebb a görög kis *abc* epszilonjának ún. groteszk alakja. Az $a, b, c, \in A$ rövidítés az $a \in A, b \in A, c \in A$ helyett; látjuk, hogy a vessző itt pontosan megfelel a több alany közé tett nyelvtani ,,és''-nek, ugyanis a több mondattá való szétválasztás szabálya ugyanaz.



3. ábra
Osztályok ábrázolása körökkel

Azt az osztályt, amelyet az $f(x)$ tulajdonság (fogalom, predikátum) kijelöl, $\hat{x}\, f(x)$ -szel jelöljük és olvasása: ,,azon x-ek, amelyek $f(x)$-et kielégítik''. Mondható még, hogy ,,az $f(x)$ fogalom terjedelme az $\hat{x}\, f(x)$ osztály''. Azt, hogy x nem eleme az A osztálynak, így jelölik: $x \notin A$, vagy pedig $\overline{x \in A}$.

Az osztálykalkulus műveletei. Az osztályokat Leibniz óta ábrázolják körök által bezárt területekkel (3. ábra). A körön belül levő pontok az osztály elemeit ábrázolják. Ha egy osztályt jelölő képletet pl. A-t felülhúzzuk, akkor $\bar{A}$ jelöli az A *komplementer*jét, azaz azon x-ek osztályát, amelyek nem elemei az A-nak, tehát az ábrán az A területen kívül eső területet. *Kétszeres komplementálás* révén újra A-t kapjuk meg: $\bar{\bar{A}} = A$. A $B \cap D$ osztály ,,metszet, interszekció, szorzat'', jelenti azt a területet, amely a B és D körlapok mindegyikéhez hozzátartozik, illetőleg azon elemek osztályát, amelyek e területbe esnek. A $B \cup D$ osztály ,,egyesítés, unió, összeg'' a B és D osztályokban foglalt összes elemek együttesét jelenti, s megfelel neki a B és D körök által bezárt egész terület. Az $A \subset B$ ítélet ,,inklúzió, szubszumció'' jelenti azt, hogy A *valódi része* B-nek, pl. ha A a cápák osztálya és B a halak osztálya, akkor a cápák a halak osztályába is tartoznak, de viszont nem. Ha megengedjük, hogy $A = B$ is lehessen, akkor a $\subseteq$ jelölést használjuk, vagyis A része B-nek.

Az utóbbi jeleket, kissé más alakban (az egyenlőségjel a kampóba volt írva) Schröder használta először, egyúttal az implikáció jelölésére is.

Hangsúlyozzuk, hogy az $a \in A$, $A \subset B$, $A \subseteq B$ kifejezések ítéletek, míg a $B\cap D \cup$, $B\,D$, $\bar{A}$ stb. kifejezések osztályok; az ítéletek lehetnek igazak vagy hamisak, az osztályok ellenben vannak (azaz van elemük) vagy nincsenek (azaz nincs elemük); pl. $B \cap D \neq 0$: ,,B és D szorzata van'',

$\bar{A} = 0$: „A komplementerje nincsen". A funktorok elnevezései szerencsére a magyarban is találóak és rövidek: $\cap$ kapu, $\subset$ kupa, $\subset$ kampó. A kampóval jelölt művelet tranzitív, mint pl. az implikáció, vagy az algebra $<$ jelű relációja (COUTURAT az utóbbival jelölte mind az implikációt, mind az inklúziót), tehát $(A \subset B) \cdot (B \subset E) \supset (A \subset E)$, pl. A a cápák, B a halak, E a gerincesek osztálya. Ezzel szemben az $\in$ reláció nem tranzitív; pl. Pál tagja a magyar nemzetnek, a magyar nemzet tagja az ENSZ-nek, és Pál mégsem tagja az ENSZ-nek.

A köznyelvben a metszet leggyakoribb alakja a jelzős főnév; pl. ha B = fehér dolgok, D = birkák, akkor $B \cap D$ = fehér birkák (l. *3. ábra*). Ha B = áttetsző anyagok, D = csiszolt anyagok, G = kövek, akkor $B \cap D \cap G$ = áttetsző csiszolt kövek. BOOLE figyelmeztet rá, hogy a szavak közé tett „és" uniót is jelenthet, pl. „Megetette a lovakat és teheneket." mondat nem azt jelenti, hogy csak azokat a lovakat etették meg, amelyek egyben tehenek is (metszet), hanem minden lovat és tehenet (unió).

Az unióra további példa: ha B a szerecsenek osztálya, D a mohamedánok osztálya, akkor $B \cup D$ olyan osztály, amelynek minden szerecsen és mohamedán „eleme", beleértve a mohamedán szerecseneket is. A komplementum egy példája: ha A-val jelöljük a dohányzókat, akkor $\bar{A}$ jelenti a nemdohányzókat.

Az ítéletkalkulus és az osztálykalkulus műveleti szabályai mindaddig, míg az előbbinek változói ítéletek, utóbbié osztályok, teljesen megegyeznek, úgyhogy a régebbi szerzők, pl. BOOLE a műveletek számára mindkét kalkulusban ugyanazon jeleket alkalmazták. Ezzel találkozunk HILBERT—ACKERMANN munkájában is azzal az eltéréssel, hogy olyan kifejezések esetében, amelyekben egyszerre fordulnak elő a kétféle kalkulus műveletei, az osztályokat függélyes tárjelek közé kell tenni. Még a mai logikusok is úgy említik az osztálykalkulust, mint az ítéletkalkulus egy másik interpretációját. Itt ugyanis nemcsak valami külső felületes analógiáról van szó, hanem gondolkozásunk egy mélyebb törvényéről.

BOOLE találóan jellemzi a primer (osztályok relációiból előálló) ítéletek és a szekunder (ítéletekből képzett) ítéletek közti különbséget. Az előbbiek térbeli, az utóbbiak időbeli relációk kifejezései voltak eredetileg. Időhatározói eredetre mutat még ma is az implikáció „akkor" kötőszava; a konjunkcióban: pq igaz, ha p és q „egyszerre" igaz; a diszjunkcióban: $p \vee q$ hamis, ha p és q „egyszerre" hamis, az „egyszerre" eredetileg „egyidőben"-t is jelentett és jelent ma is oly ítéletekben, amelyek jelenségek lefolyását írják le.

A két kalkulus műveleteinek topológiai ábrázolása is egyezik. Például az $A \subset B$ ábrázolását alkalmazhatjuk a $p \supset q$ ábrázolására is: az $A \cap B$, $\bar{A} \cap B$, $\bar{A} \cap \bar{B}$ területekre pq, $\bar{p}q$, $\bar{p}\bar{q}$ jelöléseket írva. Megjegyezzük még, hogy ugyanezen ábra az ok-okozat relációt (a p helyébe az okot, q helyébe az okozatot téve) és a -ban, -ben ragos típusú helyhatározói (a képes helyhatározókat is beleértve) relációkat is jól ábrázolja; pl. A a B-ben van, A a B állapotában van stb.

Az osztálykalkulus műveleteit a következő egyenlőségekkel definiálhatjuk:

$$\bar{A} = \hat{x}\,(x \in \bar{A}),\quad A \cap B = \hat{x}\big((x \in A)\cdot(\bar{x} \in B)\big),\quad A \cup B = \hat{x}\big((x \in A)\cdot(x \in B)\big)$$

$$A \subset B = (x)\big((x \in A) \supset (x \in B)\big) = (x)\big(f(x) \supset g(x)\big).$$

Ezek az előbbiek alapján már semmi külön magyarázatra nem szorulnak.

A köznyelvben a szubszumció alakú ítéletekben nem szoktuk kitenni a „minden" jelzőt s így igen gyakoriak pl. „a sas ragadozó" alakú ítéletek. Minthogy a fordítógép feladata az ilyen ítéletek logikájával is megbí ćzni, foglalkozunk kell ezekkel is.

Az ilyen ítéletek logikai váza lehet $A \subset B$ de lehet $a \in B$ is, az ítélet a szövegben megelőző ítéletektől függ; pl. ,,a kertbe befutott egy macska és egy kutya. *A* kutya fekete''; nyilvánvaló, hogy a második mondatban ,,ez a kutya'' és nem ,,minden kutya'' értendő, és a fordítógép csak akkor ,,érti'' meg a szöveget, ha a fenti kiegészítést pótolni tudja.

Az üres osztály. Ha egy $f(x)$ ítéletfüggvény x-nek minden megengedhető behelyettesítésére hamis ítéletet ad, akkor $\hat{x}f(x)$ az üres osztály. Eredeti jelölése a $\wedge$ jel volt, ma kezdik vastag körrel jelölni, tehát $\left(\hat{x}f(x) = \mathbf{o}\right) = \overline{\exists x}\, f(x)$.

Például ,,x zöld és nem zöld'' megadja az üres osztályt. Továbbá áll az, hogy $\mathbf{o} \subset A$, azaz az üres osztály része bármely osztálynak. Az arisztotelészi logika nem ismert üres osztályt, innét ered az eltérés az ő szillogisztikája és annak mai interpretációja között. (LUKASIEWICZ igazolta így Arisztotelészt mai vádakkal szemben.) De a mai logika, ha következetes akar maradni, nem nélkülözheti az üres osztályt. Az $(x)\, f(x)$ alakú ítéletek ugyanis nem tiltják azt, hogy x ne létezzen. Ha nincs egyetlen x sem, amely f tulajdonságú, akkor az $(x)\, f(x)$ igaz marad; pl. ,,e skatulyában minden golyó piros'' nem hazugság akkor sem, ha véletlenül nincs benne egy golyó sem, de ebben a speciális esetben $(x)\, f(x) = \exists x\, f(x) = \left(\hat{x}\, f(x) = \mathbf{o}\right)$. Ha ezzel nem törődnénk, gyönyörűen bebizonyíthatnánk, hogy pl. krioszfinxek léteznek: Legyen az x-ek individuumtartománya ,,a Napon élő lények''. Minthogy ez az osztály üres, a ,,minden élő lény a Napon krioszfinx'' igaz! Ha elfelejtjük, hogy ennek az az oka, hogy a Napon nincsenek élőlények, tévesen azt az eredményt kapjuk, hogy ,,van (legalább egy) krioszfinx!'' (l. még a ,,Következtetések'' c. fejezetet).

1.4. NÉHÁNY SZÓ A RELÁCIÓKALKULUSRÓL

A relációkalkulus a függvénykalkulus egy része, amely az individuumok közti relációkkal (viszony, viszonylat) foglalkozik. A reláció is ítélet és $f(x, y, z, \ldots)$ alakban írható. A kétváltozós (diádikus) reláció xRy alakban is szerepel. Egy relációt megadhatunk szóbeli leírással, pl. ,,x nagyobb mint y''; ,,x az y és z között van'' stb., de megadhatjuk az egymáshoz tartozó egyedek valamilyen kimutatásával. E kimutatás lehet: listaszerű felsorolás, matrixba rendezés, vagy nyílábra (családfa). Kétváltozós reláció esetén tehát listázzuk amaz x, y elempárokat, amelyekre az $f(x, y)$ reláció igaz. E párok tartománya lesz az $\hat{x}\hat{y}\, f(x, y)$ osztály. A matrixba rendezés egy példája: ha pl. csak a,a a,b b,c párok közt igaz az R reláció, akkor ilyen matrixot írhatunk fel:

$$\begin{array}{cccc} & a & b & c \\ a & 1 & 1 & 0 \\ b & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Ugyanezen reláció nyílábrája:

$$\begin{tikzcd} a \arrow[loop above] \arrow[r] & b \arrow[r] & c \end{tikzcd}$$

A relációk néhány általános tulajdonsága. Szimmetrikus a *reláció*, ha $xRy \supset yRx$; pl. x egyenlő y-nal; x házastársa y-nak (a következőkben leginkább rokoni kapcsolatokból merítünk példákat, ezek ugyanis közvetlenül világosak, hiszen ezeket mindenki jól ismeri). *Aszimmetrikus* a *reláció*, ha $xRy \supset y\overline{R}x$, pl.: „$x$ nagyobb, mint y"; „x felesége y-nak". Előfordulhat, hogy egy reláció se nem szimmetrikus, se nem aszimmetrikus, pl.: „x szereti y-t", ugyanis y vagy szereti x-et vagy nem. *Tranzitív* a *reláció*, ha $xRy \cdot yRz \supset xRz$, pl.: „$x$ északra fekszik y-tól". *Intranzitív* a *reláció*, ha $xRy \cdot yRz \supset x\overline{R}z$, pl.: „$x$ háromszorosa y-nak" (mert ha y is háromszorosa z-nek, akkor x kilencszerese z-nek). Előfordulhat, hogy egy reláció se nem tranzitív, se nem intranzitív, pl.: „x barátja y-nak", mert ha y is barátja z-nek, akkor még nem biztos, hogy x is barátja z-nek.

A korreláció-viszonyok kifejezik a reláció elő és utótagja közti mennyiségi kapcsolatot. „Egy-egy" kapcsolat áll fenn pl. az „x férje y-nak" relációban, azaz $R \in (1 \rightarrow 1)$, (az R reláció eleme az „egy-egy" kapcsolatú relációk osztályának). (A nyíl itt *nem* a *Hilbert*-féle implikációjel!) Ez esetben egy x-hez csak egy y tartozik. Az egy-több kapcsolatban $R \in (1 \rightarrow cls)$, egy x-hez több y tartozik, pl. „x apja y-nak" (*cls* = class, osztály, ti. egynél több elemből álló osztály). A kettő-több kapcsolat $R \in (2 \rightarrow \text{cls})$ példája: „x szülője y-nak". A több-egy kapcsolat esetén a zárójelben $cls \rightarrow 1$, a több-több kapcsolatnál $cls \rightarrow cls$ áll, utóbbira példa: „x nagyobb y-nál".

Néhány művelet kétváltozós relációkkal. Negáció : a matrixban levő zérusokhoz tartozó párok osztálya: $\dot{-}\, R = \hat{x}\hat{y}\,(x\overline{R}y)$, ahol a felülhúzás az xRy ítélet tagadását jelöli. Az egyedülálló R az R reláció tartományát jelenti, azaz a matrixban levő 1-esekhez tartozó párok osztályát. Két reláció *metszete* $R \dot{\cap} S = \hat{x}\hat{y}\,(xRy \cdot xSy)$ oly osztály, amelynek elemei a két reláció közös párjai. Két reláció *egyesítése* $R \dot{\cup} S = \hat{x}\hat{y}\,(xRy \vee xSy)$ olyan osztály, amelynek elemei azok a párok, amelyekre vagy xRy vagy xSy igaz. R és S *szubszumciója* $R \subset\!\cdot = (x, y)\,(xRy \supset xSy)$ olyan ítélet, mely kimondja, hogy minden párra áll, hogy amennyiben párja az R-nek, akkor párja az S-nek is, azaz: R az S-ben van, vagy még: xRy részviszonya xSy-nak.

További jelölések. Jelentse xRy pl.: „x bátyja y-nak", akkor $R'y$ jelentése: „amaz x, amely bátyja y-nak", $\overrightarrow{R'y} = \hat{x}\,(xRy)$ egyenlőség mindkét oldala „y bátyjai"-t jelenti, az $\overleftarrow{R'x}$, vagy másként $\hat{y}\,(xRy)$ pedig „x öccsei"-t jelenti. Fennáll tehát $x \in \overrightarrow{R'y} \equiv y \in \overleftarrow{R'x} \equiv xRy$. Az R reláció *konverzét* $\breve{R}$-rel jelöljük: $x\breve{R}y \equiv yRx$, pl.: ha „y apja x-nek", akkor „x fia y-nak", vagy pl. „y osztható x-szel (egészszámú eredménynyel)" konverze: „x többszöröse y-nak". Ha a reláció szimmetrikus, pl. „x testvére y-nak", akkor $\breve{R} = R$. Így pl. „implicite" megadhatunk valamely rokoni relációt, pl. ha xGy (vagy $G(x, y)$) azt jelenti, hogy „x gyermeke y-nak", és xHy (vagy $H(x, y)$) azt jelenti, hogy „x és y házastársak", és $F(x)$ jelentése: „x férfi", azután: $\overline{F}(x) =$ „x nő", akkor a következő képletben: $\exists z\,\big(H(y, z) \cdot G(z, x)\big) \cdot \overline{F}(x)$, amely így olvasandó: „van olyan z, akinek házastársa y, és szülője x, és e szülő nőnemű", — x az y anyósa. Természetesen az x akkor is anyósa y-nak, ha z a valóságban nincsen, azaz már meghalt. Azonkívül a képletek csak azt „tudják", amit megmond tunk róluk, pl. mindjárt mennyiségileg sem tudnak felvilágosítást adni: ahogyan a képlet ,,megengedi'', hogy egy apának több gyermeke lehet. ugyanúgy egy gyermeknek több anyja is lehet, y-nak több z házastársa lehet, az anyósok száma pedig még *egy* házastárs esetén sincs korlátozva.

Ezért meg kell még adni, hogy melyik korreláció-viszony tartozik a fenti relációkhoz. De mindez nem elég egy teljes ,,rokonságtan'' felépítéséhez. Csupán a biológiai és jogi fogalmak és relációk idevonatkozó teljes listája birtokában képezhetők pl. az ilyen ítéletek is: ,,a leány fiatalabb az anyjánál'', ,,ha van egy ember, kell, hogy apja is legyen (vagy lett légyen)'', ,,x fivére nem lehet x atyja, de x félfivére lehet x atyja (incesztus esetén)'', stb.

Láncolás. Bizonyos feltételek mellett két reláció láncolható, azaz az xRy és ySz relációkból egy új reláció, $xQz = x(R|S)z$ alakítható. Például: ,,x apja y-nak'' és ,,y szülője z-nek'' alapján ,,x nagyapja z-nek''. Az ,,x anyósa y-nak'' láncolással így írható: $x(A \mid H)y$, ha $zHy =$,,z házastársa y-nak'', és $xAz =$,,x anyja z-nek''. Azonkívül ,,y-nak az anyósa'' explicite is kifejezhető: A' $(H'y)$. Önmagával láncolt reláció pl. ,,x apai nagyapja z-nek'', ilyenkor az $A \mid A$ jelölést A^2-vel helyettesíthetjük. E példa intranzitív relációt mutat, mert a nagyapa nem apa. A ,,fivér'' reláció láncolása önmagával ,,aliotranzitív'' relációt ad, mert x fivérének a fivére lehet x-nek fivére, de lehet x önmaga is. Ha ,,x őse y-nak'', azaz xEy és xSz pedig ,,x szülője z-nek'', akkor $E = S \dot{\cup} S^2 \dot{\cup} S^3 \dot{\cup} \ldots$ A többváltozós relációkra elég legyen itt e két példa: $A\ (x,\ y,\ z) =$,,x adja y-nak z-t'', $M(x,\ y,\ z,\ p) =$,,x mondja y-nak z-ről p-t''.

Reláció lehet változója valamely logikai függvénynek: $\varphi(R)$, ilyenkor megadandó természetesen az R relációk tartománya, $\hat{R}\,\varphi(R)$ is. Reláció fennállhat osztályok közt is: $R(A,\ B)$, és relációk közt is: $R(P,\ Q)$.

A relációkalkulus természetesen nem csak a ,,rokonságtan''-nal foglalkozik. Az alkalmazott logika (s ebben a relációkalkulus is) kiterjed a tudományok minden ágára; a tüzetesebben vizsgált területek néhánya: halmazelmélet, aritmetika, geometria, fizika, ismeretelmélet, beszédanalízis stb.

1.5. KÖVETKEZTETÉSEK

A következtetés oly logikai művelet, melynek során megadott ítéletekből (premisszák) egy másik ítéletet (következményt, konklúziót) kapunk. *Dedukció* (levezetés) a hagyományos, de mai szemmel nézve egészen helyes definíció szerint az olyan következtetés, amelyben a következménynél általánosabb érvényű ítéletekből indulunk ki, míg az *indukció* a fordított utat követi. A dedukcióhoz okvetlen szükséges, hogy legyenek biztosan igaznak tekinthető kiinduló ítéleteink (axiómák, definíciók). Az indukció ezzel szemben egyes esetek csoportjából épít fel általános ítéleteket.

Deduktív következtetések. Már egyetlen premisszából is lehet következtetni, pl.: $\bar{\bar{p}}$-ből következik p; pq-ból következik p és q is. A következtetés egy-egy lépését már a klasszikus logika is vízszintes ,,tört''-vonással jelölte, a vonal fölött a premisszák (vesszővel elválasztva egymástól; a premisszák sorrendje tetszőleges), a vonal alatt a következmény áll, tehát a fenti következtetéseket így írjuk:

$$\frac{\bar{\bar{p}}}{p}, \quad \frac{pq}{p}, \quad \frac{pq}{q}.$$

Több lépésből álló levezetések esetén ajánlatos minden lépés mellé pl. szögletes zárójelben beírni, hogy hányas számú axiómából illetőleg definícióból vagy tételből indultunk ki és milyen behelyettesítést tettünk, azonkívül minden egyes lépést is számozni kell.

A *4. táblázat* a két és több ítéletből vonható következtetéseket sorolja fel.

4. táblázat

Az ítéletkalkulus néhány következtetésmódja

Vegyes hipotétikus szillogizmusok:

Modus ponens: $\dfrac{p,\ (p \supset q)}{q}$

Modus tollens: $\dfrac{(p \supset q),\ (p \supset \bar{q})}{\bar{p}}, \quad \dfrac{q, (p \supset \bar{q})}{\bar{p}}, \quad \dfrac{(p \supset q),\ \bar{q}}{\bar{p}}.$

Indirekt következtetés $\dfrac{(\bar{p} \supset q),\ (\bar{p} \supset \bar{q})}{p}, \quad \dfrac{q, (\bar{p} \supset \bar{q})}{p}, \quad \dfrac{(\bar{p} \supset q),\ \bar{q}}{p}.$

Tiszta hipotétikus szillogizmus (hipotétikus *Barbara*) $\dfrac{(p \supset q),\ (q \supset r),}{p \supset r}, \quad \dfrac{(p \supset q),\ (q \supset r)}{\bar{r} \supset \bar{p}}.$

Kontrapozíció: $\dfrac{p \supset q}{\bar{q} \supset \bar{p}}, \quad \dfrac{p \supset \bar{q}}{q \supset \bar{p}},$ összetett kontrapozíció $\dfrac{p \cdot q \supset r}{\bar{r} \cdot q \supset \bar{p}}.$

Modus tollendo ponens: $\dfrac{(p \vee q \vee r),\ \bar{p},\ \bar{q}}{r}.$

Modus ponendo tollens: $\dfrac{(p \dot{\vee} q \dot{\vee} r),\ p}{\bar{q},\ \bar{r}}$

Dilemmák:

Egyszerű konstruktív: $\dfrac{(p \supset q),\ (r \supset q),\ (p \vee r)}{q},$ egyszerű destruktív: $\dfrac{(p \supset q),\ (p \supset r),\ (\bar{q} \vee \bar{r})}{\bar{p}}.$

Komplex konstruktív: $\dfrac{(p \supset q),\ (r \supset s),\ (p \vee r)}{q \vee s},$ komplex destruktív: $\dfrac{(p \supset q),\ (r \supset s),\ (\bar{q} \vee \bar{s})}{\bar{p} \vee \bar{r}}.$

Egy klasszikus dilemma: $\dfrac{[p \supset (q \vee r \vee s)],\ \bar{q},\ \bar{r},\ \bar{s}}{\bar{p}}.$

A táblázatban a p, q, r, s ítéletek bármely összetett ítéleteket képviselhetnek. A klasszikus *modus ponens* nevű következtetésre példa: „Ha áram folyik, a vízbontó pezseg. Áram folyik. Tehát a vízbontó pezseg". A *modus tollens* harmadik alakjának példája: ,,Ha a kobaltkloridot (előtűnő titkosírás tintája) melegítjük, megkékül (elveszti kristályvizét). Jelen esetben nem kék. Tehát hő nem érhette." Az *indirekt következtetés*eket az előbbiből kapjuk, ha p helyébe mindenhol $\overline{p}$-t helyettesítünk, majd $\overline{p}$-t p-vel pótoljuk. A *tiszta hipotétikus szillogizmus* (helyesebben: *hipotétikus Barbara*) nevében a ,,tiszta" onnan származik, hogy csak hipotétikus ítéletek (implikációk) szerepelnek benne. Példája: ,,Ha az inga meghosszabbodik, az inga lengésideje megnő. Ha az ingát melegítjük, meghosszabbodik. Tehát ha az ingát melegítjük, lengésideje megnő". A *kontrapozíció* visszafelé is érvényes (azaz premisszáját a következménnyel felcserélhetjük). A mindennapi gondolkozásunkban ez is igen gyakori következtetés, ezt használjuk akkor, mikor az okozat hiányáról az ok hiányára következtetünk. A *modus tollendo ponens*sel igen gyakran élünk pl. a rádiókészülék hiba keresésében: egy sor feltételezett hibáról kiderült, hogy nem hibák, akkor a legutolsó lesz az igazi hiba.

A *modus ponendo tollens* csak akkor érvényes, ha diszjunkciójában egyszerre csak egy tag lehet igaz (ezt a $\dot{\vee}$ jel fölé tett ponttal jelöltük), pl. ,,Valami vagy jó, vagy rossz, vagy közömbös. Ez jó. Tehát ez nem rossz és nem közömbös." (Természetesen a diszjunkciónak e két utóbbi következtetésmódban akárhány tagja lehet.) A *komplex konstruktív dilemmá*ra példa (állítólag Omár kalifa mondása az alexandriai könyvtárról): ,,Ha a könyvek a Koránnal egyeznek, nincs rájuk szükség. Ha nem, akkor károsak. E könyvek vagy egyeznek a Koránnal vagy nem. Tehát haszontalanok vagy károsak." Folytatása *egyszerű konstruktív dilemmá*val: ,,Ha e könyvek haszontalanok, akkor elégetendők. Ha károsak is elégetendők. E könyvek haszontalanok vagy károsak. Tehát elégetendők." Sokan azt fogják mondani az itt felsorolt következtetési módokra: ,,Hiszen mindezt én enélkül is tudom! Sőt gyorsabban gondolom végig!" Úgy is van, de mi itt éppen ennek a ,,természetes" gyors és nagyrészében látensen lefolyó folyamatnak rejtett gépezetét igyekszünk napvilágra hozni.

Az itt felsorolt következtetésmódok sora távolról sem teljes. Számtalan következtetésmódot írhatunk fel, hiszen minden azonosság egyik oldaláról következtethetünk a másikra, és minden azonosan igaz implikáció előtagjának következménye az utótagja (ez magyarázza azt, hogy a régebbi logikusok, pl. PEANO, miért olvasták az implikációt így: ,,p-ből következik q").

Az ítéletkalkulus bizonyításainak, levezetéseinek két főszabálya a ,,leválasztás" és a ,,behelyettesítés". Egy implikáció utótagját, mint különálló igaz ítéletet leválaszthatjuk, ha maga az implikáció igaz és előtagja is igaz (modus ponens). A behelyettesítés szabálya pedig megengedi, hogy egy képletben bármely p, q, s-sel jelölt egyszerű ítélet helyébe tetszőleges összetett ítéletet helyettesítsünk (természetesen ugyanazon ,,betű" helyébe mindig ugyanazt a kifejezést).

A következtetés érvényességének kritériuma. Egy következtetés érvényességét úgy döntjük el, hogy konjunkcióval összekötött premisszáihoz implikációval hozzácsatoljuk a következményt s e kapott kifejezésre a diszjunktív normálforma, vagy ami ugyanaz, az értéktáblázat előállítására szolgáló algoritmust alkalmazzuk; ha tautológiát kapunk, a következtetés érvényes. Példák:

$(p \cdot q) \supset p$	$(p \supset q) \cdot (p \supset \neg q) \supset \neg p$
1 1 1 1 1	1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1
1 0 0 1 1	1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1
0 0 1 1 0	0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0
0 0 0 $\underline{1}$ 0	0 1 0 1 0 1 1 0 $\underline{1}$ 1 0

Kategorikus következtetések. Ezek osztályok közti kapcsolatokból vonható következtetések. Azt, hogy ,,minden bálna emlős", az állítmánykalkulusban így írtuk: $(x)\big(f(x) \supset g(x)\big)$, ahol $f(x)$ jelentése: ,,x bálna" és $g(x)$ jelentése: ,,x emlős". A klasszikus logika egyszerűbb jelölést alkalmaz: SaP (S subjectum, P predicatum), ahol jelen esetben S a bálna, P az ,,emlős" és az a azt jelenti, hogy az ítélet *általános (univerzális) állító*. Az *általános tagadó ítélet* jelölése SeP, pl. ,,egy ibolya sem rózsa". Megfelel az $(x)\big(f(x) \supset \overline{g(x)}\big)$ ítéletnek. A *részleges (partikuláris) állító ítélet*: $SiP = \exists x\big(f(x)g(x)\big)$ példája: ,,némely szilva magvaváló". A *részleges tagadó ítélet* $SoP = \exists x\big(f(x)\ \overline{g(x)}\big)$ példája: ,,némely kutya nem harap". Egyetlen ilyen ítéletből máris következtethetünk, ezek a klasszikus ,,közvetlen" következtetések *(5. táblázat)*.

5. táblázat

Klasszikus közvetlen következtetések egyszerű kategorikus ítéletekből
(Conclusiones immediatae)

Következtetések állításból:	Következtetések tagadásból:	Obverziók:
$SaP = \overline{SoP}$	$\overline{SaP} = SoP$	$SaP = Se\overline{P}$
$SaP/\overline{SeP},\ SiP$	$\overline{SeP} = SiP$	$SeP = Sa\overline{P}$
$SeP = \overline{SiP}$	$\overline{SiP} = SeP$	$SiP = So\overline{P}$
$SeP/\overline{SaP},\ SoP$	$\overline{SiP}/\overline{SaP},\ SoP$	$SoP = Si\overline{P}$
$SiP = \overline{SeP}$	$\overline{SoP} = SaP$	
$SoP = \overline{SaP}$	$\overline{SoP}/SeP,\ SiP$	

Megfordítások:

Egyszerű: (Conversio simplex)	Gyengített: (Conversio per accidens)	Kategorikus ,,kontrapozíció"
$SeP = PeS$	SaP/PiS	$SaP = \overline{P}a\overline{S}$
$SiP = PiS$		$Sa\overline{P} = \overline{P}aS$
		$SeP/\overline{P}iS$
		$Se\overline{P}/PiS$
		$SiP = Po\overline{S}$
		$SoP = \overline{P}iS$

A hosszú felülhúzás az alatta levő ítélet tagadását jelzi. A fölülhúzott egyes betűk az osztály komplementerjét (kiegészítő osztály) az = és / jel e táblázatban a ,,tehát'' helyett áll (régebben a következtetés — ,,tehát'' — jele a . ˙ . volt; némely szerzőnél ma is megtaláljuk), mai jelölése a vízszintes törtvonal. Itt csak helymegtakarítás és áttekinthetőség céljából tértünk el tőle; az = azt jelenti, hogy a következtetés visszafelé is érvényes. A / törtjel esetében a következtetés csak balról jobbra érvényes, a fenti következtetésekben ekkor is csak arisztotelészi értelemben. Ha pl. SaP-ot valamelyik mai jelöléssel írjuk, akkor a / jellel jelölt következtetésekben még egy premissza kell a / jel elé, a $S \neq O$, azaz S nem az üres osztály.

Üres S osztály esetén ui. az a, e (állító) ítéletekről az o, i (állító) ítéletek irányában haladó következtetések érvénytelenek.

Példák: ,,minden bálna emlős'' ítéletből következik: ,,nem igaz, hogy némely bálna nem emlős''. Arisztotelészi értelemben az is következik, hogy ,,nem igaz, hogy egy bálna sem emlős'' és hogy ,,némely bálna emlős''. Ma, amikor a partikuláris helyett egzisztenciális ítéletet mondunk, az utóbbi következtetés csak akkor érvényes, ha még egy premisszát is felállítunk: ,,van S'', ekkor a következmény: ,,van olyan bálna, amely emlős''. A $SiP = \overline{SeP}$ találó iskolai példája: ha egy zsák alma (S) közül kiveszünk néhányat és azok férgesek, akkor következik, hogy nem igaz, hogy egy alma sem férges''. A SoP tagadása azért érdekes, mert ebből SaP következik: ,,Ha nem igaz, hogy néhány alma ép (nem férges), akkor minden alma férges''. Az almák individuumtartományát a zsákkal kerítettük be, a világnak a zsákon kívüli almái nem számítanak. A kategorikus kontrapozíció példája: ,,Minden bálna emlős, tehát ami nem emlős, nem lehet bálna''. A táblázatban feltűnik, hogy az állításból és tagadásból való következtetések közt csak négy megfordítható van s ezek megfelelnek a már ismert $(x)\, f(x) = \overline{\exists x\, \overline{f(x)}}$, $\overline{(x)}\, f(x) = \exists x\, \overline{f(x)}$, $(x)\, \overline{f(x)} = \overline{\exists x}\, f(x)$, és $\overline{(x)}\, \overline{f(x)} = \exists x\, f(x)$ azonosságoknak, sorjában: $SaP = \overline{SoP}$, $\overline{SaP} = SoP$, $SeP = \overline{SiP}$, és $\overline{SeP} = SiP$; ha az individuumtartományt az S határozza meg, pl. ,,bálnák'' és az $f(x)$ jelentése pl. ,,x emlős''.

Szillogisztika. Két kategorikus ítéletből (amelyek mindegyike csupán két fogalmat tartalmaz) akkor vonhatunk következtetéseket, ha az egyik ítéletben szereplő fogalmak közül egy a másik ítéletben is szerepel, tehát összesen csak három fogalmunk van. A közös fogalom: M (terminus medius, középfogalom) nem szerepel a következményben. A következményben csak a megmaradó két másik fogalom szerepel, S (terminus minor) mint alany, P (terminus major) mint állítmány. A P-t tartalmazó premisszát szokás előre tenni, pl. MaP (propositio major), míg pl. SaM (propositio minor) kerül a második helyre. A következmény mindig $S—P$ alakú. A klasszikus logika a szillogizmusokat négy alakzatba (figurába) csoportosította a fogalmaknak a premisszákban való elhelyezkedése szerint: I. fig.: $M—P$, $S—M$, dictum de omni et nullo; II. fig.: $P—M$, $S—M$, dictum de diverso ; III. fig.: $M—P$, $M—S$, dictum de exemplo; IV. fig.: $P—M$, $M—S$ dictum de reciproco. Az első három figura ARISZTOTELÉSZtől, a IV.-nek modusai tanítványaitól: THEOPHRASTOS- és EUDEMOS-tól származnak, utóbbiakat GALENOS foglalta össze a IV. figurává. Aszerint, hogy milyen a, e, i, o betűket rakunk a nagybetű-párok közé, kapjuk a különböző ,,modus''-okat, egyes szillogizmusokat. A klasszikus érvényes szillogizmusokat a *6. táblázat*ban feltüntettük.

6. táblázat

A klasszikus érvényes szillogizmusok táblázata

Az egyes négyszögek felső jobb sarkában levő *a*, *e*, *i*, *o* betűk a *SaP*, *SeP*, *SiP*, *SoP* következményeket jelentik.

Amely négyszögben két mnemotechnikai név van, az első az oszlop vagy sor fejlécében felírt két jelölés közül a felsőhöz tartozik, a második az alsóhoz. Például: *PaM*, *MeS* : *Calemes* ; *PaM*, *SeM* : *Camestres*. A négyszavas négyszögben *MeP*, *MiS* : *Ferison* ; *MeP*, *SiM* : *Ferio* ; *PeM*, *MiS* : *Fresison* ; *PeM*, *SiM* : *Festino*.

Ahol a modusoknak részleges (partikuláris) változata is van, ott a négyszög felső jobb sarkában két betűt látunk, a második betű a következmény *i*, illetőleg *o* változatát jelöli; ezek: *Barbari*, *Celaront*, *Cesaro*, *Calemos*, *Camestrop*.

Sraffozással jelöltük az elmaradhatatlan területeket.

Minor premissza / Major premissza	MaS	MeS SeM	MiS SiM	MoS	SaM	SoM
MaP	i Darapti		i Datisi Darii		a,i Barbara	
MeP PeM	o Felapton Fesapo		Ferison Ferio o Fresison Festino		e,o Celarent Cesare	
MiP PiM	i Disamis Dimatis					
MoP	o Bocardo					
PaM	i Bamalip	e,o Calemes Camestres				o Baroco
PoM						

A táblázatban megtaláljuk PETRUS HISPANUS († 1277, mint XXI. János pápa) „versus memoriales”-ében felsorolt mnemotechnikai elnevezéseket is. E szókban a két első magánhangzó a két premissza, az utolsó magánhangzó a konklúzió faját jelöli, pl. a *Barbara modus* két általános állító premisszából általános állító konklúziót ad, a *Barbari* (ugyanabban a kockában) részleges állító konklúziót ad. *Barbara*, *Celarent*, *Darii*, és *Ferio* modusokra szokták visszavezetni a többi modust s a többi modus kezdőbetűi: *B*, *C*, *D*, *F* azt mutatják, hogy ezeket a négy fenti közül melyikre vezették vissza. A visszavezetések ma már csak történelmi értékű lépéseit jelölik az *s*, *m*, *p* és *c* mássalhangzók a szavak belsejében vagy végén.

Néhány példa: *Barbara:* „Minden széleslevelű növény levélhullató. A szőlő széleslevelű. Tehát a szőlő levélhullató" (ARISZTOTELÉSZ példája*). *Festino :* „Egy tigris sem kutya. Némely háziállat kutya. Tehát némely háziállat nem tigris". *Baroco*: „A szabályos síkalakzatok köré kör rajzolható. Némely parallelogramma köré kör nem rajzolható. Tehát némely parallelogramma nem szabályos síkalakzat." *Disamis :* „Némely fém mágneses. Minden fém ömleszthető. Tehát némely ömleszthető dolog mágneses". *Darapti :* Minden denevér repül. Minden denevér emlős. Tehát némely emlős repül".

Minthogy egy figurában egy premissza az a, e, i, o fajták szerint négyféle lehet, és két premissza van, tehát egy figura 16 módust eredményez s így összesen $4 \times 16 = 64$ szillogizmus írható fel, ha azonban a négy lehetséges konklúziót is beleszámítjuk, akkor 256 szillogizmus (helyesebben modus) írható fel. Természetesen ezek közül csak igen kevés érvényes. Az érvényesség eldöntésének legrégibb módja minden egyes modus külön vizsgálata.

A szillogizmusok érvényességének eldöntése. A jelenleg szokásos eljárás szerint az állítmánykalkulus képleteivel felírt következtetést visszavezetjük az ítéletkalkulus egy kifejezésére, majd erre alkalmazzuk az értéktáblázat előállításának algoritmusát, s ha tautológiát kapunk, a következtetés érvényes. Például a *Barbara modus :*

$$\frac{(x)\big(M(x) \supset P(x)\big),\ (x)\big(S(x) \supset M(x)\big)}{(x)\big(S(x) \supset P(x)\big)},$$

ahol a fogalmak jelölésére meghagytuk a klasszikus jelölések nagybetűit. Helyességének bizonyítására induljunk ki abból, hogy a két premisszából következik, hogy akármelyik a egyedre $M(a) \supset P(a)$ és $S(a) \supset M(a)$, tehát $q \supset p$ és $s \supset q$ áll, ahol $p = P(a)$, $q = M(a)$, $s = S(a)$. Ezekből viszont a hipotetikus szillogizmus szerint $s \supset p$, vagyis $S(a) \supset P(a)$ következik. Minthogy ez bármely a individuumra áll, megkaptuk a konklúziót: $(x)\ \big(S(x) \supset P(x)\big)$. Azt, hogy a hipotetikus szillogizmus:

$$\frac{q \supset p,\ s \supset q}{s \supset p}$$

helyes, úgy látjuk be, hogy a helyességét kimondó $(q \supset p) \cdot (s \supset q) \supset \supset (s \supset p)$ ítéletre alkalmazzuk az értéktáblázat előállításának algoritmusát:

$(q$	$\supset$	$p)$	$\cdot$	$(s$	$\supset$	$q)$	$\supset$	$(s$	$\supset$	$p)$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

* ARISZTOTELÉSZ a következtetéseket nem a fenti alakban, hanem implikáció alakjában adta meg.

Minthogy ez tautológia, a *Barbara* szillogizmus érvényes. A közismert iskolai szillogizmus: ,,Az ember halandó Caius ember. Tehát Caius halandó". egy ,,egyéni *Barbara* szillogizmus", amelynek bizonyítása kissé eltér a fentitől. Legyen I az élőlények tartománya és jelentse $M(x)$,,x ember"-t és $P(x)$,,x halandó"-t, valamint $M(c)$,,Caius ember"-t, akkor a premisszák: $(x)\big(M(x) \supset P(x)\big)$, $M(c)$; Az első lépés: behelyettesítjük c-t az első premisszába s kapjuk $(x)\big(M(x) \supset P(x)\big) \supset \big(M(c) \supset P(c)\big)$ implikációt, ebből az utótagot kiemeljük a modus ponens szabályával: $M(c) \supset P(c)$, s ebből újra alkalmazva a szabályt, leválasztjuk az utótagot: $P(c)$, tehát ,,Caius halandó".

A *Barbari modus* (a *Barbara* ,,gyengített" alakja) példája: ,,Minden emlős gerinces. Minden bálna emlős. Tehát némely bálna gerinces". A konklúzió tehát $\exists x\,(S(x) \cdot P(x))$, azaz ,,van olyan bálna, amely gerinces". Ez igaz, ha legalább egy bálna van. Ugyanis ez a premisszák szerint emlős is és gerinces is, tehát behelyettesítve ezt az individuumot, $S(a) \cdot P(a)$ szintén igaz. A fenti rövidítéssel a konklúzió: sp. Hiába írjuk fel azonban, hogy $\dfrac{(q \supset p),\ (s \supset q)}{sp}$, e következtetésmód nem érvényes, amiről könnyen meggyőződhetünk a már többször használt algoritmus révén, ugyanis $\big((q \supset p) \cdot (s \supset q)\big) \supset sp$ nem tautológia! Csak akkor lesz érvényes a klasszikus szillogizmus, ha még egy premisszát csatolunk hozzá, ez: $\exists x\, S(x)$, azaz ,,van olyan x, amely bálna", ha a gyanánt nem tetszőleges, hanem épp ilyen individuumot választunk, akkor $S(a)$ igaz, ezt röviden s-sel jelölve az érvényes következtetés:

$$\frac{s,\ (q \supset p),\ (s \supset q)}{sp},$$

mert a

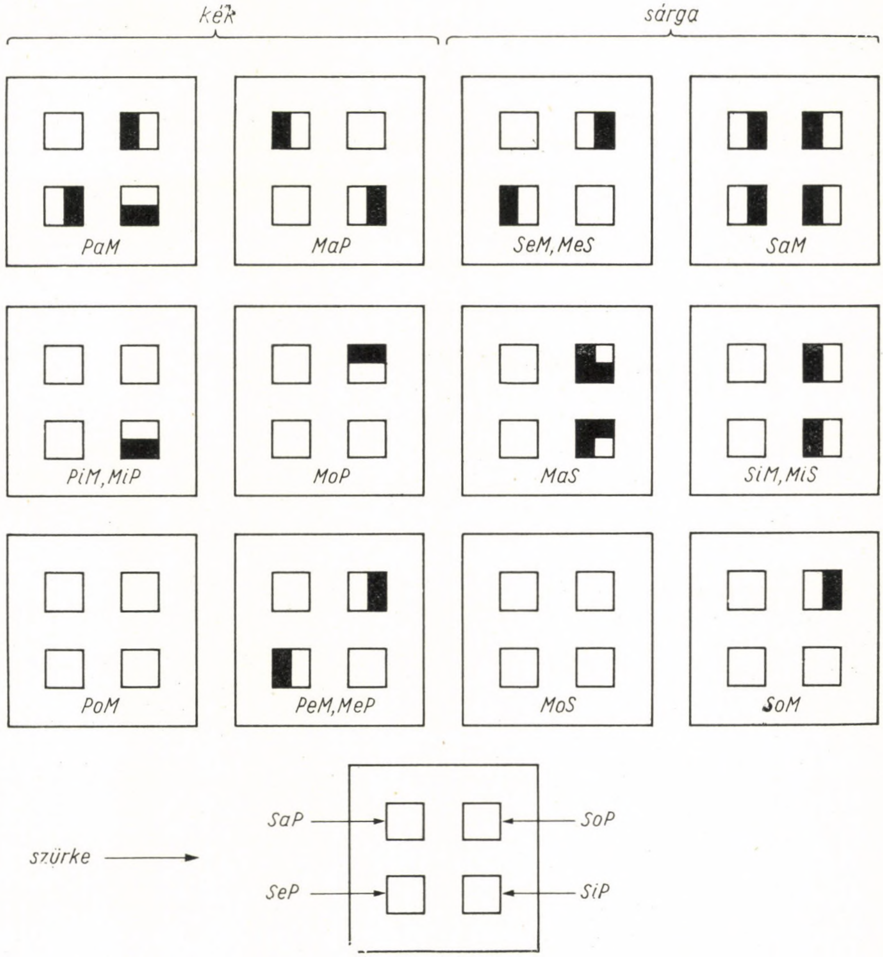
$$\big(s \cdot (q \supset p) \cdot (s \supset q)\big) \supset sp$$

tautológia. Erről meggyőződhetünk, ha a már többször használt algoritmust felírjuk. Így a három premisszából, ha a-t a fenti módon választjuk, sp, azaz $S(a) \cdot P(a)$ következik. Minthogy tulajdonképpen azt mutattuk meg, hogy van ilyen a, a konklúzió valóban: $\exists x\big(S(x) \cdot P(x)\big)$.

Mindazon modusok érvényessége, amelyeknek mindkét premisszája általános *és* konklúziója részleges, az ítéletkalkulus fenti eljárása segélyével csak akkor bizonyítható, ha — mint fenn — egy harmadik, egzisztenciális kvantoros premisszával a következtetésmódot kiegészítjük. Legvilágosabban kitűnik ez a *Darapti modus*ban: Tudjuk, hogy az üres osztály minden osztálynak része; ha tehát M az üres osztály, akkor ez része S-nek is és P-nek is, mondjuk a gólyáknak és rózsáknak, ebből azonban nem következik, hogy vannak olyan rózsák, amelyek gólyák is egyúttal.

A három premisszát kívánó klasszikus modusok: *Darapti, Felapton, Fesapo, Bamalip* és a ,,csökkentettek": *Barbari, Celaront, Cesaro, Calemop, Camestrop.*

A szillogizmus modusainak érvényességét eddig csak úgy bizonyítottuk, hogy külön-külön ,,kipróbáltuk" őket. A premisszák maguk nem mondták meg, hogy a négy lehetséges konklúzió közül melyik fog érvényes következtetést adni. A fenti algoritmus be tudja bizonyítani az ,,eléje tett" sejtést, de nem vezet rá egyenesen a következményre. GARDNER egy kártyarendszert konstruált *(4. ábra)*, melyben a minor és major premisszákat kék és sárga kártyák képviselik. Egy kék és sárga kártya egymásra téve a nyílásokat részben befedik. Amely esetben a szürke fedőkártya valamelyik ablaka teljesen födött, a szillogizmus érvényes és a fedett ablak felirata



4. ábra
GARDNER-féle kártyarendszer a szillogizmusokra

megadja a konklúziót. De ez csak játék: a kártyákat csak a már meglevő *6. táblázat* birtokában lehet megcsinálni és maga a táblázat még gépi használatra is egyszerűbb. Azonkívül az ilyen kártyarendszer nem specialitása a szillogisztikának, mert minden $z = f(x, y)$ függvényt ábrázoló táblázathoz lehet ilyen kártyarendszert készíteni: ahány x illetőleg y érték van a táblázatban, annyi kék, ill. sárga kártya, és ahány z van, annyi ablak kell.

Genetikus eljárások. A kérdést tudományosan és elegánsan oldotta meg CHRISTINE LADD (Mrs. FRANKLIN), kortársai szerint: ,,a ragyogó fiatal matematikusnő"*, aki egyetlen képletben adta meg a kétpremisszás érvényes szillogizmusokat.

Ha van egy (akárhány tagból álló) konjunkciónk, amely azonosan zérus: $p\,q\,r\,s = 0$, azaz ellentmondó (logikailag hamis, kontravalid), minthogy a tagok bármely értékvariációjánál zérus, akkor negációja $\overline{p\,q\,r\,s} = 1$ azonosan igaz, azaz a tagok értékeinek bármely variációjánál igaz, tehát tautológia (logikailag igaz, valid). Minthogy $p\,q\,r\,s = (p\,q\,r)\,s$, tehát $\overline{p\,q\,r\,s} = \overline{(p\,q\,r)\,s} = \overline{p\,q\,r} \vee \overline{s} = p\,q\,r \supset \overline{s}$, tehát $p\,q\,r \supset \overline{s}$ szintén tautológia, és így bármelyik tag negációja következik a többi tag konjunkciójából. Mármost LADD ,,inkonzisztens triádja" a következő:

$$(x)\big(f(x) \supset g(x)\big),\ (x)\big(g(x) \supset h(x)\big),\ \exists x\big(f(x)\,\overline{h(x)}\big).$$

Nevét onnan kapta, hogy egyszerre nem elégíthető ki, mert az

$$\big(f(a) \supset g(a)\big) \cdot \big(g(a) \supset h(a)\big) \cdot \big(f(a)\,\overline{h(a)}\big),$$

vagy röviden

$$(f \supset g) \cdot (g \supset h) \cdot f\bar{h}$$

kifejezés azonosan zérus. De ebből világos, hogy a fenti három ítélet bármely két ítéletéből következik a harmadik tagadása, mert

$$\overline{(f \supset g) \cdot (g \supset h) \cdot f\bar{h}} = \Big(\big((f \supset g) \cdot (g \supset h)\big) \supset \overline{f\bar{h}}\Big) =$$
$$= \Big(\big((f \supset g) \cdot (f\bar{h})\big) \cdot \overline{(g \supset h)}\Big) = \Big(\big((g \supset h) \cdot (f\bar{h})\big) \supset \overline{(f \supset g)}\Big)$$

tautológiák. Minthogy $\overline{f\bar{h}} = (f \supset h)$, $\overline{(g \supset h)} = g\bar{h}$, és $\overline{(f \supset g)} = f\bar{g}$, és figyelembe véve, mely esetben lehet a-t tetszőlegesen és mely esetben kell alkalmasan választani, a következő érvényes következtetés ,,mintákat" kapjuk:

$$1)\ \frac{(x)\big(f(x) \supset g(x)\big),\ (x)\big(g(x) \supset h(x)\big)}{(x)\big(f(x) \supset h(x)\big)},\quad 2)\ \frac{(x)\big(f(x) \supset g(x)\big),\ \exists x\big(f(x)\,\overline{h(x)}\big)}{\exists x\big(g(x)\,\overline{h(x)}\big)},$$

$$3)\ \frac{(x)\big(g(x) \supset h(x)\big),\ \exists x\big(f(x)\,\overline{h(x)}\big)}{\exists x\big(f(x)\,\overline{g(x)}\big)}.$$

Az 1) következtetésmintában $g(x)$ a medius-fogalom, és ha az $f(x)$ és $h(x)$ helyébe S és P-t vagy komplementumaikat tesszük, csupa érvényes modust kapunk (csak arra kell vigyáznunk, hogy a premisszák előtagja ne legyen komplementum — $\overline{S}$ vagy $\overline{P}$ vagy $\overline{M}$ — mert ezt a klasszikus logika, mint előfeltételt előírja). E behelyettesítésekre sorra adódnak a *Barbara, Celarent, Cesare, Calemes, Camestres* modusok, azonkívül a *Bamalip-*

* Idézi: SCHRÖDER: Vorlesungen über die Algebra der Logik II. 1, 228 old. C. LADD-FRANKLIN művei: On the algebra of logic. Studies in logic by members of the John Hopkins University, Boston, 1883, p. 17—71. On some carachteristics of symbolic logic. Amer. Journal of Psychology, Stanley Hall, Worcester 1889, II. p. 543—567. Some proposed reforms in common logic. Mind. Jan. 1890, p. 75—88.

nak egy PaS konklúziója (ez ,,klasszikus" értelemben nem számít, mert nem $S - P$ alakú, viszont tagadhatatlanul érvényes!).

A 2) mintában $f(x)$-et kell medius-fogalomnak vennünk, mert ez van meg mindkét premisszában. Itt adódnak az előbbi módon: *Bocardo, Disamis, Dimatis, Datisi, Darii* modusok. Azonkívül, továbbra is betartva a premisszák előtagjára vonatkozó klasszikus szabályt (ne legyenek $\bar{S}$, $\bar{M}$, $\bar{P}$), adódnak még a következő érvényes modusok: MaP, $Mo\bar{S}$; MeP, $Mo\bar{S}$; MiP, MeS; MoP, MeS. Ezeknek konklúzióiban azonban az előtag $\bar{S}$, és ezért a klasszikus logika utófeltételének nem felelnek meg, s így mellőzték őket, ami nem baj; de sokan az érvénytelenek közé sorozták őket, ami nem jogos, mert tagadhatatlanul érvényesek. Például az MaP, MoS (*Bamcondu*, l. később) egy példája: ,,Minden hattyú madár. Van olyan hattyú, amely nem fehér. Tehát van nem-fehér madár is $(\bar{S}iP)$". (Vagy: van olyan madár, amely nem fehér (PoS).)

A 3) következtetésmintában $h(x)$ a medius-fogalom, és adódik a *Baroco, Festino, Fresison, Ferio* és *Ferison*, továbbá PoM, SaM; PiM, SeM négyféle alakja, melyek a klasszikus logikában mellőztettek, de érvényesek.

Látjuk, hogy Ladd eljárása elegáns, egyetlen előre bebizonyított képletből automatikusan fejleszti az érvényes modusokat, anélkül, hogy azok további vizsgálatra szorulnának. Az ilyen eljárás ,,genetikus", szemben az olyan eljárásokkal, melyekben a legapróbb részleteket minden képzelhető eshetőségre a vizsgálónak külön-külön előre ki kell dolgoznia.

A hárompremisszás (azaz a megfelelő létezést kimondó premisszával kiegészített) szillogizmusokra Basson és O'Connor adott képletet, a kiegészítő tetrádot: $\exists x\, f(x)$, $(x)\,(f(x) \supset g(x))$, $(x)\,(f(x) \supset h(x))$, $(x)\ (g(x) \supset \overline{h(x)})$; itt is bármelyik háromból, mint premisszából, következik a negyedik tagadása, az $f \cdot (f \supset g) \cdot (f \supset h) \cdot (g \supset \bar{h})$ ugyanis azonosan zérus.

Azonkívül itt is átgondolható az is, hogy melyik fogalom létezését kell állítani. Itt is három modus-mintát kapunk:

1) $$\frac{\exists x\, f(x),\, (x)\,(f(x) \supset g(x)),\, (x)\,(f(x) \supset h(x))}{\exists x\,(g(x)\, h(x))},$$

2) $$\frac{\exists x\, f(x),\, (x)\,(f(x) \supset g(x)),\, (x)\,(g(x) \supset \overline{h(x)})}{\exists x\,(f(x)\, \overline{h(x)})},$$

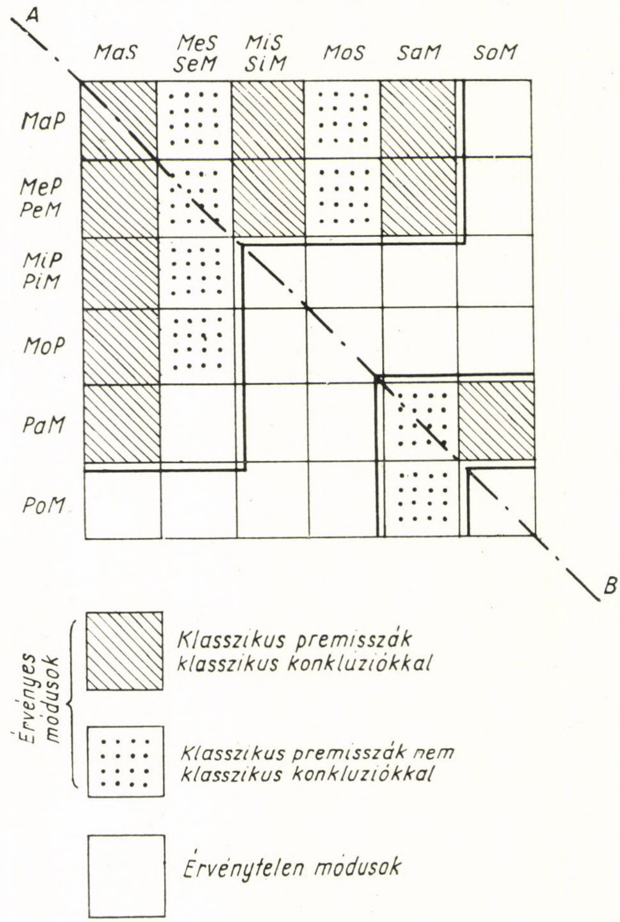
3) $$\frac{\exists x\, f(x),\, (x)\,(f(x) \supset h(x)),\, (x)\,(g(x) \supset h(x))}{\exists x\,(f(x)\, g(x))}.$$

Az 1) mintából kapjuk a fent ismertetett módon a *Darapti, Felapton, Fesapo* modusokat és a következő nem klasszikus, de érvényes modusokat: M, MaP, MeS : M, MeP, MeS ; $\bar{M}$, $\bar{M}eP$, $\bar{M}eS$. A M, MeP, MeS-nek M, PeM, SeM változatra példa: ,,Egy toreádor sem állatvédő. Egy viviszektor sem állatvédő. Tehát vannak olyanok, akik sem toreádorok, sem viviszektorok (ezek éppen az állatvédők)". A 2) és 3) mintából kapjuk a *Bamalip, Barbari, Celaront, Cesaro, Calemop* és *Camestrop* modusokat.

Schröder művében táblázatosan felsorolja a kétpremisszás szillogizmusok Ladd-féle nem klasszikus alakjait is, belevéve még a komplementer előtagú premisszák eseteit is, de mellőzi a hárompremisszásokat. Culbertson pedig csak a klasszikus modusokat tartja érvényesnek. A *7. táblázat*

7. táblázat

A szillogizmusok érvényességét mutató táblázat



a klasszikus premisszákból vonható valamennyi érvényes következtetést, modust tartalmazza.

Mint várható volt, az A—B átló szimmetriatengely. Bár ma már idejétmúltnak látszik kiegészíteni a 13-ik század mnemotechnikai elnevezéseit, a klasszikus premisszákhoz tartozó még el nem nevezett érvényes modusokra adott neveket a *8. táblázat*ba írtuk.

A $\bar{S}iP$ konklúziónak u, a $\bar{S}oP$ konklúziónak y jelölést adunk és a meglevő modusokra való visszevezetés lépéseit mássalhangzókkal jelöljük (v: obverzió, q : a medius mindkét premisszában való komplementálása, f: a minor vagy major fogalom komplementálása. A *Bamalip* $\bar{S}a\bar{P}$ konklúzióját $ä$-val, kontrapozíciós átalakítását x-szel jelölhetjük).

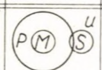
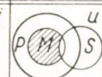
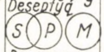
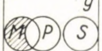
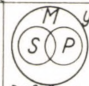
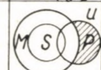
Egy másik genetikus eljárást a konklúziók automatikus kiadására a „Logikai gépek” c. fejezetben közlünk.

8. táblázat

A klasszikus premisszákból származó további érvényes szillogizmusok

A konkluziók: u : $\bar{S}iP$; y; $\bar{S}oP$; $ä$: $\bar{S}a\bar{P}$

A

Minor premissza / Major premissza	MaS	MeS SeM	MiS SiM	MoS	SaM	SoM
MaP	i	u  Fameptun Frasmepu	i	u  Bamcondu	a, i	
MeP PeM	o	Desespyq Desepfyq y  Derespyq Derepfyq	o	y  Devovy Drevovsy	e,o	
MiP PiM	i	Frimesun Frimeu u  Fimsesun Fimsenu				
MoP	o	y  Dovsevmy Dovmevys				
PaM	i,ä Bamaläx	e,o			y  Dafafpyq	o
PoM					u  Bomacu	

B

A nem érvényes szillogizmus-modusok származtatása. Az

1) $$(x)\big(h(x) \supset g(x)\big),\ \exists x\big(f(x)\cdot g(x)\big),$$

és

2) $$\exists x\ \big(h(x)\cdot g(x)\big),\ \exists x\big(f(x)\cdot g(x)\big)$$

klasszikus premisszapárok semmiféle olyan következményt nem adnak, amely a major és minor fogalmat összekötné, ezek a *valóban érvénytelen modusok* *(9. táblázat)*.

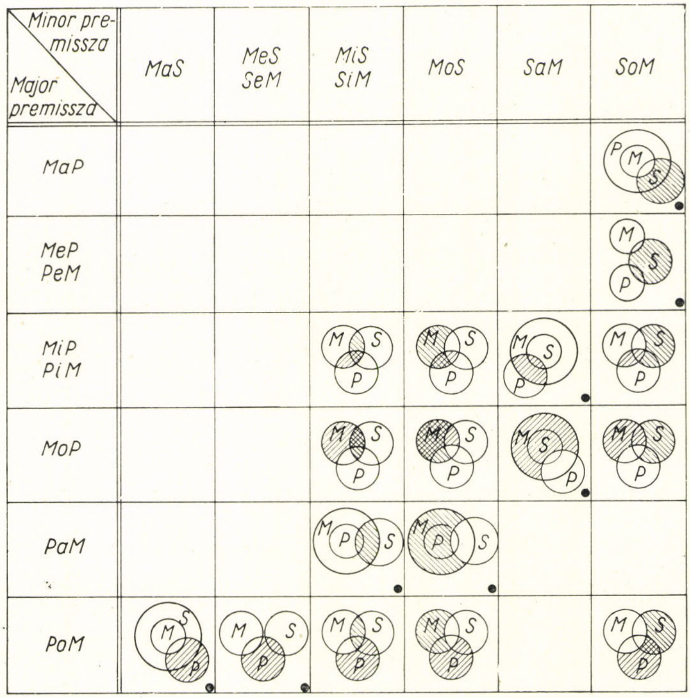
Az 1) esetében a már többször alkamazott algoritmussal kimutatható, hogy a $(h \supset g)\cdot f\,g$ premisszából nem következik $f\,g$, $f\,\bar{g}$, $\bar{f}\,g$ és $\bar{f}\,\bar{g}$ egyike sem. Tehát a belőle származtatható összes modusok érvénytelenek. A 2) esetét ismerjük, a premisszák egymástól függetlenül kielégíthetők.

A klasszikus logika azonkívül csak ama modusokra terjedt ki, amelyekben nem szerepelnek komplementer előtagok a premisszákban. Ha ezeket is számításba veszszük, akkor $4\times256 = 1024$ modust kapunk (az egyik, a másik, és mindkét előtag felülhúzásával). Az érvényesség nem változik, ha S-t vagy P-t vagy mindkét M-et húzzuk felül, de pl. az érvénytelen *MaP, SoM* érvényes lesz, ha csak az első *M*-et húzzuk felül ($\overline{M}aP$, $SoM = \overline{P}aM$, SoM) stb.

Lukasiewicz zárójelmentes jelöléseivel pl. a *Felapton* : *CKAcaEcdOad*, ahol *C*-t és *k*-t már ismerjük az 1. táblázatból, az *A, E, I, O* a klasszikus *a, e, i, o* jelöléseknek megfelelő funktorok, az *a, b, c, d, . . .* kisbetűk pedig a fogalmakat jelölik.

9. táblázat

Nem érvényes szillogizmusok. Felismerhetők arról, hogy a sraffozott területeket valamennyi kör metszi. A ponttal jelzett modusok a szövegbeli 1., a jelzetlen modusok a szövegbeli 2. képletből származtathatók. Sraffozással jelöltük az elmaradhatatlan területeket



A szillogizmusokban szereplő ítéleteket az osztálykalkulus jelöléseivel is felírhatjuk: $SaP = S \subseteq P$, vagy még $S \cap \overline{P} = 0$; $SeP = S \subseteq \overline{P}$, vagy még $S \cap P = 0$, $SiP = (S \cap P \neq 0)$, $SoP = (S \cap \overline{P} \neq 0)$.

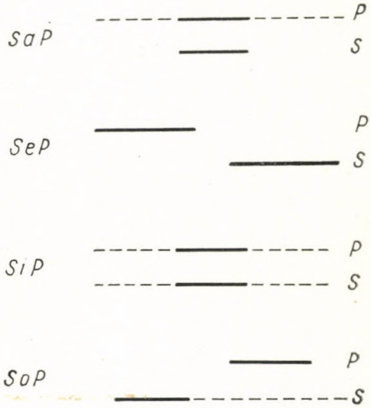
Szillogizmusok érvényességének eldöntése topológiai ábrázolással

Osztályokat, mint már említettük, körök* területével először Leibniz ábrázolt. Táblázatainkba az ő szillogisztikai alakzatait vezettük be. Euler hasonló módon ábrázolta a szillogizmusokat, Venn azonban mindig ugyanazon három, szimmetrikusan egymást metsző kört rajzolta fel minden modus esetére, de más-más sraffozással. Lambert vízszintes vonaldarabokkal ábrázolta az osztályokat s ezek esetleges részeit pontozott vonallal

* A köröket csak egyszerűség okából választottuk, bármely zárt sík tartományok is megfelelnek.

(5. ábra). Sorokba rendezett pontokkal, mint individuumokkal való ábrázolást a ,,Genetikus logikai gép" c. fejezetben mutatjuk be. Legszemléltetőbbek a *Leibniz*-féle ábrák, mert a rajzlapon a nemlétező osztályokat ábrázoló területek nincsenek is feltüntetve, pl. SaM esetén a $S \cap M$, $\bar{S} \cap M$ és $\bar{S} \cap \bar{M}$ kitöltik az egész rajzlapot, míg $S \cap \bar{M}$ hiányzik, tehát nem zavarja az áttekintést.

Két általános premisszával bíró modusok 4 lehetséges területet adnak (a körök nem metszik egymást). Ha a síkban egy A terület magábafoglal (bezár) egy B területet, e reláció tranzitív s így vizuális típusú emberek az ábrára való egyszerű rátekintéssel eldöntik a modus érvényességét; pl. a *Barbara* ábráján *(6. táblázat)* világos, hogy ha S az M-en belül van és M a P-n belül van, akkor S a P-n belül van.



5. *ábra*
A szillogizmusok premisszáinak LAMBERT-féle ábrázolása

Hárompremisszás modusok, ahol két premissza általános (de nincs általános konklúzió), 5 lehetséges területet adnak (csupán két kör metszheti egymást). Ezeknél az M (ill. $\bar{M}$) terület egyszerre van benn S- és P-ben ill. ezek komplementumaiban, tehát szemléletből kitűnik, hogy kell, hogy S és P-nek (ill. komplementumaiknak) közös része legyen.

A vegyes (egy általános és egy részleges premisszájú) modusok 6 lehetséges területet adnak, ezekből az érvényeseknél *egy* elmaradhatatlan (sraffozva), az érvényteleneknél kettő (sraffozva) oly értelemben, hogy legalább az egyiküknek okvetlen meg kell lennie. Mindannyiuknál az egyik kör metszheti a másik kettőt. A szemlélet szerint érvényes az a modus, ahol két egymást metsző kör sraffozott területrésze egészen beleesik a harmadik körbe (ill. komplementerébe). Például a *Ferison* ábráján világos, hogyha S- és M-nek közös területrésze van, ez P-be nem kerülhet, mert P és M-nek nem szabad fedni egymást. Ha a harmadik kör a sraffozott területet metszheti, a modus érvénytelen, s ezt a szemlélet is mutatja.

Végül a két részleges premisszával bíró modusok premisszáit nem köti össze logikai művelet. Mindhárom kör metszi egymást, 8 lehetséges területünk van, a premisszák által megadott két sraffozott területet a körök itt is metszhetik.

Plauzibilis következtetések. Általában a kézenfekvő, de nem bizonyos következtetéseket szokták e néven nevezni. A detektívregények ,,ragyogó" következtetései többnyire ilyenek. A leggyakoribb az okozatról az okra való következtetés. Tudjuk, hogy a $p \supset q$ ítélet alapján a q-ról a p-re való következtetés nem érvényes, mert hiszen a $\bar{p}\ q$ is lehetséges, és ha ok-okozat kapcsolatra gondolunk, ez azt jelenti, hogy ha észleltük az okozatot, az oknak nem kellett éppen meglennie, mert más ok is okozhatta ugyanazon okozatot.

Csak ekvivalencia esetén helyes az ilyen „visszakövetkeztetés"; pl. „Ma 16-a van, tehát tegnap 15-e volt" stb.

Az utótagról az előtagra való következtetés egy példája a „Baculus in angulo' ergo pluit" (bot a sarokban, tehát esik az eső; akkor a tanár úr az ernyőt vitte el). Az „esik az eső" az ok, „bot a sarokban" az okozat. Vagy: „*D* kabátja itt lóg a fogason, tehát házon belül van", ez sem biztos, de egy lehetőséget mindig megad. Ugyanígy hibás az előtag tagadásából az utótag tagadására következtetni pl. Jókai az „Új földesúr" c. regényében, mint a hibás következtetés példáját közli: „Cogito ergo sum" . . . Tehát, ha „non cogito", akkor „non sum" („gondolkozom, tehát vagyok" . . . „nem gondolkozom", akkor „nem vagyok").

Ha egy okozat valamennyi lehetséges okát ismerjük, és ki tudjuk mutatni, hogy egy kivételével a többi nem lehetett jelen, akkor biztosan következik, hogy az az egy volt a valóban ható ok. Például három ok esetén $((p \vee q \vee r) \equiv s)$, $\bar{q}$, $\bar{r}$, s premisszacsoportból valóban következik p (az ekvivalencia azért kell ide, mert a p, q, r-en kívül más ok nincsen).

A regénybeli detektívkövetkeztetések rendszerint csak egy-két logikai lépésből állnak s a meglepő eredményt inkább a detektív gazdag ismerettára magyarázza, pl. amikor a dohányhamuból következtet arra, hogy a tettes milyen dohányt szívott; ezt csak akkor teheti, ha kitűnően ismeri „a dohányhamu fajai"-t. Egy képzeletbeli „logikai démon" természetesen vissza tudná szerkeszteni a hamuból az eredeti szivar jellemzőit, de e démonnak még több kémiai-fizikai ismeret birtokában kellene lennie.

Téves következtetések. Igaz premisszákból, helyesen alkalmazott szabályokkal mindig igaz következményt kapunk. De hamis premisszákból, helyes levezetéssel is kaphatunk igaz következményt; pl. „Mátyás király egyiptomi fáraó volt. Minden egyiptomi fáraó magyar király volt. Tehát Mátyás király magyar király volt". Igaz premisszákból hibás logikai műveletekkel hibás következményt kaphatunk, pl. „Te nem vagy az, ami én. Én ember vagyok. Tehát te nem vagy ember". Ez egy hibásan alkalmazott egyéni *Fesapo*, a helyes következmény: „Némely ember nem azonos veled". Természetesen hibás logikai menet is adhat helyes eredményt, ha több hiba egymást kompenzálja.

A szillogisztikában leggyakoribb hibaforrás az, hogy az egyik premissza középfogalma nem egyezik a másikéval, azaz *nincs medius!* Ekkor az egymástól teljesen független két premissza természetesen nem köteles következményt adni. Például „Az ember lát. Minden vak ember. Tehát a vak lát". Pontosan ugyanaz a szó képviseli a mediust mindkét premisszában, de az első premisszában „ép ember"-t értünk rajta, ami kitűnik azonnal, ha szabatosan fejezzük ki az első premisszát: „minden ember lát", de ezt már nem merjük állítani. Másik példa: „Az oroszlán állat. Az „állat" kéttagú. Tehát az oroszlán kéttagú."* Itt kiáltó a fogalomcsere a mediusban. először élőlényt, másszor szót jelent. Ilyen módon a köznyelvben sokféle fogalomcsere lehetséges, pl.: ω egy nyomdai jel, ω a görög abc egy kisbetűje, omega egy szó öt betűből, omega egy főnév stb.; „Nagy Sándor benne van a történelemkönyvben"; „előadták VI. Henrik utolsó részét" stb. Kína régi tudósai a hibás szillogizmust a következővel példázták: „Ami Pekingben van, az nincs Kantonban. Pekingben emberek vannak. Tehát Kantonban nincsenek emberek". Az első mondat egy teljes, de

* „Az oroszlán állat" tárgyi nyelven mondódott. A tárgyi nyelv szimbólumai valóságos tárgyakat jelölnek. „Az állat kéttagú" metanyelven van mondva, mert a tárgyi nyelv szimbólumairól mond valamit. A *meta*nyelv tárgyai ui. a tárgyi nyelv szimbólumai, s ezek külön jelölést kívánnak, pl. esetünkben az „állat" szót különleges idézőjelbe tesszük. A köznyelvben rendszerint maga a reláció elárulja, hogy miről van szó: nyelvtanilag kéttagú egy valóságos állat úgysem lehet.

enthymemás (enthymema a következtetés, ha egyik premisszáját elhallgatjuk) *Celarent*, ugyanis S = ,,ami'' és ,,az'' (még meg nem nevezett dolgok osztálya), M ,,Pekingben levők'', P ,,Kantonban levők'', SaM = ,,S Pekingben van'', MeP = ,,a Pekingben levők nem Kantonban levők'' (ezt hallgattuk el), tehát SeP = ,,S nem lehet Kantonban''. A második mondat is egy enthymemás következtetés, elhallgatva az EaS = ,,emberek az S osztályba tartoznak'' premisszát, s így ,,EaS, SeP, tehát EeP'' ismét *Celarent* volna, csakhogy EaS nem igaz, mert nem ,,minden'' ember van Pekingben, hanem csak EiS igaz, s így *Ferio*-t kapunk, melynek konklúziója: ,,Némely ember nincs Kantonban'', ez pedig igaz. E példa egy ismertebb változata: ,,Ami Pekingben van, az nincs Kantonban. Pekingben most nappal van. Tehát Kantonban most nincs nappal.'' Ez visszaélés a képes helyhatározóval, hiszen a nappal nincs ,,benne'' a városban, a hiba tehát ugyanaz, mint az előbbi változatban. Nyilván hibás a következő összetett következtetés: ,,Te bolond vagy, tehát ember vagy. Az, hogy ember vagy, az igazságok közé tartozik. Tehát, hogy te bolond vagy, ez az igazságok közé tartozik.'' Ez tiszta hipotétikus szillogizmusnak ,,látszik'': $(p \supset q)$, $(q \supset r)$, tehát $p \supset r$. Valójában azonban nem ilyen alakú (és nem is helyes) a következtetés. Az első premissza még $p \supset q$ alakú, ahol p jelentése: ,,te bolond vagy'', q jelentése: ,,te ember vagy''. A második premissza azonban: ,,az, hogy ember vagy, az igazságok közé tartozik'', nem $q \supset r$ alakú, hanem maga q, hasonlóan a konklúzió is maga p; tehát a következtetés ,,$p \supset q$, q tehát p'' alakú, azonban a $p \supset q$ és q premisszákból nem következik p.

A köznyelvben sokszor a ,,minden'' is kétértelmű lehet, pl. »Minden Jókai-regény egy nap alatt nem olvasható el. ,,A Kalózkirály'' Jókai regény. Tehát ,,A Kalózkirály'' egy nap alatt nem olvasható el.« A ,,minden'' ui. ,,összes''-t is jelent a köznapi nyelvben. A nyelvtani kifejezés nem pontos a következő állításban sem: ,,Minden drágakő valódi vagy hamisított'' kétfélét jelenthet: 1. minden drágakő valódi, vagy minden drágakő hamisított, és 2. bármely drágakő valódi, vagy hamisított.

Az ítéletek állítmánya is lehet látszólag általános, pl. ,,Minden kutya ugat'' nem jelenti azt, hogy mindig ugat, hiszen ebből következne tiszta hipotétikus szillogizmussal, hogy ,,ez a kutya itt most ugat.'' Vannak nyelvek, melyeknek kétféle jelenideje különbséget tesz a most történő és a néha, gyakran, általában történő (pl. tud vagy szokott ugatni) cselekvés közt, pl. a török (köpek ürijor, köpek ürer), angol (the dog is barking, the dog barks). Ezek a nyelvek a fenti téves következtetést kizárják.

A két premisszában a medius pontosan egyezik és mégis hibás a következtetés: ,,Aki legkevesebbet eszik, az a legéhesebb. Aki legéhesebb, az legtöbbet eszik. Tehát aki legkevesebbet eszik, az eszik legtöbbet.'' Egyszerűsítve: ,,A legkevesebbet evő a legéhesebb. A legéhesebb a legtöbbet evő.'' Azonnal kitűnik, hogy a nyelvtani kifejezés nem pontos és ezáltal az S és P ellentétesek lettek. Helyesen: ,,A mostanig (vagy bármely adott időpontig) legkevesebbet evő a legéhesebb. A legéhesebb most (vagy az előbb említett időpontban) a legtöbbet eszik. Tehát a mostanig legkevesebbet evő most a legtöbbet eszik.''

Antisztrefonok, antinomiák, logikai paradoxonok. A klasszikus logikából ismerjük a ,,szarvas okoskodás''-t (syllogismus cornutus), amelyekben egy-egy ítélet tartalmi igazsága ellentmondásban van egy betartandó megállapodással.

A legkedvesebb ezek közt egy mai diáktréfa: ,,Tied ez a cukor, ha a következő kérdésemre azt feleled: egy pofon. A kérdés: ,,Mi kell inkább, ez a cukor vagy egy pofon'' A megjegyzés szerint mindenképpen meg kell kapnia a cukrot, ha a kívánt feleletet adja. De a felelő gyanút fog, nem felel s így elveszti a cukrot. Cervantes Don Quijote-jában előforduló paradoxon:

,,Egy kényúr ama törvényt hozta, hogy aki át akar menni a hídján, előbb meg kell esküdnie, hogy miért megy át. Ha igazat esküdött, szabadon átmehet, ha hamisan, akkor felakasztják. Egy utas így esküdött: Megyek, hogy felakasszanak.'' A probléma antisztrefon, mert ha igazat esküdött, esküje tartalma miatt fel kell hogy akasszák, ha pedig hamisan esküdött, a törvény szerint kell, hogy felakasszák. De védekezni is lehet: Ha igazat esküdött, a törvény szerint átmehet, ha pedig hamisan esküdött, az eskü tartalma nem igaz, azaz nem akasztják fel.* Legyen p ítélet = az utas átmegy a hídon, q = az utast felakasztják, r = amit az utas esküszik, igaz, s = a törvényt betartják, akkor állnak a következő premisszák: $r \equiv pq$, p, $s \supset (q \equiv p\bar{r})$. Minthogy a következő képlet tautológia: $(r \equiv pq) \cdot p \cdot (s \supset (q \equiv p\bar{r})) \supset \bar{s}$, tehát a törvényt nem lehet betartani.

Közismert a borbély problémája: Egy faluban a férfiak egy része maga borotválkozik, a másik részét a borbély borotválja. A borbély tehát e két osztály metszetébe tartozik, mert maga borotválkozik és a borbély borotválja. Ebből antimonia akkor lesz, ha kimondjuk, hogy a borbélynak csak azokat szabad és kell is borotválnia, akik nem maguk borotválkoznak. Természetesen ilyen típusú paradoxon minden olyan igével képezhető, amely visszahatóként is használható, pl. fésül, szeret, tetszik stb. Megemlítjük még Karinthy Frigyes két paradoxonját: 1. ,,Amit ma megtehetsz ne halaszd holnapra. De 'mindennek a holnaprahalasztásá'-t is meg lehet tenni ma. Tehát halaszszunk mindent holnapra." 2. ,,Semmiben se legyünk következetesek. Akkor ezt a parancsot sem szabad betartani. Tehát következetesnek kell lennünk."

Az indukció. Az induktív következtetés a kauzalitás törvényén alapszik, ami egyértelmű azzal, hogy a természettörvényeket állandóknak ismerjük el. Így tehát, ha egy ok újból előfordul, a hozzátartozó okozat bekövetkezését előre megjósolhatjuk. Az ok-okozat kapcsolatokat a természetből vesszük fel, illetőleg a tapasztalás során tanuljuk. Minthogy ilyenkor a két jelenség közti belső fizikai kapcsolatokat még nem ismerjük (hiszen ha ismernők, az okból az okozatot ki is számíthatnánk), az okozat kapcsolat gyanúját a ,,post hoc, ergo propter hoc" (ez után, tehát ezért) klasszikus feltétel villantja fel. Az együttes előfordulás ugyanis szükséges az oksági kapcsolathoz. A következő lépést e klasszikus kritérium alapján tesszük: ,,Inductio per enumerationem simplicem sine instantia contraria" vagy ,,enumeratio simplex ubi non reperitur instantia contradistoria" vagy röviden ,,enumeratio simplex". (Egyszerű felsorolás által nyert indukció, amelyben nem találkozunk ellentmondó esetekkel, vagy röviden: egyszerű felsorolás). Közvetlen belátjuk, hogy egyetlen ellentmondó eset megdönti a már természettörvénynek látszó kapcsolatot. Az indukció, minthogy ismeretlen esetre kell következtetnie, nem is igényelhet erősebb bizonyítékot, mint az enumeratio simplex, de nincs szüksége többre, mert mióta a világ áll, a természettörvények (azok, amelyek a tudományos fejlődés során később is annak bizonyultak) alól még soha egyetlen kivétel sem mutatkozott. Ha tehát a természet továbbra is (és más helyen is) úgy viselkedik, mint eddig, akkor bízunk abban, hogy pl. a kénsav holnap is és a másik szobában is marni fogja a vasat. Ismerettárunk hasznosítására nincs is más módunk. Ha a várt jelenség nem következik be, eddig mindig elégtelen ismeretet jelentett s a további kutatások mindig szétbogozták az okozati láncolatokat s újabb, a természetet hűbben tükröző természettörvényeket nyertünk.

Az indukció általános alakja a következő: ha tudjuk, hogy az a_1, a_2, a_3, . . ., a_k individuumok egy osztályba tartoznak, melyre áll $f(a_i)$ és úgy tapasztaljuk, hogy $f(a_1) \supset g(a_1)$, $f(a_2) \supset g(a_2)$, . . . , $f(a_k) \supset g(a_k)$, akkor az induktív következtetés képletei:

$$1) \qquad \frac{f(a_1) \supset g(a_1), f(a_2) \supset g(a_2), \ldots, f(a_k) \supset g(a_k)}{(x)\big(f(x) \supset g(x)\big),},$$

* Megoldása CHURCH szerint. A. CHURCH: Introduction to mathematical logic 1956. I. 105.

amely következtetés magában még nem érvényes, ellenben a

2) $$\frac{\overline{f(a_b) \supset g(a_b)}}{\overline{(\bar{x})\big(f(x) \supset g(x)\big)}}$$

mindig érvényes (az a_b az ellentmondó eset, ahol nem áll az, hogy ha a_b f tulajdonságú, akkor g tulajdonságú is). Az 1) képlet szerinti következtetés akkor lesz érvényes, ha még a következő premisszákat is hozzávesszük: 1. Az előbbi értelemben vett természettörvények mindenhol és mindig (tehát a jövőben is) fennállnak, 2. Vizsgálatainkban az a-nak az f és g tulajdonságai megállapításában nem tévedtünk.

Az irodalomban gyakran találjuk azt a feltevést, hogy a nem ellentmondó esetek számával az indukció valószínűsége növekszik. Ez nem állhat, hiszen a meg nem vizsgált jövőbeli esetek száma végtelen. Példa erre a matematikából: a *Goldbach*-sejtés (minden 2-nél nagyobb szám két primszám összege) nem lesz bizonyosabb azzal, hogy bármilyen sok (de véges számú) esetre bebizonyítjuk. Azonkívül vannak esetek ahol egyetlen kísérlet is meggyőző (l. később). Az ismétlésnek mégis nagy gyakorlati előnye van akkor, ha nem igazi ismétlés, hanem a körülmények (tudatos vagy nem is szándékolt) változása kíséri, mert elősegítik az ellentmondó esetek előbukkanását.

Az enumeratio simplexet az ismert azonosság, $p\bar{q} = \overline{p \supset q}$ is alátámasztja: ha az előtag az utótag tagadásával együtt igaz, akkor nem lehet az előtagról az utótagra következtetni. Gondoljunk ismét ok-okozat kapcsolatra; ha a p ítélettel írjuk le a P okot és q-val a Q okozatot, akkor a természetben előfordulhat P és Q együttesen, P hiánya és Q együttesen (ui. az okozatot más ok is előidézhette), azután előfordulhat az, hogy az olyan okok (tehát P is), melyek Q-t felidézhették volna, nem jelentkeznek; de soha sem fordulhat elő, hogy a P ok megjelenése után a Q okozat meg ne jelenjen, azaz igaz legyen $p\bar{q}$. Az implikáció igazságértéktáblázatában is pq, $\bar{p}q$, $\bar{p}\bar{q}$ értéke 1, $p\bar{q}$-é pedig 0. Az ok-okozat kapcsolat és az implikáció hasonló szerkezete nem meglepő, hiszen a történelmi fejlődés során az implikációt egyenesen az ok-okozat kapcsolatról mintázták (mondhatjuk, hogy az implikáció a természetbeni ok-okozat kapcsolat visszatükrözése. Természetesen az implikáció alkalmazása másra is kiterjed).

Az okviszony megfigyeléses vagy kísérleti megállapításának módszereit J. St. Mill tárgyalta alapvetően.*

A négy módszer a következő:

1) *Az egyezés módszere.* Ha egy Q jelenség előzményei közt a P jelenség mindig megtalálható, akkor a P jelenség a Q jelenség oka. Nem meggyőző, mert esetenként váltakozó más okok, vagy észre nem vett jelenség idézik fel a Q-t. Jó példa erre a sokáig kórokozónak tartott influenza-bacillus esete, e bacillus ugyanis csak ártatlan kísérője az influenzának.

2) *Az eltérés módszere.* A Q jelenség bekövetkezik, ha P jelen van, és nem következik be, ha P nincs jelen. Megfelel az ekvivalenciának: pq vagy

* Mill János Stuart: A deduktív és induktív logika rendszere. A M. Tud. Akadémia megbízásából fordította Szász B. 1873, 1877. Az eredeti mű első kiadása 1843-ból, hetedik kiadása 1868-ból való.

$\overline{p}\overline{q}$. Ha ilyenkor a megfigyelés vagy kísérlet körülményei olyanok, hogy sikerült a többi okot kiküszöbölni, e módszer a legmeggyőzőbb erejű; ilyenkor világosan látjuk, hogy akárhány ismétlés ugyanazon eredményt adná s így egyetlen, két lépésből álló kísérlet is meggyőző. Például igen sok oka lehet annak, hogy egy rádióvevőkészülék ,,rossz". Ha benne az egyik kondenzátort kicseréljük egy jó kondenzátorral és ha biztosak vagyunk afelől, hogy semmi más változás közben nem történt és ha ezután a készülék kifogástalanul működik, akkor e kivett kondenzátornak az adott helyű beépítettsége volt a készülék hibásságának oka.

A köznyelv valamely tárgyat, pl. itt a hibás ,,kondenzátort" nevezi ,,ok"-nak. Az orvos kifejezése: ,,A halálának oka tüdővész", semmivel sem szabatosabb, mint az anekdotabeli halottkém jelentése: ,,a halál oka gereblye".

A fenti rádióvevő példában az ekvivalencia csak a p és q *ítéletek* közt áll, ami azt jelenti, hogy a q-ról is lehet a p-re következtetni, de a P-t a Q-val felcserélni nem lehet (az ekvivalenciát ugyanis úgy kaptuk, hogy a többi okot csak a kísérletből zártuk ki). Ellenben vannak megfordítható jelenségek, ahol csak egy ok tartozik az okozathoz, pl.: kvarckristály elektromos feszültségre alakját változtatja, mechanikus alakváltoztatásra elektromos feszültséggel reagál; a telefonhallgató tekercshuzalára áramot adva a lágyvasmembrán elmozdul, a membrán mechanikai mozgatása a tekercshuzalban áramot indikál; a vízbontó elektromos feszültség alatt fejlesztett gázai gázelemben elektromotoros erőt szolgáltatnak stb. FARADAY szerint ebben az okviszonyra vonatkozó általános törvény rejlik. Az ok-okozat időbeli viszonyaira itt nem térünk ki. (Az 1) és 2) módszer együttes alkalmazását szokták még mint külön módszert is tárgyalni.)

3) *A maradék módszere.* Ha valamely összetett jelenség esetében sikerült egy csomó ok-okozatpárt felderíteni, akkor a megmaradt jelenségekben az előző jelenségek valószínűleg okai a követő jelenségeknek; és bizonyossá válik akkor, ha be tudjuk bizonyítani, hogy egyéb ok-okozatpárok a jelenség körében nincsenek.

4) *Az együttjáró változások módszere.* Az ok-okozat kapcsolat a természetben igen gyakran folytonos és monoton, pl. egy rádiócső-karakterisztika világosan feltünteti a rácsfeszültség és anódáram közti folytonos összefüggést. Az ilyen folytonos és monoton (ennélfogva kölcsönösen egyértelmű) összefüggésre nyelvtani alakzat is van: ,,minél . . . annál . . .", mely kifejezhet monoton növekedést vagy monoton fogyást. (Implikáció alakban pl. ,,ha A növekszik, akkor B fogy".)

Az induktív következtetés eddig tárgyalt faját *nem teljes indukció*nak szokás nevezni. A *teljes indukció* (teljes felsorolás általi indukció) ugyanis akkor áll elő, ha egy osztály *összes* elemeit meg tudjuk vizsgálni arra vonatkozólag, hogy beletartoznak-e egy másik osztályba, pl.: ,,naprendszerünk bolygóinak nincs saját fénye" ítéletet úgy kaptuk, hogy minden bolygót megvizsgáltunk és úgy találtuk, hogy egy sem világít önállóan. (Előfordulhatna ugyanis sajátfényű bolygó is, mint más naprendszerekben.) Ha az individuumtartomány ,,a bolygók" és $f(x)$ jelentése ,,naprendszerünk bolygója" és $g(x)$ jelentése: ,,x-nek nincs saját fénye", akkor: $f(a_1) \supset g(a_1)$, $f(a_2) \supset g(a_2)$, . . . , $f(a_k) \supset g(a_k)$ premisszákból következik, hogy (x) $(f(x) \supset$

$\supset g(x))$. E következtetés valójában nem is „indukció", hiszen semmi „ismeretlen"-t nem tartalmaz. Szavakba így fejezhető ki: „Ami bármely f-re áll, az minden f-re áll", tehát nem egyéb, mint megfordítása egy, már föntebb említett következtetésmódnak. Vagy másként: a premisszák konjunkciója itt nem egyéb, mint a következmény expanziója.

A matematikai indukció (Bernoulli-féle indukció, indukció-elv a matematikában). Ezt az elvet így mondhatjuk ki: „Ha egy $f(x)$ tulajdonság az x-nek az 1 számértékére igaz, továbbá valahányszor e tulajdonság x-nek valamely k értékére igaz, *akkor* a $k + 1$ értékre is igaz, akkor e tulajdonság x minden értékére igaz". (x a természetes számokon fut át. A számok helyett megszámozott elemek is szerepelhetnek.) E következtetés szkémája:

$$\frac{f(1),\ (x)\big(f(x) \supset f(x+1)\big)}{(x)\,f(x)}.$$

Az indukció e faját tekinthetjük nem teljesnek, mert hiszen ténylegesen nem vizsgálhatunk meg egyenként minden „tagot", hanem csak következtetünk rájuk, de a teljes felsorolás jelképesen itt is megvan. A matematika az elvet axiómának tekinti és nem elemzi tovább. De az általános logika és az emberi gondolkodás kutatásának szempontjából minket érdekelnek az axiómák evidenciájának okai is. Miért annyira „magától" értetődő ez az elv? A vizuális típusú ember pl. az ismert „kártyakatona" játékra gondol, ahol az első „katonát" eldöntve, sorjában mindegyik eldönti a közvetlen utána következőt, akármilyen hosszú is a sor. Nem kell minden „tagot" megvizsgálnia, mert előre tudja, hogy bármely hosszúra felrakott sor tagjainak tulajdonságai ill. a köztük levő viszony ugyanolyan, mint a közvetlen közelben levőké.

Hasonlósági következtetések. Két jelenség hasonló, ha egy vagy több dologban pontosan megegyezik. Két jelenség egyenlő a klasszikus meghatározás szerint, ha minden ami az egyikről mondható, mondható a másikról is. Gyakorlatilag (pl. iparcikkek átvételi eljárásaiban) két tárgy egyenlő, ha az előírt összehasonlítási eljárás során az egyezés előírt jeleinek teljes sorát megkapjuk.

A *hasonlóság* esetében legyenek az egyik S_1 jelenség jellemvonásai m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, a másik S_2 jelenségéi m_1, m_2, m_3, m_6, m_7, akkor az első három jellemvonásában megegyeznek, a többiben eltérnek egymástól. (E jellemvonások lehetnek bármily bonyolult relációk is a jelenség részjelenségei vagy a kapcsolatos külső jelenségek közt.) Hasonlósági következtetés akkor keletkezik, ha pl. az S_2 jelenségből csak az első három jellemvonást ismerjük, és úgy gondoljuk, hogy pl. az m_4 jellemvonás létére is számíthatunk. Ilyen következtetés sok igazságra vezetett már rá, de talán még több tévedésre is, amelyeket óvakodtak feljegyezni, de szükség volt rájuk a téves kutatási út megmutatására. Tehát az alkotó gondolkozásnak nagyon termékeny segédeszköze a „plauzubilis" analógia-következtetés. A hasonlósági (analógia) következtetés valójában egy induktív és egy deduktív következtetés egymásutánja: „az A osztály néhány eleme a B osztályhoz tartozik, tehát az A osztály minden eleme a B osztályhoz tartozik;

minthogy az A osztály minden eleme a B-hez tartozik, tehát az A osztály egyik olyan eleme is a B osztályhoz tartozik, amely a fenti ,,néhány" közt nem szerepel".

Néhány szó a definiciókról (meghatározások). A fent említett S jelenségek közös m_1, m_2, m_3 jellemvonásai a jelenségek egy osztályát [a ,,nem" (genus) elnevezést a tagadó ,,nem" szócskával való összetéveszthetőség miatt mellőzzük] jelölik ki, az eltérő jellemvonások pedig ez osztályba tartozó fajokat jelölik meg. Egy faj ,,klasszikus definíciója" abból áll, hogy megnevezzük a ,,genus proximum"-ot (a legközelebbi osztályt), azaz amaz osztályt, amelyet az m_1, m_2, m_3 jelöl ki, és leírjuk a ,,differencia specificá"-t, azaz ama jellemvonásokat, amelyben e faj eltér a többi fajtól. A klasszikus definíciónak megvan azon előnye, hogy *rendszerező*, azaz nemcsak definiál, hanem egyben egy rendszerben való helyet is kijelöl. Nem klasszikus definíció pl.: ,,A lednek (Orobus vagy Lathyrus latifolius) olyan éghajlatunk alatt vadon élő növény, mely kétoldali széles szárnyas szárú", mert nem a legközelebbi osztályt neveztük meg és a rendszerezés alapjául szolgáló jellemvonásokat (virág, termés) elhallgattuk. De a definíció életrevalóbb, mint a klasszikus, mert a ledneket a többi növénytől élesen elválasztja és virágzási ill. termési időn kívül is használható. Ugyanilyen jellemzője a kecskerágónak (Evonymus europaeus) a fiatal ágak négyzetes keresztmetszete (négy szárnyú szár) stb. A definíciók más szempontokból is osztályozhatók, pl.: *explicit a definíció*, ha a meghatározandó fogalom egyedül áll, mint alany, pl.: ,,a mikron a milliméter ezredrésze". A *kontextus definíció* az, amelyben a magyarázandó fogalom csak mondatrészek közé ágyazva definiálható, pl.: ,,az a szám b alapú logaritmusa az a c szám, amelyre áll: $b^c = a$". A *nominális és reális definíció* csak alaki eltérést jelent, pl.: ,,okapi a neve a lejtőshátú kérődzők ilyen és ilyen fajának" (nominális); ,,A lejtőshátú kérődzők századunk elején felfedezett faja ilyen és ilyen" (reális).

1.6. A LOGIKAI FÜGGVÉNYKALKULUS ALKALMAZÁSA AZ IDEGHÁLÓZATOK MŰKÖDÉSÉRE*

Egy idegsejt (neuron) a szómából (sejttest) és a hosszú tengelyfonálból (axon, idegfonál) áll. A sejtek közti állandó érintkezés (szinapszis) az egyik sejt axonjának végfácskája (telodendrion) és a másik sejt szomája közt található, az ágak talpacskákban végződnek, amelyek a másik sejt felületéhez simulnak. Az ingerület e helyen való átlépésének küszöbe van az erőssége tekintetében. Az ingerület sebessége az axonban függ az axon átmérőjétől. Egy m/sec-nál kevesebb a rendszerint rövid, velőhüvelytelen axonokban és több. mint 150 m/sec a többnyire hosszú axonokban. Az ingerület iránya az axonban a saját szómától távolodó, tehát a szinapszisokban a talpacskából halad a csatlakozó sejt szómájába. (Az érzősejtekhez csatlakozó idegsejtekben az ingerület haladhat a szóma felé: pl. a bipoláris ganglionsejtek egyik axonjában stb.) Feltesszük, hogy egy egyszerű szinapszison

* W. S. McCulloch, W. Pitt: A logical calculus of the idea immanent in nervous activity. Bull. of Math. Biophys. V. 1943. 115.

átmenő ingerület a küszöb alatt van, s így több szinapszis egyidejű ingerületére van szükség az ingerület átvitelére, ha egyidejűségen a látens addició tartamát (0,25 msec) értjük (ezen kívül eső ingerület már nem összegeződik a többivel, egyszerű neuronok esetében). A késés a szinapszisban több mint 0,5 millisec. Az ingerület (idegimpulzus) lefolyásának első részében a neuron refrakter állapotba kerül (érzéketlen, nem ingerelhető). Ezután ingerelhetősége gyorsan visszatér sokszor a normális fölé is, ahonnan azután először egy szubnormális (normális alatti) értékre süllyed, ahonnan végül lassan a normális ingerelhetőségi állapotba tér vissza. Ismételt ingerlés fokozza a szubnormális süllyedést.

Inhibiciónak nevezzük valamely neuroncsoport működésének egy másik csoport egyidejű vagy előzetes működése által való megszüntetését vagy előzetes elhárítását, gátlását. Napjainkig úgy magyarázták e jelenséget, hogy feltették, hogy a másik neuroncsoport előzetes működése olymódon emeli a közvetítő neuronok küszöbeit, hogy ők nem tudnak többé ingerületeket felvenni az első csoport neuronjaitól. Ma ismerünk oly inhibiciókat, melyek 1 msec-nál rövidebbek s ez kizárja a közvetítő neuronok feltételezését. Fel kell tehát vennünk oly szinapszisokat, melyek közvetlen inhibitálhatják ama neuront, melyet egyéb szinapszisok impulzusai ingerelnek. Nincs eddig kísérleti adatunk arra vonatkozólag, hogy eldönthessük, hogy a refrakter állapot ilyen esetben relatív-e vagy abszolút. Egyszerűség kedvéért feltételezzük az utóbbit. Az inhibitáló szinapszist képzeljük el olyannak, amely oly anyagot termel, amely emeli a neuron küszöbét, vagy olyannak, amely úgy van elhelyezve, hogy az ingerléséből származó helyi változás ellenhatást váltson ki az ingerületeket másmódon átadó többi szinapszis által létrehozott változásokkal szemben. E két magyarázat az inhibició időtartamára nézve eltérő.

Az idegrendszer sok önmagába visszafutó (visszacsatolásos, cirkuláris, regeneratív) pályát tartalmaz.

Eddig feltételeztük, hogy egy ingerre a neuron csak egyetlen, mindig egyforma erős ingerülettel (impulzussal) válaszol. A centripetális pályákon ez annyiban módosul, hogy a külső inger erősségével arányosan az időegységben több ilyen egyszerű impulzus keletkezik (impulzusfrekvencia rendszer). Tárgyalásunkban ettől és más körülményektől is eltekintünk és feltesszük, hogy

1. A neuron működése ,,minden vagy semmi'' folyamat. (E folyamatot utánzó készülékeknek *6. ábra* (diagram) szerint kell működniük.)

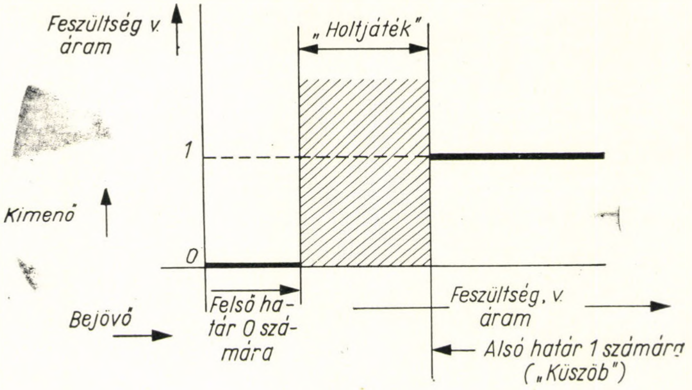
2. Bizonyos meghatározott számú szinapszist kell ingerelni a látens összegeződés időszakában avégből, hogy egy neuront ingerelhessünk s e szám független az előző működésektől (adott küszöbérték).

3. Az egyetlen számottevő késés a szinaptikus késés és ez mindig ugyanakkora.

4. Minden inhibiciós szinapszis működése abszolút.

5. A hálózat felépítése az időben nem változik.

Az $N_i(t)$ állítmányfüggvény (fogalom) egy t időpont behelyettesítésével a következő ítéletté alakul: ,,Az i-edik neuron a t időpontban ingerületben van''. Ilyenkor és csakis ilyenkor a függvény értéke 1 (az I individuumtartomány időpontokból áll). Megszabjuk továbbá a küszöbértéket, azaz megadjuk, hogy pl. legalább két talpacska ingerlése kell ahhoz, hogy a csatlakozó sejtben ingerület keletkezzen. A szinaptikus késés időtartamát időegységnek vesszük. Például tekintsük a *7. ábrát* ; *a* ábra egyszerű ingerület továbbítást (stafétaszerű továbbadást) mutat, tehát $N_2(t)$ akkor 1, amikor $N_1(t-1)$ is 1 (egyszerre 1-ek vagy 0-k, ekvivalencia). A *b* kapcsolás a megengedő diszjunkciónak felel meg, a művelet eredményét természetesen egy időegységnyi késéssel kapjuk meg. A *c* ábra konjunkciónak megfelelő hálózatot mutat, csak az 1 és 2 sejt egyidejű ingerlése hozza működésbe a 3 sejtet. A *d* ábrán a feltételezett inhibiciós szinapszis hurokkal van jelölve

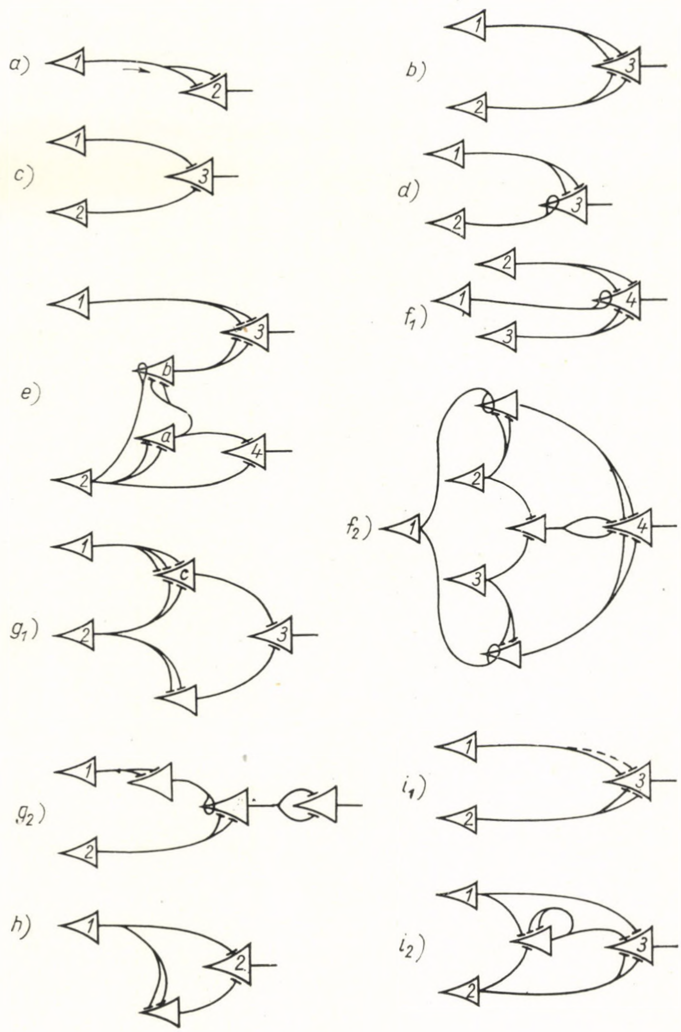


6. ábra
A „minden vagy semmi" folyamat diagramja

s feltesszük, hogy a 2 sejt ingerlése az 1 sejt két talpacskájának együttes hatását képes lerontani, tehát a 3 csak akkor gerjed, ha 1 ingerelve van, de 2 nincs ingerelve (abszolút inhibició). Az *e* hálózatnak két kimenője van: a 3 akkor jut ingerületbe, ha 1 ingerli, vagy ha 2 ingerelve van, de úgy, hogy nem kap két közvetlen egymás után következő ingert, pontosabban: egy szakadatlan, egymást közvetlen követő ingersornak csak legutolsó ingerét adja tovább; a 4 viszont csak akkor van ingerelve, ha a 2 két vagy több közvetlen egymásutáni ingert kap, tehát egyes ingerek hatástalanok, de összefüggő ingersorozatok minden ingerülete (számban eggyel megfogyatkozva) átmegy. Ha a bőrön 1 egy hőérzővégződés (hőreceptor), és 2 egy hidegérző végződés, továbbá 3 a hőérzet és 4 a hidegérzet továbbítója az agy felé, akkor a feltüntetett kapcsolással utánozható az a tapasztalati jelenség, hogy ha pillanatnyilag hideg tárggyal érintjük bőrünket, hőt érzünk, ha pedig az érintés huzamosabb, hideget érzünk.

Élő szervezetet utánzó modellen ezt a viselkedést csak akkor van értelme konstruktíve utánozni, ha tudjuk, hogy mi haszna van az élőlénynek emez, a természetet *nem* híven tükröző értesülésből.

Az f_1 a relatív inhibíciót mutatja be, az 1 csak akkor gátol, ha a 2 vagy 3 egyike van csupán ingerelve, a kettőt együtt nem tudja gátolni. Az f_2 ugyanezt abszolút inhibíciókból összeállítva mutatja be, késéssel. A g_1 az extinkciós, késleltetett gátlást példázza. A háromágú végfácska



7. *ábra*
Elemi ideghálózatok

Az elemi ideghálózatok működését leíró függvények

a) $N_2(t) \equiv N_1(t-1)$, *b)* $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \vee N_2(t-1)$,

c) $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \cdot N_2(t-1)$, *d)* $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \cdot \overline{N}_2(t-1)$,

e) $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \vee [N_2(t-3) \cdot \overline{N}_2(t-2)]$, $N_4(t) \equiv N_2(t-2) \cdot N_2(t-1)$,

f₁) $N_4(t) \equiv [\overline{N}_1(t-1) \cdot (N_2(t-1) \vee N_3(t-1))] \vee [N_1(t-1) \cdot N_2(t-1) \cdot N_3(t-1)]$,

f₂) $N_4(t) \equiv [\overline{N}_1(t-2) \cdot (N_2(t-2) \vee N_3(t-2))] \vee [N_1(t-2) \cdot N_2(t-2) \cdot N_3(t-2)]$,

g) $N_3(t) \equiv N_2(t-2) \cdot \overline{N}_1(t-3)$, *h)* $N_2(t) \equiv N_1(t-1) \cdot N_1(t-2)$,

i) $N_3(t) \equiv N_2(t-1) \vee [N_1(t-1) \cdot \exists x\, ((x < t-1) \cdot N_1(x) \cdot N_2(x))]$.

túlerős gerjesztést ad le, mire egy időegység múltán a c sejtben gátlás áll elő s a 2-ből jövő ingerület nem mehet tovább. E gátlás a következő időegységben már megszűnik. A g_2 kapcsolás ismert elemekkel ugyanezt elvégzi (a g_2 kapcsolás az eredeti cikkben más változatban található). A h hálózatban az 1-et legalább két ingernek kell közvetlen egymás után érnie, hogy a 2 továbbvezesse az ingerületet (n bemenő ingerre n — 1 kimenő ingerületet kapunk). Az i kapcsolások a *Pavlov*-féle feltételes reflex kialakulását példázzák. Az i_1-ben feltesszük, hogy az 1 és 2 egyidejű ingerlésekor a pontozott ág létesül, s így ezentúl már az 1 egyedül is ingerelheti a 3-at. Az i_2 változat szerint nincs szükség új elemek képződésére: a középső sejten pozitív visszacsatolást állítunk elő (a visszacsatolások fogalma ismeretes a szabályozás- és rádiótechnikából). Ha tehát az 1 és 2 egyszerre van ingerelve, a középső sejt ez időponttól kezdve állandóan begerjed s ezután már az 1 egymaga is ingerelheti a 3-at. Az i_1-nek az i_2-vel való helyettesíthetősége mutatja, hogy új elemek *képződését* miként lehet *preformált* szerkezettel helyettesíteni. Az i-hez tartozó képletben az „x kisebb, mint y" reláció is szerepel, melyet a jól ismert algebrai jellel jelöltünk. A képlet olvasása: a 3 sejt csak akkor ad kifelé ingerületet t időpontban, ha a 2 sejt ingerelve van (t — 1)-kor, vagy az 1 sejt van (t — 1)-kor ingerelve és van olyan időpont, amely (t — 1) előtti és az 1 és 2 sejt ebben az időpontban ingereltettek.

Meg kell jegyeznünk, hogy a fenti ábrák csak ideálisan egyszerűsített vázlatai az idegek anatómiai hálózatainak, pl. a hurokalakú inhibíciós végződés teljesen hipotétikus.

IRODALOM

a „Logikai bevezetés" c. fejezethez.

1. A. H. Basson—D. J. O'Connor: Introduction to symbolic logic. 1953, 1957.
2. G. Birkhoff: Hydrodinamics. A study in logic, fact, and similitude. Princeton. 1950. N. Y. 1955.
3. J. M. Bochensky: Formale Logic. 1956.
4. G. Boole: An investigation of the laws of thought etc. London. 1854.
5. A. Church: Introduction to mathematical logik. 1956.
6. Couturat: A logika algebrája. Ford. Kőnig Dénes. Math. és Phys. L. 17. 1908. 181.
7. J. F. Culbertson: Mathematics and logic for digital devices. 1957. 96—97.
8. G. Frege: Begriffsschrift. Formelsprache des reinen Denkens. 1879.
9. G. Frege: Funktion und Begriff. 1891.
10. G. Frege: Grundgesetze der Arithmetik. 1893. (A közelmúltban új angol nyelvű kiadásai is megjelentek.)
11. M. Gardner: Logic machines. Sci. Am. 1952. March. 68.
12. D. Hilbert—W. Ackermann: Grundzüge der theoretischen Logik. 1928, 1937, 1949.
13. J. N. Keynes: Studies in excercises in formal logic including a generalisation of logical processes in their application to complex inferences. 1884.
14. J. Lukasiewicz: Aristotle's syllogistic from the standpoint of modern formal logic. Oxford. 1951.
15. G. Peano: Notations de la logique mathématique. 1894.
16. P. Porecki: Sept lois fondamentales de la théor. des égalités logiques. Kazan. 1899.
17. E. Schröder: Vorlesungen über die Algebra der Logik. 1890.
18. R. Serrel: Elements of Boolean Algebra for the study of information handling system. Proc. I. R. E. 1953. Oct. 1366.
19. Varga T.: Matematikai logika. I. Budapest. 1960.
20. H. Zemanek: Információelmélet. Budapest. 1956.

II. BEVEZETÉS AZ INFORMÁCIÓELMÉLET ELEMEIBE

Az információelmélet a legutóbbi években fejlődött ki. Jelentősége abban áll, hogy matematikai alapot nyújt a hírközlés gazdaságos tervezésére, a különféle hírközlő rendszerek gazdaságos voltának összehasonlítására és a biztonságos információközlés tárgyalására.

Minden üzenet általában információk sorozatából áll.

Információn jól megkülönböztethető jelet értünk, melynek tetszőleges, de előre megállapított kódex szerinti jelentése van. A legegyszerűbb esetben az időben feszültségfolyamat alakjában lefolyó üzenetet egy $f(t)$ függvény képviseli *(8. ábra)*, amelynek értékei például s számú amplitudóra bonthatók („kvantálás"). Ha például $s = 10$, azaz a vevőben egy 10 osztású voltméterünk van, akkor tízféle információt tudunk táviratozni, mert minden egész számú feszültségértéknek egy előre megállapított jelentést adhatunk; például: 5 voltos kitérés = hajó, 3 voltos kitérés = vihar, stb. Az $f(t)$ függvény lehet egy távolbalátó rendszer amplitudó-modulált hulláma is; az egyes információk itt az egyes képpontok fényerejét megszabó feszültségamplitudók. Az ilyen amplitudó-típusú átviteli rendszerek mindegyikében minden egyes információt csak egy-egy egyszerű amplitudó képvisel.

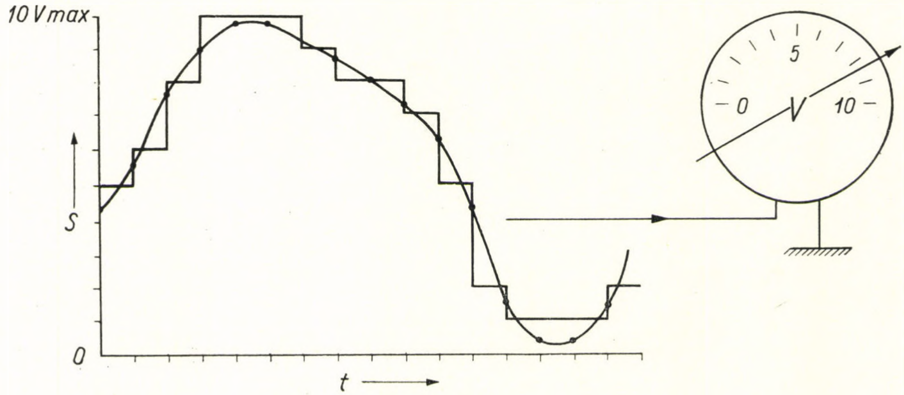
Nézzük meg, milyen viszonyban áll az amplitudó-típusú rendszer ama rendszerekkel, amelyek egy-egy eredeti információt impulzuskombinációkból tesznek össze, mint például a *Baudot abc* (távírógép), amelyben minden betű 5 egymásután következő jelből áll; a jelek egyenlő elemi impulzusok és hézagok. Miután az ilyen jelcsoportok nemcsak betűt jelenthetnek, hanem megállapodás szerint akármit (mint például a pulzus-kódexmodulációval átvitt távolbalátó-rendszerben: fényerősségeket), e jelcsoportokat szimbólumoknak fogjuk nevezni.

Például a 256 osztású voltméterrel rendelkező amplitudó-típusú átviteli rendszerben a szimbolumkészlet $A = 256$, s ha egy ugyanilyen szimbólumkészletű másik rendszert akarunk készíteni, amelyben $s = 2$, azaz csak hézagok és egyféle amplitudójú impulzusok csoportjai fordulnak elő, akkor, — mint látni fogjuk —, egy-egy szimbolum 8 elemi impulzusból, illetőleg hézagból fog állni, s elemből képezhető n-ed rendű ismétléses variációk száma s^n, tehát esetünkben $2^8 = 256$, azaz más szavakkal $\log_2 256 = 8$. Ez azt jelenti, hogy 256 részre kvantált amplitudójú rendszer minden szimbolumának 8 elemi impulzus felel meg a mindössze két jelből álló ($s = 2$) rendszerben. A *9. ábra* feltüntet még két rendszert, amelynek szimbolumkészlete ugyanennyi:

$$256^1 = 16^2 = 4^4 = 2^8,$$

azaz mindazon rendszerek egyenlő szimbolumkészlettel bírnak, amelyekre nézve $s^n =$ konst.

Egyenlő „lépéseket" (időszakokat) feltételezve az időkoordináta irányában, azonnal láthatjuk, hogy a legnagyobb rendszerében egy lépés esik egy szimbolumra, a legkisebb rendszerében pedig 8 lépés. Egyenlő körülmények között tehát az előbbi *nyolcszor annyi információt visz át*, mint az



8. ábra

utóbbi. Ha tehát a lépések például másodpercenkint történtek, akkor a *10. ábráról* leolvashatjuk, hogy az ábrázolt rendszerek sorra

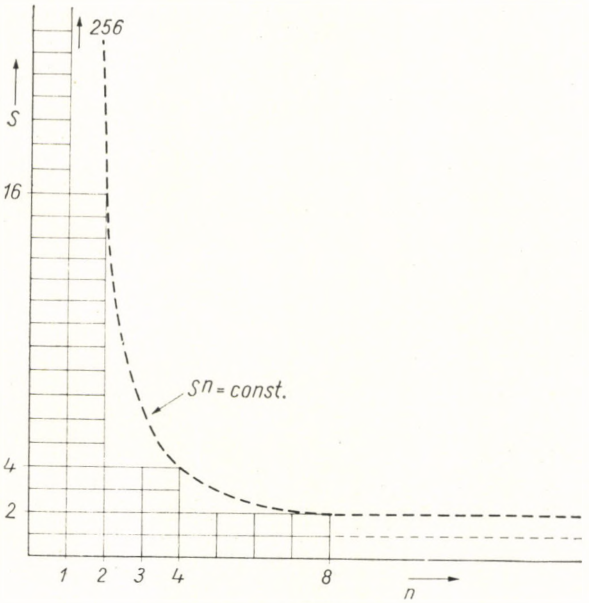
$$\log_2 256 = 8, \ \log_2 16 = 4, \ \log_2 4 = 2 \quad \text{és} \quad \log_2 2 = 1$$

információt visznek át az időegységben, azaz *információkapacitás*uk

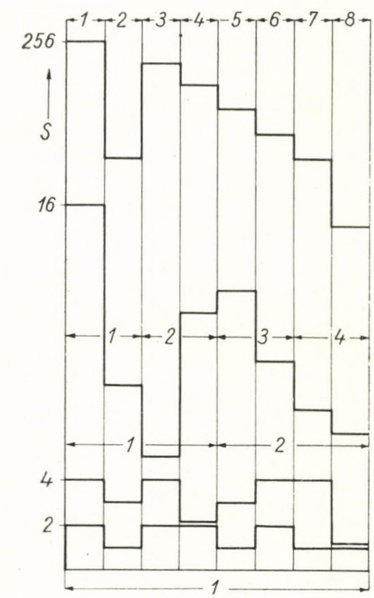
$$C_i = \log_2 s \cdot \text{bit/sec.}$$

A legkisebb lépést, amely egyetlen információt visz át, a számológépek terminológiájából kölcsön véve bit-nek (binary—digit rövidítése, angolul: kettes számrendszerbeli számjegy, biner-számjegy, diadikus számjegy) nevezzük. Ezzel eljutottunk Hartley alapvető képletéhez, amelybe a logaritmus nem önkényesen, vagy megállapodás szerint, hanem *szükségszerűleg* került bele.

Ez az összefüggés akkor is fennáll, ha más s rendszerre transzformálunk. Legyen például egy amplitudó-modulált $f(t)$ függvényünk, melyet most nem 256, hanem csak 16 amplitudóféleségre osztunk, azaz szimbólumkészlete csak 16 és egy egy lépésre egy szimbólum esik. Mit tehetünk, ha e rendszerrel 256 különböző információt akarunk átvinni? Megtehetjük például azt, hogy először $2^4 = 16$ rendszerbe térve át a *Baudot*-hoz hasonló, de négy lépésből álló szimbolumokat készítünk, 16-félét; nevezzük ezeket *betűk*nek, és most ezeket kettesével variáljuk újabb szimbolumokká, azaz két betűs *szavak*ká. Ilyen szó nem képezhető több, mint b^2, ahol b a betűk száma (b elemből másodrendű variációk), tehát $16^2 = 256$. Ily módon nyertünk 256 *szót*, tehát a 16 betűvel is ki tudjuk fejezni mindazt, amihez



9. *ábra*



10. *ábra*

előbb 256 különböző szimbolum kellett (szimbolumtranszformáció), de — időben ott vagyunk ahol voltunk — újra csak 8 lépésből áll egy információ átvitele (két négylépéses betű). Az eredményt azonnal is láthatjuk, ha b-be $16 = 2^4$-t helyettesítünk, amikor is $(2^4)^2 = 256 = 2^{4\cdot 2}$. Általánosságban:

$$s^n = s^{n_1 \cdot n_2} = (s^{n_1})^{n_2},$$

ezért *szimbolumtranszformációkkal nem játszhatjuk ki az általános törvényt.*

A fenti C rendszer- vagy információkapacitást még csatornakapacitásnak is szokás nevezni, jóllehet információcsatorna csak a szimbólumrendszert jelenti s nem tévesztendő össze a fizikai átvivő csatornával. KÜPFMÜLLER megadta, hogy fizikai okokból maximálisan csak $R = 2B$ számú elemi impulzus vihető át B sávszélesség mellett (R egysége a baud).*

* A táviratozás sebességének egysége a baud, amely az egy másodperc alatt fizikailag átvitt elemi impulzusok számát jelenti. Ha az impulzus tartama τ, akkor $1/\tau$ a baudok száma; például egy pont és egy szünet egy másodperc alatt két baud.

A bit/sec csak $s = 2$ esetén egyezik a bauddal. Nagy s esetén *egy* lépés (egy feszültségugrás) alatt sok bit vívődik át.

Világos mármost, hogyha a csatornakapacitás $C = \log_2 s$ bit/sec, akkor B sávszélesség megengedi, hogy $2B$-szer annyi információt vigyünk át 1 mp alatt, tehát

$$C_f = 2\, B \log_2 s \text{ bit/sec}$$

ahol C_f a fizikai csatornakapacitás.

A fentiekből kézenfekvő, hogy a legökonomikusabb volna az s-t minél nagyobbra választani, miáltal tetszés szerinti gyors információátvitelt érhetnénk el.

E tekintetben előnyösnek látszik a kínai *ideogram*-írás. Az ideogram írás a képírásból leegyszerűsített írásjel, amely egy egész szót, helyesebben fogalmat jelöl. Ugyanazt a szót, ha különböző fogalmat jelöl, külön jellel jelölik. Ebben az írásmódban tehát minden szónak külön szimbolum felel meg és $s = 10\,000$; ehhez biner rendszerbe átírva $\log_2 s = 13$ bit/szimb. elég volna. A valóságban egy ideogram maximálisan 34 elemi vonásból áll és bár a gyakori ideogramok ennél kevesebb vonásból állnak, a kínai írás mégis fölöslegesen bonyolult.

A japán írás viszont teljes egészében „szótagírás”. Ezenkívül gyakorlati és tudományos célokra van még a „Kotakana” és „Hiragana” írásmódjuk, amelyben egy jel két betűt képvisel, ahol az első mindig mássalhangzó, a második magánhangzó. A szótagvégző „n” betűnek külön jele is van. Ezeken kívül a jelekhez csatolható a „nigori” és „maru” módosítók vagy hangátalakítók is. Az együttesen előforduló két betűből álló betűcsoportot általában *digram*nak nevezzük.

Az s amplitudó-fokozatszám növelésének azonban határt szab a fizikai csatorna zajszintje. Ha feltételezzük, hogy egy amplitudó változást jól fel tudunk ismerni akkor, ha az legalább egyenlő a zaj átlagos feszültség-amplitudójával N-nel, akkor, ha a szimbólumkészlet legnagyobb amplitudójú tagját S-sel jelöljük, közvetlenül felírhatjuk az $s = (S + N)/N$ formulát, azaz a maximális amplitudót s-nél több részre nem oszthatjuk a szimbólumok érthetőségének elvesztése nélkül. Egyszerű behelyettesítéssel:

$$C = 2\, B \log_2 [1 + (S/N)] \text{ bit/sec. (Módosított } \textit{Hartley}\text{-képlet.)}$$

Átszámítva közepes teljesítményre, a

$$C = B \log_2 [1 + (S_t/N_t)]$$

alakot kapjuk, ahol S_t és N_t közepes teljesítményértékek.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a képletben N nem független a B-től, hanem $N_t = B\, N_0$, ahol N_0 a sávszélesség egy rezgésszámegységére jutó zajteljesítmény. Az összes fellépő zajféleségeket ugyanis „fehér”-nek tekintjük, azaz minden rezgésszám egyenlő amplitudóval szerepel a sávon belül (a hőzaj pontosan ilyen). A kiadódó valóságos amplitudók *Gauss*-féle eloszlást mutatnak, tehát mindig van véges valószínűsége annak, hogy egyes zajamplitudók átlépnek egy tetszőlegesen felállított határt.

Ha az információkapacitást az idővel szorozzuk, megkapjuk az arra az időre eső *információtartalmat* (amount of inf.) bitekben.

A szimbolumkészlet, illetőleg a vele együttműködő egész átviteli rendszer mintegy eszközül áll a *hírforrás* (source) számára. A hírforrás, például egy távirdai feladó-központ, úgy is felfogható, mint egy automata, mely bizonyos rendszer szerint szimbolumok folytonos sorozatát bocsátja ki, éspedig az egyes szimbolumokat különböző gyakoriságban. Az emberi beszéd szimbolumainak minden kategóriájában találunk ilyen törvényszerűséget. A betűgyakoriság nyelvek szerint különböző, melyekről táblázatokat is készítettek.

Betűgyakoriság statisztikát elsőízben a milanoi Sicco Simonetta állított össze 1380-ban, később Porta 1658-ban a digramokra is kitért. Azóta természetesen a kriptogramok megfejtésének technikája igen sokat fejlődött.

Poe Edgar „Az aranybogár" című kis regényében egy kriptogram megfejtésére való felhasználását mutatja be.

A szógyakoriságról is vettek fel táblázatokat (nyomtatott szövegben a névelő a leggyakoribb, telefonbeszélgetésben az „én", utóbbi természetesen az indogermán nyelvekre vonatkozik, mert a magyarban a személyes névmások a ragokba helyezkednek át). Ugyanígy a mondatgyakoriság is táblázatokba szedhető.

Az egyes szimbólumok különböző gyakoriságát az információátvitelben úgy hasznosíthatjuk, hogy a gyakoribb szimbólumokat időben rövidebbre vesszük, mint ahogy azt már Morse megtette. A kérdés legáltalánosabb alakjában, azaz minden elképzelhető hírközlési rendszerre is érvényesen, a következő:

Adva van egy hírforrás, melyben a szimbolumok gyakoriságát ismerjük, de egyéb semmit, hány bit-nek kell egy szimbolumra esni átlagban abban a rendszerben, amelyet konstruálni akarunk a legoptimálisabb átvitel számára? A levezetést mellőzve az eredmény: egy betűre (szimbolumra) esik átlagosan

$$H = - \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \quad \text{bit/szimbolum.}$$

E kifejezést *entrópiá*nak nevezik. A mérnök számára ez idegenül hangzik, mert entrópiaváltozáson a hőtani $\int \frac{dW}{T}$ kifejezést érti és pl. gőzgépek méretezésekor $E = f(T)$ entrópiadiagramokat használ fel. (W hőmennyiség, T abszolút hőmérséklet, E entrópia). A *Boltzmann*-féle H-függvényt az információelméletbe Shannon vezette be. Az információelméleti entrópia megadja, hogy hány bit kell szimbolumonként adott kódexelés esetén egy hosszú üzenet átvitelére. H kisebb, mint $\log_2 n$, mert a szimbolumféleségek nem egyenlő valószínűséggel fordulnak elő. N betűből álló üzenethez NH bit szükséges (= *hírtartalom*). A *híráram* $= NH/T$ bit per secundum, ha T az egész üzenet tartama.

Nézzünk meg néhány erre vonatkozó példát. Legyen csak két szimbolumunk, A és B, melyek közül A olyan jelenség előfordulását közli, amely igen ritkán, pontosabban B egy csoportban 15-nél nem többször fordul elő. Tehát $p \ll q$, ahol p az A és q a B valószínűsége. Miután $p + q = 1$, az entrópia:

$$H = - p \log_2 p - (1 - p) \log_2 (1 - p) \,.$$

Ez azt jelenti, hogy az átvivőrendszert meg lehet úgy tervezni, hogy a bit per szimbólum is megfelelő kicsi legyen. Ilyen rendszer például szünet- és egységimpulzusból (0,1) álló információ-csatorna, melyben az A legyen például 0000, a B-knek azonban nem adunk külön jelet, hanem az egymásután egy csoportban előforduló B-k számát táviratozzuk meg biner számokban. Világos, hogy mivel A igen ritkán jön elő, a négy szünet elhanyagolható, a B-k száma pedig biner számrendszerben kevesebb bitet tartalmaz, mintha minden B-t egy külön bittel vinnénk át.

Másik példa: legyen négy szimbolumunk: A, B, C, D, melyek valószínűsége $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/8$, akkor az entrópia: $H = -\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4} + \frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8}\right) = 7/4$ bit/szimb. Ha minden szimbolumot két bittel ábrázoltunk volna, azaz egy-egy szimbolum: 00, 01, 10, 11, akkor az entrópia 2 bit per szimbolumnak jött volna ki (ez esetben természetesen előre is tudjuk, mert hiszen minden szimbolum két bitből áll), ezzel szemben most nyereségünk van. Az entrópia maximális, ha minden szimbolum egyenlő gyakoriságú (jelen esetben $H_{\max} = 2$); a kettő viszonya a *relatív entrópia*, jelen esetben $7/4{:}2 = 7/8$, amit *kompresszióviszony*nak is nevezhetünk. A kisebb entrópiájú rendszer egyes szimbolumainak hosszát (tartamát bitekben) mechanikusan megkapjuk a következőképpen (SHANNON—FANO módszere): a p-ket nagyság szerint sorbarakjuk s választóvonalat húzunk közéjük úgy, hogy a keletkező két csoportot külön összeadva, lehetőleg egyenlő két számot kapjunk. Az egyik csoport kap egy 0, a másik egy 1 jelet. A csoportokat tovább felezzük így s minden ily osztáskor a jobboldali csoport egy további 0-t, a baloldali egy további 1-et kap s végül minden egyes p mellé egy, különböző hosszúságú biner szám kerül. Így a példából: $A = 0$, $B = 10$, $C = 110$, $D = 111$.

Ellenőrzésként számítsuk ki ezek középértékét; ez: $\frac{1}{2}\cdot 1 + \frac{1}{4}\cdot 2 + \frac{1}{8}\cdot 3 + \frac{1}{8}\cdot 3 = \frac{7}{4}$, ami egyezik az entrópia fent kapott értékével.

Megjegyzés: Sokan azt mondhatnák erre, hogy a fentinél ökonomikusabb kompressziót is lehet csinálni: $A = 0$, $B = 1$, $C = 01$, $D = 11$, amikor is az entrópia 5/4. Az oka ennek az, hogy amikor rövidebb szimbolumokat is megengedünk, mint amilyeneket a *Hartley*-képlet előír, akkor n maximálisan megengedett lépésszám mellett nem 2^n szimbólumot képezhetünk, hanem

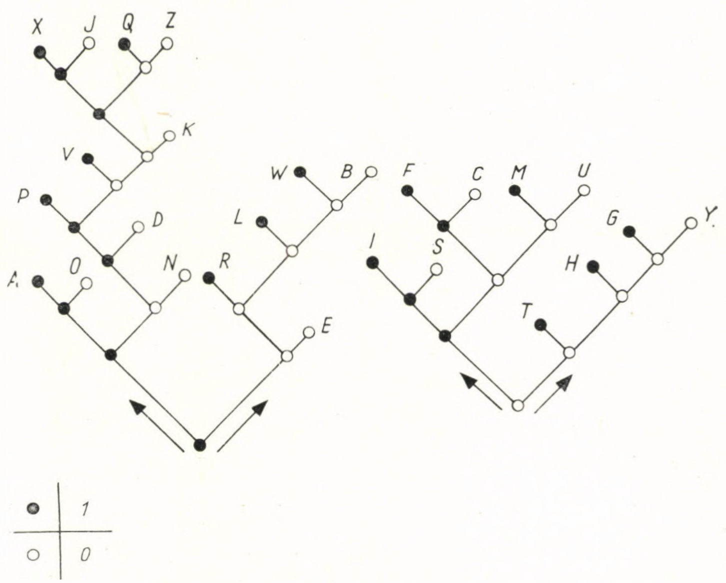
$$2^n + 2^{n-1} + \ldots + 2^2 + 2 = 2^{n+1} - 2 \cong 2^{n+1}\text{-et}.$$

Szerző (a *Magyar Posta Műszaki Közleményei* 1930) 22 000 betű statisztikája révén felvette a nyomtatott magyar szöveg betűgyakoriság-értékeit. A *Shannon—Fano*-módszerrel ehhez most kiszámított legrövidebb jel *három*, a leghosszabb *nyolc* bitnek adódott. A fenti meggondolás szerint pedig a leghosszabb *négy* bit lett és maradt is egy üres szimbolumunk. Ekkor 2,38 bit esik egy betűre (digramok stb. tekintetbevétele nélkül).

Azonban hangsúlyoznunk kell, hogy a *Shannon—Fano*-féle szimbolumok szorosan egymásután következhetnek minden elválasztójel vagy hézag nélkül, míg a legutóbb említett rendszerben a szimbolumokat elválasztójelekkel kell ellátni a start-stop rendszerek módjára, s ez végeredményben a szimbolumok hosszát növeli. Eddig hallgatólagosan feltételeztük, hogy az egyenlő hosszúságú szimbolumok szorosan egymásután peregnek le, és a „vevő" a szimbolumok elejét és végét abból ismeri fel, hogy szigorú szinkronizmust (helyesebben szinkronizmust és fázist) állítunk be a közlemény indításakor. Így pl. az 5 bites szimbolumú *Baudot* géptávíró vevője minden ötödik bitet szóvégnek tekint és a következő bitet a szó elejének.

A fázisra nem kellene ügyelni, ha öt vevőgép dolgozna egyszerre, egymástól fázisban egy-egy bittel eltolva, ekkor a gépek valamelyike biztosan a helyes szöveget venné. De hogy melyik a helyes szöveg, ezt a vevő távirász csak akkor döntheti el közvetlenül, ha a nyelvet ismeri és a közlemény nem rejtjeles (siffrírozott).

Mármost a *Shannon—Fano*-féle rendszerben szintén csak a szinkronizmus (együtt-futás) és fázis megtartására (konfáz-járás) van szükség. A szimbolumok ugyanis olyanok, hogy ha az elsőnek az eleje meg van



11. ábra
Súlyozott abc az angol betűgyakoriság alapján

határozva, akkor a többié már adva van, azaz *nincs olyan szimbolum, amely egy másik szimbolum jelcsoportjával kezdődne.* Ezt jól megfigyelhetjük a *11. ábrán*, mely az angol nyelv *batűgyakorisága* alapján súlyozott *Shannon—Fano*-féle abc-t mutat,* s egyben a vevőgép működését is megmagyarázza. Képzeljünk minden csomópontban egy sarkított (poláros) jelfogót, mely 1 ill. 0 jelre a jobb ill. bal ágat kapcsolja a vonalra. Az ágak végén levő relék egyrészt az odaírt betű nyomtatókarját működtetik, másrészt a legalsó két relét kapcsolják új betű kezdésére. Természetesen, ha az első szimbolumot (betűt) nem kezdtük az elején (azaz nem konfáz az együttfutás), akkor

* Bell—Duggan: Relative speeds of telegraphic codes. Electronics Rad. Eng. (Wir. World), 1958. Dec. 476.

itt is baj van, pl. a ritka J szimbóluma 1101100110 felbomolhat rövid szimbólumokra, pl. a negyedik biten kezdve a gép egy N-t vesz fel stb. Az ábra szerinti rendszer entrópiája 4,16 bit/betű.

További rövidítés érhető el digramok (3,57) és a poligramoknak egész az oktogramokig (2,35) bezárólag való felhasználásával. Összehasonlításul vizsgáljuk meg a *Morse*-rendszer entrópiáját. Minthogy egy *Morse*-pont 1 bit, egy belső hézag 1 bit, egy vonás 3 bit, súlyozás, betű és szóhézag nélkül az entrópia 8,23; súlyozással az angol nyelvre (a *Morse*-jelek hosszát a betűgyakoriság szemmeltartásával állapították meg) 5,96; három bites betűhézag beszámításával 8,96; öt bites szóhézaggal 9,2 bit/betű. A hézagmentes szinkron *Baudot*-rendszerben természetesen 5 bit/betű az entrópia. Az 5 bites szimbolumú start-stop rendszerek entrópiája 7, a szóhézagok miatt 7,5. A szinkron rendszerek a gyakorlatban nem kedveltek, mert a pontos fázis előkészítése és a szinkronjárás fenntartása technikus kezelőket, időt és kényes gépeket követel, ezzel szemben a „startstop" rendszerek mindig üzemkészek. A szinkron rendszerekben a 4,16 nem nagy előny az 5-tel szemben, mert bonyolultabb géprendszer kell hozzá és minden nyelvre más kódex kell, míg a *Baudot* abc-re a nyelv nincs befolyással.

Az entrópia fogalma egyéb dolgokat is kifejez. Amikor az entrópia maximális, azaz minden p_i egyenlő, akkor legbizonytalanabbak vagyunk afelől, hogy mi fog érkezni, míg ha csökken, akkor már valószínűséggel várhatunk valamit. Az entrópia csak akkor zérus, ha egy kivételével minden p_i zérus. Ez azt jelenti, hogy ilyenkor nincs híradás, mert mindig csak ugyanaz a szimbólum érkezik a vevőbe, amelynek valószínűsége 1.

A *fölösleg (redundancia, terjengősség)*, képlete: $1 - H/H_{\max}$ azaz, ha a relatív entrópiát 1-ből levonjuk, kapunk egy százalékokban kifejezhető számot, mely megadja, hogy a lefolyt szimbolum-sorozat hányadrésze maradhat el anélkül, hogy az érthetőséget csökkentené. Például a beszéd redundanciája általában 50%, azaz, ha valamely szöveg betűiből mind több és több betűt kitörlünk, akkor lesz éppen megérthetetlen, ha a felét hagytuk el. Zérus redundancia esetén minden betűkombináció értelmes szót adna, ez esetben bármily szók egymás fölé írt sorai azonnal felhasználhatók volnának keresztrejtvény képzésére, mert az egymás fölötti betűk függélyesen olvasva is értelmesek lennének, sőt mindkét irány visszafelé olvasva is értelmes lenne. Zérus redundanciára jó példa még a sorsjegyhúzás, ahol approximative nem lehet megnyerni a főnyereményt, ellenben egy szót megadhatunk közelítőleg (hibásan) is, akkor is ráismerhetünk (pl. barátság, barédság).

A távolbalátás redundanciáját az jellemzi, hogy a szomszédos sorok igen hasonlók és az egymás utáni képek közel azonosak.

Emellett még a sávban is hézagok vannak: ugyanis az egész információtartalmat főleg a sorfrekvencia felhangjai viszik át s köztük a sávban jelentékeny üres hely marad. Ezt értékesítik az interharmonikus rendszerek, melyek az üres hézagokban helyezik el pl. színes távolbalátás esetén a színeket átvívő frekvenciákat.

Az emberi beszéd már a hangjaiban sem használja ki az összes lehetséges hangokat, azonkívül a „szókészletet" is kihasználatlanul hagyja, így például 32 betűből négybetűs szó képezhető 32^4, tehát kereken egymillió. Noha ezek nagyrésze kiejthetetlen, a többi mégis bőven elég a világ összes nyelvei számára. Megengedjük azt is, hogy ugyanaz a szó más nyelvben más jelentésben is előforduljon. Ezenkívül meglevő és kihalt nyelvek különbözősége is mutatja, hogy több, átlagosan kevés számú betűkből álló szók esetén elégséges a szókészlet. Maga az elektromos átvitel is tartalmaz fölösleges elemeket: a felhangok fázisa nem visz információt; modulálás esetén az egyik oldalsáv fölösleges; végül amplitúdók tekintetében $s = 8$ kvantálás teljesen elég az érthetőséghez (sőt még $s = 2$ esetén is marad némi érthetőség).

Az a folyamat, amikor valamely fizikai rendszer (helyesebben ennek matematikai modellje) valószínűségek által megszabott szimbólumsorozatot termel, *sztochasztikus folyamat.*

A *Markov*-féle folyamat olyan sztochasztikus jelsorozat, melyben egy tetszőleges jelet kiválasztva az ezt megelőző jelek az ezt követő jelekre csak a kiválasztott jel valószínűségére való befolyásukon keresztül gyakorolnak hatást. Ha ezenfelül a folyamat valószínűségi struktúrája elég hosszú szakaszokat összehasonlítva nem változik, általában *ergodikus*nak nevezzük. Az, hogy a beszéd egy kauzális folyamatot is iktat közbe, csak növeli a valószínűségi folyamatokhoz szükséges nagyszámú okok számát.

Ilyen a beszéd, a pulzus-kodex-modulált beszéd, vagy távolbalátó-átvitel stb. E folyamatokban a valószínűségek lehetnek függőek is, például valamely betű gyakorisága függ az előtte levő betűktől is, például a magyarban a *z* az *s* után többször fordul elő az *sz* ,,digram'' miatt, mint ahogyan az a *z* független gyakoriságából (4,23%) következne. A nyelveknek ilyen digram, trigram stb. szerkezetének tekintetbevételével például a titkosírások megfejtése megkönnyül, sőt a hírközlés is meggyorsítható.

Legyen például 32 betűnk és 16 digramunk. Ha csak egyszerű betűink vannak, akkor egy 64 betűs szöveg *Baudot* (öt bites) kódex-szel 320 bittel táviratozható. Ha viszont a fenti $32 + 16$ szimbólumunk van, az öt bit ugyan nem elég, hatot veszünk tehát, de $(32 + 16) \cdot 6 =$ csak 288 bit. Ilyen ,,statisztikai illesztéssel'' elérhetjük azt, hogy egy betűre 2 bit esik. Percenkint 100 szavas beszéd átvitelére 20 decibeles jel-zaj viszony mellett 15 bit/sec feltételezésével elég 2,3 ciklus/sec sávszélesség, ha csak az érthetőségre helyezünk súlyt s minden egyebet, például személyi felhangokat, hangsúlyozást elejtünk.

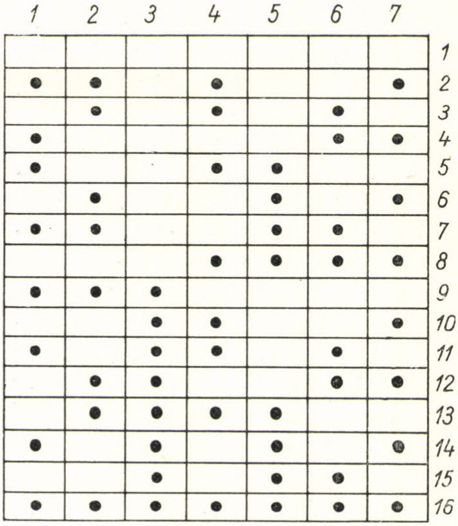
A betűgyakoriságot is számba véve és a betűhézagot 3, a szóhézagot 5 lépésnek véve, a *Morse*-rendszerre egyenletes betűeloszlást feltételezve 9,2 bit/szimbolum jön ki. Jóval kevesebbet kapunk, ha a vonást ,,negatív-pont''-tal helyettesítjük, ekkor $s = 3$, tehát, — ceteris paribus — legalább $\log_2 s = 1{,}6$-szor gyorsabb átvitelt nyerünk. Ilyen volt a nyugati irodalom által agyonhallgatott Pollák—Virág (1896) *első* rendszere 100 000 szó óránként. Félakkora sebességet ért el a zsinórírással író rendszerével, bár ez kétcsatornás volt (egyik a függélyes, másik a vízszintes kitérések vezérlésére a háromféle amplitudóval; tehát $s = 4$ a zérus beszámításával csatornánként). Egy betűre átlagosan (becsléssel) 7 lépés jut, tehát a rendelkezésre álló szimbolumkészlet 3^7, ebből csak 38 volt használatban. Kitűnik ebből, hogy a rendszer erősen redundáns s hogy mégis gyorsabb volt, mint a korabeli többi rendszer, az annak köszönhető, hogy vevőjében semmi transzformáló (nyomtató stb.) szinkronizáló stb. mechanizmus nem volt szükséges ahhoz, hogy közvetlenül olvasható írást szolgáltasson.

A *Siemens*-féle gyorstávíró szikrával átvilágított negatívról fényképezte szalagra a betűt, mégis a bonyolult mechanikai vevőrendszer miatt félakkora sebességet sem ért el, mint a *Pollák—Virág*-féle. A *Pollák—Virág*-féle rendszerben a betűíró tükör (ma katódsugárcsővel helyettesíthetnénk) fenti impulzusokkal való vezérlése páratlanul áll a maga nemében; az impulzuskombinációk sora elvben teljesen analóg az emberi kéz izmaira az írás alkalmával ható idegimpulzus-csoportok sorozatával.

Ama szinkronfutó gyorstávírók, melyek az ötlépéses betűk közt hézagot nem hagynak, a szóhézagok miatt 6 bit/szimb.-mal jellemezhetők.

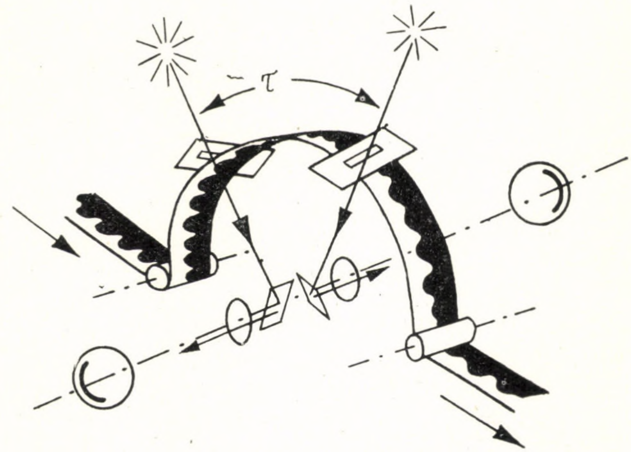
A redundancia csökkentése rövidíti az üzenetet, de hibák esetén megnehezíti a helyes szöveg kitalálását. Ilyen alapon a bit/szimbólum megnövelésével *önjavító* (amelyik csak jelzi a hibát) vagy hibajelző kódexeket (error-detecting code, amelyik a helyes szimbólumot is megadja) is konstruálhatunk. Ezek erős zavaró zajok mellett is, amikor egyes impulzusok felismerhetetlenekké válnak, érthető vételt biztosítanak azáltal, hogy nemcsak azt jelzik, hogy egyáltalán hibás a szimbólum, hanem azt is megmutatják, hol a hiba. *Hamming*-féle ilyen kódex a következő:

Egy szimbolum hét bitből áll s ezek közül három, például az 1, 2, és 4 legyen fenntartva a hibajelzésre, míg a többi négy a hírközlésre. A hibajelzők közül a 4-est úgy választjuk (0 és 1 közül), hogy az 5, 6, 7 hírközlő bittel összeadva (amelyek természetesen szintén csak 0 vagy 1 lehetnek) páros eredményt ad. A 2-est úgy választjuk, hogy a 3, 6, 7-tel összeadva legyen páros, végül az 1-es a 3, 5, 7-tel összegezve adjon páros eredményt. Vételkor azután úgy járunk el, hogy képezzük a vett jelekből a fenti módon a három összeget. Hibátlan szimbolum esetén mindhárom páros (ne felejtsük el, hogy e rendszer csak egy-egy hibára tud korrigálni), a párosságot 0-okkal jelölve a 000 számot kapjuk. Ha például az utolsó összeg páratlan, a fenti szám 001 lesz és ez mint biner szám jelenti azt, hogy az első impulzus hibás; 011 jelzi, hogy a harmadik hibás és így tovább. Folyamatos vételre természetesen bonyolult vevőkészülékek szükségesek. Kitűnik az is, hogy így hét bitből, amellyel 128 szimbolum képezhető, csak 16-ot használhatunk *(12. ábra)*. Világos ugyanis, hogy minden hiba által egy másik szimbólum keletkezik s miután hétféle hiba lehetséges (esetenként 1–1 hibával), hét olyan szimbolum keletkezik, amelyet nem szabad lefoglalnunk a táviratozás számára. Így tehát egy-egy használható 7 bites szimbolum lefoglal 8 szimbolumot és így 128 : 8 = 16 szimbolum marad. A redundancia tehát igen nagy. Egy másik hibaelhárítási módot alkalmaz a *Baudot—Verdan*-féle rendszer, amely minden betűt háromszor ismétel, és a vételkor legalább kétszeri egyforma vétel hibátlan megérkezést jelent. Ezáltal természetesen a közlés ideje háromszorosára nő.



12. ábra

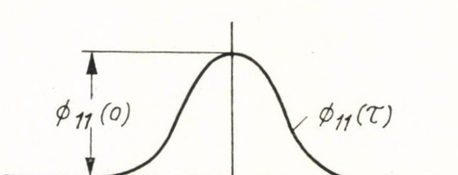
Módunk van a zörejektől származó hibák elhárítására még akkor is, ha a zavarózaj jóval nagyobb az egységimpulzus-jelnél. Az egységnél kisebb S/N-t helyettesítsük a módosított Hartley-képletbe. Ha S_t/N_t igen kicsi, akkor $C = B \log_2 (1 + S_t/N_t)$-ben $\log_2 (1 + S_t/N_t) \cong (S_t/N_t) \log_2 e =$ $= 1{,}443\, S_t/N_t$, tehát $C = 1{,}443\, S_t B/N_t$ bit/sec. Az ilyen rendszerekhez vevők is konstruálhatók a megfelelő bonyolultság és késés árán. A zörejből az impulzus kiemelhető, ha az utóbbiban valami ismétlődés fordul elő, például vivőáram amplitudói. Ha ezeket össze tudjuk adni valahogyan, akkor a hasznos értékek lineárisan adódnak össze, míg a zaj — miután mindig más amplitudóértékek kerülnek össze — csak négyzetgyök szerint nő s így a jel-zajviszony tetszés szerint javítható. Még előnyösebb az ismétlődő értéket megszorozni egymással, mert így a negatív oldal is átkerül a pozitív oldalra (a hasznos impulzusnál), míg a zaj megsemmisül. Utóbbi módszert teszi lehetővé az *autokorreláció*. Az érkező üzenet oszcillogramja legyen filmre felvéve az ismert fekete-fehér eljárással, amilyen a hangosfilmtechnikában használatos. Végtelen szalaggá ragasztva a filmet, két rés előtt járatjuk, melyeken átjutó fény két fotocellára jut *(13. ábra)*. Ezeknek áramát valamely ismert elektronikus szorzóval egymással megszorozzuk, aztán integráljuk a film egyszeri körülfutásának tartamára. Ez integrál értéke a beállított τ késéshez tartozó pontja lesz a korrelációs függvénynek. A τ értéket változtatva, a függvény minden pontját megkapjuk. Az eddig elmondottak szerint az autokorreláció függvénye:



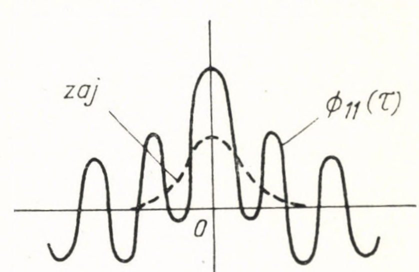
13. ábra

$$\Phi(\tau) = \lim_{T\to\infty} \int_{-T}^{+T} f(t)\cdot f(t+\tau)\,dt\,.$$

A két tükör egymáshoz való szöge (a fényforrásokkal és résekkel együtt) állítható; a határozott integrállal a gyakorlatban nem mehetünk a végtelenig, jelen esetben T a filmhurok hosszának félideje. A kezdőpontban, $\tau = 0$ esetén az $f(t)$ önmagával szorzódik, tehát az effektív értéket kapjuk. Ezért a hőzaj autokorreláció-függvénye a *(14. ábra)* 0-nál a zaj effektív



14. ábra
Hőzaj autokorreláció-függvénye



15. ábra
Zajjal kevert periodikus függvény autokorreláció-függvénye

10. táblázat Néhány hírátvitel információelméleti adatai

	Szimbolum készlet n	Csatorna (sáv) B cps	Híráram $2BH/T$ bit/sec = baud	Hírtartalom $N\ 2\ BH$ bit	Hírmennyiség $n^N 2^B$
Távíró	2	25	$50 \log_2 2 = 50$	60 betűs távirat esetén (5 bit egy betű) $60 \cdot 5 = 300$	$2^{300} = 10^{90}$
Távbeszélő	32 (kvantálási fokozat)	4 kc	$8000 \log_2 32 = 40$ kbaud	3 perces beszéd $7{,}2 \cdot 10^6$ $(180 \cdot 40 \cdot 10^3)$	$2^{7,2\cdot 10^6} = 10^{2,16\cdot 10^6}$
Rádió műsorszóró	128	10 kc	$2 \cdot 10^4 \log_2 128 = 140$ kbaud	Negyedórás műsor $15 \cdot 60 \cdot 140 \cdot 10^3 =$ $= 126 \cdot 10$	$2^{126\cdot 10^6} = {}^{37,8\cdot 10^9}$
Távolbalátás	32	5 Mc	$10^7 \log_2 32 = 50$ Mbaud	Negyedórás műsor $15 \cdot 60 \cdot 50 \cdot 10^6 = 45 \cdot 10^9$	$2^{45\cdot 10^9} = 10^{13,5\cdot 10^9}$
Színes távolbalátás *a)* három teljes szimultán csatornás	32^3	5 Mc	$10^7 \log_2 32^3 = 150$ Mbaud	Negyedórás műsor $135 \cdot 10^9$	$2^{135\cdot 10^9} = 10^{40,5\cdot 10^9}$
b) kompatibilis	à 32	5 Mc 1,5 Mc 0,5 Mc	$10^7 \log_2 32 + 3 \cdot 10^6 \cdot$ $\cdot \log_2 32 + 10^6 \log_2 32 =$ $= 70$ Mbaud	$63 \cdot 10^9$	$2^{63\cdot 10^9} = 10^{18,9\cdot 10^9}$
Látás *a)* a retinán (mint hírforrás)	csap (16 színkvantum) 1024, pálcika 32 (világossági kvantum)	7 cps	10^4 Mbaud	ebből $\begin{cases} 6{,}5 \cdot 10^6 \text{ a csapok száma} \\ 120 \cdot 10^6 \text{ a pálcikák száma} \\ 700 \cdot 10^6 \text{ bit} \end{cases}$	
b) idegköteg az agy felé (mint átvitel)			10 Mbaud	(becsléssel a 10^6 axon alapján)	
c) olvasás	120—140 baud, a redundancia beszámításával 30—40 baud				
Csillagos ég szabadszemmel	10			$15 \cdot 10^6$ képpont alapján $50 \cdot 10^6$ bit, a fekete gyakoriságát beszámítva $2 \cdot 10^6$ bit.	
Az emberi test felépítéséhez szükséges hírtartalom	Minthogy ennek egyezni kell a petesejtben összezsufolt adatok összességével, a számítás alapjául a kromoszómák és plazma nagy szerves molekuláinak számát, 10^{10}-t vették alapul, ami 10^5—10^{11} bit-et eredményezett. Az adatok elhelyezésére egy könyvtárépület elegendő.				

értékét mutatja, aztán gyorsan zérusra esik. Periodikus $f(t)$ függvények maximumokat adnak, ha τ egyezik a periódussal (hasonlóan a keresőhanggal való *Fourier*-analízis eseteihez). A zajjal kevert periodikus függvények autokerrelációs függvényét a *15. ábra* mutatja. Kitűnik, hogy néhány periódusnyira a zaj már elhanyagolható. Ha ismerjük a periódust (például vivő esetén), akkor elég τ-t erre beállítani, hogy Φ egy maximumát megkapjuk, a film elmarad, mert csak egyszer kell végigfuttatnunk (a szorzóra közvetlen rávezethetjük a vett feszültségeket), az integrálási tartományt pedig az impulzustartamra szorítjuk le egyszerű folytonos integrálókapcsolással. Ilyenkor a sok kompromisszum miatt természetesen nem is kaphatunk teljes értékű zaj-kiirtást.

Néhány hírközlési rendszer átviteli adatait tartalmazza táblázatunk (10. táblázat), mely példáival egyúttal jobban megvilágítja az információelméletnek a szövegben eddig csupán vázlatosan definiált fogalmait.

IRODALOM

a „Bevezetés az információelmélet elemeibe" c. fejezethez

1. Balatoni J.—Rényi A.: Az entrópia fogalmáról. MTA Matematikai Kutató Intézet Közleményei. 1956. I. 1—2.
2. D. A. Bell: Information theory and its engineering applications. London. 1955.
3. L. Boltzmann: Vorlesungen über Gastheorie. 1896—1898.
4. M. P. Doluhanov: Bevezetés az információelméletbe. Budapest. 1959.
5. А. Я. Хинчин: Понятие энтропии в теории вероятностей. Успехи Математических Наук. 8. 1953. 3—51.
6. D. Middleton: An introduction to statistical communication theory. 1960.
7. C. E. Shannon: A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27. 1948. 399—429, 623—656.
8. C. E. Shannon—W. Weaver: The mathematical theory of communication. The University of Illionis Press. Urbana. 1949.

III. KIBERNETIKUS SZERKEZETEK

3.1. KÖZPONTI MŰKÖDÉST UTÁNZÓ EGYSÉGEK

3.11. LOGIKAI GÉPEK

A logikai gépek több csoportba sorozhatók. Az első főcsoportba ama gépek tartoznak, amelyek valamely, az ítéletkalkulusba tartozó tetszés szerinti kifejezés (képlet) teljes diszjunktív normálalakját (ill. értéktáblázatát) adják meg automatikusan. A másik főcsoportba soroljuk a kapcsolásegyszerűsítő gépeket, amelyek valamely adott (huzalokból és kapcsolókból álló) hálózatok legtakarékosabb (legkevesebb kapcsolót, ill. érintkezőt igénylő) változatára vezetnek rá. A logikai gépek többi faját az egyes gépek leírása során tárgyaljuk. A csupán történelmi nevezetességű gépeket vesszük sorra legelőször.

Ch. Stanhope (1753—1816) szillogizmusok bemutatására alkalmas gépe logarlécre emlékeztet.*

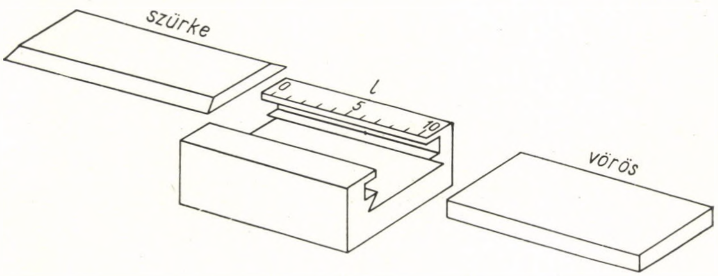
A *16. ábrán l* az állórész, amelynek négyzetes ablaka van, szélén beosztásokkal. Két tolókája van, az alsó a ,,szürke'', a felső átlátszó a ,,vörös''. Az általános minor premisszát úgy állítjuk be, hogy a szürkét betoljuk annyira, hogy az ablakot egészen kitöltse, ugyanígy állítjuk be az általános majort is a túlsó oldalról betolt vörös tolókával. Részleges premisszák esetén csak annyira toljuk be a tolókákat, hogy részben töltsék ki az ablakot. Így pl. *SiM*, *PiM* esetén azonnal látjuk, hogy az (*M*-nek megfelelő) *l* ablakban a (*S*-nek megfelelő) szürke területet nem kell, hogy fedje a (*P*-nek megfelelő) vörös terület, tehát sem *SiP*, sem *PiS*, sem *SaP*, sem *PaS* nem következtethető, minthogy azonban határesetben teljesen is kitöltheti mindkét tolóka az ablakot, *SoP*, *PoS*, *SeP* és *PeS* sem következtethetők; így tehát e szillogizmus érvénytelen. Az oldalbeosztások révén azonban ez esetben ,,numerikus kvantor''-os premisszákkal következtetések is tehetők; pl. egy kiállításon tíz kép közül 8 absztrakt és ugyanezen tíz közül négyet *Picasso* festett. Ha a szürkét balról a 8-as beosztásig toljuk és jobbról a vöröset a hatos beosztásig (tehát négy egységet takar el), akkor a vörös a szürkéből két egységet mindenképp eltakar, tehát két absztrakt kép okvetlen *Picasso*tól való. Minthogy a premisszákat sok esetben át kell alakítani, hogy megjeleníthetők legyenek, a készülékkel való

* R. Harley: The Stanhope demonstrator. Mind, 1879. Apr. Ennek és a következő csupán történelmi érdekességű gépeknek rövid ismertetését megtalálja az olvasó M. Gardner: Logic Machines, Scientific Am. 1952, márc. cikkében és M. Gardner: Logic Machines and Diagrams. 1958. könyvében.

következtetés nem közvetlen. Azonkívül STANHOPE nem magyarázza meg, hogyan használja a gépet az ő ,,valószínűségi logikájához''. Az 1870 és 1900 közt tervezett logikai gépeket később tárgyaljuk.

ANNIBALE PASTORE* szillogisztikai gépe hajtószíjkapcsolású kerekek csoportjaiból áll, érvénytelen szillogizmusok esetén a kerekek nem mozdíthatók. Az első, megvalósított elektromos logikai gép BURACKtól származik.**

Minden premissza és konklúzió számára külön falapocska van egy tárban, a megvizsgálandókat egy táblára kell helyezni, ahol megfelelő dugaszhüvelyek vannak, melyekbe a falapocskák hátlapján levő dugaszok beleillenek. Ha a szillogizmus érvénytelen, egy vagy több lámpa kigyullad.



16. ábra
A STANHOPE-féle ,,demonstrator''

A lámpák a szillogizmusok klasszikus hibáit jelzik. E két utóbbi gépről annyit biztosan tudunk, hogy minden esetre előre elkészített, tehát ,,lexikális'' rendszerűek és nem genetikusak, nem maguk szerkesztik meg az eredményt.

*a) A logikai pianínó****

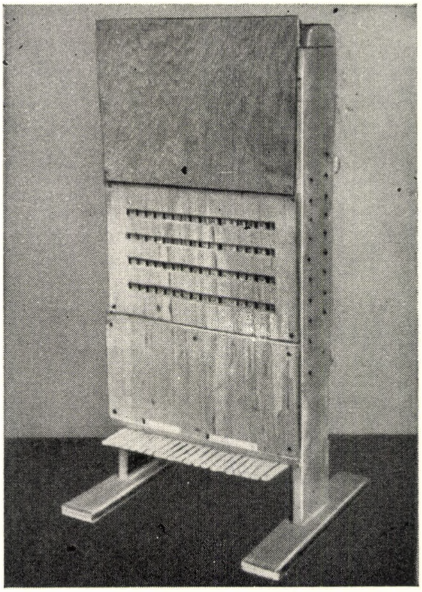
Korát messze megelőző szerkezet ez az egyszerű farudakból összeállított készülék, mely körülbelül azt a helyet foglalja el a logikai gépek történelmében, mint a Nipkow-tárcsa a távolbalátásében. Az ítéletkalkulusbeli feladatot a legkényelmesebb módon, billentyűzéssel kell beadni s az eredményt, a feladat teljes diszjunktív normálalakját a gép előlapján leolvashat-

* A. PASTORE: Logica formale dedotta della considerazione di modelli meccanici. Torino. 1906.

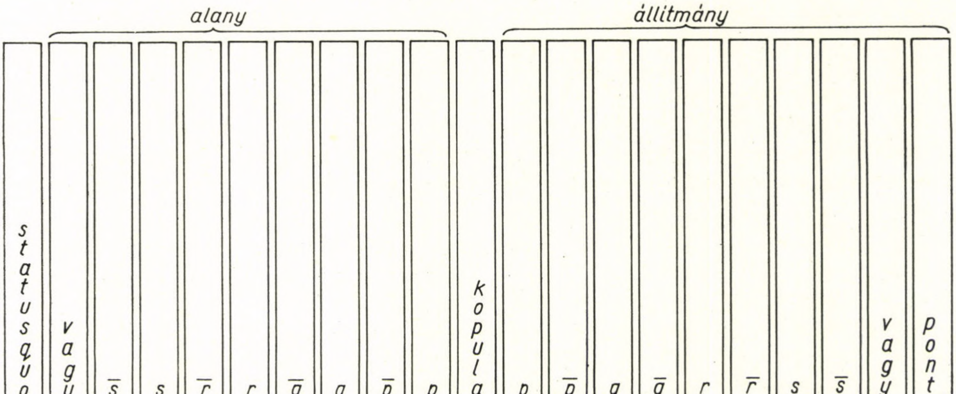
** B. BURACK: An electrical logic machine. Science. 1949. Jun. 610. ,,Elektromos''-nak szokás nevezni az olyan összeállítást, amelyben relén, jelzőlámpán, csengőn kívül legfeljebb olyan elektromotorok szerepelnek, amelyek csak kapcsolókat mozgatnak, ,,elektromechanikus'', ,,elektropneumatikus'', ,,elektrohidraulikus'' már a kifelé is működő szervomotoros szerkezetek szokásos elnevezése.

*** STANLEY JEVONS: On the mechanical performance of logical inference. Philosophical Transactions of the Royal Society. London 1870. 97. Nevét billentyűzetéről kapta, semmi köze sincs a zenéhez.

juk. A gépnek nincs motora, a gép alkatrészeit csak a billentyűk mozgatják. A gép hazai másolatának fényképét a *17. ábra* mutatja. A gép négyváltozós feladatok számára készült s így billentyűzetén *(18. ábra)* a p, q, r, s és $\bar{p}$, $\bar{q}$, $\bar{r}$, $\bar{s}$ betűket találjuk.



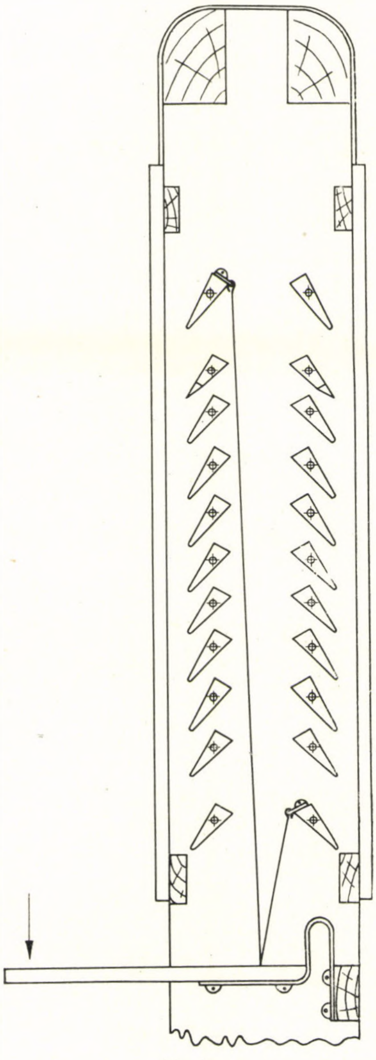
17. ábra
A JEVONS-féle logikai pianínó (e könyv szerzőjének konstrukciója)



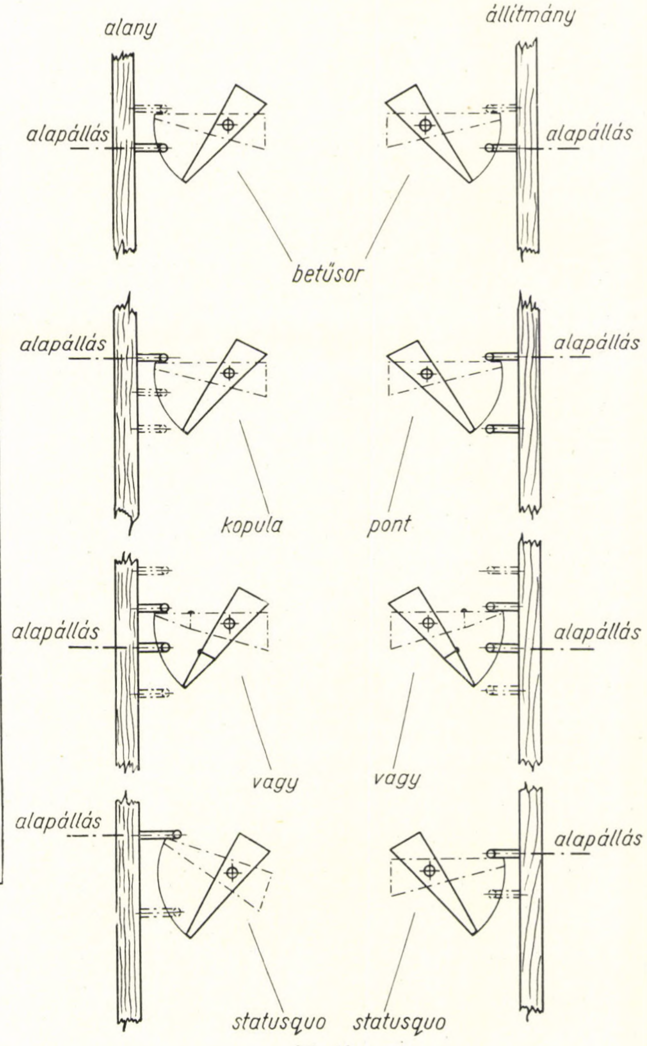
18. ábra
A JEVONS-féle logikai gép billentyűzete

A baloldali billentyűket használjuk implikáció előtagjának, a jobboldaliakat utótagjának begépelésekor s közben a ,,kopula'' billentyűt lenyomjuk. Mindkét oldal számára van diszjunkció (,,vagy'') billentyű is. A konjunkcióra nincs külön billentyű, az egymással konjugálandó változókat egyszerűen egymásután lenyomjuk. A ,,pont'' billentyű egy zárójeles kifejezés bezárását eszközli. A ,,statusquo'' billentyű a gépet visszaállítja kezdőhelyzetbe. Az ,,alany'' és ,,állítmány'' felirat onnan ered, hogy a gép eredetileg osztálykalkulusbeli (főleg szillogisztikai) feladatok megoldására készült (ekkor a nagybetűk osztályokat, a kisbetűk ezek komplementumait jelölték). A *19. ábra* a gépet oldalnézetben, metszetben mutatja. A billentyűk (az ábrán csak egy billentyű, a ,,statusquo'' látszik) fémhuzalok révén vízszintes tengelyű, zsaluszerűen elhelyezett rúdakat mozgatnak, a rajzon ezek háromszög alakú keresztmetszetét látjuk. A gép elő- és hátlapján függélyes rudak lógnak, a gép tetején átvetett szalagokkal egymáshoz erősítve, e szalagok súrlódása rögzíti a rudakat bármely állásukban. E rudakból a gép belseje felé szögek állnak ki *(20. ábra)*, melyek révén a zsaluk fölfelé tolhatják a rudakat. A szögek elosztását a *21. ábra* mutatja, az ábrán a kiemelt rudak lefektetett helyzetben vannak ábrázolva. A középső négyes betűcsoportok azt jelentik, hogy ezek vannak felírva az előlapon lógó rudakra. Kezdőhelyzetben valamennyi betű látszik, de a rudak elmozgatásakor a betűk eltűnnek, mert a rudak előtt még egy (a rajzokon fel nem tüntetett) kivágásos, rögzített, közös fedőlemez áll. A *21. ábrán* az oldalsó betűk mutatják, hogy mely szögekre mely zsaluk hatnak. A ,,statusquo'' billentyű két sor szegre hat s így a rudakat kezdőhelyzetbe sepri vissza, bármely oldalra is tolódtak ki a műveletek során. A diszjunkció billentyűinek két szegsora van s így zsalujának ,,sarnir''-on elforduló éle van, hogy a visszaállás akadálytalan legyen. A *20. ábra* minden zsalu működéséről felvilágosítást nyújt.

Egy-egy betűbillentyű lenyomása azokat a rudakat emeli fel, amelyekre azok a variációk vannak írva, amelyekben az illető változó tagadása szerepel, tehát ha pl. p-t nyomjuk le, akkor az összes olyan rudak mozognak el, amelyeken $\bar{p}$ is van, tehát az összes $\bar{p}$-t tartalmazó variációk eltűnnek, s az előlapon csak p-t tartalmazó variációk láthatók. Ha tehát pl. az alanyoldalon lenyomjuk egymás után a p, q, r, s betűk billentyűit, akkor az előlapon csak a $pqrs$ felirat marad meg, jelezvén a $pqrs$ konjunkcióit. A $p \supset q$ implikációt így gépeljük be: az alanyoldalon lenyomjuk p-t (*22. ábra* felső sor), erre a $\bar{p}$-k fölfelé kilépnek (egyszerűség kedvéért a p, $\bar{p}$, q, $\bar{q}$ betűket nem írtuk fel; a valóságban 8 rúd mozdul el), ezután lenyomjuk a kopulát (ez most nem csinál semmit, mert az előtag egyszerű volt), azután az állítmányoldalon lenyomjuk q-t, mire a félre nem tolt $\bar{q}$-t tartalmazó rudak lefelé tolódnak. A ,,pont'' lenyomása csak a fölfelé tolt rudakat sepri vissza alapállásba, a lefelé tolt $p\bar{q}$ rudat azonban véglegesen kivonja a játékból. Az előlapon tehát a $p \supset q$ normálalakja, helyesebben a teljes diszjunktív normálalakjának konjunkciós tagjai (röviden ,,tagjai'') olvashatók le: $\bar{p}q, \bar{p}\bar{q}, pq$. A normálalakban nem szereplő $p\bar{q}$ végleges eltávolítása igen szellemesen teszi lehetővé azt, hogy zárójeles kifejezések korlátlan számban konjugálhatók egymással azáltal, hogy egyszerűen sorjában begépeljük őket, mindegyik után pontot téve. Ugyanis tudjuk, hogy normálalakok konjunkciója esetén az eredő teljes diszjunktív normálalakban csak a közös tagok



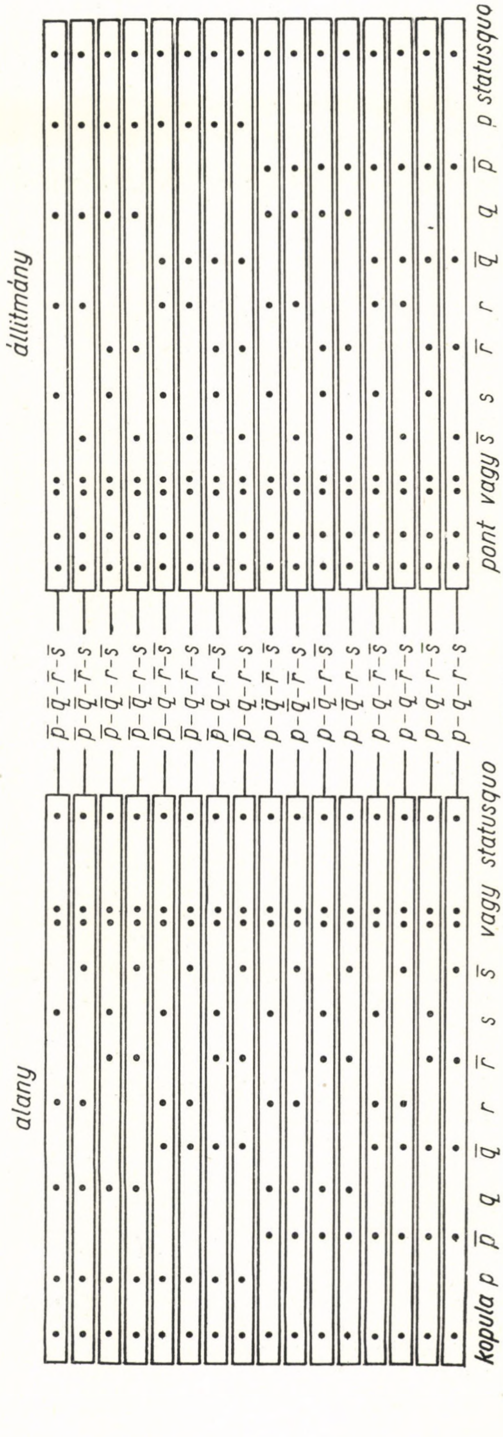
19. ábra
A JEVONS-féle logikai gép oldalnézete, metszetben



20. ábra
A JEVONS-féle logikai gép zsalui és működésük

maradnak meg, tehát ha a 16 tagból néhány hiányzott, azok a további konjunkciók során soha vissza nem térhetnek. A zárójeleken belül tehát minden aggodalom nélkül dolgozhatunk a „hiányos'' rudazattal.

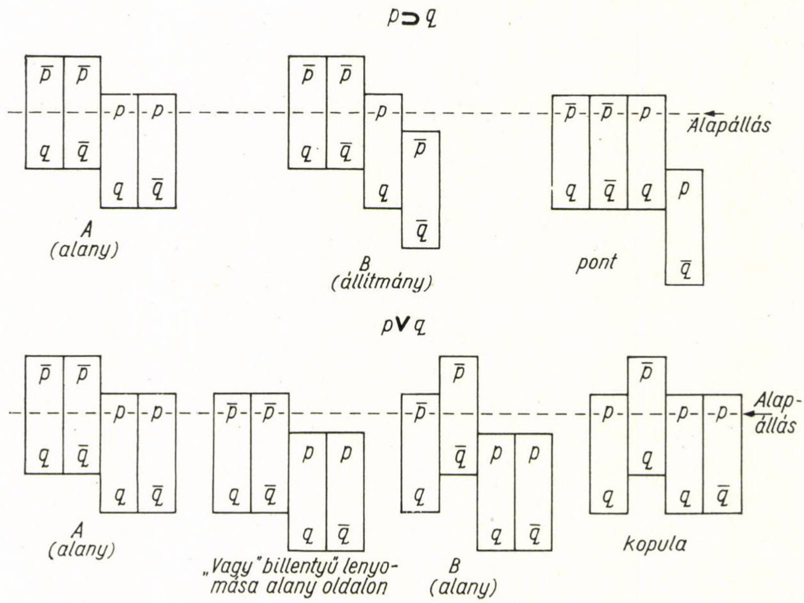
A *22. ábra* második sora az egyszerű $p \vee q$ diszjunkció menetét mutatja az alanyoldalon. A p lenyomására ugyanaz történik, mint előbb, a „vagy'' lenyomására valamennyi rúd lejjebb tolódik, az alanyoldali q lenyomására csak a $\bar{p}\bar{q}$ tud feltolódni, mert csak ez van alapállásban. A kopula a lefelé kitért rudakat sepri vissza alapállásba s így az előlapon a $p \vee q$ teljes diszjunktív normálalakjának tagjait látjuk: $\bar{p}q$, pq, $p\bar{q}$. Ezek az ideiglenes félretolások bonyolultnak látszanak, pedig ezek teszik lehetővé azt, hogy egy zárójelen belül a diszjunkciót is akárhányszor ismételhessük. Így tehát a gépen pl. a $p \vee \bar{p}qr \vee p\bar{q} \vee \vee p\bar{q}r\bar{s} \vee \ldots$ alakú kifejezések minden gondolkozás nélkül sorjában begépelhetők mint implikáció előtagja vagy utótagja, vagy mint külön zárójeles kifejezés. Utóbbi esetben az állítmányoldalon kell begépelni, hogy pontot tehessünk utána. A fent példázott diszjunktív normál alakú kifejezések tagadhatók is a gépen: ilyenkor alanyoldalon gépeljük be, megnyomjuk az alanyoldali „vagy" billentyűt és rögtön utána a „pont"-ot, amely eltávolítja a lefelé kitolt rudakat. Tehát a gépen *közvetlenül* olyan példák teljes diszjunktív normálalakját kapjuk meg, amelyek tetszés szerinti számú olyan zárójeles kifejezések konjunkcióiból állnak, amely kifejezések közönséges vagy teljes normálalakok, ezek tagadásai, vagy két ilyen normálalakból képzett implikációk. *Közvetve* azonban bármily ítéletkalkulusbeli feladat teljes diszjunktív normálalakját megadja, mert: kiindulunk a legbelső zárójelből, begépeléssel képezvén normálalakját, ezt feljegyezzük, a vele



21. *ábra*
A Jevons-féle logikai gép „szögei"-nek elrendezése

kapcsolatban álló zárójeles kifejezéssel ugyanezt tesszük, e két normálalak konjunkciója, implikációja, tagadása a gépen kényelmesen elvégezhető (ui. diszjunktív normálalak begépelése közvetlenül megy), a diszjunkció szintén egyszerű folytatásos begépeléssel, s így haladunk tovább.

Az ekvivalenciát és antivalenciát (újabban szintén szokásos elnevezése a kizáró diszjunkciónak) két lépésben végezzük: $(p \equiv q) = (p \supset q) \cdot (q \supset p)$, $(p \not\equiv q) = (p\bar{q} \vee \bar{p}q)$, ahol p és q tetszőlegesen összetett ítélet, illetőleg annak már kiszámított normálalakja. A gépen való számolást



22. *ábra*

A Jevons-féle logikai gép rudazatának állásai az implikáció és diszjunkció „begépelése" esetén

ez nem nehezíti, csak időben hosszabbítja, ezzel szemben a közvetlenül megoldható példákat a gép minden jelenlegi elektromos és elektronikus logikai gépnél gyorsabban oldja meg, mert a feladat begépelésének teljesítése pillanatában a normálalak máris azonnal megjelen, míg a jelenlegi gépeknél „járni" is kell és csak sorjában adják meg a normálalak tagjait, s ezeket le kell jegyezni. Mivel a legtöbb verbális (szavakban megadott) feladat egyszerű zárójeles kifejezések konjunkcióival ábrázolható, így eddig még minden olyan négyváltozónál nem többel bíró feladat, melyet az irodalom megemlít a jelenlegi logikai gépek működésének bemutatására, a logikai pianinón is megoldható. (A gép igazi hibája az, hogy csak négyváltozós, ugyanis mechanikai megoldásban az ennél több változó esetén már igen nagy súrlódásokat kell legyőzni.)

Ilyen példa: Egy négytagú társaságban Anna és Dénes szerelmesek egymásba, Anna és Béla utálják egymást, és Cili szerelmes Bélába. Hányféle variációban lehetnek együtt egy szobában? Az ilyen „verbális" feladatban először is meg kell keresni, hogy az adott relációkhoz milyen logikai műveletek tartoznak. Könnyű rájönni, hogy a példa feladója az „x szerelmes y-ba" relációval azt akarja kifejezni, hogy x és y mindig együtt vannak, tehát a szobában is együtt vannak és kívül is együtt vannak. Ha A azt jelenti, hogy „Anna a szobában van" és D, hogy „Dénes a szobában van" (B és C ugyanilyen ítéleteket jelent Bélára és Cilire), a kisbetűk azt, hogy az illetők nincsenek a szobában, akkor $A \equiv D$. Ugyanígy „Anna és Béla utálják egymást" az $A \not\equiv B$ képlettel fejezhető ki, végül Cili egyoldalú szerelmét Béla iránt úgy is magyarázhatjuk, hogy ha Béla a szobában van, Cili is vele van, tehát $B \supset C$. A gép előlapján három konjunkciós tag jelen meg: $AbCD$, $AbcD$ és $aBCd$. E példa fejben is könnyen megoldható, ha a benne szereplő implikáció előzetesen meg van magyarázva. De már fejben nehezen oldható meg a következő kérdés: Hányféle kartoték kell egy cég összes alkalmazottai számára, biztosítási állapotuk feljegyzésére, ha az illető alkalmazott alkalmas biztosításra (A), folyamodott biztosításért (B), biztosítását jóváhagyták (C), orvosi vizsgálatra küldendő (D). Ha feltesszük az alkalmazottakról, hogy ha nem alkalmasak, akkor nem folyamodnak, akkor áll az, hogy $B \supset A$. Minthogy jóváhagyni a folyamodást csak úgy lehet, ha az illető folyamodott is, tehát $C \supset B$. Ha valaki nem alkalmas a felvételre, akkor fölösleges orvosilag megvizsgáltatni, tehát $a \supset d$, (a kisbetűk itt is az állítások tagadását jelölik), végül biztosan jóváhagyják folyamodását, ha alkalmas, folyamodott és nem kell orvosi vizsgálatra mennie, tehát $ABd \supset C$. A gépbe e műveleteket egymás után gépeljük be, ponttal elválasztva (mint az előbbi példában is), mert konjunkcióban vannak egymással. Az eredmény: $ABCd$, $ABCD$, $ABcD$, $AbcD$, $Abcd$, $abcd$, tehát csak hatféle kártya kell (16 kellene az összes lehetséges variációkhoz). A három első a folyamodottakat regisztrálja, ezek közül az első triviális; a második az orvosi vizsgálat után bevált, a harmadik a be nem vált alkalmazottakra vonatkozik, a többiek nem folyamodtak, a negyedik talán megijedt az orvosi vizsgálattól, és ezért nem jelentkezett, az ötödik sem akart folyamodni, a hatodik pedig nem is folyamodhatott, mert nem volt alkalmas.

A géppel azonosságokat úgy bizonyíthatunk, hogy először az azonosságnak pl. baloldalát gépeljük be, az eredményt feljegyezzük, azután a kezdőhelyzetbe állított gépen az azonosság másik oldalát gépeljük be s a két eredménynek egyezni kell.

Az osztálykalkulus feladatait közvetlenül begépelhetjük, ha az osztály, komplementum, szorzás (metszet), unió és inklúzió szerepét az ítélet, tagadás, konjunkció, diszjunkció és implikáció billentyűire ruházzuk s azután a *Boole*-algebrából nem lépünk ki. Normálalak helyett így szubszetek mintermjeit kapjuk eredményül. De átléphetünk az állítmánykalkulusból is az ítéletkalkulusba, mint azt a Logikai bevezetés c. fejezetben láttuk. Például a SaM-ot úgy gépeljük be, hogy alanyoldalon a p-t, állítmányoldalon a q-t gépeljük be (S legyen p, M legyen q) és a pont-billentyűt lenyomjuk. A SeM-nél az alanyoldalon p-t, állítmányoldalon $\bar{q}$-t nyomunk le, utána ponttal. A pont után további premisszákat lehet begépelni ugyanilyen módon. A részleges premisszák így gépelhetők: SiM az állítmányoldalon mint SM szorzat, vagy mint $DSaM$, vagy mint $SMaM$ és $PMaM$ két részleges premissza esetén. A $DSaM$-mal azt fejezzük ki, hogy nem az egész S van benn az M-ben, hanem annak csak egy része, amelyet úgy jelölünk ki, hogy az egy D osztállyal való metszet (l. Logikai bevezetés c. fejezetet).

A szillogizmusok premisszáinak begépelése után a felelet kiböngészéséhez leleményesség kell. A konklúziókat gépies eljárással is megkaphatjuk: a géppel következtetni úgy kell, hogy feljegyezzük az előbbi eredményt és a kezdőállásba hozott gépen az alanyoldalra gépeljük, a „gyanított" következmény normálalakját (mintermjét) pedig az állítmányoldalra. Ha tautológiát kapunk (azaz az előlapon minden betű megjelen), a következtetés érvényes. A mai logikai gépeken az újrabegépelés elmarad, mert folytatólagosan lehet ,,dobozolni". De a mai gépeken sem kerülhető el minden gyanított szillogisztikus konklúzió kipróbálása.

E gépen a teljes konjunktív normálalak (illetőleg szuperszet) is egyidejűleg megjeleníthető, pl. a hátsó rudazaton úgy, hogy e rudakon az elől felírt betűk tagadásai vannak felírva s egy rögzített fedőlemez kivágásain át az *eltolt* rudak betűi látszanak.

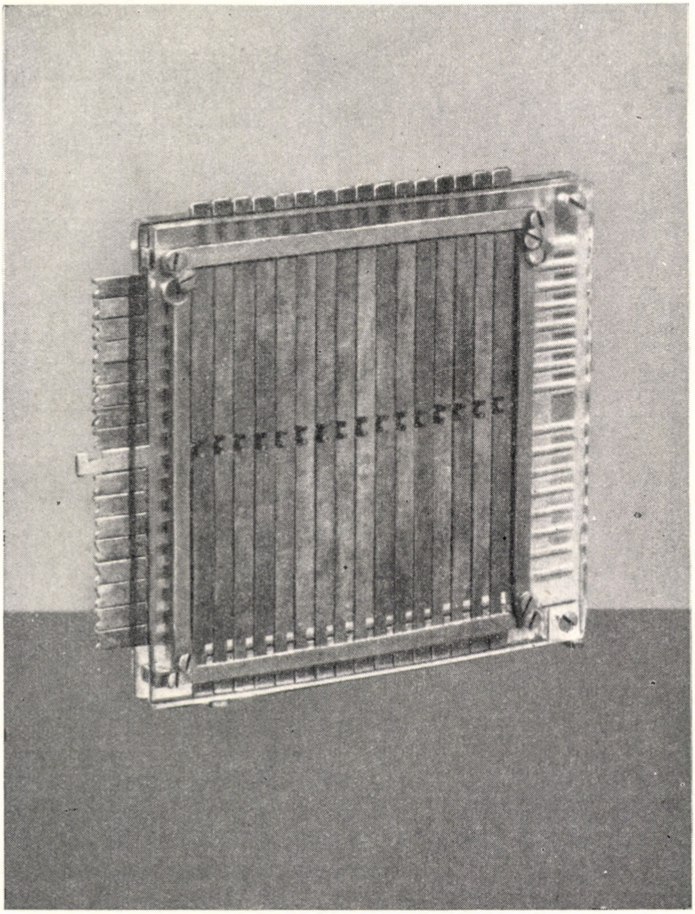
A logikai pianínó (ha STANHOPE gépétől eltekintünk), talán az első gép, amely az előzetesen kiszámított és raktározott szkémák helyébe ,,módszer"-t vezetett be, tehát már információt termel. Lehet a módszert (eljárást) is szkémának tekinteni, de ez magasabbrendű az adatok egyszerű lexikális raktározásánál, mert a szkémák itt műveletsorrendek.

Ha olyan négyváltozós logikai gépet akarnánk szerkeszteni, amelyben az előre kiszámított teljes diszjunktív normálalakok volnának tárolva, akkor $2^{2^4} = 65\ 536$ darab 16 jegyű binerszámot kellene a kimenőoldalon tárolnunk. De ez még nem elég, mert ,,külalakra" egymástól nagyon eltérő összetett ítéleteknek van ugyanazon teljes normálalakjuk.

Említésre méltó, hogy két logikai pianínóval minden közbenső feljegyezgetés nélkül kiszámíthatók a legbonyolultabb ítéletek teljes normálalakjai. Az egyik gépen egyenként feloldjuk a zárójeleket, a másik tárolja a már kiszámított zárójeles tagok eredő normálalakját. Szerzőnek ez adta az ötletet a következő kis mechanikai logikai gép (,,logikai logarléc" vagy ,,zseb logikai gép") megszerkesztésére.

b) A zseb logikai gép

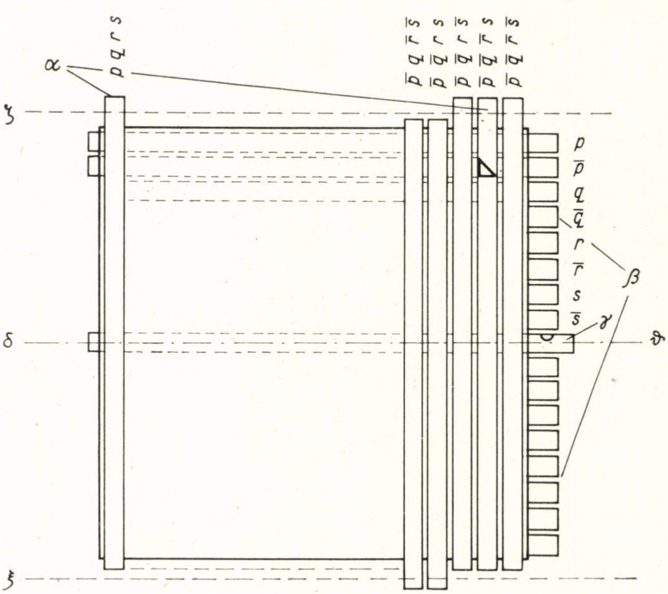
A $120 \times 115 \times 13$ mm térfogatú, négyváltozóra készített gépen *(23. ábra)* a tizenhat α rúd szerepe ugyanaz, mint a logikai pianínó rudainak: mindegyikre egy-egy, a 4 változó értékeiből képezhető másodosztályú 16 ismétléses variáció van felírva *(24. ábra)*. Nincs visszaállító rugójuk s a súrlódás tartja kétféle helyzetükben, azonkívül a γ fékrúddal szilárdan rögzíthetők is e két helyzetben (0, 1). Kezdőhelyzetbe úgy állítunk, hogy az alul kiálló rudakat egy ujjsimítással fölnyomjuk, ekkor minden variáció láthatóvá lesz a felső kiálló végeken. A begépelést a rugózott vízszintes β rudakon eszközöljük, ceruzával jobbról benyomjuk (eleresztés után visszaugranak). E rudakra egy-egy változó, ill. tagadása van felírva. Leolvasni a felül kiállva maradt rúdvégekre írt variációkat kell (csak ezek maradnak láthatók), ezek a teljes diszjunktív normálalak konjunkciós tagjai. Az α rudakon lejtők, a β rudakon szegek (peckek) vannak ugyanolyan elosztásban, mint a logikai pianínó szegei *(24. ábrán* csak egy lejtő és pecek van feltüntetve). Mint a logikai pianínón, az egymás után lenyomott ,,betűk" konjunkcióba kerülnek egymással azáltal, hogy azon α rudak, amelyeken a benyomott betű tagadása előfordul, letolódnak s így kivonulnak a látótérből. Eddig a működés egyezik a logikai pianínóéval. Ha azonban a δ—ϑ tengely körül 180 fokkal megfordítjuk az egész gépet, akkor az eddig begépelt képlet tagadását olvashatjuk le ugyancsak felül, és tovább számolhatunk a gép ezen oldalán, mert a rudak hátlapján is vannak felül az előbbiekkel teljesen megegyező feliratok. Minthogy konjunkció és tagadás elég minden ítéletkalkulusbeli képlet kifejezéséhez, a diszjunkciót és implikációt egyszerűen fejben alakítjuk át begépeléskor, ehhez semmi szellemi erőfeszítés nem kell, csak emlékezetben tartani a $p \vee q = \overline{\bar{p} \cdot \bar{q}}$ és $p \supset q = \overline{p \cdot \bar{q}}$ azonosságokat. Minthogy az egyes „betűk" tagadásának külön β rudaik vannak, a fenti két egyszerű esetben csak egy-egy forgatás kell. Ezenkívül még csak a következő kezelési utasításra van szükség: teljes diszjunktív normálalakot úgy



23. ábra
A „zseb" logikai gép

„gépelünk" be, hogy az α rudakat egyszerűen kézzel beállítjuk (közvetlenül eltologatjuk). Zárójeles kifejezések felbontásakor természetesen a közbenső eredményeket jegyezgetni kell (feljegyezni elég a kiálló α rudak sorszámát). Ha két gépünk van, akkor a legbonyolultabb képlethez sem kell jegyezgetés, mert úgy járunk el, hogy az egyik gépet a γ-val lefékezzük és a másik géphez nyomjuk úgy, hogy a ζ él a ξ éllel érintkezzen, miáltal a laza gépen az α rudak egy része benyomódik. Ha a két normálalak konjunkcióját akarjuk képezni, akkor a rögzített gép legyen fölül, ha diszjunkcióját, akkor a rögzített legyen alul. A leolvasás természetesen a laza gépről történik. (Az implikációt úgy képezzük, mint a diszjunkciót, de az előtagot előzetesen megfordítjuk.)

Egyetlen géppel, lejegyzés nélkül csak a következő alakú képletek számíthatók ki: $(((((pppp) \times p) \times p) \times p) \times p) \times \ldots$, ahol p akármelyik



24. ábra

A „zseb" logikai gép négy logikai változóra készített rudazata és működésük

változót vagy tagadását és $\times$ bármelyik fentemlített műveletet jelenti (ismételt előfordulásakor más-más változót, ill. műveletet jelenthet).

E gépnek gyakorlati haszna lehet, ui. gyorsabb vele számolni, mint felírni az algoritmus tizenhat sorát.

*c) Venn logikai gépe**

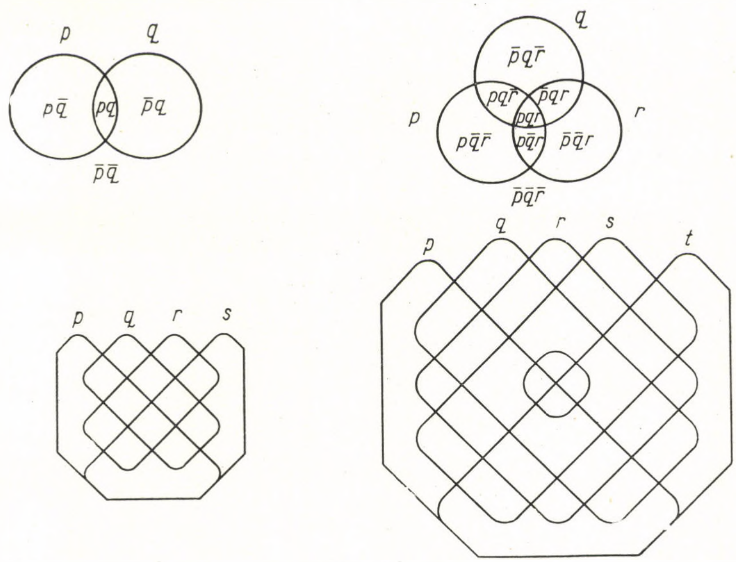
A *25. ábrán* két, három, négy és öt változó esetében felrajzolható *Venn*-féle ábrákat tüntettük fel. Négy és azon felüli változóra már körökkel nem jeleníthető meg valamennyi terület, a legcélszerűbb „négyszögesíteni". Az általános megoldás elvét a *26. ábra* mutatja, példaképpen 8 változóra. Az eddig összefüggő területeket csíkokra bontottuk. A tagadásokat fölül-

* J. Venn: On the diagrammatic and mechanical representation of propositions and reasonigns. Philosophical Magazine. July. 1880.

húzással jelölve, az egyes elemi négyszögek által jelölt konjunkcióstag például (az index itt a kocka sorszáma balról jobbra és felülről lefelé számolva):

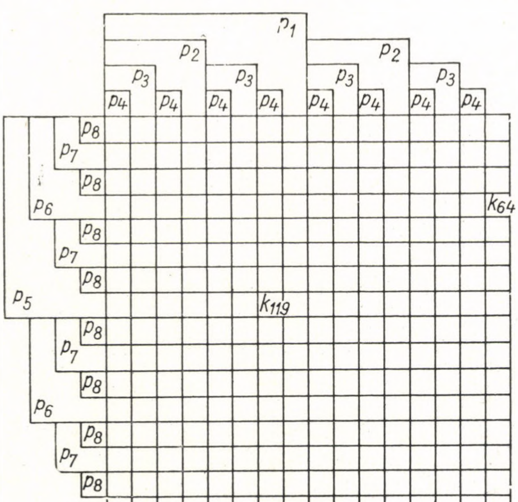
$$k_{64} = \bar{p}_1 \bar{p}_2 \bar{p}_3 \bar{p}_4 p_5 p_6 \bar{p}_7 \bar{p}_8 ,$$

$$k_{119} = p_1 \bar{p}_2 \bar{p}_3 p_4 p_5 \bar{p}_6 \bar{p}_7 \bar{p}_8 .$$



25. *ábra*

VENN-féle ábrák két, három, négy és öt változó esetén

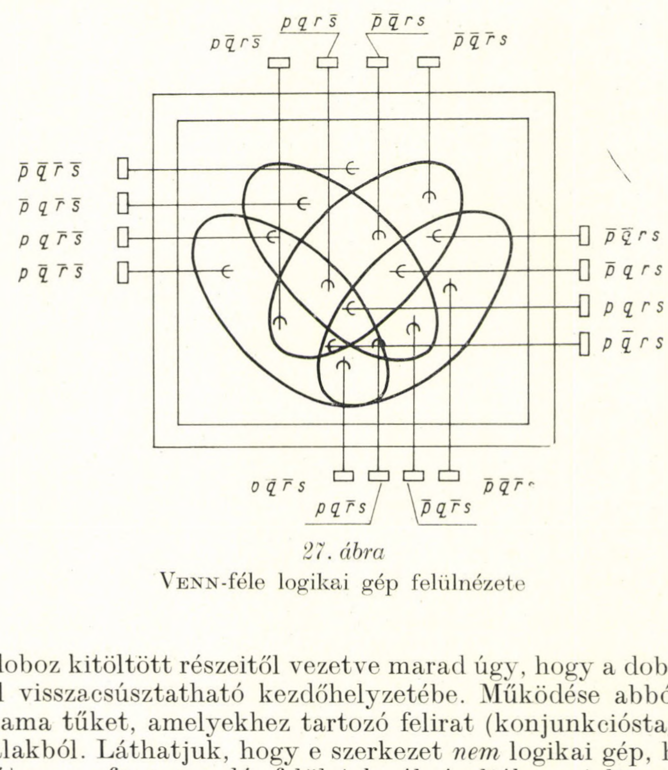


26. *ábra*

VENN-féle ábra példája nyolc változóra

Ilyen alakú rácsokat használ SWOBODA (l. később) elektromos kapcsolások egyszerűsítésének megoldására.

E rendszer térbelivé is kiszélesíthető, így pl. kilenc változóra egy $8 \times 8 \times 8$-as ,,térbeli sakktábla'' alkotható. VENN négy változó esetén ellipsziseket rajzolt. A gép felülnézetét a *27. ábra* mutatja, az ellipszis keresztmetszetű hengerek úgy vannak feldarabolva, mint a közismert térkép-összerakó játékok térképe, azzal az eltéréssel, hogy a hasábok a rajzlap síkjára merőleges irányban elég hosszúak ahhoz, hogy egymást tengelyirányú elmozgásukban vezessék. A doboz falában ágyazott ,,kalaptűk'' apró akasztók révén tartják függve a hasábokat. Ha valamelyik tűt kihúzzuk, a hozzátartozó hasáb a doboz belsejébe esik, de oldalirányban a többiek-



27. ábra

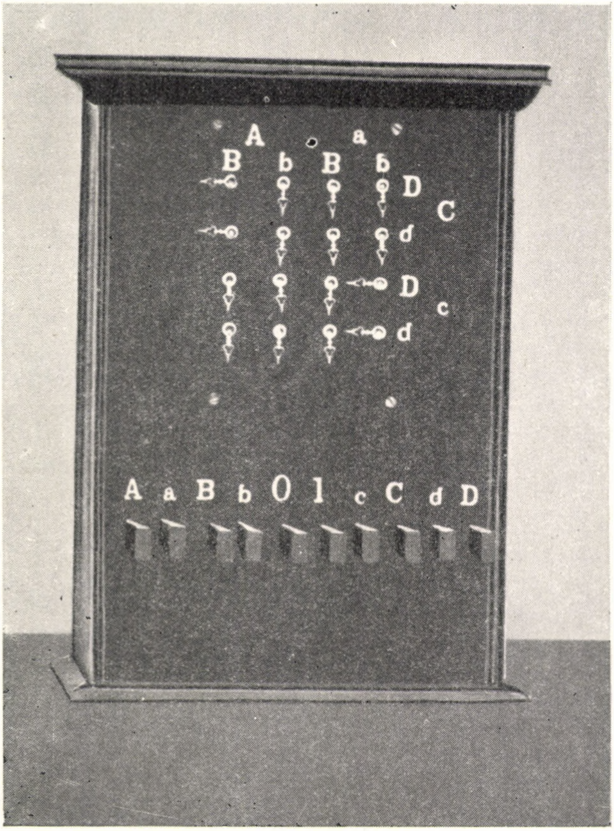
VENN-féle logikai gép felülnézete

től, ill. a doboz kitöltött részeitől vezetve marad úgy, hogy a doboz fejtetőre állításával visszacsúsztatható kezdőhelyzetébe. Működése abból áll, hogy kihúzzuk ama tűket, amelyekhez tartozó felirat (konjunkcióstag) hiányzik a normálalakból. Láthatjuk, hogy e szerkezet *nem* logikai gép, hanem csak demonstrátor: a fennmaradó felületek ábrázolják a teljes diszjunktív normálalakot, amelyet előzetesen ki kell számítani. Ha nem algoritmussal számolunk, a zérus-tagok kiszámításához akkor is leleményesség kell, ha a feladat (mint a *Venn*-korabeli példák legtöbbje) aránylag egyszerű ítéletek konjunkcióiból áll. Ilyenkor ugyanis ez itéletek teljes diszjunktív normálalakjainak hiányzó tagjai külön-külön is kiszámíthatók és tűik kihúzhatók. Így pl. $p \supset q$ esetén kihúzandók a $p\bar q$ feliratú tűk, $p \vee q$ esetén a $\bar p\bar q$ feliratú tűk; de már leleményesség kell ahhoz, hogy pl. fejben kiszámítsuk, hogy pl. $(p \supset (q \vee r))$ esetén csak a $p\bar q\bar r$ tűket, viszont $((p \vee q) \supset r)$

esetén a $p\bar{r}$ és $q\bar{r}$ tűcsoportot kell kihúznunk. A géppel tehát csak demonstrálni lehet, számolni nem.

d) *Marquand logikai gépe**

MARQUAND kivitelezett gépe *(28. ábra)* szintén négyváltozós, szintén csak demonstrálásra alkalmas. VENN gépétől csak annyiban különbözik, hogy



28. ábra

MARQUAND-féle logikai gép

nem hasábok esnek le, hanem „óramutatók". A lefelé mutató óramutatók jelzik a hiányzó konjunkcióstagokat. Itt is előre kell tudni, melyik tagot akarjuk leejteni, csakhogy nem tűket húzunk ki, hanem billentyűket nyomunk meg, amelyek koordinátaszerkezettel szabadítják fel a leejtendő mutatókat. Egy billentyű lenyomása mindazokat a mutatókat felszabadítja

* A. MARQUAND: Phylosophical Magazine. 1881. Okt. 266; és Proc. of the Am. Acad. of Arts and Sci. XXI. 303.

(a saját részéről !), amelyekhez tartozó konjunkcióstagban az illető betű szerepel. A szerkezettel nem foglalkozunk, részint mert érdektelen, részint meg az eredeti leíráshoz csupán a közölt fénykép van mellékelve (az eredetiben sem vehetők ki a részletek). E két régi gép nagy visszaesés a logikai pianinóhoz képest, mert ezek egyáltalán nem tudnak normálalakot képezni, nem is logikai gépek, csak a készen begépelt normálalakot tudják demonstrálni.

MARQUAND gépének előlapján azonban a változók modernül vannak csoportosítva és ma is így csoportosítunk a ,,tömbmódszer'' (l. alább) esetében.

*e) Kalin-Burkhart logikai gépe**

TH. A. KALIN és W. H. BURKHART gépe nyitotta meg a ,,műveletdobozos'' logikai gépek sorát. E gépek is ítéletkalkulusbeli képletek teljes diszjunktív normálalakját számítják ki, de eltérőleg a logikai pianinótól, egymásután jelentetik meg a konjunkcióstagokat s így ezeket egyenként le kell jegyezni. A műveletek számára két bemenős, egy kimenős dobozok (a tagadó dobozok egy bemenősek) állnak rendelkezésre. E dobozok lehetnek valóságos, a gépen kívül levő egységek, vagy pedig be lehetnek építve a gépbe. Kapcsolásuk vagy kézi forgókapcsolókkal, vagy dugaszolással történik. A változók értékeit variátor állítja be, végigfutván valamennyi ismétléses variáción.

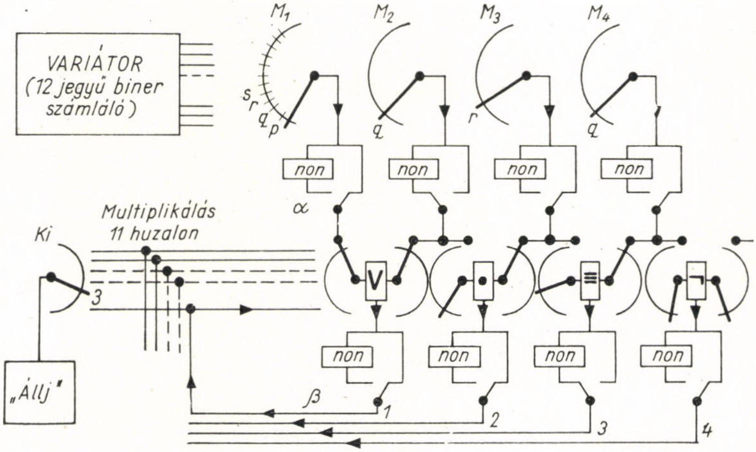
KALIN—BURKHART gépe 12 változós. A variátor egy lökéskeltő (pl. egy multivibrátoros impulzusgenerátor) után kapcsolt tizenkét fokozatú *binerszámláló* (tehát elektronikus alkatrésze a gépnek).

Tranzisztoros, kristálydiódás kivitelben nemcsak a legkisebb helyet igénylő, hanem egyelőre a legüzembiztosabb megoldás is.

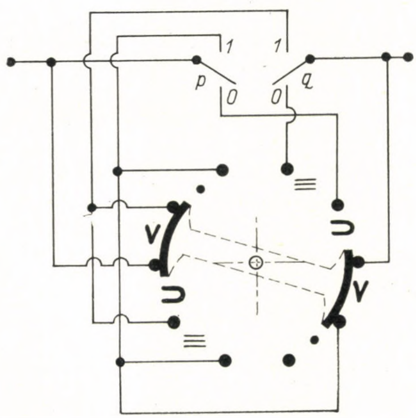
Ennek tizenkét kimenőhuzala csatlakozik a változók ,,kontrollerszeletei''-hez az M_1 íven *(29. ábra, p, q, r, s, . . .)*, ezek multiplikálva vannak a többi M_i íven. Egy teljes munkafolyamat alatt tehát 4096 variáció áll be egymás után egy-egy ív szeletein (,,feszültség van a szeleten'' $= 1$, ,,feszültség nincs a szeleten'' $= 0$. Egyébként jelfogók esetében nyugodtan beszélhetünk a huzalokban haladó áramról). A beépített műveleti dobozok (funktordobozok) e gépen olyanok, hogy kézi forgó kapcsolókkal tetszés szerinti műveletre beállíthatók (a *30. ábrán* pl. konjunkció, diszjunkció implikáció és ekvivalencia), de természetesen több művelet is beépíthető (pl. a *31. ábrán* a kizáró diszjunkció—antivalencia-kapcsolása is fel van tüntetve). A gépbe 11 ilyen doboz van beépítve, ezek lehetnek a fenti ,,funktorváltóik'' révén akár valamennyien is pl. implikációra állítva. (Ez nagy takarékossági előny a ,,rögzített funktorú'' dobozos gépekkel szemben.) A *30. ábrán* a p és q-val jelölt érintkezőket a dobozba épített két relé működteti. A tagadó (*non*-feliratú) dobozokban csak egy relé van s ez akkor kapcsol kimenő huzalára áramot, ha tekercsében nincs áram (a *29. ábra* csak tömbvázlat, blokkszkéma). A *29. ábra* szerinti *a* kapcsolót balra állítjuk, ha az

* W. BURKHART: Electrical analysis of trouth functions. Thesis. 1947.
E. C. BERKELEY: Giant brains or machines that think. N. Y. 1949. 144.

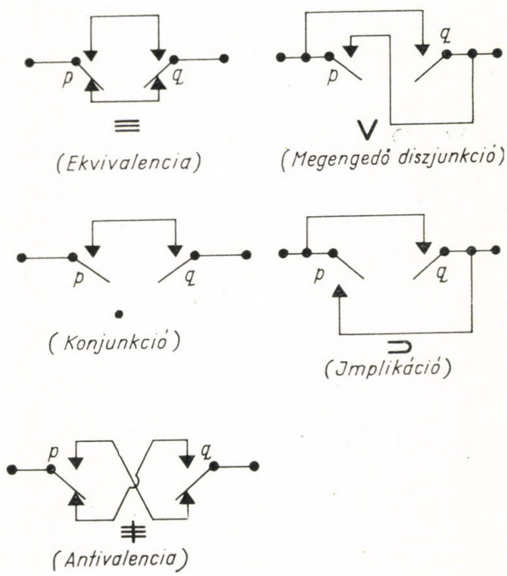
„áthaladó" ítélet tagadása fordul elő. A működést legkényelmesebben egy példán érthetjük meg. A $((p \vee q) \cdot r) \not\equiv q$ képletet úgy adjuk be a gépbe, hogy az M_1 íven a kart p-re állítjuk, az M_2 íven a kart q-ra, e kar alatt az α kart balra billentjük, az első dobozt diszjunkcióra csavarjuk, és bemenőkarjait a két legfelső gombra állítjuk. E doboz kimenővezetéke az 1-es,



29. ábra
KALIN—BURKHART-féle logikai gép elvi vázlata



30. ábra
A KALIN—BURKHART-féle logikai gép kézi forgókapcsólós funktor-doboza



31. ábra
Különböző logikai alapkapcsolások

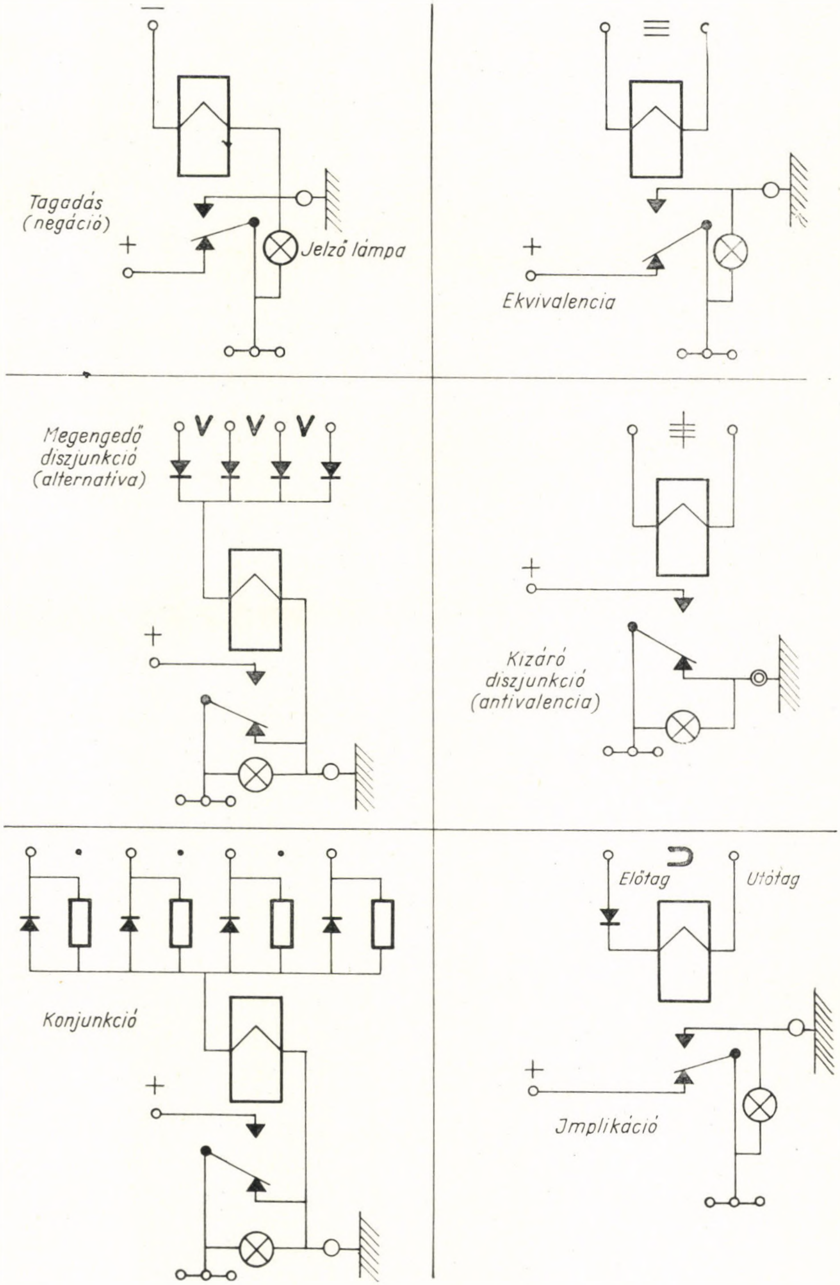
amely a tizenegy huzalból álló kévében halad, mely huzalokról csatlakozások ágaznak le a dobozok kapcsolóíveire (multiplikálás). A második dobozt konjunkcióra ,,csavarjuk'', bal karját az 1-es huzalra, jobb karját a legfelső gombra állítjuk, melyhez a hozzávezető M_3 karját az r változóra állítjuk. A doboz kimenőjét a 2-es huzalon át a harmadik dobozhoz csatlakoztatjuk, ennek jobbkarja a legfelső gombra állítva az M_4 révén q-felől kaphat áramot. E doboz kimenőjét tagadásra a β kapcsoló átbillentésével állítjuk. Példánkban a 3-as huzalon halad az ,,eredmény'', azaz a vizsgált függvény igazságértéke 1, ha ebben áram halad. E huzalt tehát az ,,állj'' dobozra kapcsoljuk, mely (fel nem tüntetett) kapcsolás révén megállítja a multivibrátort. Minthogy a számláló tizenkét kimenője jelzőlámpákat is működtet, megálláskor leolvashatjuk (égő lámpa = 1, sötét lámpa = 0) a változók értékeit (megfelelnek egy konjunkcióstagnak). Lejegyzés után a gépet újra elindítjuk, míg a következő 1 függvényértéknél újra meg nem áll stb. A gép átállítható úgy is, hogy a 0 értékeknél álljon meg. A mellékkészülékek leírását mellőzzük. A 12 változós, négy funktorféleséggel dolgozó gép képletkapacitása olyan képleteket ölel fel, melyekben legfeljebb 11 funktor szerepel. Tartalmaz 85 jelfogót, 47 forgókapcsolót, 35 átkapcsolót és jelző izzólámpákat.

A logikai pianinónak 12 változó esetén a huszonnégy betűbillentyűn kívül 4096 rúddal kellene rendelkeznie, kézi erővel ezt nem lehetne mozgatni.

*f) A Ferranti-féle logikai gép**

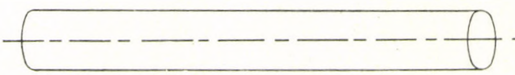
A *Ferranti*-féle gép elvben nem tér el az előbbitől. A változók száma hét, műveletdobozai különállók s így bármikor lehet pótdobozokat beiktatni. A dobozok azonban csak egy-egy műveletre vannak szerkesztve s így a (pl. ötfunktoros) *Kalin—Burkhart*-féle gép teljesítményét elérendő 55 kétváltozós dobozra van szükség. A dobozokban elektronikus elemek (kristálydiódák) is vannak s így *egy* dobozba csak *egy* relét kellett beépíteni. A dobozokat egyszerű kábelekkel kapcsoljuk a p, q, r, . . . hüvelyekhez és egymáshoz. A *32. ábra* a dobozok belső kapcsolását mutatja, a bemenő csatlakozásokat felül, a kimenőt alul találjuk; e logikai csatlakozásokon kívül a dobozokat telepre és földre is kell dugaszolnunk. (A rajzon a földet már bekötve ábrázoltuk.) Magyarázatot csak a konjunkciós doboz igényel: a konjunkcióstagok értékének megfelelő pozitív vagy földfeszültségek a felső csatlakozókon érkeznek a variátorból. Ha csak egy is földre van kapcsolva, egyenirányítója a relé felső kapcsát földeli, a relé nem működhet; ha egy sincs földre kapcsolva és a dugaszolt csatlakozók pozitív feszültséget kapnak, akkor a relé működik, mert egyetlen párhuzamos ellenállás is elég áramot enged át a relé meghúzására. E kapcsolás előnye, hogy ha pl. csak kéttagú konjunkciót kell beállítanunk, nem kell törődni a többi üresen maradt bemenővel (a kivitelezett gépen nem négy, hanem hat bemenője van a konjunkciós és megengedő diszjunkciós doboznak). Ellenőrzés céljából a dobozoknak saját jelzőlámpájuk is van.

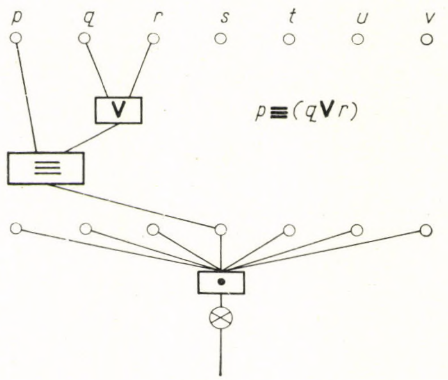
* D. M. McCallum—J. B. Smith: Logical computors and their design. El. Eng. 1951. Apr. 126.



32. ábra
A FERRANTI-féle logikai gép műveleti dobozainak belső kapcsolása

A variátor célja itt is az, hogy a hét változó 128 kételemű hetedosztályú ismétléses variációinak megfelelően a variátor hét kimenő dugaszhüvelyére váltakozva feszültséget és földet kapcsoljunk. Minden ilyen dugaszhüvelyt egy-egy relé kapcsolhatja feszültségre vagy földre. Ha a gép variátorát elektromágneses léptetővel ellátott forgókapcsolókból* építjük fel, akkor nagyon egyszerűen képezhetjük a variációkat a „reflektált (tükrözött) biner ciklikus permutáció" sorrendjében. Ha ugyanis így vesszük sorra a variációkat (pl. 4 változó esetén): 0000, 0001, 0011, 0010, 0110, 0111, 0101, 0100, 1100..., akkor mindig csak egy relé állását kell megváltoztatni minden lépéskor. (A variátor és a gép egyéb részleteinek leírását l. az eredeti cikkben.)





33. ábra
Egy feladat kapcsolása a FERRANTI-féle logikai gépen

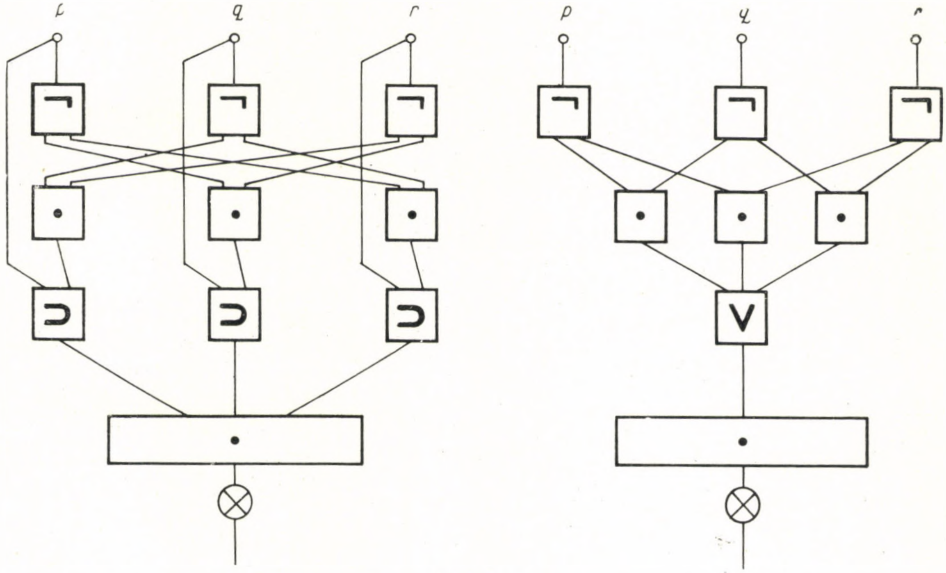
A dobozos gépek variátora lehetne közvetlenül egy fémszektoros, léptetve forgó, kétcsúszógyűrűs henger, melyen a hét változó álló keféi csúsznának.

A *33. ábra* mutatja a dobozok dugaszolását pl. a $p \equiv (q \vee r)$ feladat esetén. A legalsó „eredmény"-lámpa kigyullad, ha a variátor a teljes diszjunktív normálalak egy 1 értékű tagjának megfelelő variációt kapcsolt. A gép ilyenkor megáll, a változók lámpái leolvasandók s a gép gombnyomásra folytatja működését. A gép átállítható arra is, hogy az eredménylámpa kialvása esetén álljon meg, és arra is, hogy gombnyomásra mindig csak egyet lépjen.

Minden logikai géphez a verbálisan (szóbelileg) adott feladatot előbb át kell alakítanunk ítéletkalkulusbeli képletté. A verbális feladatok logikai képletbe való „átírása" sokszor fejtörést okoz. A gyakorlati eseteket vagy találós kérdéseket feltevő feladatok általában feltételeket (kívánalmakat, követelményeket) sorolnak fel, és a megoldásnak ezeket kielégítenie (teljesítenie) kell. E relációkból ki kell hámoznunk a belőlük következő ítélet- (vagy osztály) kalkulusbeli műveleteket. A $p \equiv (q \vee r)$ példa verbálisan például lehet a következő : „Csak tagok vagy vendégeik jöhetnek el az ünnepélyre." Ezt előbb szét kell terítenünk teljes mondattá: „Valaki csak akkor jöhet el az ünnepélyre, ha az illető tag, vagy az illető valamelyik tag vendége." Ebben az összetett ítéletben már három ítéletünk van, sorjában p, q, r és ezek közt az ábrán felírt kapcsolat van. A gép megáll a pqr, $pq\bar{r}$, $p\bar{q}r$ és $\bar{p}\bar{q}\bar{r}$ variációknál, tehát eljöhet: olyasvalaki, aki tag is vendég is egyszemélyben; aki tag; aki tag vendége; de nem jöhet el, aki egyik sem.

* A távbeszélő szerelvények közül felhasználható e célra a „lépésenként működő választógép" vagy szelektor (az 1951. kiadású angol—magyar műszaki szótárban: egyirányú mozgású választógép vagy uniszelektor), a szabványosan „számjegygép"-nek nevezett markergépnek kevesebb, csak 11, illetőleg 12 ívpontja van.

Másik példa: Egy távoli bolygón n vallás gyakorolható szabadon (egyszerűség kedvéért legyen $n = 3$). Mindegyik vallás prófétája azt állítja saját vallásáról, hogy egyedül üdvözítő, és hogy a többi próféta szánalomra méltóan tévelyeg. Minthogy egyszerre csak egyiknek lehet igaza, hányféle megoldás lehetséges? Az aMp reláció (a mondja, hogy p) és ennek szinonimái, helyesebben az „a-tól származik a p ítélet" relációosztályba tartozó relációk (pl. nyilvánít, elbeszél, leír stb.) megegyeznek abban, hogy áll rájuk: $aMp \supset (p \vee \bar p)$, azaz a „mondott ítélet lehet igaz vagy nem igaz", mert emberi tévedés sohasincs kizárva. A feladat tehát fejben is könnyen megoldható: $n + 1$ megoldás van: minthogy mindegyik tévedhet, egyszerre is tévedhet



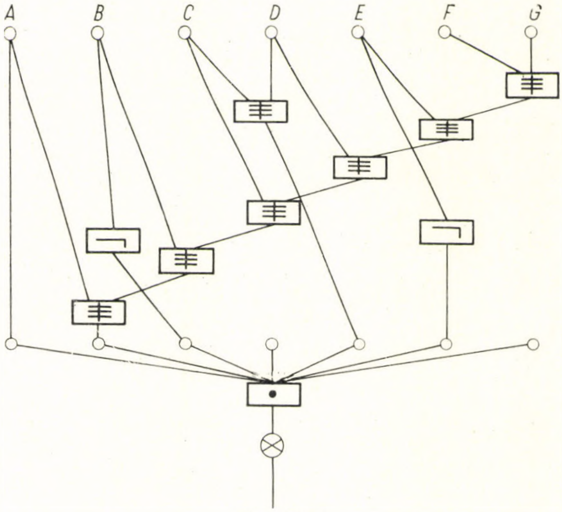
34. ábra

valamennyi (ez az $n + 1$-edik eset). E feladat kétféle módon is dugaszolható: (ha $p =$ „az 1. sz próféta tanai igazak" és így tovább) az egyik mód: $(p \supset \bar q\bar r) \cdot (q \supset \bar p\bar r) \cdot (r \supset \bar p\bar q)$, a másik: $\bar p\bar q \vee \bar p\bar r \vee \bar q\bar r$ (*34. ábra*), az eredmény mindkét esetben: $p\bar q\bar r \vee \bar p q\bar r \vee \bar p\bar q r \vee \bar p\bar q\bar r$. E példának azt is mutatja, hogy többféle kezdeti képlet vezethet ugyanarra a normálalakra, azaz „külalakra" több feladat van, mint 2^{2^n}.

A következő példában el kell dönteni, hogy hét ember (A, B, C, D, E, F, G) közül hány a mérnök (a többi kereskedő), ha A mérnök (p), B és E kereskedő ($\bar q$, $\bar t$), továbbá C azt állítja, hogy D mérnök ($r \not\equiv s$), azonkívül A azt állítja, hogy B biztosít róla, hogy C azt mondja, hogy D ragaszkodik hozzá, hogy E úgy nyilatkozik, hogy F tagadja, hogy G kereskedő ($p \not\equiv (q \not\equiv (r \not\equiv (s \not\equiv (t \not\equiv (u \not\equiv v))))))$, végül köztudomású, hogy a kereskedők mindig igazat mondanak, a mérnökök pedig mindig hazudnak. Hány mérnök van a fenti társaságban? E példát fejben nem tudjuk megoldani. Azt, hogy „C azt állítja, hogy D mérnök", a fentiek alapján már könnyen „képletesítjük", ui. ha C kereskedő, akkor amit állít, igaz, s így D mérnök; ha viszont C mérnök, akkor hazudik s így D kereskedő. A dugaszolást a *35. ábra* mutatja. Négy megoldást kapunk, a mérnökök száma mindegyikben három:

$$p\bar q\bar r s\bar t u\bar v \vee p\bar q\bar r\bar{\bar s}\bar t\bar u v \vee p\bar q r\bar{\bar s} t u\bar v \vee p\bar q r\bar{\bar s}\bar t\bar u v.$$

Ha e feladatot algoritmussal oldjuk meg, akkor 23 oszlopban 128 sort kell kitöltenünk (2944 számjegy). Amikor semmi útmutatásunk nincs, nem tehetünk mást, mint végigfutni valamennyi lehetséges variáción s a gépen való kiszámítás esetén ez a helyes eljárás, mert a gép ekkor egyszerűre szerkeszthető s ,,szorgalommal pótolja a leleményességet”. De a logikai feladatokban iránymutatást is találunk a megoldások kikeresését illetőleg. Így például a feladatban $p\bar{q}t$ konjunkcióban lévén a többi ítélettel, a $\bar{p}$, q és t-t tartalmazó variációkat nem kell vizsgálnunk s a feladat máris négyváltozóssá egyszerűsödött. Azután r és s nem lehet egyszerre igaz vagy hamis. Tehát csak $p\bar{q}r\bar{s}\bar{t}$ . . vagy $p\bar{q}\bar{r}s\bar{t}$ . . -vel kezdődhetnek az igaz variációk. Az antivalencia-,,kaszkád” belső zárójelei elhagyhatók s e képletről tudjuk, hogy akkor igaz, ha tagjai egyenként, vagy hármasával, vagy ötösével igazak, vagy ha mind a hét tag igaz. Hét és öt már nem lehet egyszerre igaz, mert három *nem igaz* már van. Egy-egy sem lehet igaz, mert kettő már van. Tehát csak három változó lehet egyszerre igaz s minthogy kettő már van, a hátralevő u, v közül csak egy-egy lehet igaz a megoldásokban s így az előbbi négy megoldást kapjuk, pedig igen kevés variáción futottunk végig.



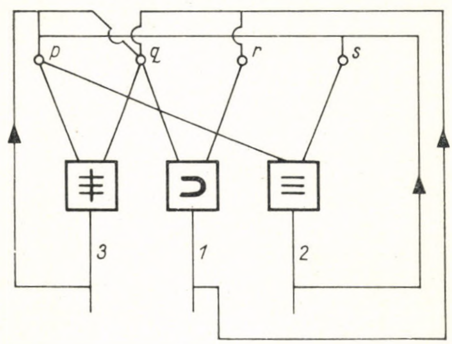
35. ábra

Arra, hogy megoldást az összes variációban való végigfutás nélkül is találjunk, alkalmas a *visszacsatolt logikai gép*.* A gép egy változata az előbbinek és a feladat ugyanúgy dugaszolandó, mint annál, de minden doboz kimenője hatni tud a saját bemenőire (*36. ábra*, vázlatosan). A variátor ki van kapcsolva. Kiinduláskor egy tetszés szerinti variációt kell beállítani. Amelyik kimenő (1, 2, 3) hamisat mutat, megváltoztatja egyik bemenőjének értékét. Ez a játék addig tart, amíg valamennyi kimenő igazat nem mutat, mire a gép természetesen megáll, és ez az állása egy megoldás. Ilyen egyszerű eljárás során azonban meddő körfolyamatok keletkezhetnek, amelyből a gép nem tud kiszabadulni, örökké ismétel és így a megoldásra sem futhat rá. Az ember az ilyen ciklusból úgy szabadul ki, hogy észreveszi, hogy körfolyamatba került és igyekszik elágazást választani. Ezt géppel is utánozni lehet, de a szerzők más megoldást választottak: a kimenő úgy csatol vissza változóira, hogy ezekre előre beállított, de egymástól eltérő frekvenciájú impulzussort bocsát, miáltal a változók csatlakozói nem egyszerre kapnak feszültséget, hanem hazárd sorrendben, s minthogy gondoskodtak róla, hogy csak az időben első érvényesüljön, csak egyik változó értéke változik meg. Ily módon ismétlődéskor mindig más változó kerül sorra és a meddő körfolyamat kiküszöbölődik. A visszacsatolt rendszer hamarább ad megoldást, ha a feladatban szereplő műveletek egyenként kevés változósak és ugyanaz a változó csak egy-két műveletben ismétlődik,

* D. M. McCallum—J. B. Smith: Freedback logical computor. El. Eng. 1951. Dec. 458.

de nincs előnye az egyszerű felsorolásos rendszerrel szemben, ha a műveletekben sok a változó és ugyanazon változók sok műveletben előfordulnak. A visszacsatolt gép azt a feladatot oldja meg gyorsan, amelyet fejben is könnyen oldunk meg.

A *Ferranti*-féle logikai gépen valószínűségszámítási feladatokat is meg lehet oldani. Azonkívül berendezése van arra is, hogy egy-egy variációban az igaz változók számát menetközben mutassa külön lámpasorozaton, sőt a gépet igaz variációk sorrakerülése esetén csak az igaz változók adott számánál, illetőleg számainál állítsa meg.



36. ábra
A visszacsatolt logikai gép dobozainak vázlatos kapcsolása

*g) A bécsi logikai gép**

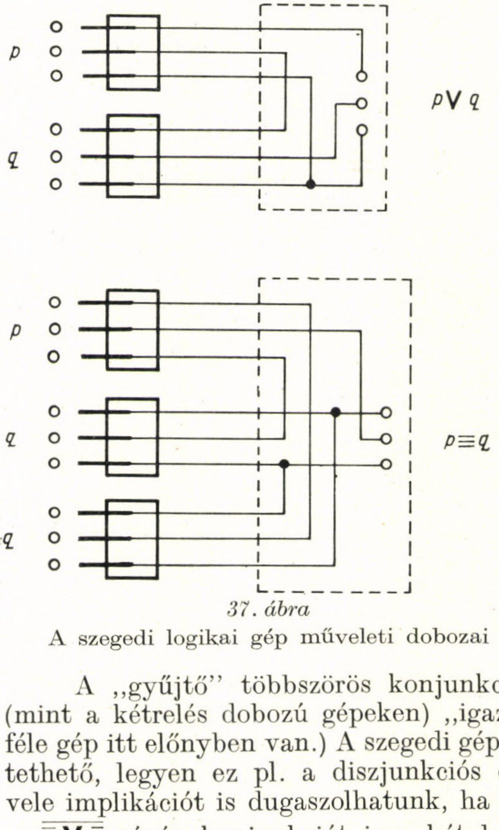
A gép főleg abban tér el a *Ferranti*-féle géptől, hogy nincsenek elektronikus elemei (kétváltozós dobozaiban tehát két relé van), a dobozok be vannak építve, de szabadon dugaszolhatók (tehát zökkenő nélkül külső dobozokkal kiegészíthetők). A dobozok kimenője itt is multiplikálható. A *Ferranti*-féle gépnél említett változó-számlálót itt is megtaláljuk. Variátora szintén többemeletes léptetős választógép, egy feladat végigfutása két percet igényel. Jelzőlámpák helyett a távbeszélőtechnikában ismeretes leeső-füleket találjuk a gépen, ezeket mindig kézzel vissza kell állítani. A gép hétváltozós, hat műveletfajjal, 74 lehetséges művelettel, reléi száma 145. A változókat egyenként is be lehet állítani, hogy egy adott variáció értékét megkapjuk. Azonkívül többféle biztosító és ellenőrző berendezése van. A dobozos gépeken az alsó „gyűjtő" többszörös konjunkciós-doboz azt bizonyítja, hogy a verbális és technikai feladatok legtöbbje több (összetett) ítélet konjunkciójából áll. Az erre való fölkészültséget láttuk a logikai pianinón is.

h) A szegedi logikai gép

E 8 változós gép szintén dobozos és a dobozokban Kalmár László szellemes megoldása szerint huzalokon kívül nincs semmi más *(37. ábra)*. Minden változó számára azonban három dugaszhüvely van fenntartva, a dobozok hármas dugaszai ezekbe illeszthetők; a dobozok kimenői is háromhüvelyesek a további csatlakozások céljából. A variátor kimenő reléi a változók középső hüvelyét „igaz" esetben az alsó hüvelyhez, „hamis" esetben a felsőhöz kapcsolják. Akárhány doboz van is bármilyen bonyolult kapcsolásban, csak két áramkör keletkezik s ezeknek csak egyike záródik, s ekkor vagy az 1 (igaz), vagy a 0 (hamis) eredménylámpa gyullad ki.

* I. Weipoltshammer: Die logistische Relaisrechenmaschine der Technische Hochschule in Wien. Staatsprüfungsarbeit an der T. H. Wien. 1954.

Bármely változót, illetőleg ítéletet úgy tagadunk, hogy a hozzátartozó hármasdugaszt (ill. kimenőhüvelyt) megfordítjuk. Noha a 3 huzal miatt a rendszer bonyolultnak látszik, a kezelése éppen olyan egyszerű, mint az egyhuzalosoké (a kezelőnek nem is kell tudnia, hogy 3 erű a kábel). A háromerű rendszer ugyan túlhatározott, de e redundancia valójában előny, mert hibajelzést is szolgáltat: ha mindkét lámpa ég vagy egyik sem, akkor biztosan hiba van valahol. Ezzel szemben hátrány az, hogy ha ugyanarra a változóra több dobozzal kell rákapcsolni, nem ágazhatunk le párhuzamosan, hanem mindanynyiszor új érintkezőpárt kell beiktatni, tehát a „multiplikációs" hüvelyek mindegyikének külön (beépített) érintkezőkkel kell bírnia. Utólagos kiegészítés körülményes. Mozgatásukra sok kis relét vagy legalább a változók számával egyező számú nagyteljesítményű relét kell beépíteni.



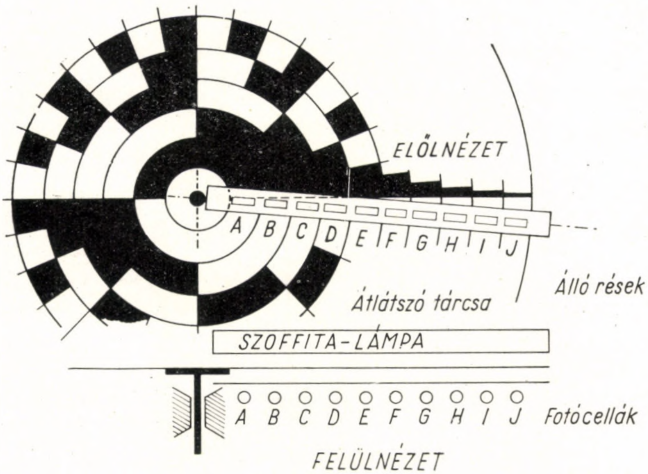
37. ábra
A szegedi logikai gép műveleti dobozai

Relé és elektronikus elemek teljesen elkerülhetők volnának pl. bütykös variátorhenger révén, mely mechanikusan, rudazattal zárná az érintkezőket, vagy közvetlen kollektorszerű kiképzéssel csúszókefékkel zárná az áramköröket. Rátermett elektronikus megoldás volna érintkezők helyett fotocellákat alkalmazni és fényvariátorral (forgató tárcsa átlátszó és átlátszatlan szektorokkal) vezérelni *(38. ábra)*. Ennek hátránya, hogy soros fotocellakapcsolásnál nagyobb és beállítható feszültség kell hozzá.

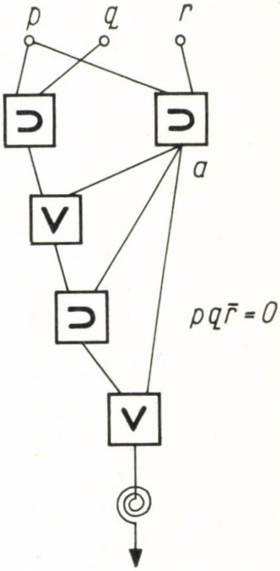
A „gyűjtő" többszörös konjunkciósdoboz üresen maradt bemenői (mint a kétrelés dobozú gépeken) „igaz"-ra dugaszolandók. (A *Ferranti*-féle gép itt előnyben van.) A szegedi gép *egyetlen* típusú dobozzal is működtethető, legyen ez pl. a diszjunkciós doboz, mert $p \supset q = \bar{p} \vee q$ révén vele implikációt is dugaszolhatunk, ha p dugaszát megfordítjuk, és $pq = \overline{\bar{p} \vee \bar{q}}$ révén konjunkciót is a két bemenő dugasz és a kimenőhüvely megfordításával. Az ekvivalenciához és az antivalenciához külön doboz kell, mert az egyik dugasz kétszer hármas (l. *37. ábrát)*. Az egyik fajta doboz itt is helyettesítheti a másikat az egyik bemenő megfordításával. A sok megfordítás azonban könnyen tévedésekre ad okot és ellenőrzése sem áttekinthető. Természetesen a több doboztípusra is be lehet rendezkedni.

Relés gépek üzembiztonsága szempontjából az érintkezők száma dönt. Ugyanis a relék vasmagja és tekercse úgyszólván „örökéletű" s csak az érintkező romlékony. (A relék egyéb hibái: nagy helyszükségletük, súlyosak és mozgó készülékekben, ill. járművekben nem használhatók.)

A szegedi gépen a működő érintkezők száma kétszerese a feladatban a *változók* előfordulási számának (minden változó annyiszor számít, ahányszor előfordul). A *Ferranti*-féle gépen a működő érintkezők száma kétszerese a *funktorok* előfordulási számának, a *Kalin—Burkhart*-féle és a bécsi gépen négyszerese ennek. (A tagadástól eltekintettünk. Ebben a szegedi gép van előnyben, nem igényel érintkezőt.) Azonban nem lehet a szegedi gépen a dobozók *kimenőit* multiplikálni, pl. a *39. ábrán* feltüntetett kapcsoláshoz a szegedi gépen még két párhuzamos $p \supset r$ doboz kell az a multiplikáció szétbontására. (E feladatban csak egy 0 értékű variáció van: $pq\bar{r}$.)



38. ábra
Tízváltós variátor



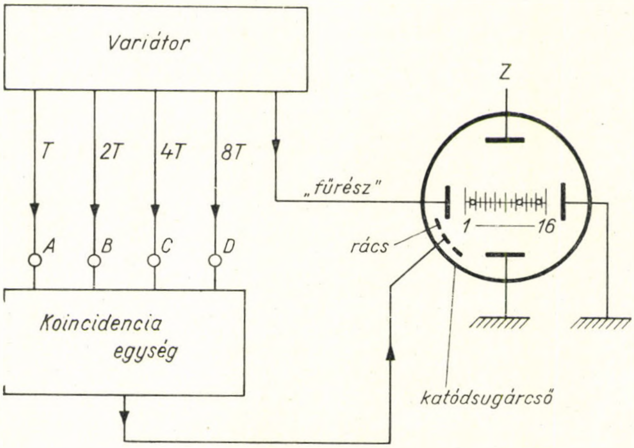
39. ábra

*i) A Vendac**

Minthogy a gép részletes leírása nem volt megszerezhető, működését alábbiakban próbáljuk elképzelni *(40. ábra)*: a variátor a négy változó számára egy-egy impulzussort bocsát ki, e négyszögimpulzusok periódusa sorra T, $2T$, $4T$, $8T$. Világos, hogy a leghosszabb periódus ($8T$) tartama alatt a variátor az összes lehetséges (16) feszültségvariációt adja a változók kapcsaira. A „koincidencia-egység"-et úgy képzelhetjük, hogy olyan, mint a *Ferranti*-féle gép dobozcsoportja, de a reléket bistabil multivibrátorok helyettesítik a gyorsabb működés érdekében. Az eredménylámpa helyett katódsugárcső rácsa van bekapcsolva, e cső tehát felvillan, ha a variáció „igaz". A katódsugárcső vízszintes terelőlemeze $8T$ periódusú fűrészfeszültséget kap. Ernyőjén kívül 16 beosztás van ráfestve, hogy a felvillanó fény-

* A. ARCHER: A Venn diagram analogue computer. Nature 1950. 829, és South African Journal of Science. Vol. 47. 1950. 133.

folt a megfelelő variáció beosztásába essen. Ha a *z* függélyes terelőlemezre nagyfrekvenciás feszültséget adunk, akkor a fényfoltok függélyes irányban megnyúlnak s a beosztásokba a variációkat betűkkel is ráfesthetjük. A katódsugárcső ernyője ekkor éppen úgy, mint a logikai pianinó előlapja, a *teljes diszjunktív normálalakot egyszerre mutatja*. Ez tehát eddig az egyetlen elektronikus gép, amely tárolóberendezés nélkül a feladat összes megoldásait egyszerre jeleníti meg.



40. ábra
A VENDAC-féle logikai gép vázlata

j) A Burrough-féle programozott logikai gép

Ítéletkalkulusbeli feladatok megoldására elektronikus számológépeket is lehet programozni. Természetesen külön e célra is lehet kiskapacitású számológépeket készíteni. Talán az első volt ezek között egy relés gép 3 változóval.* Az idézett túl szűkszavú cikkek alapján nem tudunk részletes leírást adni.

A *Burrough*-féle tízváltozós logikai gép** sem tesz mást, mint hogy variálja a feladat változóinak értékeit s minden egyes variációra kiértékeli a függvényt. Eredményül itt is a függvénytáblázatot, illetőleg a teljes diszjunktív normálalakot kapjuk. Az automatikus programozásra kiválóan alkalmas *Lukasiewicz*-féle zárójelmentes jelölésrendszer (l. *1. táblázat*) szerint $Np = \bar{p}$, $Kpq = p \cdot q$, $Apq = p \vee q$, a gép csak e három funktorra (N, K, A) van berendezve, mert pl. $ANpq = p \supset q$. Az N funktor hatásköre az utánaírt egyetlen ítéletre terjed, a többié két utánaírt ítéletre, tehát ha a feladat pl. $(p \vee q) \supset (qr \supset s)$, ez zárójelmentesen így írandó: $ANApqANKqrs$,

* W. MAYS—D. G. PRINZ: A relay machine for demonstration of symbolic logic. Nature 1950. Vol. 165. 197. és Note on the exhibition on logical machines. Mind. 1951. Apr. 262.

** BURKS—WARREN—WRIGHT: An analysis of a logical machine using parenthesis — free notation. Mathem. Tables and other Aids to Computation. 1954. Apr. 53.

ami nyomdatechnikailag is ideális; azonkívül, bár nem áttekinthető, a gép számára közvetlenül olvasható. Mint látjuk, zárójel ugyan nincs, de tudnunk kell és a gépnek is tudnia kell, hogy mily funktorhoz hány ítélet tartozik. A képletet a gép könnyen kezeli, ha minden betűnek *súlyozási értéket* adunk. A gép ekkor azt is előre megállapíthatja, hogy a képlet alakilag helyesen van-e fölírva. A súlyozási értékek: $N = 0$, $K = -1$, $A = -1$, a kisbetűk, illetőleg a helyükbe írt konstansok súlyértéke 1 Ha pl. Kpq esetén összeadjuk a súlyokat, mindig 1-et kapunk, s ugyanígy Np esetén is, ez a kritériuma annak, hogy a változók száma helyes. De ez nem elég, hiszen pKq és pqK-nak is ugyanaz a súlya, pedig nem jelentenek semmit. A helyes sorrendet úgy ellenőrizzük, hogy jobbról kiindulva és balfelé haladva minden betűnél a jobbra levő betűk súlyát összeadjuk s így összegek sorozatát kapjuk; pl. Kpq esetén 1, 2, 1; pKq esetén 1, 0, 1; pqK esetén -1, 0, 1. Ha a minimális részletösszeg nagyobb zérusnál, akkor a képletet ,,pozitív''-nak nevezzük. Ha mármost a képlet pozitív *és* ,,teljes súlya'' $= 1$, akkor ,,jóalakú'' (well-formed), azaz alakilag helyesen felírt képletünk van. Bebizonyítható, hogy ez bármilyen hosszú, bonyolult képletre is igaz. A gép jobbról balra haladva a részletösszegeket közvetlenül képezheti.

A kiértékelés menete a következő: A változók kapnak egy specifikációt, pl.: $p = 1$, $q = 0$, $r = 0$, $s = 1$; ezeket beírjuk a változók helyére és jobbról kezdve végighaladunk a képlet minden egyes betűjén és leírjuk, szintén jobbról balra a talált behelyettesítési értéket. Részletesen: $s = 1$, tehát leírjuk: 1; $r = 0$, ezt (eléje) melléírjuk: 01; $q = 0$, ezt is (eléje) melléírjuk: 001. Most K következik s tudván, hogy kétváltozós, a jobbra levő két 0-nak, mint változóknak behelyettesítésével kapjuk K00 igazságértékére 0-t, töröljük tehát a két 0-t, s helyettük a most kapott 0-t írjuk; feljegyzésünk most tehát 01. A következő jel N egyváltozós függvény betűje, tehát változója a tőle jobbra álló első betű s mivel ez negáció, e betűt (az előbb felírt 0-t) 1-re változtatja. Feljegyzésünk most tehát 11. Ezután A következik és mivel A11 igazságértéke 1, az eddigi feljegyzést töröljük és csak ezt az 1-et írjuk fel. Továbbhaladva e minta szerint így alakul a feljegyzés: 1, 01, 101, 11, 01, 1. Az utolsó jegy a vizsgált függvény értéke a jelen specifikáció esetében. Ha a képlet ,,jóalakú'', akkor a kiértékelés végén mindig csupán egyetlen 1 vagy 0-t kell kapnunk, másként hiba esett valahol. Minden specifikáció a változók egy-egy variációja, s a képletet ezek mindegyikére ki kell értékelni. A jobbról balra haladó menet előnye is szembetűnő: mikor egy funktorhoz érünk, a változók már behelyettesítésre készen állnak.

Az elmondottak alapján egy elektronikus számológép már könnyen programozható. A tervezők mégis egy önálló relés gépet állítottak össze, melynek két fő alkatrésze az ,,emlékezet'' (,,memoria'') és a ,,kiértékelő'' (evaluátor). Előbbi (mely lehetne mágnesdob vagy akusztikus vonal), megőrzi a beadott képletet, és egy-egy major ciklus (nem azonos a számológépek majorciklusával!) alatt a képlet végétől kezdve küldi a betűket az evaluátorba (tehát minden specifikációhoz egy-egy major ciklus tartozik). Az evaluátor három részből áll: a specifikáló-, a függvénykapcsoló- és a regiszterből. A specifikáló (variátor, legcélszerűbben egy elektronikus biner számláló) képezi a változók variációit, egy-egy ,,minorciklus'' alatt kiveszi az emlékezetből a soros betűt és értékét küldi a függvénykapcsolóba. Ez (lehet pl. egy elektronikus kapurendszer) még felveszi a regiszterből a funktor jelét is, képezi (pl. elektronikus táblázatból kikeresve) az igazságértékét és beküldi a regiszterbe (ez lehet egy elektronikus eltoló ,,shifting'' regiszter), mely súlyozás szerint tol el, pozitív betűsúlyra egyszerűen továbbít eggyel, 0-nál helybenmarad, negatívra visszalép eggyel, ahogy azt előbb elmondottuk. A gép 2^n specifikációt termel, ahol n a változók száma. Ugyanennyi tehát a képlet teljes végigpásztázásainak száma.

Az automatikus programozás e példája igen tanulságos a matematikai képletek és beszédbeli mondatok analízisének és szintézisének (l. fordítógép) automatikus programozása szempontjából. Ugyanis végeredményben itt is bonyolult összefüggések egydimenziós (szimbolumok egyszerű sora) ábrázolásáról van szó, azaz jelek egyetlen sorából kell kibogozni az eredeti összefüggéseket. A matematikai képletek egy része, mint pl. szögfüggvények, gyökvonás stb. jelzései a fentiekhez hasonlóak, amennyiben baloldalt van a műveleti jel és jobboldalt a változók, ezzel szemben pl. az összeadás és szorzás jelei a változók között állnak, sőt az osztásnál és kivonásnál még a sorrend is adott. De mindez nem elvi nehézség és csupán az automatikus műveletek szaporítását jelenti. De a matematikai képletek is felírhatók zárójelmentesen, pl. az összeadás: $\overset{4}{S}abcd$, ahol az S összeadás szimbóluma fölé írt szám (n) jelzi a változók számát, amiből a ,,funktor'' súlyozása: ($1-n$). Egy 0 súlyú ,,funktorral'' jelölhetjük pl. az osztandót stb. A képlet felbontásának haladási irányára vonatkozólag, mint látjuk, amaz alapelv érvényesült, hogy amikor egy funktorhoz érünk, változói már numerikusan készen álljanak. A beszédbeli mondatok gépi analízisekor ugyanez a szabály látszik ésszerűnek, habár az élő nyelvek tanúsága szerint a fordított irány éppoly gyakori: a turáni (ural altáji) nyelvek betartják a fenti ésszerű sorrendet, amennyiben a hallott beszédben az időrend a sorrend, a változó, azaz a szó a funktort (ragot) megelőzi, míg pl. az árja (indogermán) nyelvekben többnyire a funktor (prepozíció) előzi meg a változókat.

Teljes listáját nem tudjuk itt adni az elektronikus számológépre programozott vagy külön e célra készült elektronikus logikai gépeknek, ezért itt csak irodalomra utalunk.*

k) *Genetikus logikai gép*

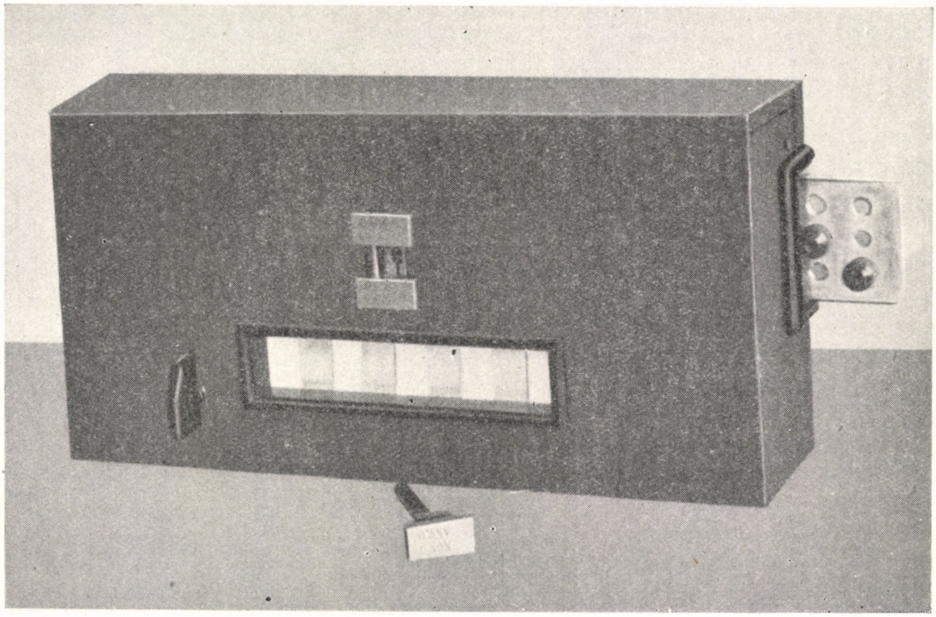
Az eddig ismertetett gépek az ítéletkalkulus függvényeinek értéktáblázatát számították ki. A genetikus logikai gép egyik alkalmazásában a megadott értéktáblázat-, illetőleg teljes diszjunktív normálalakból, mint premisszából, *következtetni tud*** *(41. ábra)*. A gép háromféle alkalmazását ismertetjük:

I. Ha az értéktáblázatot síkjában 90 fokkal elforgatva írjuk fel és az 1-esek helyébe fekete pettyet, a 0-k helyébe üres nullköröket teszünk, és csak azokat az értékcsoportokat tüntetjük fel, amelyekre a függvény értéke 1, akkor pl. egy háromváltozós tautológia táblázata olyan lesz, mint a *42a ábra*, a tiszta hipotetikus szillogizmus ,,számlálójának'' teljes disz-

* Például: Doz. Bauer, Techn. Hochschule, München, Lehrkauzel—Sauer, a fentihez hasonló zárójelmentes programozású és W. Hopmann, Max Planck-Institut, Göttingen. (Szerző kéziratában így talált jegyzet. *Szerkesztő)*

** T. Nemes: Logical machine for recognizing class and causal relations genetically. Acta Technica Academia Scientiarum Hungaricae. 1953. Tom. VII, fasc. 1—2.

junktív normálalakját pedig a *42b ábrán* látjuk. A gépnek ezt a bemenő táblázatát az első, mechanikus kivitelben egy lyukrostély képviselte, melynek lyukai a 0-kat jelentették és bedugható bábuk (gombok) az 1-eseket. Vízszintesen végighúzható mechanikus tapintók szolgáltak elemzésre. Minthogy a gépet relékből fölépíteni egyszerűbb, itt csak a relés gép leírá-



41. ábra
Genetikus logikai gép

a)

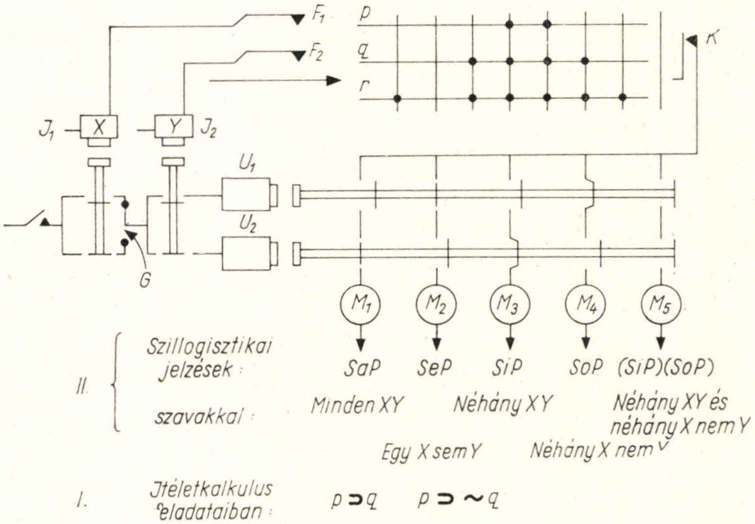
p	○	○	○	○	●	●	●	●
q	○	○	●	●	○	○	●	●
r	○	●	○	●	○	●	○	●

b)

p	○	○	○	●
q	○	○	●	●
r	○	●	●	●

42. ábra

sára szorítkozunk *(43. ábra)*. Az I_1, I_2 relék által mozgatott két függélyes rudat rugó hozza vissza a feltüntetett nyugalmi helyzetébe, míg a két vízszintes rúd rugótlan és kezdeti helyzetébe vissza kell tolni. Az F_1 és F_2 érintkezőket egyszerre húzzuk végig az elemzendő két soron. A ,,bábuk'' itt vezető fémszegecsek lehetnek s az érintkezők nem érnek a fémlemezig, hanem csak a szegecsek fejét érintik. (Természetesen lehet fémlemezre helyezett lyukasztott papírt is használni, vagy a fekete pettyeket vezető fémtintával papírra írni stb.) Ha pl. a *42b ábra* szerint dugaszolunk, és az F_1 és F_2-t a p és q során húzzuk egyszerre végig (a végén az F_1 és F_2 foglalata mechanikusan zárja a k kontaktust) és jelen esetben az M_1 lámpa fog világítani és homályos üveglapjára írt $x \supset y$ (azaz $p \supset q$) láthatóvá válik. Ugyanígy ellenőrizzük a q és r során a másik premisszát is. Ha most a p és r során megyünk végig az F_1 és F_2 érintkezőkkel, akkor eredményül a $p \supset r$ ítéletet, azaz egy olyan *következményt* kaptunk, amit az eddigi gépeken csak sejtés és próba révén tudtunk igazolni. Egyik oka annak, hogy a gépet genetikusnak (,,származtató'') nevezzük, az, hogy a következmény kiszámításához *nem kell külön szerkezet,* hanem elég ugyanazon ,,felismerőszerkezet'', amely két változó közt az implikációt mindig felismeri. A premisszákban ,,bennerejlett'' következményt a gép felismerte és önállóan tette a két változó közé a funktort.



43. ábra

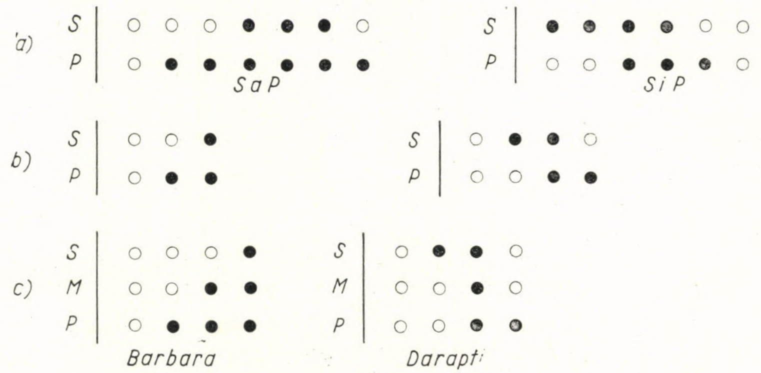
E gép az implikáció tranzitivitás-törvényét a ,,szemléletből olvassa le'' ugyanúgy, mint ahogy az ember az axiómákat egy-egy jól kiválasztott paradigmáról egyszerűen leolvassa. A matematika nem foglalkozik az axiómák keletkezésével. De a logikának, az indukció keretében, kell vele foglalkoznia.

A logikai pianinó kimenőjén, azaz előlapján a változók eloszlása olyan, hogy közvetlenül használható a jelen gép bemenője gyanánt, ha az F_1, F_2 érintkezők helyébe fotocellákat, ill. fototranzisztorokat teszünk, és a pianinó ,,nagybetűi'' helyébe fehér foltokat festünk, az előlap többi részét pedig sötét színnel vonjuk be.

II. A gép alkalmazása osztály- és állítmánykalkulusra. A *Leibniz*-köröket pontsorokkal helyettesítjük a *44a ábra* módjára. Egy pont az osztály (sor) egy elemét képviseli oly módon, hogy a sorok egy-egy oszlopa egy-egy elemet (individuumot) jelent (az egymás alatti pontok csak egy elem ismételt jelölései). Mármost elég, ha az egyforma oszlopokat csak egyszer tüntetjük fel, miáltal az individuumok (oszlopok) osztályokat képviselnek. A *44b ábra* mutatja az egyszerűsítést.

A gép ez esetben is genetikus: „természetben" ábrázoltuk az osztályokat, a pontok valóságos tárgyakat jelenthetnek, melyeket sajátságaik szerint csoportosítottunk. Ugyanis annál helyesebben tudunk gondolkozni, minél pontosabban tükrözzük a természetet.

A szillogisztikához elég három sor, ugyanis a bábokat úgy dugaszolhatjuk, hogy az üres osztály ne jöjjön elő; de a gép bemenőtábláját könnyen többsorosra növelhetjük. A *Barbarát* a *44c ábra* szerint dugaszoljuk legtakarékosabban s a lámpák *SaP* és *SiP*-et (tehát a *Barbarit* is) mutatják. A *Darapti* dugaszolása után a *SiP*-et mindig megkapjuk. A konklúziót itt is úgy kapjuk meg, mint az I. esetben: amely két osztályt összekapcsoló ítéletet keressük, a megfelelő két soron húzzuk egyszerre végig a két érintkezőt, F_1 az előtag, ill. alany, F_2 az utótag, ill. állítmány számára szolgál.



44. ábra

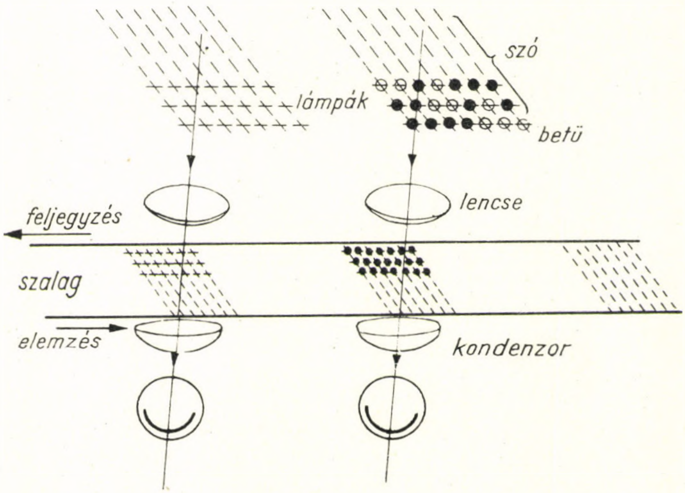
A konklúziót a lámpák homályos üvegén megjelenő szimbolumok, illetőleg mondatok mutatják. A gép ugyanazt a módszert gépesítette, amellyel az állítmánykalkulusban az eldöntésproblémát meg lehet oldani.

Könnyen kiegészíthetjük a gépet olyan szerkezettel, amely a szillogizmusok érvényességét dönti el. Mint már a Logikai bevezetés c. fejezetben említettük, erre a múltban sokféle, előre kikeresett táblázatos eljárást eszeltek ki. De csak egy olyan definíció van, amely az automatikus kikeresést biztosítja: az a szillogizmus érvényes, amelynek, — ha pontábráján minden olyan oszlopot törlünk, amely a premisszákon nem változtat, — konklúziója változatlanul megmarad. A gép kilincskerekes relékkel kiegészítve teljesíti a feladatot (l. idézett cikket). Ez is genetikus eljárás, mert a gép maga keresi ki az érvényeseket, a kezelőnek nem kell előre tudnia, melyik szillogizmus fog érvényesnek bizonyulni.

III. A gép alkalmazása a logikai indukciókban: ok—okozat-párok felismerése és felvétele a külvilágból. Képzeljük el, hogy egy gép a külvilági történések megfigyelése közben a felismert jelenségeket ítéletek alakjában jegyzi fel, pl. egy vízszintesen haladó papírszalagra úgy *(45. ábra)*, hogy minden ítélet számára külön sor van fenntartva s a gép lyukat üt a jelenség észlelésének időpillanatában a jelenség sorába. A vizsgálat utólag is történhet az F_1, F_2 végighúzásával (a papír alatt természetesen fémlap van e kontaktusok számára). Ha a gép implikációt jelez, az előtag az ok, az utótag az okozat.

Feltéve, hogy nem hibás a megfigyelés, illetőleg az a kísérletsorozat, amelynek e papírszalag a protokolluma. De ez az emberi megfigyelés esetén is így van. A gép tehát az enumeratio simplex elvén dolgozik: ha csak egyszer is előfordul, hogy ok van, okozat nincs, már nem jelez okozati kapcsolatot.

Az így felvett, ok—okozatpárt leíró ítéletet nevezzük *egnémá*nak (konyhagörögséggel, minthogy e görög ige minden helyes változata már le van foglalva) szemben az *élmén*nyel, mely két vagy több esetlegesen össze-



45. ábra

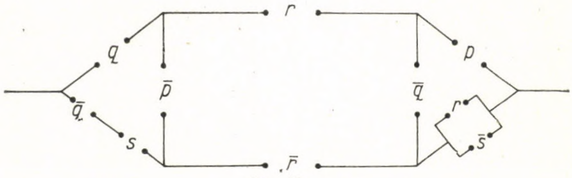
kerülő jelenség följegyzése. Az élménynek igen fontos a szerepe az értelmes működésekben.

Minthogy gyakorlatilag nem biztosíthatunk külön sort minden ítélet számára, ezért több bites leírásokat (rövidített mondatok) lyukasztunk a szalagra a felvétel sorrendjében (a *45. ábrán* 7 bites ,,betűk'') és két fotokoincidenciás lámpatáblán állítjuk be a vizsgálandó két mondatot. (Lámpatábla helyett természetesen egy egyenletesen átvilágított lyukkártya előnyösebb.) Ha a beállított ,,mozaik'' egyezik a szalagon levő ,,mozaik''-kal, akkor az F_1, illetőleg F_2 fotocellák jeleznek, mint az előbbiekben. A mellékberendezésekre (késleltetés, regisztrálás stb.) vonatkozólag l. idézett cikket.

l) Kapcsolási hálózat-elemző gépek

A logikai gépek egy nagy csoportját képezik ama gépek, amelyeknek egyik fő feladata a teljes normálalakot nem teljessé, de egyszerűbbé tenni, azaz a változók előfordulási számát minimálissá tenni. Kapcsolási hálózatokban ez egyértelmű a legolcsóbb és legüzembiztosabb megoldással (az érintkezők száma legyen minimális).*

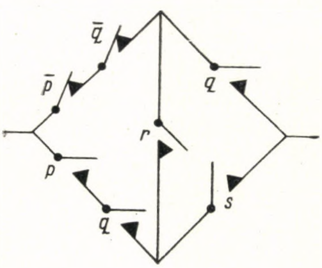
A *Shannon—Moore*-féle gépen** dugaszolással állítjuk elő a vizsgálandó kapcsolást, mely legfeljebb 24 érintkezőt tartalmazhat, a négy változónak megfelelőleg négy relé működteti őket. Az érintkezők kétfélék: munka és szünetáramúak. A gép előlapján 16 háromállású kézi forgókapcsoló van a teljes normálalak tagjainak megfelelőleg; a három állás 0, 1 és ,,mindegy''-nek felel meg. A dugaszolt kapcsolást úgy ellenőrizzük (ill. normálalakját úgy olvassuk le), hogy a kézi forgókapcsolókat egyenként vigigpróbáljuk. Ha lámpajelzést kapunk, a függvény értéke 0 a kapcsolón jelzett változóértékeknél. (Csak kétpólusú hálózatok elemezhetők e gépen.) A rövidzár-próba abból áll, hogy minden egyes érintkezőt egyenként és rendszeres csoportokban rövidre zár a gép, s ha eközben találunk olyanokat, amelyeknél minden jelzés változatlan marad, az az érintkező vagy érintkezők helyettesíthetők állandó rövidzárral. A szakításpróba eldönti ugyanígy, hogy lehet-e érintkezőket állandó megszakítással helyettesíteni (pl. $p \vee \bar{p}$ helyett állandó rövidzár, $p \cdot \bar{p}$ helyett állandó szakítás tehető). A gép nem tud kapcsolást tervezni, vizsgált kapcsolást a gép nem tudja mássá átdugaszolni. A gépben 24 relé, két szelektor, 14 Ge-dióda, és 48 ködfénylámpa van. A gép mindenesetre munkagyorsító segédeszköz a kapcsoláselmélettel foglalkozók számára.



46. ábra

A *46. ábrán* látható feladaton a baloldali $\bar{q}$ rövidzárral helyettesíthető.

A kapcsolóhálózati feladatok megoldására ma még nem ismerünk általános módszert (pl. *47. ábra*). Az összes lehetséges hálózatok képzése még elektronikus sebességekkel is kilátástalan.



47. ábra

A $\bar{p}\bar{q}rs \vee pq\,(r \vee s)$ kapcsoláshoz az ábra szerint 7 kapcsoló is elég, de 7 betűs képletünk nincs hozzá

A teljes diszjunktív normálalak egyszerűsítésére grafikus eljárások is vannak pl. a *Karnaugh*-féle módszer,*** mely szerint a teljes diszjunktív normálalakot olyan táblázattal ábrázoljuk, mint amilyen a *Marquand*-féle gép előlapja. Négy változó esetén a táblá-

* M. Gardner: Logic machines and diagrams (1958) című könyvében közli hogy az ítéletkalkulus és kapcsolóhálózatok közti analógiát felismerte P. Erenfeszt 1910-ben, részletes kidolgozást V. I. Sesztakov végzett 1934-ben, de csak 1941-ben közölte. Hasonló tárgyú Akira Nakasima és Masao Hanzava cikke 1936-ban egy japán újságban.

** Shannon—Moore: Machine aid for switching circuit design. Proc. I. R. E. 1953. 1348.

*** M. Karnaugh: The map method for synthesis of combinational logic circuits. Communication and Electronics. IX. 1953. 593.

zat 16 négyzetből áll, minden négyzet egy konjunkcióstagnak felel meg és e konjunkcióstag sorszáma van beleírva *(48. ábra)*. A sorszám legcélszerűbben az a biner szám, amelyet úgy kapunk, hogy a konjunktív tagokban az állító változókat 1-gyel, a tagadókat 0-val helyettesítjük. Természetesen legjobb a 0000 taggal kezdeni a sort *(11. táblázat)*.

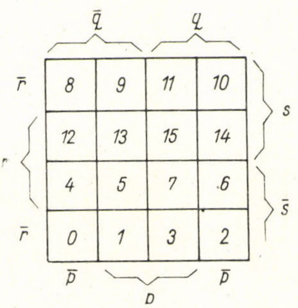
Meg kell tehát állapodnunk abban, hogy az algoritmust (nem úgy mint eddig tettük) a csupazérus sorral kezdjük *(12. táblázat)*.

11. táblázat

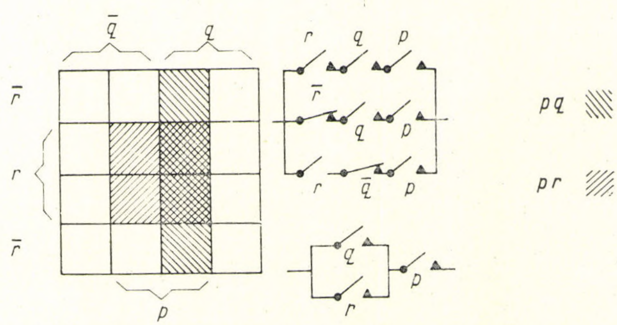
	$s\ r\ q\ p$
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
.	. . . .
.	. . . .
.	. . . .
15	1 1 1 1

12. táblázat

$r\ q\ p$	Főoszlop $f(p, q, r)$
0 0 0	0
0 0 1	0
0 1 0	1
0 1 1	1
1 0 0	0
1 0 1	0
1 1 0	1
1 1 1	0



48. ábra



$$pqr \vee pq\bar{r} \vee p\bar{q}r = pq \vee p\bar{q}r = p(q \vee \bar{q}r) = p(q \vee r)$$

49. ábra

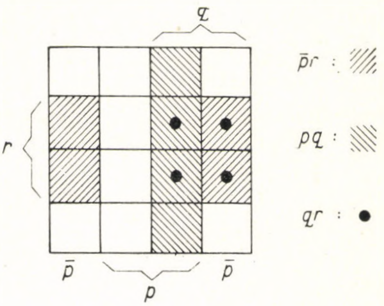
Mármost nemcsak a tagokat, hanem a teljes diszjunktív normálalakot is felírhatjuk egyetlen biner számmal; pl. a *12. táblázatról* a főoszlopot vízszintesre fektetve kapjuk a 00110010 biner számot, mely a feladat teljes diszjunktív normálalakjának sorszáma (minthogy a 0-t is beleszámláltuk, a 256 lehetőség utolsója 255-ös sorszámot kap. Az előbbi függvény tagadásának sorszáma tehát $255-50 = 205$ lesz, mert 00110010 éppen 50). Mármost az „elemi blokkok módszere" a következő: A megadott teljes diszjunktív normálalak konjunktív tagjainak megfelelő négyzeteket árnyékoljuk *(49. ábra)*. Ha az ábra szerint sraffozunk, a kétszer sraffozott terület mutatja, hogy p kiemelhető. Az egyszerűsítéseket megmagyarázzák a következő azonosságok: $pq \vee \bar{p}q = q$, $pq \vee q = q$, $\bar{p}q \vee p = p \vee q$, $qr \vee pq \vee \bar{p}r = pq \vee \bar{p}r$.

Bobrow négyváltozós gépe* az elemi blokkok módszerét alkalmazza. A gépbe csak a konjunkcióstagok számait kell begépelni. Ha pl. 8, 9, 10,

* D. Bobrow: A symbolic logic machine to minimize Boolean functions. Scientific Project. Bronx High School of Science. 1953.

11, 12, 13, 14, 15 e számok, a gép s-et adja ki (a megfelelő ködfénylámpa kigyújtásával); ha a *48. ábrán* a nagy négyzet felső felét sraffoznánk, igazolódna az eredmény. De pl. az *50. ábrán* megadott feladatban csak $qr \vee pq \vee \bar{p}r$-t kapjuk meg, a gép nem veszi észre, hogy qr elmaradhat. A gépben 100 relé, 80 ködfénylámpa van egyéb alkatrészeken kívül.

Swoboda grafikus-mechanikus eljárása* szerint (8 változó esetén a nagy négyzet 16 × 16 = 256 kis négyzetből áll, minden kis négyzet egy lehetséges konjunkcióstagnak felel meg) csak azon kis négyzetekben írunk jelölést, amelyekhez tartozó függvényérték igaz. Ezután ablakos lapokat terítünk a nagy négyzetre; a kivágások külön-külön olyanok, mint a *26. ábrán* látható egész magasságában vagy szélességében végigérő téglalapok. (Swoboda jelölései nem konvencionálisak.) Például x_3 számára négy függélyes ablakot találunk; s minden változóhoz tartozó kivágás végigér az egész táblán. Ugyanennyi kivágás van a tagadott változók számára is (az ábrán nincsenek feltüntetve). A próbálgatások során (több lap egymáson) a közös nyílásokban a beírt számok blokkokba csoportosulva jelennek meg. A blokkok rövidített (nem teljes) konjunkcióstagoknak felelnek meg, a tagok változóit a lapokról olvashatjuk le. A kiindulási teljes diszjunktív normálalakot a kapcsolás modelljéről olvassuk le, a modell „csontokból" (műanyaglapocskák) összeállítható. A módszer nagyon instruktív, de a réses fedőlapokkal való próbálgatás hosszadalmasnak látszik.



50. ábra

Kapcsolások „minimizálását" elektronikus számológépre programozza Troye**. Tárgyalja még a diódakapcsolások minimizálását is. Nagy a haladás a Szovjetunióban a kapcsoláselemző gépek terén, pl. Rodin*** nagysebességű rendszere és Parkomenko**** gépe, a *Cukanov*-féle matrixos analizátor, továbbá a Szovjet Tudományos Akadémia Vezetékes Összeköttetések Laboratóriumában Archangelszkaja, Lazarev és Roginszkij által jelfogós áramkörök szintetizálására szerkesztett gép

* A. Schwoboda: Synthesa reléovych sítí. Stroje na zpracováni informácií. 2, 1954. 157. Gépének leírását l. Avtomatika i telemechanika. 1957. 3. füzet. 240.

** N. C. de Troye: Classification and minimization of switching functions. (14) Philips Research Report. 1959. 151, 251.

*** V. N. Rodin: Electronic analyser for contact circuits. Avtomatika i telemechanika. 1957. 437.

**** P. P. Parkomenko: Switching circuit machine analysis. Avtomatika i telemechanika. 1959. 486.

Sajnos, Szerző korai halála miatt a Logikai gépek c. fejezet a lezárása óta bekövetkezett lényeges változásokat nem tartalmazza. Logikai problémák megoldására újabban szinte kizárólag digitális számológépeket alkalmaznak, sőt heurisztikus elvek alkalmazásával e gépekkel logikai, vagy matematikai tételeket is sikerült bebizonyíttatni (l. „Bizonyítógép", 220 old.). *(Szerkesztő.)*

IRODALOM

a „Kapcsolási hálózat-elemző gépek" c. fejezethez

1. M. A. GAWRILOW: Relais Schalttechnik. Berlin 1953.
2. W. KEISTER–A. E. RITCHIE–S. H. WASHBURN: The design of switching circuits. Princeton. N. Y. 1951.
3. G. A. MONTGOMERIE: Sketch for an algebra of relay and contactor circuits. The Journal of the Inst. of Electrical Engineers. Part II. 1948. Jun. 355.
4. H. PIESCH: Schaltungsalgebra. Arch. El. Übertragung 1955. 460.
5. C. SHANNON: The syntehsis of two-terminal switching circuits. The Bell Syst. Tech. Journal. 1949. No 1. 59.
6. SIMON F.: Jelfogós áramkörök logikus felépítése. Mérnöki Továbbképző Intézet. 1954.

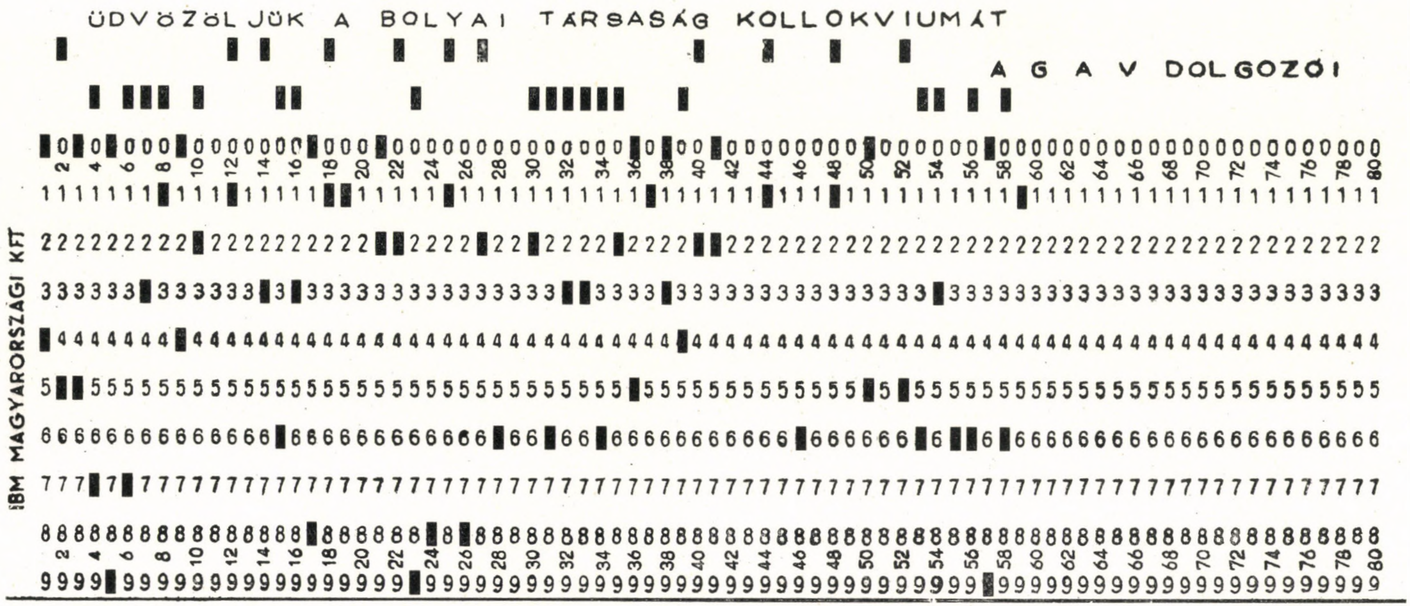
3.12. STATISZTIKAI GÉPEK

Statisztikai adatok feldolgozásának gépesítése céljából szerkesztette H. HOLLERITH 1889-ben elektromechanikus gépét a szövőgépeknél használatos *Jaquard*-féle lyukkártyák elvének felhasználásával. Egy-egy lyukkártyán *(51. ábra)* 80 oszlopot találunk, ezek mindegyikében 10 lyuk számára van hely, sőt fölöttük még két pót lyuksor is elfér s legfelül még egy nyomtatott betűk számára fenntartott sor számára is marad hely. A kártya bal felső sarka le van vágva, hogy csak egyféle helyzetben lehessen a gépbe betáplálni.

Ha például minden nyilvántartott lakoshoz tartozik egy ilyen kártya, akkor minden oszlophoz egy tulajdonságot rendelhetünk, s az oszlopban levő számok e tulajdonságok fokozatait vagy mennyiségét vagy alosztályait jelentik, például születési év, foglalkozás stb. Ez esetben minden oszlopba csak egy lyukat kell lyukasztani (az ábrán kis fekete téglalapok). Természetesen kell egy listát (jelzőkulcs, kódex) is felfektetnünk, mely tartalmazza az oszlopok és számok jelentését, azaz az említett tulajdonságok szóbeli leírását.

Többjegyű számok feljegyzésének céljára több oszlopot kell lefoglalnunk, minden oszlop egy-egy lyukát egy-egy számjegy számára. Szavakat is lyukaszthatunk, ekkor egy-egy oszlopon két lyuk jelent egy betűt s felhasználják ilyenkor a két felső pótsort is (Y az első, X a második pótsor jele) s így pl $a = Y1$, $á = Y2$, $b = Y3$, $r = X9$ stb. Ha azt akarjuk, hogy *egyéni* kártyák is kiválaszthatók legyenek, akkor néhány oszlopot az egyén jelölésének kell szentelnünk s ha az egyéneket számozzuk, akkor pl. 10 oszloppal 10^{10} egyén kártyáját jelölhetünk meg; ha 10 betűből álló betűsorral jelölünk, akkor (30-féle betűt véve alapul) 30^{10} egyént, és a 12 lyuk összes ismétléses variációja által, 10 oszloppal $(2^{12})^{10} = 4096^{10}$ egyént jelölhetünk meg.

Az így elkészített lyukkártyák géppel igen egyszerűen szétválogathatók bármelyik tulajdonság szerint. Az egyérintkezős típusú *Hollerith*-gép igen szellemesen és tanulságosan csupán egyetlen érintkezőpárral és egyetlen elektromágnessel végzi el a válogatás (géptechnikai műszóval: fajtázás) műveletét. Az *52. ábrán* fel nem tüntetett továbbítószerkezet valamennyi kártyalapot (az ábrán a a sorravett kártya) egy b_1, b_2 érintkező-



51. ábra

Lyukkártya HOLLERITH-féle statisztikai géphez pár között sorjában végighajtja. A b_2 rugós érintkező a b_1 fémrúdon csúsztatható arra az oszlopra, amely szerint fajtázni akarunk. A lyuk a b_2 alá érve zárulni engedi az érintkezőpárt s így a *d* mágnes lehúzza a lágyvas orrtartót, s így a szalag alakú rugókból álló (az ábrán metszetben) *f* orrokból annyi esik le, amennyi a kártya szélén kívül esik (a többit maga a kártya nem engedi leesni). A továbbhajtott *a* kártya így besiklik két orr közé és végigcsúszva az orrok folytatását képező *e* szalagok közt, végül is valamelyik *h* rekeszbe esik. Látjuk, hogy a lyuknak a kártyán való magasságbeli elhelyezkedésétől függ az, hogy a kártya melyik rekeszbe kerül. Az egyérintkezős géppel több oszlopra terjedő jelöléses (pl. számozásos) kártyák is kiválogathatók, ha egy oszlopon csak egy lyuk van lyukasztva, de többször kell a kártyákat végigjáratni.

A gép adott osztály részosztályait válogatja ki. A *rendszertani* osztályozás (fajtázás) példája lehet: minden állatnak legyen egy kártyája és egy oszlop legyen lefoglalva az emlősök számára (a többi a madarak, hüllők, kétéltűek stb. számára) és egy-egy lyuk a ragadozók, rágcsálók stb. részére. Ha pl. rendezni akarjuk az emlősöket, akkor ezek oszlopára állítjuk az érintkezőpárt s a kártyacsomag egyetlen végigjáratására mindjárt rekeszekbe csoportosítva kapjuk az emlősök alosztályait, míg a többi állat számára egy külön gyűjtőrekeszt kell fenntartani. A szempontok szerinti osztályozáskor ilyen gyűjtőrekeszre nincs szükség, pl. a lakosság életkor, foglalkozás stb. szerinti osztályozásakor mindig valamennyi kártya elosztódik (mindenkinek van életkora, foglalkozása, állásnélküliségnek is van rekesze!). A részosztályok ilyenkor egymásbavágók, például: 60 évesek, orvosok stb.

A gép óránkint 20 000—30 000 kártyát dolgoz fel. Betét-szerkezet (counting-sorter) révén meg is számlálja az egyes rekeszekbe hulló kártyalapokat és az összes kártyák számát is megadja. Általában 12 rekeszesre készítik a gépet, egy 13-ik szolgál a nem fajtázott kártyalapok befogadására.

A statisztikai gépek tartozékai, illetőleg részei:

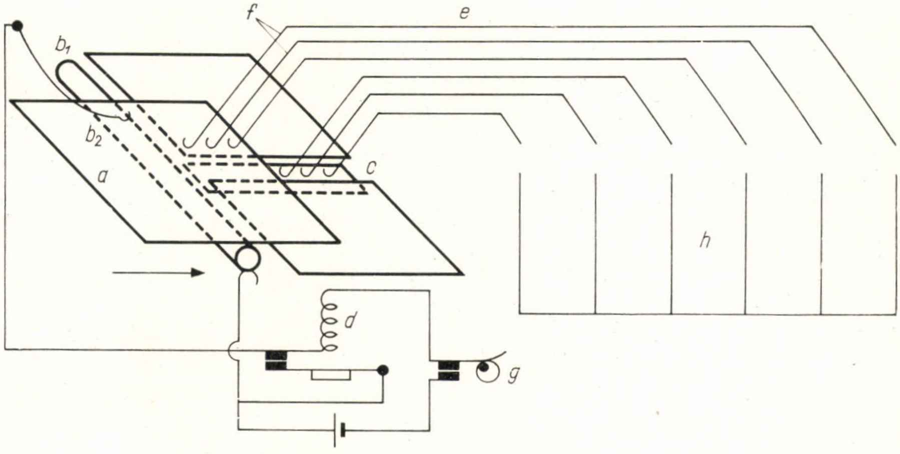
A *lyukasztógép*, melynek írógépbillentyűzete van, ezen kell az üres kártyalapokat előkészíteni.

A *másoló-lyukasztó*, mely kész kártyákról másolatokat készít.

Az *összehasonlító* amely összehasonlít kártyákat s megáll, ha nem egyeznek.

A *tabulátor* leolvassa a lyukaknak megfelelő számokat és az elektromágnesekkel vezérelt beépített mechanikus számolóegységekkel áll összeköttetésben. A tabulátornak 80 keféje van, melyek egysorban állanak, minden oszlopra jut egy, tehát az *52. ábra* b_1 rúdján képzeljünk fekve 80 db b_2 rugót. A kártya hét egyenlő függélyes mezőre van felosztva, öt összeadógép-egysége van 8 jegyű tízes számokra vagy négy gépegysége 10 jegyű számokra. A gép el van látva ún. programtáblával, melyen a kívánt műveleteket dugaszos zsinórokkal lehet kapcsolni, a manuális távbeszélőközpontokhoz hasonlóan. Automatikus ellenőrzésre szolgál 80 segédkefe, melyek az előbbi kefesortól egy kártyamagasságnyi távolságban vannak elhelyezve, s így összehasonlítást engednek meg *két egymás után következő* kártya közt. Ezáltal egyes kártyacsoportok *vége* jelezhető, mert két csoport határán a *csoportjegy* nem egyezik (a vizsgálandó csoportot külön lyukak jelölik), a két kefe közös áramköre megszakad s ezáltal új művelet indul (az átkapcsolás ideje 1,1 mp). Például, ha 1000 kártyát kell 10-es csoportokra osztani, akkor a 10-esek oszlopában lesz változás két egymásutáni kártyán, amikor éppen két csoport határára kerültünk. A tabulátorban 200 elektromágnes végzi az átkapcsolási és számológépvezérlési működéseket. A tabulátor 9000 kártyát dolgoz fel óránkint. A szorzó egység két számot olvas le a kártyáról, motoros szorzógéppel megszorozza és ugyanazon kártyára lyukasztja az eredményt.

Az *osztályválasztó* (class-selector) adatokat vesz ki a kártyamezőkből. Két mezőből választ, aszerint, hogy van-e *X* jel a kártyán vagy nincs. Az *X* és *Y* sor a kártya fejlécén, az *O* sor fölötti üres helyet használja ki.



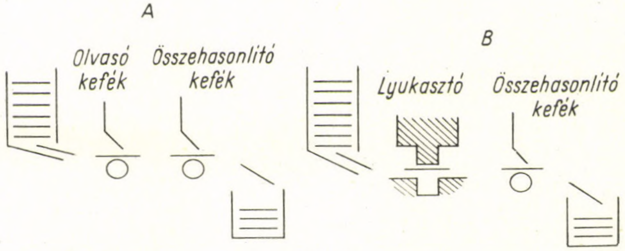
52. ábra
A HOLLERITH-féle gép lyukkártyáinak szétválogatása

Általában az aritmetikai műveletek indítását is ilyen *X* és *Y* jelekkel eszközlik, a negatív számot is *X* jelzi.

A *nagysebességű másoló* (highspeed reproducer) egyik kártyáról a másikra viszi át információit. Az *53. ábrán* az *A* gép tápgyűjtőjébe rakott kártyák egyenként elvonulnak a 80 leolvasó kefe alatt, melynek árama a *B* gép gyűjtőjéből kivonuló kártyákra lyukasztja ugyanazon lyukakat, amelyek az *A* gép kártyáin már megvannak. Az összehasonlító kefék árama egyszerű relékapcsolások révén megállítja a gépet, ha hibás a lyukasztás, azaz ha az *A* és *B* gépek megfelelő (egymáshoz tartozó, ugyanazon oszlopon csúszó) keféjének árama egymástól eltérő. E gép sok másolatot is tud csinálni két alapkártyáról oly módon, hogy csak a *B* gép jár és saját összehasonlító keféi vannak visszakapcsolva a lyukasztójára (gang-punching). A tápgyűjtőbe üres kártyákat tesznek, legalulra kerül a mintakártya (mesterkártya; idegen neve „lieutenant", ami szó szerint régen helytartót jelentett, ma hadnagyot jelent és ez is volna a találó fordítása, mert nem a mester lépdel a sor élén, hanem a hadnagy). Lyukasztás után a kész csomagot átrakják ellenőrzésre az *A* gépbe.

Az „*interpretáló*” leolvassa a lyukakat 80 kefével és jelentésüket olvasható betűkkel rányomtatja ugyanarra a kártyára.

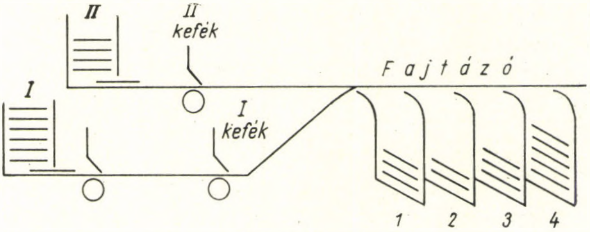
A többi segédgépezet közül csak a tudományos műveleteknél fontos *kollátort* (*54. ábra*) említjük meg. Ez egy kártyasorozat közé tud iktatni más csomagból való kártyákat, és ki tud dobni saját sorozatából kártyákat. Például van 10 000 kártyánk, melyek sorszámukat az első öt oszlopukban őrzik. Van ezenkívül egy másik 2000 lapból álló kártyacsomagunk, melyeknek sorszáma a fenti 10 000 egyes kártyáéval egyezik. Ezeket akarjuk kiválasztani. A 2000 „vezér” kártyát az alsó I tápgyűjtőbe teszszük. Az összehasonlító I és II kefék egyezés esetén kiejtik a II. sorozatból az egyező sorszámú kártyát. A sorrendkefék a továbbítás időszakait intézik. Használat után ugyanezen géppel a kivett kártyák pontosan helyükre illeszthetők. A négy gyűjtő feladata: az 1-be a fajtázott I-beliek, a 2-be a nem fajtázott I-beliek és belekevertek, a 3-ba a nem fajtázott és a 4-be a fajtázott II-beliek esnek bele.



53. ábra
Nagysebességű másoló elvi vázlata

A logikai műveleteket e gépek relés és kontaktusos kapcsolásokkal végzik, például a többszörös konjunkciókat egyszerű soros érintkezőkkel valósítják meg.

Az említett alkalmazásokon kívül a vázolt statisztikai gépekkel minden olyan matematikai számolás elvégezhető, amit elektronikus digitális számológépeken elvégezhetünk, csak lényegesen lassabban. Az elektronikus digitális számológépek gyakorlati üzembevétele előtt statisztikai gépekkel számolták ki a bonyolultabb, sok számítást igénylő matematikai feladatokat.* Egyenesen statisztikai gépnek való feladat egy szótár „átfordítása”. Van például egy lengyel—magyar szótárunk és meg kell szerkeszteni a magyar—lengyel részt. Minden szónak annyi kártyát kell adnunk, ahány idegen szóra fordítható (kifejezések és megjegyzések elég, ha nyomtatva kerülnek a kártyákra mindkét nyelvű szóhoz). E kártyákat tehát egy új abc sorrendbe kell átcsoportosítanunk, amit egy két érintkezőpáros fajtázó



54. ábra
Kollátor

* W. J. Eckert: Punched card methods in scientific computation. 1940.

könnyen elvégez. Az így készült szótár pontosabb, hiánytalanabb lesz, mint a meglevő szótárak némelyike, melyben némely ,,visszakeresett'' szó hiányzik. Az elektromechanikus statisztikai gépek kezelése csak azért kellemetlen, mert állandóan kártyacsomagokat kell átrakosgatni rekeszekből a betáplálókba. Lehet azonban fotoelektronikus statisztikai gépeket is szerkeszteni, ahol a kártyacsomagot mikrofilm helyettesíti és a rekeszekbe kidobást egy-egy másik filmszalagra ,,kifényképezés''-sel helyettesítjük.

3.13. DIGITÁLIS ELEKTRONIKUS SZÁMOLÓGÉPEK

A digitális* elektronikus számológépek feladata elsősorban numerikus számítások elvégzése. A *digitális* gépek számjegyekkel dolgoznak lényegében olyan eljárással, mint ahogy mi papíron végezzük az aritmetikai számolásokat. Az *analóg* gépek ezzel szemben speciálisan a feladathoz alkalmasan választott fizikai modellek, ahol a számok beadása és az eredmények leolvasása műszerskála pontosságú. Az ilyen modell is lehet univerzális, amennyiben az egyes aritmetikai műveleteket külön-külön fizikai egységekben modellezzük, és ez egységekből állítjuk össze tetszőleges számítási feladatok számára a gépet. Elektronikusnak az elektroncsövekből, transzisztorokból, kristálydiódákból felépített gépeket nevezzük (a ferritgyűrűs összeállításokat is ide soroljuk).

Elektromosnak a klasszikus elektrotechnika alkatelemeiből, tehát jelfogókból, kézi vagy elektromotorokkal működtetett kapcsolókból felépített gépeket nevezzük. Az elektromechanikus szerkezetek pedig szorosabb értelemben vett mechanikus elemeket is tartalmaznak, pl. szervo motorokat stb., ide tartozik a mágnesszalagos tárolóberendezés is.

A digitális elektronikus számológép *univerzális*, ha elvileg bármely összetett numerikus számítási feladat elvégzésére alkalmas. *Automatikus* a digitális elektronikus számológép, ha előzetesen programozott feladatát betáplálhatjuk a gépbe, s a gép ezután már teljesen önműködően számítja ki az eredményeket. Az elektronikus digitális számológépet (továbbiakban gép röv) összetett numerikus feladatoknak a gyakorlat számára reális idő alatti megoldására különleges tulajdonságai teszik képessé: 1. sok feladat emberi munkaerővel való kiszámítása csillagászati időtartamuk miatt vagy az igényelt igen rövid időtartam miatt (pl. meteorológiai jóslás) kilátástalan, a géppel mindezek a feladatok rövid idő alatt megoldhatók, 2. a gép összehasonlíthatatlanul kevesebb hibát tesz, mint az ember s az ellenőrző munka jóval kevesebb, 3. építésének és üzemének költsége is jóval kisebb az ugyanazon feladatra alkalmazott emberi munkaerőnél. A gép azonkívül numerikus feladatok megoldására is, pl. nyelvi fordításra is programozható.

A számok ábrázolása a gépben. Minden szám kifejezhető bármely számrendszerben, melynek alapszáma egynél nagyobb természetes szám (r). Legyenek az indexes a-k az ábrázolandó X szám számjegyei az r alapú számrendszerben (r-nél nagyobb természetes számok vagy 0-ok). A záró-

* Ejtsd: digitális és nem digitálisz, ez utóbbi ugyanis növény és orvosság. A ,,digitális'' kifejezés az angol ,,digit'' szóból származik, amely számjegyet jelent.

jeles kifejezés a szám szokásos írásmódja; a „tizedespont" vagy tizedesvessző közvetlenül az a_0 után áll. Ha egyféle számrendszerben dolgozunk, a zárójel és az alapszámnak a zárójel végén való kitétele elmarad:

$$X = a_m r^m + a_{m-1} r^{m-1} + \ldots + a_0 r^0 + a_{-1} r^{-1} + \ldots + a_{-m} r^{-m} + \ldots =$$

$$= (a_m a_{m-1} \ldots a_0, a_{-1} \ldots a_{-m})_r .$$

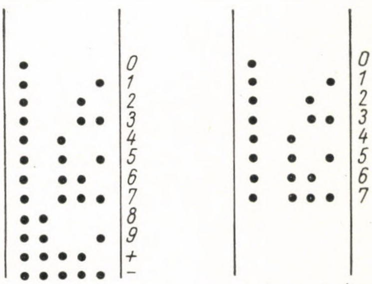
A számokat a gépben mindig a kettes (biner) számrendszer számjegyeivel ábrázoljuk, ugyanis e rendszerben csak két számjegy fordul elő, az 1 és 0 (újabban szokás az L és 0 jelölés is, aminek előnye az, hogy írógépeléskor nem kell a váltót minduntalan állítgatni), és ez a műszaki kivitel szempontjából előnyös, mert csupán kétállapotú alkatelemek használhatók tárolásukra (pl. ferritgyűrűk), és a gépbe való bevitel is lyukasztott papír (vagy film) szalagon történhet úgy, hogy a lyuk az 1-nek, az érintetlen hely a 0-nak felel meg. Az 1 vagy 0 számjegy neve röviden *bit* (a binary digit összevonása). Vannak gépek, amelyek tízes számrendszerbeli számokkal dolgoznak, de a számokat ezekbe is *biner kódolt decimális alak*ban kell bevinni. E kódolás abban áll, hogy a decimális szám minden számjegyét négyjegyű biner számmal, tehát négy lyukhellyel ábrázoljuk a szalagon, pl. 9-nek biner alakja 1001. A szalagon egy-egy ilyen bit-csoport a szalag menetirányára merőleges *sor*-ban helyezkedik el, tehát egy pl. ötjegyű decimális számnak öt lyuksor felel meg a szalagon. Gyakoribb azonban a 8-as számrendszerben való bevitel, ehhez három-három lyuk elégséges egy-egy sorban, előnye pedig az, hogy e hármas csoportok egysorba rakva mindjárt a kettes számrendszerbeli számot adják ($8 = 2^3$), tehát a gép aritmetikai műveleteihez közvetlenül alkalmasak lesznek. Ezért a feladat programjának elkészítésekor a programozók mindennemű *számozást* nem tízes, hanem 8-as számrendszerben ejtenek meg. E számok háromszor rövidebbek, mint a biner számok (közvetlenül felismerhetjük az oktális számokat arról, hogy 8- és 9-es számjegy nem fordul elő). Persze ez csak szükséges feltétel. Például 011 111 000 101 100 010 biner szám a nyolcas számrendszerben 370542, amit egy kis gyakorlattal azonnal fel tudunk írni, ugyanis a háromjegyű biner számoknak (0-tól 7-ig) az oktális számrendszerben ugyanazon számjegyek felelnek meg, mint a decimális számrendszerben.

Általában, ha az egyik számrendszerben helyértékeltolást végzünk, e szám számjegyei a másik számrendszerben megváltoznak. Ugyanez áll a kettes és nyolcas számrendszer közötti konvertálásra is, *kivéve* azt az esetet, amikor a kettedespontot *három* számjeggyel toljuk el, ez ugyanis megfelel a nyolcadospont egy jeggyel (helyesebben: értékhellyel) való eltolásának pl. 011 111, 000 101 100 010 alakja a 8-as számrendszerben 37,0542.

A számok, illetőleg számokkal ábrázolt parancsok a legtöbb típusú gépbe szabványos távgépírószalagra lyukasztva kerülnek.

Konvertálás. A tízes számrendszerben beadott számokat *(55. ábra)* a gépnek kovertálnia kell biner számokká. A legszokásosabb eljárás az, hogy a szám tizedespont *feletti* részét mindaddig felezzük, míg el nem fogy, s eközben, ha van maradék, 1-est írunk fel, ha nincs, 0-t, *jobbról bal felé* haladva. Például a decimális 97 konvertálása biner számmá (csak a maradékokat írjuk zárójel nélkül): (1)1 (3)1 (6)0 (12)0 (24)0 (48)0 (97)1, tehát: 1100001. A tizedespont *alatti* részt pedig mindaddig kétszerezzük, míg el nem fogy, vagy annyira meg nem hosszabbodik, hogy kitölti a számára fenntartott helyet, és felírjuk közben a keletkező egész számjegyeket *balról jobb felé* haladva. Az egész számjegyet minden esetben töröljük a kétszerezett számból. Például 0,6875 esetében: (1,375)1 (0,75)0 (1,5)1 (1)1, azaz a 0,6875 decimális számnak megfelelő ,,kettedestört'' 0,1011.

Előfordul tehát, hogy egy biner szám ugyanannyi számjeggyel írható, mint a decimális alakja. Ez akkor fordul elő, ha a tizedestört 5-tel végződik *és* minden kétszerezéskor újra 5-öst kapunk végső számjegyül. Általában természetesen végtelen kettedestörtet kapunk. Ebből ered, hogy ha a gépbe beadunk egy számot és minden számolás nélkül visszakérjük, máris hiba esett. Például a decimális 0,2508 egy olyan gépbe adva, mely legfeljebb 10 bittel dolgozik, a kivett szám csak 0,2500 lesz. (A biner alak 0,010 000 000 011 . . . utolsó egyesei már ,,kifolynak''.) Ha kikerekítés után kérjük ki a számot a gépből, akkor 0,2509-et kapunk vissza. Ugyanezt a számot kapjuk kikerekítés után, ha a 0,2508 helyett 0,2505, 0,2506 vagy 0,2507-et adunk a gépbe. A gépnek ui. berendezése van arra, hogy ha a kifolyó biner számjegy 1-es, fölfelé kerekítsen.



Biner kódolt decimális számjegyek a lyukszalagon

Biner kódolt oktális számjegyek a lyukszalagon

55. ábra

A biner számok egyik kihasználható előnye az, hogy kettővel való szorzás egyszerű helyértékeltolás balra, pl. 110 kétszerese 1100, a felezés pedig jobbra, pl. 110 fele 11.

A kettes számrendszerből a tízesbe való visszakonvertálás (a gépből való kimenetkor) hasonló eljárással megy végbe, az egészeket 10-zel kell osztani és a maradékot felírni, míg a szám egész számú része el nem fogy. A maradékok jobbról balra felírva adják a szám egész részének decimális alakját. A szám kettedestört részét pedig szorozzuk 10-zel, az eredmények egynél kisebb részét újra tízzel szorozzuk és a keletkező egészeket felírjuk balról jobbra s. í. t. Minthogy tíz a kettes számrendszerben 1010, az eljárás szerint pl. $1100001 : 1010 = 1001$, marad 111, azaz 7, $1001 : 1010 = 0$ és marad 1001, azaz 9, a decimális alak tehát 97; a kettedes törtre példa: $0{,}1011 \cdot 1010 = 110{,}1110$, a 110 decimális alakja 6, azután $0{,}1110 \cdot 1010 =$ $= 1000{,}11$, az 1000 decimális alakja 8, $0{,}11 \cdot 1010 = 111{,}1$, ahol 111 decimális alakja 7, végül $0{,}1 \cdot 1010 = 101$, ennek decimális alakja 5, tehát a szám 0,6875 (a szorzást és osztást papíron a decimális számoknál megszokott módon végezzük, mutatis mutandis).

A számokat továbbá a gép típusa szerint *fixpontos* (rögzítettvesszős) vagy *lebegőpontos* (lebegővesszős) alakban ábrázoljuk. Fixpont esetén a tizedes, illetőleg binerpont előre megállapított helyen, legtöbbször a szám elején helyezkedik el, a gépbe adandó szám tehát csak 1-nél kisebb lehet, pl. 30 jegyű binerszámra tervezett fixpontos gép csak olyan számokkal tud dolgozni, amelyek a $-(1-2^{-30}) \leq x \leq 1-2^{-30}$ intervallumba esnek. Ha számolás közben egész szám jelentkezik, ez a ,,túlcsordulás'', s a gép megáll. Ezért a számolási programot úgy kell előre megtervezni, hogy ne csak a kezdő adatokban, hanem a közbenső eredményekben se mutatkozzon túlcsordulás. Erre különleges módszerek vannak, amelyeket itt nem tárgyalunk. Az előretett fixpont előnye az is, hogy a szám fölfelé nem nő és alul mindig szabványos hosszúságú marad, mert a legkisebb helyértékű számok folynak ki.

A lebegőpontra tervezett gép esetén a számot két számra bontjuk: az 1-nél kisebb *mantisszára* és utána a *kitevőre* [pl. a PERM müncheni gépen (1956) az 50 bites szóban 41 bit jut a mantisszára előjellel és 9 bit a kitevőre], azaz a számrendszer alapszámának kitevőjére. Normalizált alakban a szám első „tizedese" ne legyen 0. A lebegőpontos gépre tehát könnyebb programozni, mint a fixpontosra, de a gép sebessége (a megszaporodott műveletek folytán) valamivel csökken.

Még nem beszéltünk azonban az előjel jelölésének módjáról. Egyik módszer szerint az előjelet, mint *számjegyet* kapjuk meg. Emiatt a negatív számokat az abszolút értéküknek a 2-höz való *komplemens*eikkel (kiegészítőikkel) helyettesítjük. Egy n számnak a 2 alaphoz való komplemense egyenlő $2 - n$ és ez a kettes számrendszerben igen könnyen képezhető, ugyanis először is minden 0-át egyesre és minden 1-est 0-ra kell kicserélni. Világos, hogy ilyenkor az eredeti és az átalakított szám összege csupa egyes lesz, pl. $0{,}1101 + 1{,}0010 = 1{,}1111$, s ha most egy legkisebb rangú egyest még hozzáadunk, $10{,}0000 = 2$ az eredmény. A komplemenst tehát úgy kapjuk, hogy a biner szám jegyeit az ellenkezőre változtatjuk és még egy legkisebb rangú egyest adunk hozzá. A *negatív számok* helyett a gépbe abszolút értékük 2-re való kiegészítőjét tápláljuk be, amelyek pozitív számok lévén, összeadáskor az összeadó műveleten sem kell változtatni. A gépben az összes pozitív számok 0 egésszel kezdődnek, a negatívok pedig 1 egésszel.

Nézzük $n_1 + (-n_2) = n_1 - n_2$ esetét, ahol n_1 és n_2 pozitív. A gépbe $-n_2$ helyett n_2 kiegészítőjét, azaz $2-n_2$-t adagoltuk be. A gép összeadja ezt n_1-gyel, lesz $2 + n_1 - n_2$. Minthogy n_1 is, n_2 is kisebb 1-nél (a gép csak -1 és 1 közé eső számokkal dolgozik), ezért különbségük abszolút értéke is kisebb 1-nél. Így, ha $n_1 - n_2 \geq 0$, akkor a legmagasabb helyértéken 0 fog állni. Ez esetben tehát a helyes pozitív eredményt (esetleg 0-t), $n_1 - n_2$-t kapjuk meg. Ha azonban $(n_1 - n_2) < 0$, akkor az összeadás $n_1 + (-n_2) = -(n_2 - n_1)$ eredménye helyett $n_2 - n_1$ kiegészítőjének kell kijönni, hogy tovább is ugyanolyan módon lehessen folytatni az előírt aritmetikai műveleteket. Tehát 1-nek kell a „tizedespont" elé kerülni és utána $n_2 - n_1$ kiegészítőjének számjegyeit kell megkapni.

Ha mindkét összeadandó negatív, pl. $-n_1 + (-n_2) = -n_1 - n_2 = -(n_1 + n_2)$-t kell kiszámítanunk, helyettük n_1 és n_2 kiegészítőjét $2-n_1$-et és $2-n_2$-t adja össze a gép, az eredmény $2-n_1 + 2-n_2 = 4 - (n_1 + n_2)$ lesz és minthogy ez $2 + \big(2 - (n_1 + n_2)\big)$ alakba írható, ahol $2 - (n_1 + n_2)$ pozitív és 2-nél kisebb, mert $0 \leq n_1 \leq 1$ és $0 \leq n_2 \leq 1$, továbbá a gép a legmagasabb helyérték után megjelenő első 2-t törli, tényleg $2 - (n_1 + n_2)$, vagyis az összeadás $-(n_1 + n_2)$ negatív eredménye abszolút értékének, $n_1 + n_2$-nek kiegészítője adódik a gépben. Az előjel helyére 1-es kerül, mert a gép összeadáshatárai -1 és $+1$, tehát csak $n_1 + n_2 < 1$

esetén kaphatunk helyes eredményt; ez esetben pedig $2 - (n_1 + n_2)$ 1 egésszel kezdődik.

A program parancsok* (utasítások) sorozata, amelyet először is a gépbe be kell vinni, a gép tárolja, majd a számítás megindításakor a gép a parancsokat általában a tárolás sorrendjében előveszi és végrehajtja. A parancsok éppúgy, mint a számok, szalagra lyukasztva kerülnek a gépbe s a tárnak ama számozott *rekeszébe* kerülnek, amelynek *címe* (szintén binerszám) a parancs elé van lyukasztva. A rekeszek egységes „térfogatúak", egy-egy rekeszbe géptípusok szerint 10—50 vagy több bit fér el. Egy ilyen szabványos bitcsoportot „szó"**-nak szokás nevezni. Minthogy a parancsokat rövid binerszámok képviselik, egy szóba több (rendszerint két) parancs is elfér. A parancs két részből áll: a *műveleti rész*ből és a *címrész*ből. Az előbbi a lyuksora által kiváltja a végrehajtandó műveletet azon a számon, amelyet az utóbbi által kijelölt rekesz tartalmaz. Többcímű gépek esetén a műveleti rész után több cím következik, melyek kijelölik, hogy mely címről mely címre kell vinni a számot, mely címen található a következő parancs stb. Egycímű gépen a feladatokat külön-külön parancsok rendelik el. A szökőparancsokról később lesz szó.

A programot először papíron tervezik meg, majd billentyűs írógépen papír- vagy filmszalagra lyukasztják. Ekkor már *rutin*nak nevezik.

A programozásban már elterjedt jelölések közül álljon itt: ha a a szám és b a cím, akkor $(b) = a$, vagy $\langle a \rangle = b$ azt jelenti, hogy az a szám a b című rekeszben van tárolva. $a \Rightarrow n$ azt jelenti, hogy az a-t a gép az n címre (az n című rekeszbe) viszi.

Szubrutinok. Szubrutinoknak nevezzük általában az oly kidolgozott parancssorozatokat, amelyek egy-egy meghatározott, gyakran előforduló önálló feladatot hajtanak végre s tetszés szerint beiktathatók hosszabb programokba. Célszerű szubrutinokat készíteni elemi függvények számára, pl. szögfüggvények kiszámítására, gyökvonásra stb.

A szubrutin *nyílt,* ha úgy iktatjuk be a főprogramba, hogy parancsainak, változóinak, együtthatóinak és egyéb konstansainak tényleges abszolút címeket adunk (a feljegyzésben levő relatív címek helyett) úgy, hogy ez abszolút címek a teljes program címsorozatába beleilleszkedjenek s teljes programot adjanak. A szubrutin *zárt,* ha a főprogram a kellő helyen megszakítja önmagát és „behívja" a szubrutint, azaz szökőparanccsal (l. később) „átadja a vezérlést" a szubrutin kezdő parancsának. A szubrutinok állandóan is tárolva lehetnek a gépben. Zárt szubrutin megkönnyíti a programozást s ugyanaz a szubrutin a főprogram több helyére is behívható.

A bemenet és kimenet szubrutinjai. A lyukszalagról leolvasott adatokat az adott címekre viszik, a biner kódolt decimális alakú számokat előbb konvertálják binerekké (számrendszerváltó rutin), kimenetkor ennek fordítottját végzik. A címek a már említett módon a szalagon vannak megadva. Így kerül be a gépbe a beindító szubrutin is.

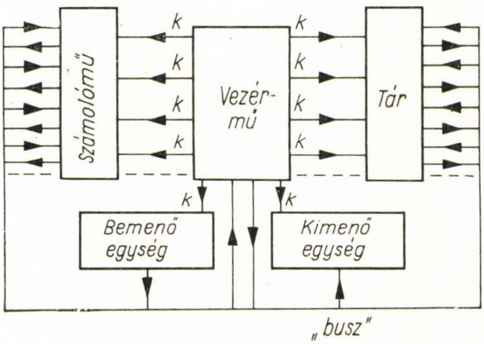
* A „parancs" rövidebb (kéttagú), mint az „utasítás", és találóbb is, mert a gép vak engedelmességgel teljesíti.

** A „szó" elég szerencsétlenül választott kifejezés, mert pl. a számológép nyelvi fordításra való alkalmazásakor a „szó" nyelvtani értelemben is szerepel.

Beindító szubrutin. A beindító szubrutin a relatív címzéssel lyuggatott szubrutinokat önműködőleg viszi a tár kijelölt helyeire, közben a relatív címeket átalakítja abszolút címekké.

Programozó programok azok, amelyek valamely információból teljes programot dolgoznak ki (automatikus programozás, a kindulási programot szokás szuperprogramnak vagy álprogramnak nevezni).

Az értelmező szubrutin a programozó programok egy faja, amely egy-egy adott parancsból másik parancsot, illetőleg parancscsoportot alakít, de ezeket nyomban végre is hajtja. Az eredeti program parancsait ,,értelmezi'', azaz behívja az értelmezett parancsnak megfelelő új művelet szubrutinját és elhelyezi az eredményt. A szubrutinnak tehát egy új gép vezérművét kell utánoznia. Az értelmező szubrutin tehát a parancshoz hozzárendel egy műveletsort s ezt hajtja végre.



56. ábra
Elektronikus digitális számológép egyszerűsített tömbvázlata

A kompiláló szubrutin a programozó programok másik faja, szintén értelmezi a parancsokat, de nem hajtja végre, hanem a kialakított parancscsoportot tárolja, teljes programot állítván össze. A kompiláló szubrutinok tehát programtranszformációk. Legegyszerűbb az ,,átcímező'' szubrutin, mely egy parancshoz csak *egy* másik parancsot rendel hozzá. A programozó programok magasabbrendű programok, általuk a programozás egy részét át lehet hárítani a gépre.

A könyvtári szubrutinok papírszalagjain természetesen csak üres rekeszek (relatív) címei vannak lyukasztva, a számok, amelyeken a számolást végrehajtjuk, sőt az együtthatók és konstansok is, másik szalagon kerülnek a gépbe.

Az elektronikus digitális számológép részei. Az elektronikus digitális számológép öt főegységből áll (nem számítva a tápegységeket): 1. a *bemenet* (bemenő egység), 2. a *tár* (memória; utóbbi hosszabb és idegen szó, azonkívül túlbecsülő metafóra), 3. a *számolómű* (aritmetikai egység), 4. a *vezérmű* és 5. a *kimenet* (kimenő, kiadó egység) *(56. ábra)*. A bemenő egység leolvassa a lyukszalagról az adatokat (parancsokat és számokat) és elhelyezi a tárban. A vezérmű a tárból sorra előveszi a parancsokat, ezek pedig a számolómű igénybevételével elindítják a kijelölt aritmetikai alapműveleteket végző folyamatokat (összeadás, kivonás, szorzás, osztás) szintén a tárból odaszállított számokkal.

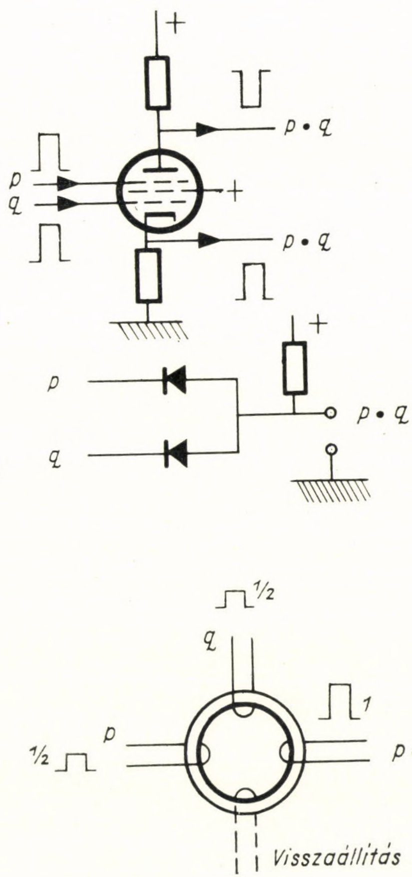
A részeredmények és végeredmények újra a tárba kerülnek, ahonnan külön parancsra a kimenőbe vihetők, amely lyukszalagon, mágnesszalagon vagy széles papírszalagra nyomtatva kiadja az eredményeket. A vezérműben a parancsot az értelmező *matrix* felismeri (dekódolja), és egy *k* huzalon át egy feszültséglökéssel egy *kaput*, vagy kapukat nyit. Ezáltal a szavak a közös „busz" vezetéken* onnan és oda futnak, ahol nyitott kapukat találnak. E vezetékbe csöves vagy tranzisztoros erősítő is van beépítve. Minden kapunak a matrixból kiinduló külön huzala van.

Ha egy feladat parancsai véglegesen be volnának építve a gépbe, akkor a gép csak ezt az egyféle feladatot tudná elvégezni: ezek a *huzalozott gépek*, így lehet speciális gépet, sakkozógépet, fordítógépet stb. szerkeszteni. A kapuhuzalokat *dugaszolás*sal átcsoportosítható rendszerű volt az így kezdetlegesen programozható ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) 1946-ban. A parancsok tárolását lehet megtakarítani olyan gépen, amelynek programja *álló* nagyobb lyukkártyára van lyukasztva, amely a bemenőben a számítás végéig állva bennmarad s a vezérlés e kártyáról közvetlenül (a lyukakon átható érintkezők révén) történik. Ilyen a MARK I (1944) és a hazai MESz I relés digitális automatikus számológép, mely a gép tárát csak a számok tárolására használja. A parancsok tárolását 1945-ben NEUMANN JÁNOS javasolta (a JOHNNIAC gép róla van elnevezve). 1949-ben már az ilyen elven működő EDVAC, EDSAC, BINAC üzemben voltak, és 1951-ben már az UNIVAC tömeggyártásban is készült. Hazánkban néhány év óta üzemben van a hazailag készült szovjet M3 típusú automatikus digitális elektronikus számológép.

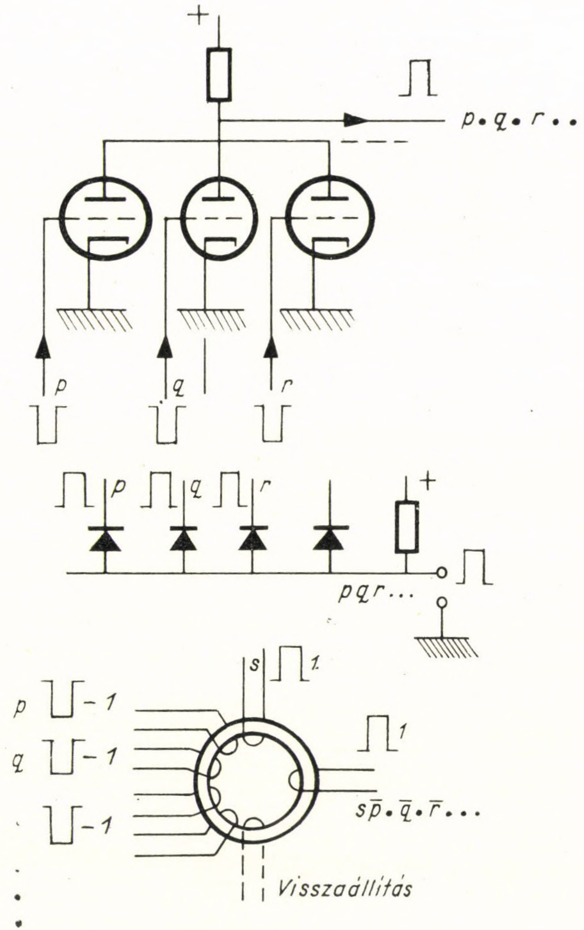
Aktív alkatelemek az elektronikus számológép legkisebb építő „kockái". Az aktív alkatelemek lehetnek elektroncsövek (erősítők, diódák, tiratronok stb.), vagy *tömör* elemek (tranzisztorok, kristálydiódák, ferritgyűrűk stb.). Az erősítőcsöveket és tranzisztorokat azért is alkalmazzuk, hogy a kristálydiódák és ferritgyűrűk okozta jelgyengülést korrigáljuk. A tranzisztorok fölénye a csövek fölött az, hogy térfogatban több mint 100 : 1, energiában 3000 : 1 csökkenést jelentenek. A *kapuk* valójában kéttagú konjunkció alapján működő kapcsolások *(57. ábra)*. A *matrixok* a többtagú konjunkció elvén működnek. A megengedő diszjunkció a gépben valójában több helyről való bemenetelt lehetővé tevő összeállítást jelent s ehhez elég volna egyszerűen közvetlenül párhuzamosan kötni a bemenőket a kimenőre. De ekkor a bemenők visszahatnának egymásra, ezért kell minden bemenőágba elválasztó fokozatot iktatni (legtöbbször dióda). A kristálydiódák ábrázolásában a nyíl alakú részt a klasszikus áramiránymutatójának (pozitívból negatív felé folyó) tekintjük s feltesszük, hogy a dióda ebben az irányban vezet. A *tagadást* a gépen nem lehet egyszerű előjelváltó egységgel elintézni; a feladat az, hogy: ha jön 1-es, akkor a tagadó egységből semmi se jöjjön ki, ha pedig nem jön be semmi, akkor 1-es (azaz ennek megfelelő feszültséglökés) jöjjön ki. Ezt az s órajel igénybevételével lehet megoldani *(57c ábra)* : ha a $p = 1$, akkor az órajel nem tud átmenni ($\bar{p}s = p \multimap s$), tehát valójában gátló (inhibiciós) kapcsolásunk van. Ezeket röviden *gát*nak (gátló kapunak) nevezzük.

Az *58. ábra* a helyérték-eltoló ferritgyűrűs összeállítását mutatja. Minden gyűrű egy 1 vagy 0 mágnesezési állapotot őriz, tehát a gyűrűk egy sora egy biner számot ábrázol. Ha az a huzalra olyan áramlökést adunk, amely 1-ről 0 állapotba billent, ez az összes gyűrűket 0 állapotba hozza, miközben ama gyűrű, mely 1 állapotban volt, feszültséglökést ad a tőle jobbra álló tranzisztornak, mely erre erős áramlökést ad a tőle jobbra levő gyűrűnek. A tekercselés iránya olyan, hogy az impulzus 0-ról 1 állapotba billent. Ennek bizonyos késéssel kell történnie, hogy az a impulzusa

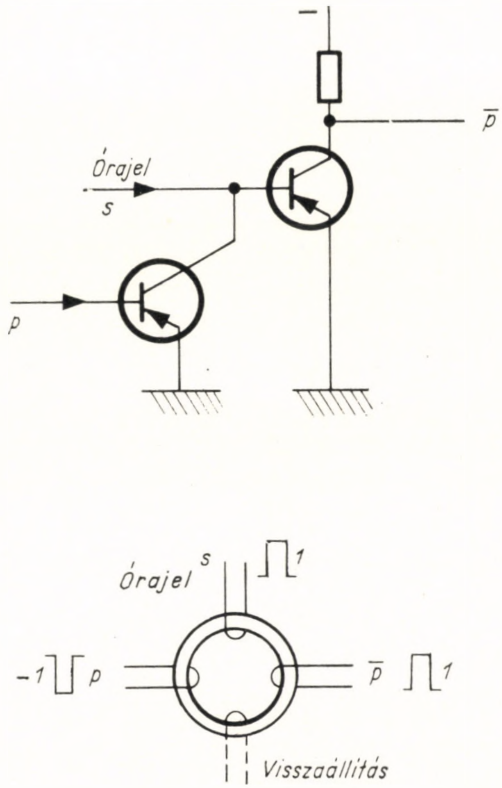
* Párhuzamos rendszerű gépeken a „busz" annyi párhuzamos huzalból áll, ahány bit van a szóban, s az egész szót egyszerre viszi át.



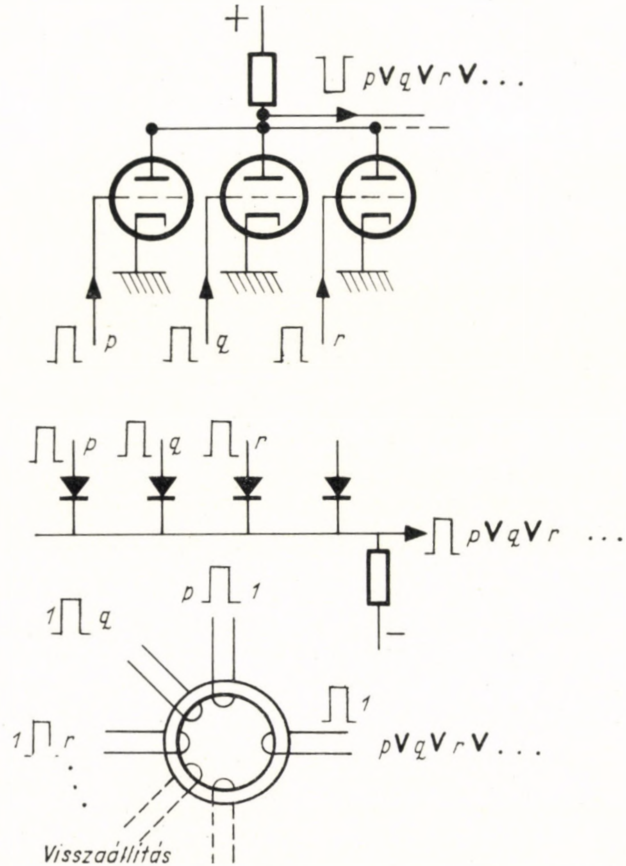
57a ábra
Kéttagú konjunkciós kapcsolás (kapu)



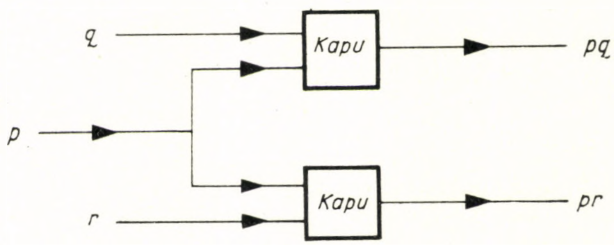
57b ábra
Többtagú konjunkciós kapcsolás (a gyűrű visszaállítva 0 állapotban van)



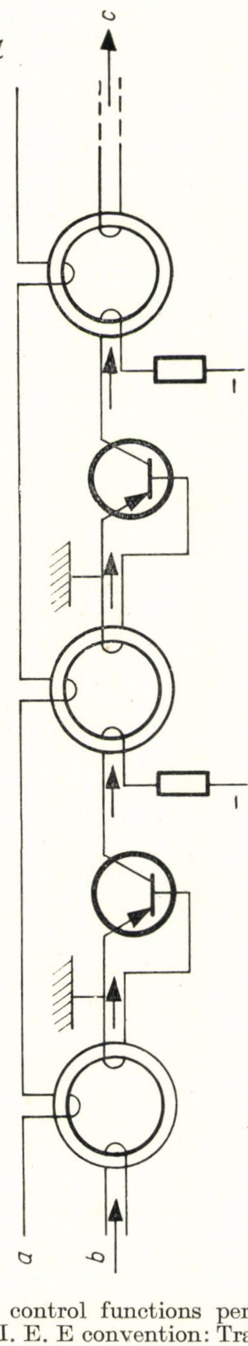
57c *ábra*
A tagadás kapcsolása (gát)



57d *ábra*
Diszjunkciós kapcsolás



57e ábra
A „döntés" kapcsolása



58. ábra
Helyérték eltoló

már lezajlott legyen, de e késésnek kisebbnek kell lennie az órajelperiódusnál. Ez impulzus a további jobboldali gyűrűkre nem mehet át. Könnyen ellenőrizhető ugyanis, hogy fordított irányú feszültséget gerjeszt a gyűrű kimenőtekercsében. Balfelé terjedni a tranzisztor nem engedi. Végeredményben tehát az *a* huzal minden egyes áramlökésére a gyűrűsor által őrzött binerszám egészében egy-egy helyértékkel jobbra tolódik. A szám beírása e gyűrűsorra ugyanezen alapon megy: egyszerűen *b*-n be kell küldeni a szám impulzussorát és *a*-n a fenti kis késleltetéssel az órajelsort, míg az egész szám be nem futott.*

a) A tár

A tárolás lehet *dinamikus* vagy *sztatikus; destruktív*, vagy *nemdestruktív*. A dinamikus tár a bit-eket haladó hullámokban őrzi meg, például feszültséglökésekkel gerjesztett kvarckristállyal indít egy higanyoszlop elején sűrűségi hullámokat, melyek végighaladva a higanyoszlopon, ennek végén egy másik kvarckristály révén újra elektromos feszültséglökésekké alakulnak. Ez így magában nem őrizné meg a beadott információt, tehát a kimenő feszültséget erősítve és szabályossá alakítva újra visszavezetjük az elejére, miáltal az impulzussorozat tetszés szerinti ideig „körben jár". Ilyen elrendezésben a higanyoszlop nemdestruktív, azaz ki lehet úgy olvasni belőle az információt,

* S. German—D. Kodis—Suhman: Logical and control functions performed with magnetic cores. Proc. I. R. E. 1955. March. 291. —I. E. E convention: Transistor digital computers. Wireless World. 1956. May. 210.

hogy a kiolvasás a tárolt információt nem semmisíti meg. Azonkívül haladó magnetostrikciós hullámokat felhasználó Ni-vonalak is megfelelnek, mint dinamikus tárak. A *mágnesszalag* sztatikus, és nem destruktív. A *ferritgyűrűs tár* (l. alább) destruktív, azaz a tárolt információ a kivételkor (leolvasáskor) törlődik. A *katódsugaras tárak* sztatikusak, és lehetnek destruktívek vagy nemdestruktívek. Átmeneti típus a *mágnesdob* és *mágnestárcsa*, ezek állandó fordulatszámmal járnak s mint a mágnesszalag, nemdestruktívak.

A gépnek rendszerint több tára van. A főtár a leggyorsabb működésű, a segédtárak közül a mágnesszalagos a leglassúbb, de a legtöbb adat fér el rajta (elvben végtelen a kapacitása, mert tetszés szerint meghosszabbítható). A segédtárak adatai a főtáron keresztül jutnak a számítási folyamatba. E tárakon kívül vannak a gépben egy-két szónyi rövid tárak: a *regiszterek*, amelyek a főtárból kivett szót vagy szókat, amelyekkel a gép pillanatnyilag dolgozik, ideiglenesen félreteszik, hogy a műveletvégzéskor kéznél legyen s ne kelljen mindig érte a főtárba visszanyúlni. A regisztereket multivibrátorokból állítják össze, annyi egységből, ahány bitet kell megőrizni. A regiszterekhez a legrövidebb *elérési idejű* elemeket kell használni.

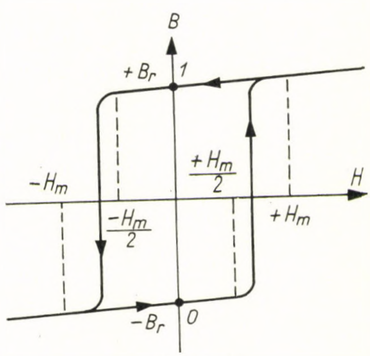
Azt az időt, amely egy szónak a tárba beviteléhez (beírás, írás), illetőleg kivételéhez (kiolvasás, olvasás) szükséges, a *tár elérési (hozzáférési) idejének* nevezzük (ma kb. 10 mikrosec). A ,,random'' elérési idő minden rekeszre egyenlő (általában a sztatikus tárak elérési ideje); a ,,direkt'' elérési idő a rekesz helyétől függ (általában a dinamikus tárak elérési ideje).

A gépeken mindig a működési sebesség és a tárkapacitás szerint osztják el a tárakat. A leggyorsabb működést kívánó és szűk tárolást megengedő helyekre pl. regiszterekre az erősítő csöveseket (multivibrátorsor), a gyorstár számára a dinamikusokat, csak katódsugárcsöveseket, vagy ferritgyűrűseket, míg a leglassúbb és nagy tárkapacitású feladatok számára a mágnesszalagot használják. Egy gépben így többféle tárolást építenek be.

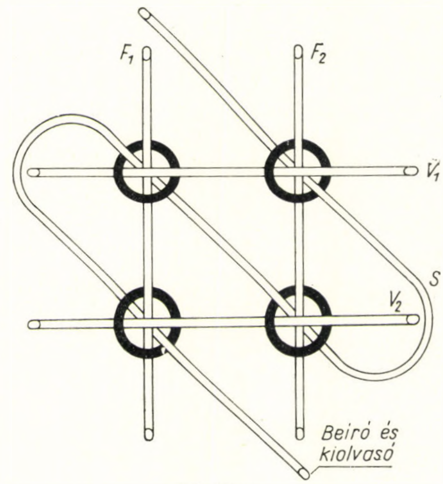
A ferritgyűrűs tár. A jelenlegi elektronikus digitális számológépek túlnyomó részben ferritgyűrűs tárral vannak felszerelve. Az igen kis (néhány mm vagy 1 mm-nél is kisebb átmérőjű) ferritgyűrűk anyaga ferromágneses kerámia, melynek hiszterézisgörbéje közel derékszögű négyszög alakú *(59. ábra)*. Primer és szekunder tekercseit általában egymenetűre építik s így csak fel kell őket fűzni a primer és szekunder huzalokra *(60. ábra)*. Ha a telítési mező H_m oersted, akkor $H_m/2$ mezővel a gyűrű mágneses állapotán csak elhanyagolható változás történik, feltéve, hogy kezdeti állapota $+B_r$ vagy $-B_r$ gauss permanens mágnesezés volt; de $+H_m$ gerjesztő mezőre $-B_r$-ről átbillen $+B_r$ állapotba, ha pedig $+B_r$-en volt, nem történik semmi (illetőleg elhanyagolhatóan kis kimenő szekunder feszültséget adó lapos hiszterézishurkon át térünk vissza a $+B_r$ pontba.) Ugyanígy $-H_m$ gerjesztésére $+B_r$ állapotból $-B_r$ állapotba jut a gyűrű, $-B_r$ állapot esetén pedig nem lesz változás. Ha mármost a gyűrűt tárolásra akarjuk felhasználni, akkor a $+B_r$ állapotot pl. az 1, a $-B_r$ állapotot

E. A. Sands: An analysis of magnetic shift register operation. Proc. I. R. E. 1953 Aug. 993.

a 0 bit számára tartjuk fenn. A *beírás* (írás) menete, ha 1-et akarunk beírni a nyugalmi 0 állapotban levő gyűrűre, akkor a két kijelölő koordinátahuzal *(60. ábra*, pl. F_1, V_1*)* mindegyikére $+H_m/2$-nek megfelelő $+\frac{1}{2}$ áramlökést adunk egyidőben, az ezek összegeződéséből eredő $+H_m$ mezőtől a gyűrű átbillen 1 állapotba, és feszültséglökést ad az S kimenőhuzalra. Ha 0-t akarunk beírni, a kezdő 0 állapotot fenn kell tartani, dacára a kijelölő kétszeres $+I/2$ áramlökésnek, tehát a 45-fokos *(S)* kimenő huzalra ekkor, egyidőben a két koordináta áramlökéssel egy $-I/2$ áramlökést kell adni. Az eredő $+H_m/2$ mező hatástalan lesz.



59. ábra
Ferritgyűrű hiszterézisgörbéje



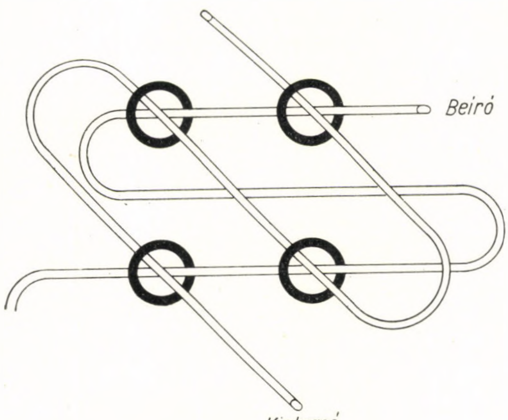
60. ábra

Kiolvasáskor (olvasáskor) az eljárás egyszerűbb: *csak* a két kijelölő koordinátahuzal mindegyikére kell $-I/2$ áramlökést adni, miáltal az 1 állapotú gyűrű visszabillen 0 állapotba és a kimenőhuzalra feszültséglökést ad; a 0 állapotú gyűrű pedig 0 állapotban marad, nem ad le semmiféle lökést.

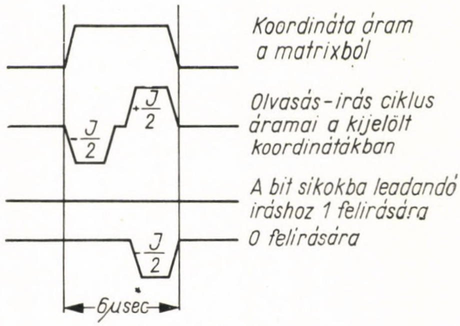
A *61. ábra* szerint úgy van bújtatva a 45-fokos huzal, hogy beírás és kiolvasás ugyanezen huzalon lehetséges. Beíráskor ugyanis a lökés által okozott mágnesezés polaritásának minden gyűrűben egyforma irányúnak kell lenni. Kiolvasáskor azonban ez nem lényeges, a kimenő lökések lehetnek pozitívok vagy negatívok, mert kétoldali egyenirányítással könnyen kezelhető az abszolút értékük. Előnye a kiolvasó ilyen bújtatásnak az, hogy a felfűzött többi gyűrűről eredő és összegeződő, egyenként igen kicsi $H/2$ lökések ellenkező előjellel adódnak össze s így hatásuk elhanyagolható. Ezért beírásra és kiolvasásra inkább külön vezetékeket használnak s így egy-egy gyűrűn négy huzal van átfűzve.

Mint látjuk, a kiolvasás egyúttal *törlés* is: a gyűrű minden kiolvasáskor 0 állapotú lesz, tehát e tárolás *destruktív*. Minthogy általában szükség van továbbra is a tárolt jelekre, kiolvasáskor tüstént újra fel kell írni a még kéznél levő kimenő jelet. Ezért a kiolvasás-beírás szokásosan egy ciklusba van foglalva *(62. ábra)*. A gép a kijelölt adatot előbb kiolvassa és visszavezetéssel újra beírja (erre való a $-I/2$-ről a $+I/2$-re való átváltás). Új adat beírását is megelőzi a kiolvasás, azaz törlés, de visszavezetés helyett ekkor az új jelet visszük be.

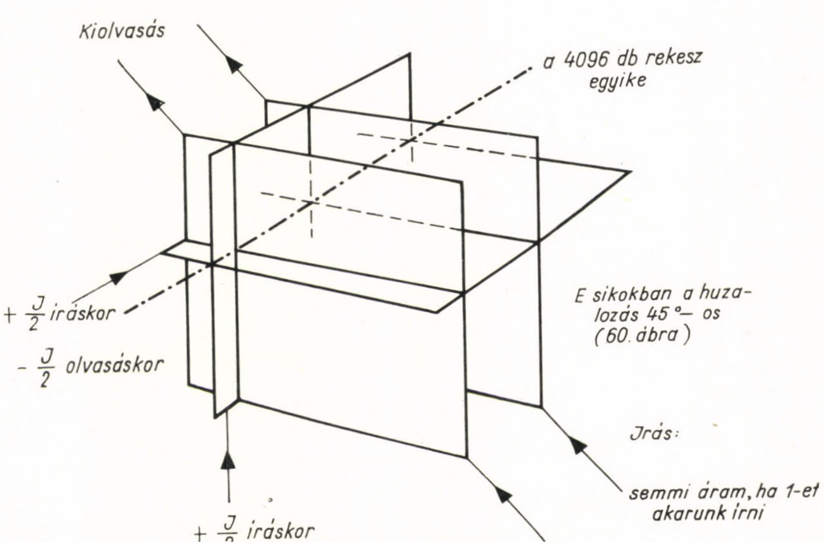
A ferritgyűrűs tár egyik klasszikus kivitelét ábrázolják a *63.*, *64.*, *65. ábrák*. A hasáb alakú tárban pl. 64 · 64 · 17 gyűrű van, 64 vízszintes, 64 függélyes és 17 az előbbiekre merőleges síkban elhelyezve. Egy 17 bites szó egy vízszintes vonalon helyezkedik el, melyben 17 gyűrű van (a *63. ábrán* eredményvonallal jelölve). Egy szót kijelölni úgy kell, hogy az eredményvonalban egymást metsző két sík összes gyűrűire íráskor $+I/2$, olvasáskor $-I/2$ áramlökést adunk. A gyűrűk tehát síkonként egy-egy huzalra



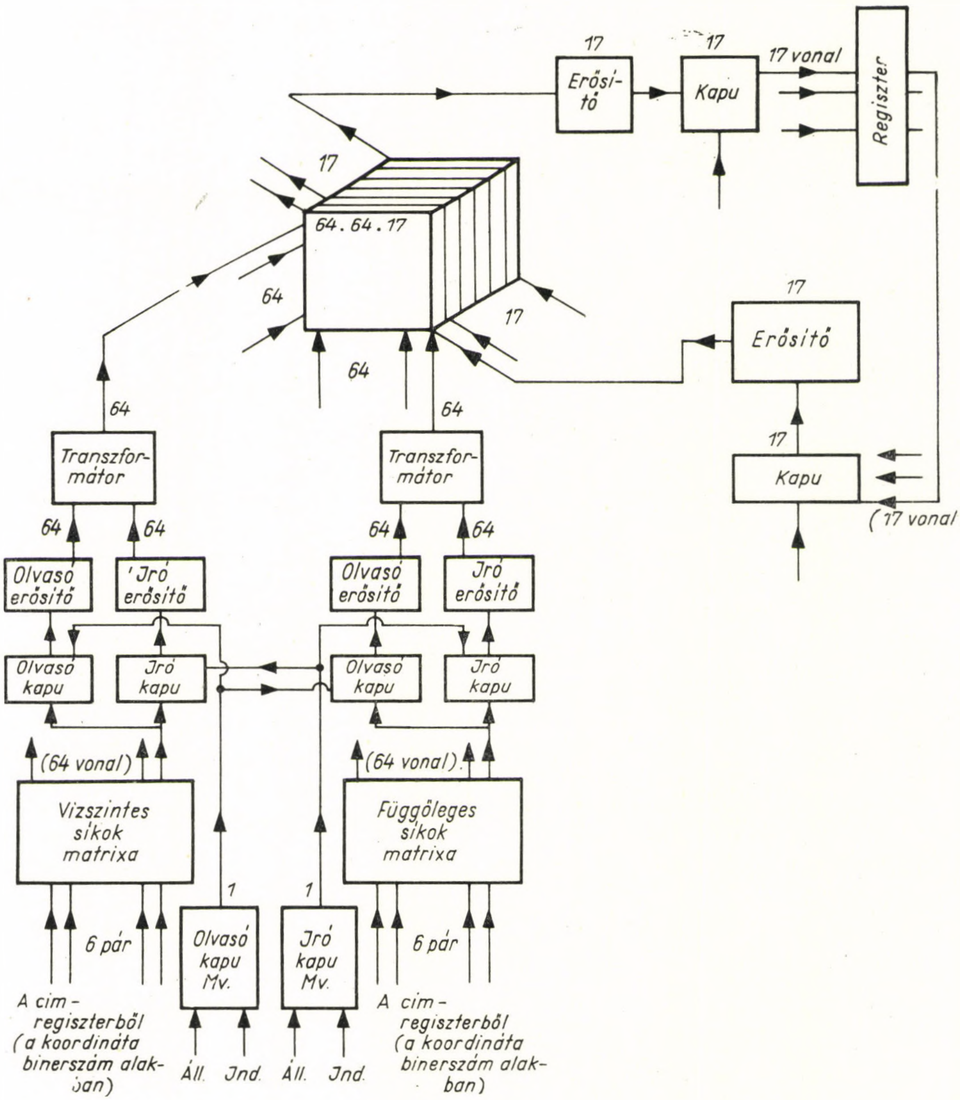
61. ábra



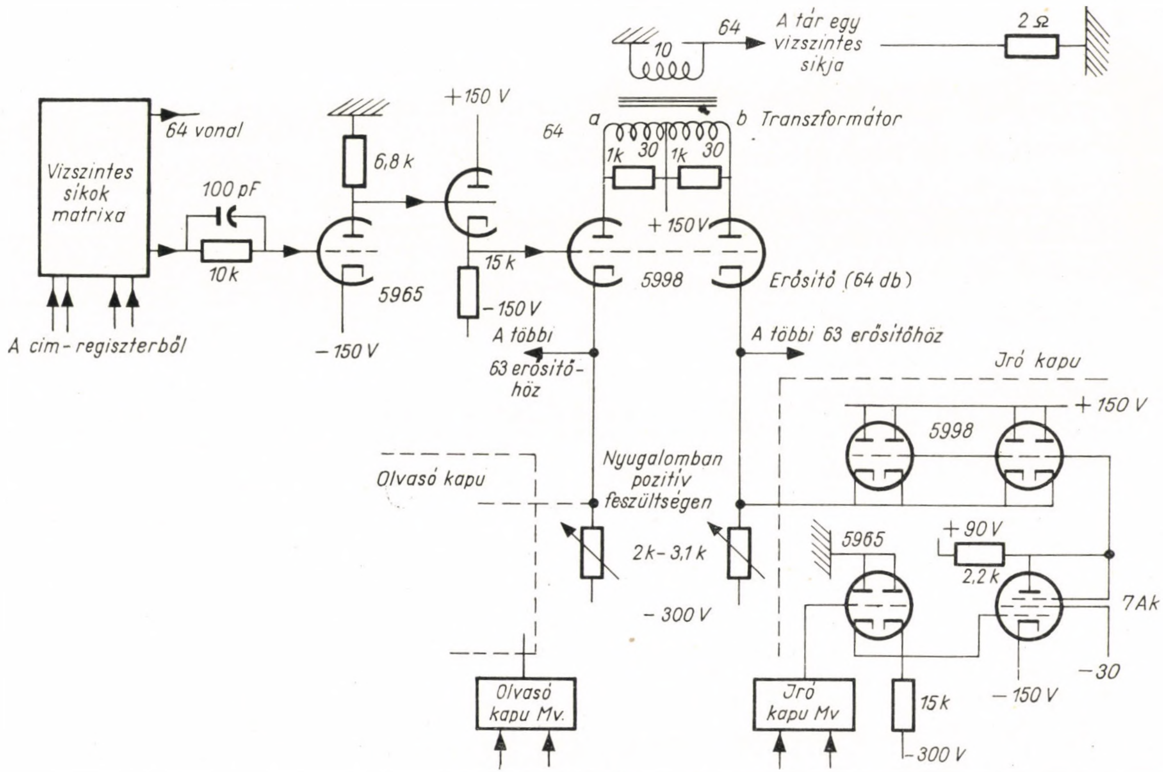
62. ábra



63. ábra



64. ábra
Ferritgyűrűs tár vezérlete



65. ábra

Ferritgyűrűs tár vízszintes síkjainak vezérlése vannak felfűzve. Íráskor az eredményvonalra merőleges síkok mindegyikére egyidőben a szót alkotó biteknek megfelelően $-I/2$ illetőleg 0 áramlökést kell adni (a *63. ábrára* csak két ilyen síkot rajzoltunk fel). Kiolvasáskor egyidőben kapjuk meg a szó összes bitjeit az eredményvonalra merőleges síkok huzalaiban. Ezeket pl. egy, csöves vagy tranzisztoros multivibrátor-sor (regiszter) tárolja *(64. ábra* felső jobb sarok. Nincsenek feltüntetve a regiszter egyéb bemenői. Az ábrán a számok az egységek darabszámát jelölik).

A koordináták kijelölését a *választó*egység végzi két, 6 bites cím révén, amelyeket „megállapítva" kap a két címregiszterből ($2^6 = 64$), tehát kétszer 6 pár huzalon egyidőben érkező impulzus fut a két matrixba, ahonnan már $4 \cdot 64$ huzal fut ki (kétszereződés az írás-olvasás kapuk miatt). A tárba egyidőben természetesen csak egy vízszintes és egy függélyes huzal visz áramlökést és ad átbillentő impulzust a *63. ábrán* eredményvonallal jelölt *rekesz* gyűrűinek.

A transzformátor két ellentett menetű primerje *(65.ábra)* teszi lehetővé a lökésirány átváltását írás-olvasáshoz. Az író- és olvasókapuhoz valójában az erősítő is hozzátartozik, mert a kapuzás pl. íráskor úgy történik, hogy az írókapu párhuzamos végerősítői negatív vezérfeszültséget kapván, leejtik a potenciométeren a feszültséget és így a 64 darab erősítő katódja negatív lesz, mire rácsa már „beveszi" a matrixból érkező feszültséglökést. Ez utóbbi kapcsolás előnye az, hogy a cső öregedési emissziója 40%-ra is eshet, csupán 5%-os áramcsökkenést okozva.

A ferrit mágnesezésének átbillentéséhez minden esetben erős áram kell annál is inkább, mert minél nagyobb a ferrit típus koercitív ereje, annál gyorsabb (tehát kedvezőbb) az átbillenés. Ezért a címválasztó rendszerek transzformátorai lefelé transzformálnak, s így primerjük normális elektroncsövek, illetőleg tranzisztorok kimenőkörébe kapcsolhatók. Gyűrűk helyett átlyuggatott ferrit „ostya" alkalmazása nagy helymegtakarítást jelent és a leolvasó menetet nyomtatással lehet rávinni *(66. ábra)*.* $16 \cdot 16$, 0,025″ átmérőjű lyuk van a 0,02″ vastag lemezen, és 330 mA (egyetlen menettel) két mikrosec alatt átbillent. A ferrit-tárak méretezésénél figyelembe kell venni, hogy az erős primer áramoktól és a hiszterézis veszteségtől a gyűrűk erősen fölmelegszenek.

Meg kell említenünk még néhány kísérleti nemdestruktív ferrites rendszert. A *transzfluxor (67. ábra)***, és többlyukú változatainak működési elve: a kis lyuk körüli rövid mágneses kör nem befolyásolja a fő mágneses kör állapotát, s így a két kérdező huzal együttes áramlökésével a kis kört átbillenthetjük, miáltal kiolvashatunk anélkül, hogy a főkörben őrzött jelen változtattunk volna. (A működés valójában nem ilyen egyszerű: váltóárammal kell kérdezni.) A *Thorensen-gyűrű* esetében *(68. ábra)*,*** ha átbillentő lökést adunk a kérdő huzalra, ez a kis lyukak körüli szűk keresztmetszetek egyikében, pl. a felsőben a telítést gyengíti, az alsóban túltelít,

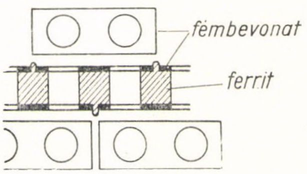
* J. A. RAJCHMANN: Ferrite apertured plate for random access memory. Proc. I. R. E. 1957. 325.

** J. A. RAJCHMANN, A. W. LO: The transfluxor. R.C.A. Rev. 1955. 303.

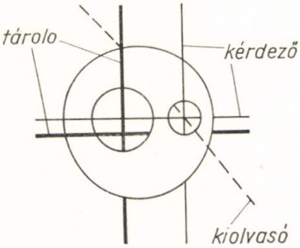
*** Proc. Western Joint Computer Conf. 1955. 111.

tehát csak mezőgyengítést jelző feszültséglökést kapunk a kiolvasóban, melynek iránya jelzi, hogy 1 vagy 0 van tárolva.*

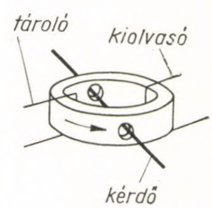
Igen kis helyet elfoglaló felépítést ígér a *twistor*** melynek működése a reverzibilis *Wiedemann*-jelenségen alapszik. Kísérleteznek a ferroelektromos tárolással is. Egyetlen $BaTiO_3$ kristálylemezen (< 1 cm^2) száz bit tárolható.***



66. ábra



67. ábra
A transzfluxor



68. ábra
A THORENSEN-gyűrű

IRODALOM

„A tár" c. fejezethez

1. An experimental flying-spot store for electronic switching. Bell. Lab. Rec. 1959 Oct. 367. (Szerző neve nélkül).
2. J. R. ANDERSON: Ferroelectric storage elements for digital computers and switching systems. Electrical Engineering. 1952 Oct. 916.
3. U. BIEDERSTEDT: Der Magnetromel Speicher. Regelungstechnik. 1959. (3) 81.
4. C. F. BROCKELSBY: Ultrasonic mercury delay lines. El. Radio Eng. 1958. Dec. 446.
5. CHAPLIN—HSYES—OWENS: A transistor digital fast multiplier with magnetostrictive storage. Proc. I. R. E. (B) 1956. May. 121.
6. A. S. HOAGLAND: Magnetic drum recording of digital data. Communication and Electronics. 1954. Sept. 381.
7. HOOVER—HAUGK—HERRIOTT: System design of the flying spot store. Bell Syst. Techn. Journ. 1959. March. 365.
8. HOOVER—STRAEHLER—KETCHLEDGE: Fundamental concepts in the design on the flying spot store. Bell Syst. Techn. Jour. 1958. Sept. 1161.
9. D. G. HUNTER—D. S. RIDLER: The recording of digital information on magnetic drums. El. Eng. 1957. Oct. 490.
10. J. E. MAY: Ultrasonic delay lines. Bell. Lab. Rec. 1956. Jun. 214.
11. S. MORLEIGH: Ferroelectric storage devices. El. Eng. 1958. Dec. 678.
12. T. NOYES—W. E. DICKINSON: The magnetic-disk random access memory. I. B. M. Jour. of Res. and Dev. 1957. (1) 72.
13. SCHRÖTER: Der Magnetplattenspeicher. Elektronische Rundschau. 1957. (4) 109.
14. K. I. TURNER—I. E. THOMPSON: The magnetic drum store of the „Mercury" computer. El. Eng. 1960. Jan. 16.

* Nemdestruktív rendszer még: V. L. NEWHOUSE: The utilization of domain wall viscosity in data-handling devices. Proceedings of the Institute of Radio Engineers. 1957. 1484.

** A. H. BOBECK: A new storage element suitable for large-sized memory arrays. Bell Syst. T. J. 1957. Nov. 1319.

***D. S. CAMPBELL: Bariumtitanate and its use as a memory store. J. B. I. R. E. (The Journal of the British Institution of Radio Engineers.) 1957. 385.

IRODALOM
a ferritgyűrűs tárakról

1. A. Darré: Abfragen magnetischer Speicher ohne informationsverlust. Frequenz. 1957. (1) 19, és (2) 38.
2. D. R. Brown—E. Albers—Shoenberg: Ferrites speed digital computers. Electronics. 1953. Apr. 146.
3. J. W. Forrester: Digital information storage in three dimension using magnetic cores. Journal of Applied Physics. 1951. Jan. 44.
4. Goda—Johnston—Markowitz—Rosenberg—Stuart Williams: All-transistor magnetic core memories. Communication and Electronics. 1959. Nov. 666.
5. M. Karnaugh: Pulse-switching circuits using magnetic cores. Proc. I. R. E. 1952. Aug. 570.
6. W. N. Papian: A coincident-current magnetic memory cell for the storage of digital information. Proc. I. R. E. 1952. Apr. 475.
7. J. A. Rajchman: A myriabit magnetic-core matrix memory. Proc. I. R. E. 1953. Okt. 1407, és El. Eng. 1953. Okt. 943. N. T. Z. 1958. Jul. 360.
8. J. A. Rajchman: Ferrite apertured plate for random access memory. Proc. I. R. E. 1957. March. 325.
9. J. A. Rajchman: Static magnetic matrix memory and switching circuits. R. C. A. Review. 1952. Jun. 183.
10. R. K. Richards: Digital computer components and circuits. 1957.
11. H. P. Schlaeppi—I. P. V. Carter: Magnetkernspeicher mit Vielfachkoinzidenz. Elektronische Rechenanlagen. 1959. (3) 127.
12. Szerző neve nélkül: Magnetic memory element exhibits 4 millimicrosec switching speed. El. Eng. 1959. Nr 3. 236.

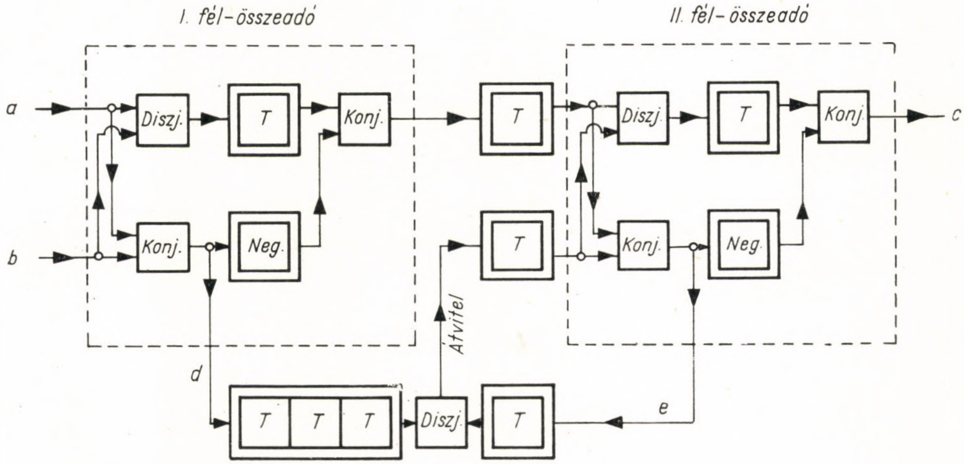
b) A számolómű (aritmetikai egység)

Két biner számot éppen úgy adunk össze, mint két decimális számot: a legkisebb helyértékű két számjegyet összeadjuk (természetesen a számokat zérusokkal kiegészítjük úgy, hogy mindig egyenlő helyértékű számjegyeket adhassunk össze) s az átvitelt, ha van, a következő számjegypár összegéhez adjuk s. i. t. Minthogy két biner szám összeadásánál, (számjegy csak 1 és 0 lévén) az átvitel is csak 1 vagy 0 lehet, az összeadás számára egyszerű logikai függvénytáblázatot állíthatunk fel *(13. táblázat)*.

13. táblázat

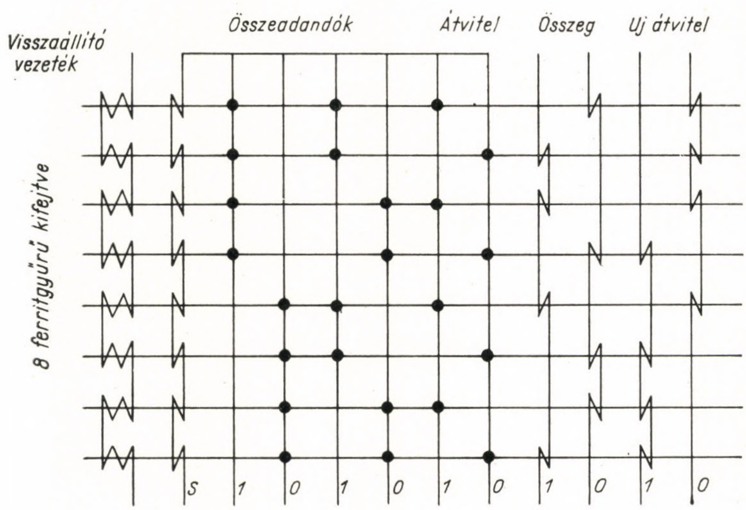
Az összeadandó két számjegy p q	Átvitel r	Összeg	Uj átvitel
0 0	0	0	0
0 0	1	1	0
0 1	0	1	0
0 1	1	0	1
1 0	0	1	0
1 0	1	0	1
1 1	0	0	1
1 1	1	1	1

Valójában két függvényünk van: az egyik a két biner számjegy összege, helyesebben az összegnek a helyértéken maradó része, a másik az új átvitel. A teljes konjunktív vagy diszjunktív normálalak felírása és egyszerűsítése a *69. ábra* fél összeadóját eredményezi (a logikai dobozok műszakilag elvben tetszés szerinti kivitelűek lehetnek). A ferritgyűrűs megoldás a legáttekinthetőbb, mert hűen tükrözi a táblázatot *(70. ábra)*. A vízszintes sorok egy-egy kiterített ferritgyűrűt ábrázolnak, a kövér pontok pedig ugyanolyan tekercseket, mint az első függélyes vezetéken



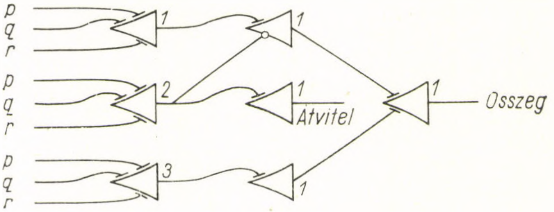
69. ábra

Soros üzemű biner összeadó. *T* késleltető doboz, *a* és *b* a két összeadandó biner számjegynek megfelelő impulzus bemenő huzalai, *c* ezek összegében a helyértékükön levő számjegynek megfelelő impulzus kimenő huzala



70. ábra

Biner összeadó ferrit matrix. Az ábrán a fekete kövér pontok is tekercseket jelölnek (egyszerű megrajzolhatóság céljából) levők.* Minthogy a ferritgyűrűknek átbillentési küszöbük van, legkézenfekvőbbnek látszik a három változó számára egyszerűen három tekercset tenni egy gyűrűre oly méretezéssel, hogy csak egyidejű megjelenésükkor billenjen át a gyűrű egyik mágneses állapotából a másikba. De ez így közvetlenül nem üzembiztos és az a fogás, hogy segédmenetekről állandó előmágnesezést adunk, megbukik a szükséges nagy áramfogyasztás illetőleg felhevülés miatt. A helyes megoldás a következő: a gyűrűn a három (kövér ponttal jelölt) tekercsben az áramirány egyező, de a *meglevő állapotot fenntartó irányú* ; erősségük egyébként egyenként is elég volna az átbillentéshez. A közös áramot visszavezető S huzal tekercsei viszont az előbbiekkel ellenkező menetűek, de a menetszám *egy* előbbi tekercs harmada (azaz ampermenetszáma ugyanannyi, mint *egy* előbbi tekercsnek). E tekercs tehát csak akkor billenti át a gyűrű mágnesezését, ha a vele egy gyűrűn levő három tekercs közül egyik sincs gerjesztve. Ugyanis már egy is az S tekerccsel együtt zérus mezőt ad.



71. ábra
Biner számok összeadásának neuron modellje
A számok jelen esetben az illető neuron ingerküszöbét jelölik

Ezen az elven akárhány tagú konjunkció is modellezhető: ha ui. $s = 1$ azt jelenti, hogy az S tekercsein áram van, $s = 0$ azt, hogy nincs, és p_i ugyanezt a kövérpontos tekercsekre, akkor *egy* gyűrűre vonatkozólag (akárhány p tekercs is van rajta) áll, hogy $s\bar{p}_1\bar{p}_2\bar{p}_3\bar{p}_4 \ldots$ Ilyen módon bármely konjunkciót modellezhetünk; ha állító p-ink volnának, ezeket előzetesen tagadóegységeken vezethetjük át.

Ha volnának megbízhatóan működő, beállítható küszöbű neuron modelljeink, akkor az összeadó egység a *71. ábra* szerint volna kiképezhető (az ábrán a számok a neuron küszöbértékét jelentik, a kis karika a gátló végződés).

Soros üzemű összeadó. Visszatérve a *69. ábrára*, a legelterjedtebb biner összeadóegység két ,,fél-összeadó"-ból áll. Az összeadandók impulzussora *megállás nélkül* fut át e rendszeren és a kimenőjéből az összeg impulzussora fut ki. A két összeadandó impulzussorai az a és b huzalokon vonulnak be (az egyező helyértékű számjegyeknek megfelelő impulzusoknak pontosan egyidőben kell belépniük). A belépés a legkisebb helyértékkel kezdődik. Ha a bemenő számjegyek 0 és 0, akkor a c huzalon nem jön ki semmi, ha az egyik bemenő 1, akkor c-n is 1-nek megfelelő impulzus jön ki. Ha a bemenő számjegyek 1 és 1, akkor c-n nem jön ki semmi, de a d huzal visz egy impulzust (az átvitelnek megfelelőt), ám ezt késlelteti, hogy a II-be csak akkor érjen, amikor a következő (egy helyértékkel magasabb) számjegypár összege is odaérkezik, hogy ehhez hozzáadódhassék. Az I-be futó számjegypár $2T$ idő alatt ér a II-be s a következő számjegypár ugyanekkor

* A. L. Freedman: Magnetic core matrices for logical functions. Electronic Engineering, 1959. Jun. 359.

lép az I-be. A negáció késést hoz be tranzisztoros kapcsolásban,* ezt a T dobozokkal egyenlítjük ki, a további T dobozok pedig arra valók, hogy az átvitelt a $2T$-vel később belépő számjegypárral egyidejűvé tegyék. Az e huzalon csak akkor megy impulzus, ha az I-ből 1 és a d-n át 1 egyszerre érkezik II-be. (A d akkor visz impulzust, ha a bemenők összege ad átvitelt, az e akkor, ha az átvitel az előző átvitel révén keletkezik.) Az ilyen összeállításból csak *egy* darab kell az összeadó egység számára; míg a párhuzamos rendszerű összeadóba annyi egység kell, ahány számjegyű számokkal dolgozik a gép. A szorzás összeadások és helyértékeltolások sorozatából áll, ez programozható s ugyanígy az osztás is beépített programozással van megoldva. A binerszámok szorzása igen egyszerű, mert csak 1- vagy 0-val kell szorozni. (Magát az összeadást is lehetne programozni, ha a ,,számlálást'' vennők legalsó alapműveletnek, de ekkor nagyon meglassítanánk a gép működését.)

c) A vezérmű

A vezérmű *parancsregisztere* magában tartja a soron levő parancsot, illetőleg egész szót, majd ráereszti a *parancsválasztóra*, amely utóbbi a *tank-* és *időválasztóra* oszlik *(72. ábra)*. Mindezek *diódamatrixok* révén az impulzussorozat alakú parancsok műveleti részét átalakítják egy-egy feszültséglökéssé, melyek azonban már külön-külön huzalokon haladnak és kapukat, gátakat működtetnek a végzendő műveletek számára.

Az alábbiakban részletesebb ismertetés tárgyául a BINAC gépet választottuk, amely azért érdekes, mert tisztán dinamikus tárolású. A BINAC egy bemenő és egy kimenő egységgel bír, de két számolóműve és két tára van a hibák *megtalálásának* megkönnyítésére.**

Az egész folyamat menetét rendben kell tartani, tehát úgyszólván a vezérlést is vezérelni kell, ezt a *teljes ciklus számláló* és a *minorciklus vezérmű* végzi el oly módon, hogy részben önálló kapunyitást végez, részben a parancs-matrixokba kapcsolódik. Ezenkívül még a parancsokat sorjában kell elővenni a tárból, amelyet a *címnövelő* vezérel a tárban őrzött parancs címének eggyel növelésével, hogy a következő lépésnél ennek kapuját nyitva, a következő parancs fusson a buszon át a parancsregiszterbe. Ha olyan parancsra van szükség, amely a növekvő címek alatt a tárban elrendezett parancssorban nincs meg, akkor ennek címét külön szökőparancsban (l. később) kell megadni, amelynek hatására a gép megszakítja a parancsok sorban való végrehajtását és az így megadott címben tárolt parancsra tér át.

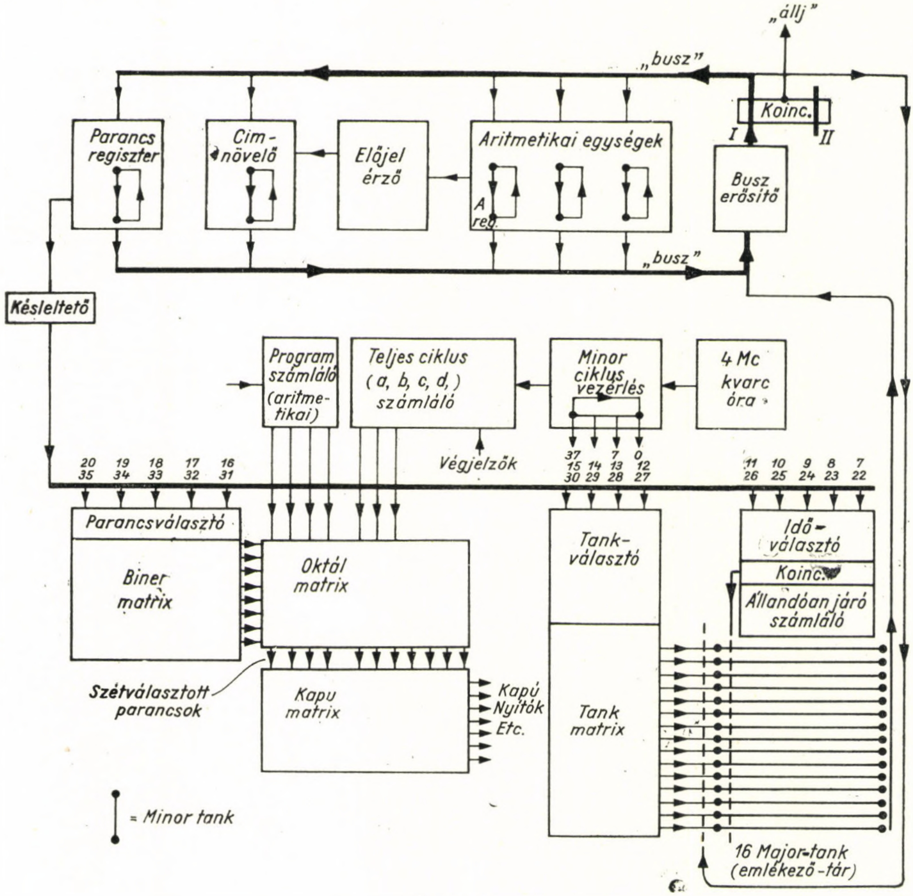
A BINAC gépen 42 bit van fenntartva egy szó számára, de maga a szó csak 30 bitet (a 7-ik impulzustól a 36-ig bezárólag) tartalmaz, a 37-ik bit az előjel, a 41-ik impulzus az erősítés ellenőrzésére szolgál, a többi a ciklusidő betartása végett üres. Egy másodperc alatt négymillió impulzus folyik le, s ezek ütemét egy 4 Mc (4 megaciklus/sec rezgésszámú) kvarc-

* H. ZEMANEK: Ein dezimaler Volltransistor-Rechenautomat. Elektrotechnik u. Maschinenbau 1958, 453.

** AUERBACH—ECKERT—SHAW—WEINER—WILSON: The BINAC. Proceedings of the Institute of Radio Engineers. 1952. Jan. 12.

vezérlésű generátor (kvarcóra, ütemező) tartja fenn. A biner számok ábrázolására, mint már említettük, csupán kétfajta jelre van szükség: a 0-nak megfelel a feszültség-, illetve áramszünet, az 1-nek a feszültség-, illetőleg áramlökés.

Minthogy elég kevésféle parancsra van szükség, ezekre elég 14 impulzus, és így két egymásután következő parancs is belefér a negyvenkét

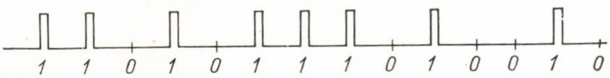


72. ábra

Dinamikus tárú digitális számológép szerkezeti vázlata
A számok sorrend szerint az impulzusokat jelölik

impulzusos sorozatba, amely 10,5 mikrosec tartamú. Lefolyása a ,,minor ciklus". A parancs természetesen éppen olyan alakú, mint egy biner szám (*73. ábra*), azaz 1-esek és 0-ák kombinációjából áll. A parancs az egycímű BINAC gépben a következőket tartalmazza: az első *kilenc* impulzus a műveletben szereplő (behelyettesítendő) szám címe, azaz ismét egy szám, amely kijelöli azt, hogy hol található meg a behelyettesítendő szám a *tár*ban.

Kilencjegyű biner számmal 512 helyet jelölhetünk ki ($2^9 = 512$) s ennyi helyet is kell fenntartanunk a tárban. Minthogy 16 higanycsőből áll a tár, melyek mindegyike 32 ,,szót'' tárolhat ($2^4 \cdot 2^5 = 2^9$), e kívánság teljesül. Könnyen belátható, hogy egy másik, egyszerűnek látszó megoldás, mely szintén csak 1 és 0 jeleket használna — ti. egyszerűen annyi impulzust adni le, ahányadik fülkét kívánjuk nyitni — azért nem gazdaságos, mert ebben 511 impulzust kellene maximális esetben leadni, míg a biner rendszerben elég 9 impulzus. E 9 impulzus után még 5 impulzus következik,



73. ábra

ez a parancsban szereplő műveletnek indító jelcsoportja. Ebből látszik, hogy harminckétféle műveletre vonatkozó parancsot adhatunk le.

d) Az alapciklus

E folyamat a *72. ábra* szerinti negyvenegy impulzusból álló sorozatnak kivétele a tárból és a benne foglalt parancsok elvégzése. Az előbbiekből már tudjuk, hogy ráadásul még a címet is eggyel növelni kell, mert az így kapott számú fülkében van elzárva a következő parancs. A fenti folyamat négy ciklusra bontható: *a, b, c, d.* Az *a* ciklus alatt a címnövelőben levő kilenc jegyű fülkeszám átfut a buszon át a parancsregiszterbe és innen befut a tank- és időválasztóba. A tankválasztó kijelöli, hogy melyik tankban van a keresett parancs, az időválasztó pedig megadja, hogy melyik időpontban kell a tankot nyitni, hogy kifusson belőle a keresett parancs (részletesen l. alább). A *b* ciklus alatt a kijelölt kapu nyitása által a tárból a negyvenkét impulzusból álló kettős parancs (két parancs fér el egy szóban) fut ki abból a fülkéből, amelynek számát a címnövelő az előbb adta meg. A kettős parancs a buszon át a parancsregiszterbe szalad. Ugyanakkor a címnövelőben őrzött parancsszám eggyel nő, amit egy különálló összeadó egység egy segédimpulzus révén önállóan eszközöl. A *b* ciklus végén az első parancs már ráfut a parancs-, tank- és időválasztóra.

A *c* és *d* ciklus alatt a kettős parancsot őrzi a parancsregiszter (törölve az előtte bennelevőket), ezenkívül a *c* ciklus alatt történik az I parancs és a *d* ciklus alatt a II parancs teljesítése, amikor is a tank és időválasztó a kijelölt tárbeli fülkét nyitja és a parancsválasztó a kapu nyitóival megállapítja, honnan és hová (tárból, vagy tárba, az aritmetikai egység melyik részéből, vagy melyik részébe, stb.) menjen a szám, amely a számolási műveletre van kijelölve. Foglaljuk össze röviden az alapciklus négy részének működését. Látjuk, hogy noha a ciklusok alatt a vezérműben más nem történik, mint impulzussoroknak a buszon való ide-oda szállítása, a ciklusok feladata mégis eltérő egymástól. Az *a* és *b* alatt egy *sorszám*, melyet címnövelő őriz, kiemel egy kettős parancsot a tárból. (A kettős parancs nemcsak azért előnyös, mert a negyvenkét impulzusból álló impulzussor egységes csoportjába illik, hanem nagy időbeli nyereséget is jelent. Vannak természetesen más típusú gépek is.) A *c* és *d* ciklus alatt a két parancs egymásután kerül végrehajtásra, s e működés hasonló az előbbihez, azzal az eltéréssel, hogy itt már nem kettős parancsot emelünk ki a tárból, hanem egy harmincjegyű biner számot, amelyet a parancsválasztó szerint az aritmetikai egység valamelyik részébe utaztatunk a buszon, vagy onnan visszafelé a tárba, vagy egyik tárból a másikba stb., azaz a legváltozatosabb egységekbe szállíthatjuk, ahol olyan műveleteket végezhetünk velük és rajtuk, amire a gépet berendeztük.

Mint látjuk, az *a* és *b* ciklus egy külön megőrzött kiindulási cím által kijelölt *parancsot* vesz elő, míg a *c* és *d* ciklus e parancs által meghatározott *számokat* veszi elő és e számokkal végez a parancsok által meghatározott műveleteket.

Minthogy az *a* és *b* ciklus ezenkívül eggyel növeli is a külön megőrzött címet a következő teljes ciklus számára, ilyen módon tetszőleges hosszú munkaprogramot képes végrehajtani. Ugyanis a *d* ciklus végjelére az *a* újra elkezdődik, de már az eggyel növelt címmel, miáltal a következő parancs kerül elő a tárból. Az ilyen számozott fülkés ,,sorrendkapcsoló"-nak van elődе a híradástechnikában: a távbeszélő-központi sorrendkapcsoló. A távbeszélő-központi sorrendkapcsoló is egy határozott programot teljesít, de e program rögzítetten van beépítve, így egyebet nem tud csinálni.

A már bennlevő program, azaz a tár rekeszsorában elhelyezett parancsok mellett külön kell ugyancsak a tár további rekeszeiben tárolni a paramétereket, a koefficienseket és az egyéb konstansokat. A program változtatása nélkül a kiindulási számokat (változók, paraméterek) változtathatjuk, s így pl. bolygók mozgásainak számításakor a kiindulási számokat tetszőleges kezdő helyzetre megadhatjuk, anélkül, hogy a programon (szubrutinon) változtatnánk. Más esetekben ugyanazon műveleteket más koefficiensekkel kell elvégezni, ilyenkor ezeket változtatjuk meg.

e) A szökőparancs

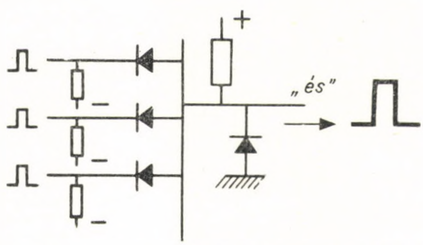
Ha a program elágazó, vagy pedig egyes programrészletek külön csoportosíthatók (l. szubrutinok), a sorszámozást nem lehet egyöntetűen folytatni. Meg kell adni a megszakítás helye számára egy új, független címet, amellyel egy új címsorozat kezdődik. Ilyen címet az alapprogramba rögzítetten is beadhatunk, ez a *független szökőparancs*, de a gép önállóan is választhat, rendszerint a számolás során kijött részleteredmény előjelétől függően, ez a *függő szökőparancs.**

A szökőparancs is tartalmaz címet, e rekeszben azonban nem a számolás tárgyául szolgáló szám van, hanem egy újabb parancs. Persze ez botlást jelent a folytonos menetben és több segédműveletet hoz magával, pl. cserélni kell a címnövelőben levő számot, a teljes ciklusban szünetek állnak elő stb.

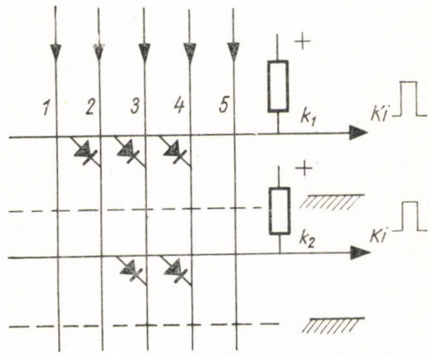
* Új elnevezések esetén még lehet válogatni, a ,,független" és ,,függő" rövidebb a szintén szokásos ,,feltétel nélkül" és ,,feltételes"-től, amellett utóbbiak a reflexek terén már lefoglalt kifejezések. Zavart is okozhat, ha pl. éppen reflexeket modellezünk számológépen.

f) A matrix

Hogyan tudja a biner számokban, impulzussorozatokban folyósított parancs a számára fenntartott külön huzalt megtalálni? A matrix ilyen általános „felismerő" szerkezet. A matrix matematikai fogalom, de ma már ugyanezzel a névvel jelöljük elektromos vagy más alkatrészek ugyanolyan módon, tehát négyzetes rács alakjában elrendezett tábláját, mint ahogyan a matematikai matrixban a számok vannak elrendezve. A matrix egy alakja, mint „koordináta kapcsoló" legalább 50 év óta ismeretes. Lényege az egyenirányítók (legcélszerűbben kristálydiódák) használata, melyek a működési áram szétágazását a nem kívánt huzalokra megakadályozzák. A diódás konjunkciós kapcsoló elvén működik (*74. ábra*).

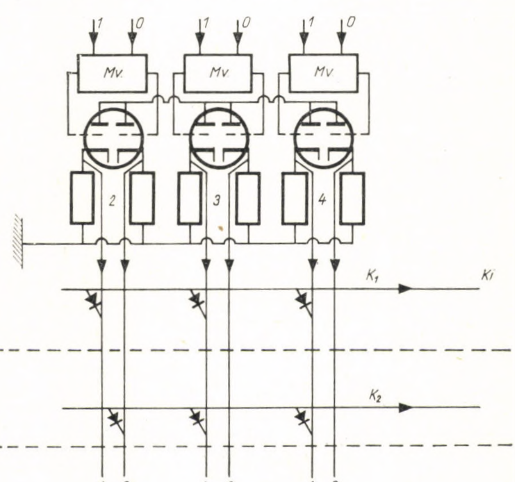


74. ábra



75. ábra
Unipoláris matrix

Csak akkor kapunk kimenő jelet, ha minden megkövetelt jel egyszerre beérkezik, tehát egy sincsen földre kapcsolva. Bármilyen kombinációra reagáló összeállítást képezhetünk ki így, ráadásul amaz előnyük is van, hogy egybeépíthetjük egész raját az ilyen felismerési egységeknek, anélkül hogy egymást zavarnák. Több kijelölt feltétel és csakis ezek a kijelölt feltételek kiváltanak egy előírt műveletet. A művelet maga is elágazó lehet, tehát készíthetünk többről egyre, egyről többre és többről többre átváltó matrixokat a fenti elven. Nem elég azonban a *74. ábra* szerint matrixot összeállítani, mert akkor pl. (*75. ábra*) a 2, 3, 4 egyidejű három impulzus nemcsak a k_1, hanem a k_2 kimenőt is működteti. Ezért

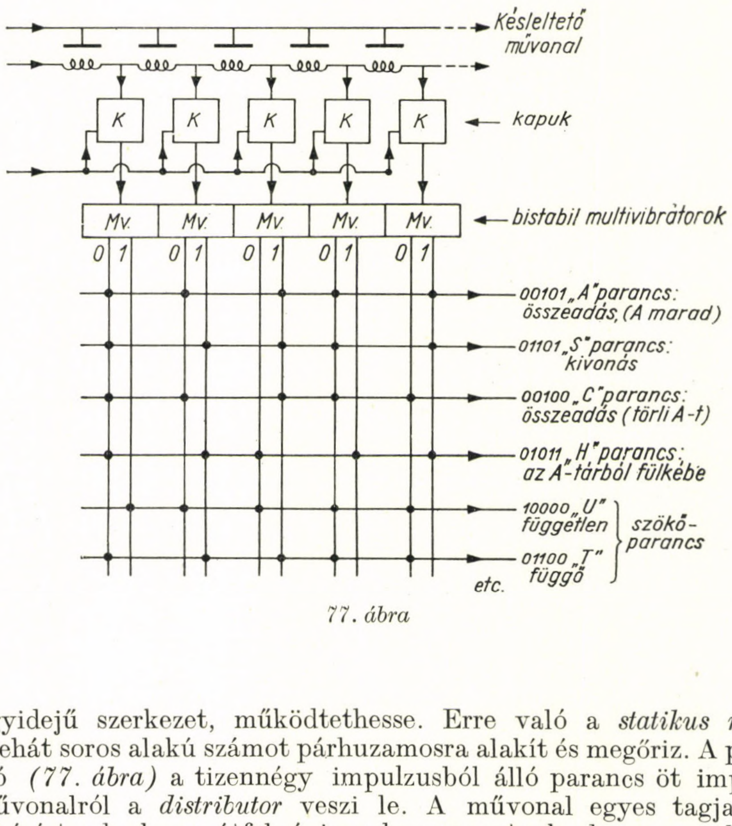


76. ábra
Bipoláris matrix

a 0 impulzusok esetében is, egy-egy ikervezetékben, pozitív impulzust kell beadnunk *(76. ábra)*, a 0 állapot például úgy áll elő, hogy a monostabil multivibrátor, ha nincs 1 impulzus, visszaesik a 0 állapotba, amikor is az alsó 0 vezetékben van pozitív feszültség.

g) A parancsválasztó szerkezete

Minthogy az impulzusok, időben egymásután következnek, s így haladnak végig a vezetéken, előbb meg kell őket valahogyan „állítani" helyesebben: álló „nyom-sort" levenni róluk, hogy a matrixot, amely stati-



77. *ábra*

kus, egyidejű szerkezet, működtethesse. Erre való a *statikus regiszter*, amely tehát soros alakú számot párhuzamosra alakít és megőriz. A parancsválasztó *(77. ábra)* a tizennégy impulzusból álló parancs öt impulzusát egy művonalról a *distributor* veszi le. A művonal egyes tagjai éppen annyi késést adnak az átfolyó impulzussorozatnak, hogy egy bizonyos időpontban az impulzussorozat egy-egy impulzusa éppen a leágazásokra kerül. Ha ebben a pillanatban egyszerre nyitjuk az öt kaput, az imulzusok ezeken átfutnak (természetesen az 1-esek, a 0-k helyén nem fut át semmi) öt bistabil multivibrátorba. Ahova 1-es jut, az a multivibrátor átbillen, a többi nem és így az öt multivibrátor egy ötjegyű binerszámot rögzít, azaz akkor is megtartja, amikor a distributor vezetékén az impulzusok már rég elhaladtak. A példaképpen választott gépen (BINAC) ez a biner matrix, noha közvetlen is dolgozhatna a kapunyitókra, közbevetőleg egy oktálmatrixot is működtet, aminek előnye a be- és kiadószalag kiolvasásakor és nyomtatásakor mutatkozik. De nemcsak az öt impulzus fut be a matrixba; hozzájuk járul még egyenlő rangban a *program-számláló egység*ből (az aritmetikai egység külön vezérműve az osztás, szorzás esetében) és a *teljes ciklus számláló*ból származó parancsok. Ez utóbbi szükséges az *a, b, c, d* ciklusok rendbentartására. Ez lényegében egy négyig számláló szabványos *biner számláló*, mely az egyes ciklusok végén végjelet kap és tovább lendít a következő ciklus állásába, ahonnan az oktálmatrixba parancsjelet küld, amely a parancsválasztóból jövő jelekkel a matrixban kombinálódik a már említett módon. A *minorciklus vezérműve* a minorciklus meghatározott impulzusait tudja kiadni, pl. a 0, 7, 37 sorszámú impulzusokat stb. Ezek közül az egyik az az impulzus, amelyik a címnövelőbe jutva eggyel növeli a címet.

h) Egyéb szerkezetek

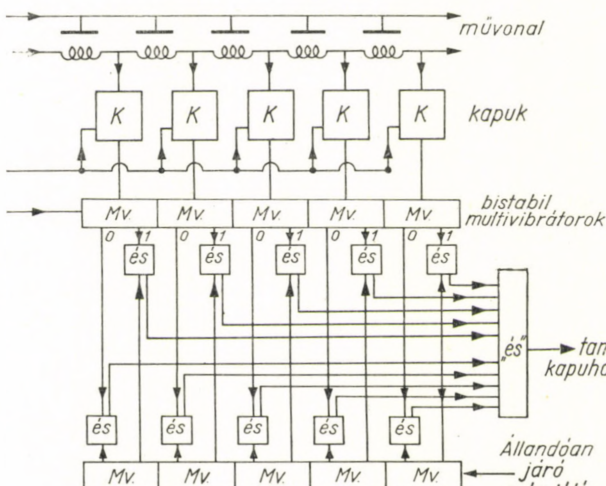
A kvarcóra vagy ütemező. Egy kvarckristállyal vezérelt nagyfrekvenciás generátor állandóan (e gépen) 4 Mc frekvenciájú impulzussorozatot ad le, és ezzel valamennyi ciklust ütemezi, azonkívül a működő impulzusok sietését, vagy késését is korrigálja. Az „aszinkron" számológépeknek nincs ütemező berendezésük, e gépek a „start-stop" rendszerhez hasonlóan működnek: az egyik művelet vége jelzi, hogy a következő művelet megindulhat.

A tankválasztó. A tankválasztó ugyanolyan, mint a parancsválasztó (l. *77. ábra)*, de csak négy impulzusra, részletesen tehát nem érdemes felvázolni. A négyjegyű biner szám itt ki van használva, mert tizenhat kapu közül kell mindig egyet nyitni ($2^4 = 16$).

Az időválasztó. Az időválasztó szintén alapvető szerkezet. A feladat az, hogy egy 5 impulzusból álló haladó impulzussor egy szintén haladó, harminckét csoportból (32 minorciklus) álló impulzussor egyik csoportját kiszabadítsa a tankból, illetőleg oda bezárja. A *78. ábra* szerint itt is „megállítjuk" a művonalból kilépő impulzusokat a kapuk együttes nyitásával egy bistabil multivibrátor-sor által. Egy *állandóan járó számláló* (time-selector counter) szinkron jár a harminckét csoportból álló (32 szót vivő) majorciklussal (a fentebb említett minorciklus-vezérműből kapja a szavak elejét jelző szinkronizáló impulzust), és így az öt multivibrátor állásai folyton változnak (harminckétféle variációban állhatnak). Ha egy ilyen variáció pontosan egyezik a felső öt multivibrátor rögzített állásával, akkor a *koincidencia-egység* egyszerre ad impulzust a közös tizes „konjunkciós" kapcsolónak, amelyik ekkor nyitja a tank-kaput egy minorciklus idejére, és a parancs vagy szám kifut (természetesen ugyanígy történik a betáplálás is).

A minortank. Még nem részleteztük a *72. ábrán minortank*nak nevezett kis egyszavas regisztereket, melyek a gépben több helyen előfordulnak (parancsregiszter, címnövelő, aritmetikai egység, minorciklus vezérlés).

Mint vázoltuk, a *parancsregiszter* (*79. ábra*) a negyvenkét impulzusból álló kettős parancsot magában tudja tartani. Ez ugyanúgy történik, mint ahogy a majorciklusban láttuk: a impulzussorozat végig fut a higanyoszlopon, vagy a művonalon, a kimenő végről visszavezetjük újra a bemenő véghez és így tetszés szerinti ideig kering a negyvenkét impulzus. E működés biztosítására a kimenő vezeték először átfut egy *jelalakítón*, amely a késés alatt eltorzult impulzusokat alakra, amplitúdóra és időre rendbehozza, azaz visszaállítja eredeti méreteikre. Ez úgy megy végbe, hogy az elromlott impulzusokat csak kapujeleknek használjuk hibátlan, szabványos alakú kvarcóra impulzusok számára, és így minden ismétlődő körbefutáskor vadonatúj impulzusokat állítunk szolgálatba. A buszról jövő imulzussor egy kapun át és az első jelalakítón át (mert már torzultan érkezik) a művőnalra kerül, kimenetkor újabb jelalakítón át visszakerül a művonal elejére. Közben a busz-késés kiegyenlítése céljából újabb késleltető van beiktatva, a kimenő jelsor tehát előbb indul, mint a bemenő, s a buszon áthaladva pontosan érkezik egy másik regiszterbe. A bemenetnél tehát két vezeték fut össze, ide egy-egy buffer (visszahatásgátló; az ábrákon *B*-vel jelölve; kivitelben rendszerint kristálydiódás kapcsolás) van iktatva. A visszatérő vezetékben van még a *törlő*egység, mellyel a visszafutást meg lehet szakítani. A törlő nem egyéb, mint egy kéttagú „konjunkciós" egység, csupán az egyik bemenő elé kell egy fázisfordítót kapcsolni (pl. egyszerű triódát vagy tranzisztort). Ezáltal *gátlás* áll elő, ha az utóbbira impulzust adunk, mert a pozitív jelből így negatív lesz és a másik impulzus nem tud érvényesülni. Kivenni az impulzussort három helyen lehet, a művonal végén, az elején és a közepén. Az utóbbi kettő azért előnyös, mert ugyanazon időjel beállítással vehetjük le akár az első, akár a második parancsot a parancsválasztó számára. A *79. ábrán* a kapukat működtető különféle parancsok vezetékét *p*-vel jelöltük, és *T*-vel a tiltó (time-out) vonalakat. Ezek kézi billentyűzéssel is működtethetők pl. hibakereséskor stb. Az egész hurok késésének 10,5 mikroszekundumnak kell lenni. A hőmérsékletváltozásoktól több órán keresztül e periódus már eléggé eltolódik úgy, hogy nem lehet magára hagyni. Erre kell a már említett idővisszaállító.

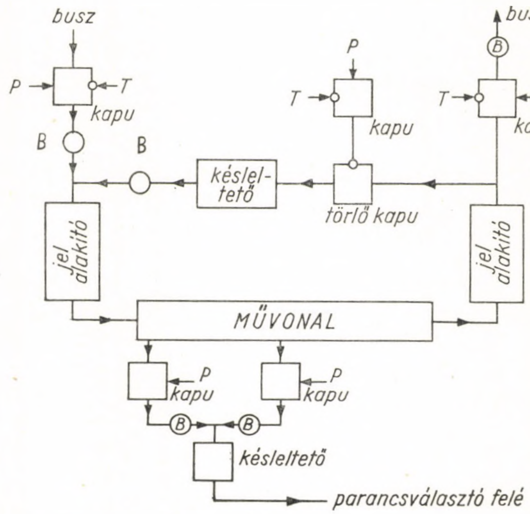


78. ábra

Ugyanilyenek az aritmetikai egység regiszterei is pl. az *A* („akkumulator"), ezért nem rajzoljuk fel. Az óra után kapcsolt minorciklus vezérmű is alapjában ugyanilyen szerkezetű azzal az eltéréssel, hogy csak egyetlen impulzus kering benne. Ez impulzust a gép indító gombja lenyomásával „teremtjük", és ez addig jár körbe, amíg a törlővel le nem tisztítjuk. A leágazó huzalokhoz különböző időben ér ez az egyetlen impulzus és így kapjuk a 0, 7, 37 stb. már említett vezérimpulzusokat.

Sok mellékkészülék szükséges még a hibakeresés, javítás, karbantartás céljaira. Ilyenek pl. a manuális gombok, melyekkel visszaállíthatók a multivibrátorok kezdő helyzetbe, vagy tetszőleges állásba.

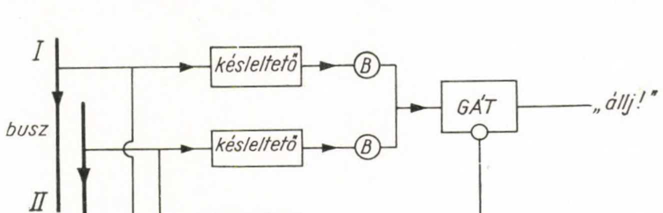
A bemenő és kimenő egységek. Rendszerint különálló, írógépbillentyűzetű lyukasztógépen előkészítenek egy szalagot teljes vagy részekből összeállított programmal. Így a hibák a szalag ellenőrzésével előzetesen kijavíthatók. A szalag belső kiolvasása pl. *fototranzisztorokkal* történhet.



79. ábra

i) Ikergépek ellenőrző hibajelzője

A BINAC két egyforma gépből áll és az együtt járásukat ellenőrző hibajelző ekvivalencia kapcsolású és a *80. ábra* szerinti lehet. Ha mindkét buszon impulzus van (tehát 1 jel), akkor a konjunkciós egység gátolja a



80. ábra

kaput, tehát nincsen „állj" jelzés. Ha a I és II eltérő, akkor a konjunkciós egység nem működik, és akár a I-en van az egyes, akár a II-ön, „állj" jelzést kapunk. Ha mindkettő 0, akkor semmilyen jel sincs, tehát „állj" sincs. Magát a hibát hosszas kereséssel kell azután felkutatni.

Ha egyszerre hibázik az I és II gép, ezt hibajelzőnk természetesen nem ismerheti fel, gyanútlanul tovább engedi járni a gépet és mi óhatatlanul rossz eredményt fogunk kapni. Természetesen a hibavalószínűség lényegesen csökken a kettős gép adta eredményekben.

j) Műveleti sebesség

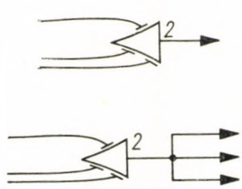
Az elektronikus digitalis számológépek *műveleti sebességét* megállapodásszerűleg a „fiktív programmal" mérjük. E program 25%-a összeadási, 25%-a szorzási és 50%-a organizációs parancs (utóbbiakon értjük a tárba való beírást illetőleg kiolvasást) és eszerint közepes műveleti sebességnek nevezzük az ilyen programmal átlagosan egy mp alatt elvégzett műveletek számát. A következő táblázat néhány gép közepes műveleti sebességét mutatja az emberi számolási sebességgel összehasonlítva.

Ember irodai számológépekkel	0,2	művelet/mp
Z22	20	
IBM 650	200	
Siemens 2002	2 000	
IBM 704/709	12 000	
LARC (Sperry Rand)	100 000	
STRETCH (IBM)	1 000 000	(összeadáskor 2 000 000)

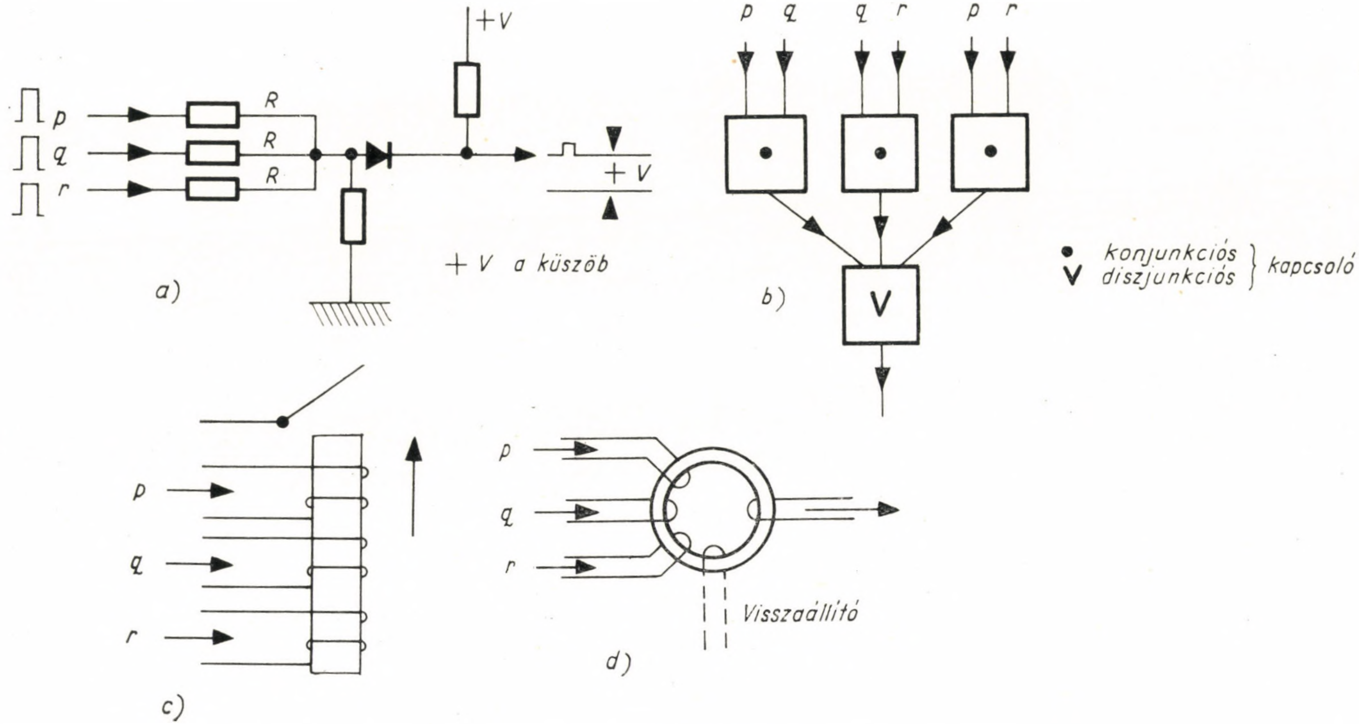
Ha pl. 10^{10} műveletből áll egy feladat, ezt egy ember asztali géppel 30 000 év alatt végezné el, a Siemens gép 58 nap alatt, a STRETCH kb. 3 óra alatt végzi el.

k) Számolási hibák

Tapasztalat szerint asztali számológéppel való számoláskor átlagosan 1 hiba esik $2 \cdot 10^3$ műveletre. Az elektronikus digitalis számológépek 10^8 műveletenként tesznek egy hibát. Természetesen még azt is igyekeznek kiküszöbölni. A gépek élettartamára nézve a műveletek száma döntő olyan esetekben, ahol az alkatrészeket *üzemük* használja el, de ahol az alkatrészek maguktól is öregszenek, az időre (dátumra) számított élettartamuk dönt. Ilyen gépeknél az üzembiztosság annál nagyobb, minél nagyobb a műveleti sebesség. A tranzisztor folytonos üzemű (éjjel-nappal) élettartama 100 000 óra (kb. 10 év), a PNIP típusú tranzisztor több száz Mc-on is működtethető. A ferritgyűrűk semmiféle öregedést nem mutatnak. A *hibajelző* berendezés hiba esetén csak megállítja a gépet (az ikergépek módszerét már említettük), a *hibajavító* berendezések a hibát kijavítják és megállás nélkül futnak tovább. Három számológép pl. már összekapcsolható hibajavító géppé a kimenőkhöz kapcsolt *szavazó*berendezéssel, melynek neuronvázlata igen egyszerű *(81. ábra ;* a 2-es a küszöbértéket jelenti), természetesen kapcsolásokkal is könnyű megvalósítani. A legkényesebb a beállított rugójú jelfogó *(82c ábra)*, a legüzembiztosabb a ferritgyűrű *(82d ábra)*, ahol a



81. ábra



82. ábra
Szavazó kapcsolások

bemenő jelek mindegyikének $H/2$ mezőt kell gerjesztenie, s így bármelyik kettő közülük (egyszerre érkezve) már átbillenti a gyűrűt. Persze visszaállító impulzusról gondoskodni kell. Egy géppel is megy ez az eljárás, minden alkatrészt, vagy több alkatrészből álló egységet megháromszorozunk a gépben és hármasával kötjük egy-egy szavazóhoz, melynek kimenőjébe újra három egyforma egységet kötünk.* E módszer továbbfejlesztésével a hibák számát előre megadott határ alá lehet szorítani.

A gyakorlatban szokásos úgy ellenőrizni az eredményt, hogy ugyanazon meglevő gépen többször elvégeztetjük a feladatot és elfogadjuk, ha mindig ugyanazok az eredmények jönnek ki. Állandó hiba esetén ez nem használ, ingadozó hiba (pl. hőmérsékletváltozástól, nedvességtől, apró mechanikai rezgésektől változó rossz forrasztás stb.) esetén változó eredményeket kaphatunk ugyan, de ítélni nem lehet belőlük, romló gép esetén pedig az ismételt átszámítás kilátástalan. Relés gép eredményei, hosszabb üzemen kívüli állapot után, relatíve javulnak az ismételt átszámolásokkal. Az ember papíron igen rosszul számol, de megtalálja a hibát, ha, ahol lehet, a sorrenden változtat: pl. szorzót a szorzandóval felcseréli, az összeadásnál az összeadandókat más sorrendben írja fel stb. A gépet lehet erre is programozni, sőt ugyanazt a feladatot több, egészében eltérő matematikai módszerrel programozni s a géppel valamennyit lejáratni, s elfogadjuk az eredményt, ha valamennyié egyezik.

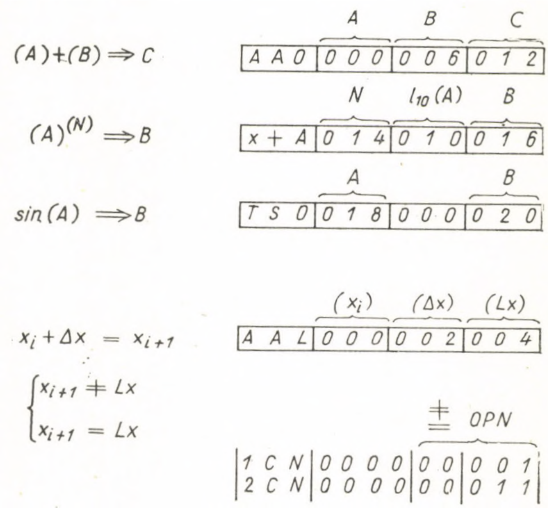
Hibák, melyekért nem a gép felelős. Már említettük a „kifolyás"-ból, illetőleg le- és felkerekítésből eredő hibát, melynek felhalmozódása a számítás folyamán az eredményt a felismerhetetlenségig megváltoztathatja.

l) Automatikus programozás. Kompilátor (compiler)

Bonyolultabb feladatok programozása nagyon hosszadalmas és terhes munka, sok minősített dolgozót vesz igénybe s mindamellett nem mentes a hibáktól. Némileg segített a dolgon a többcímes, pl. öt-címes rendszer. Ebben egy parancs öt címet köt egybe: a két számot, amelyen a művelet végzendő, a fülkeszámot, melybe az eredmény küldendő és két következő parancs fülkeszámát (döntés szerinti választás számára). Gyökeres megoldást adott a már említett automatikus programozás, mely szerint egy rövid *szuperprogram* (pseudo-program) alapján a gép a programozó segítségével elkészíti a „reál" programot (mikroprogramot). Eddig ugyanis a programozónak töviről-hegyire ismernie kellett a szubrutinok teljes felépítését és címtárát, és a programot utolsó ízéig személyesen kellett összeállítania, addig a programozó program a beadott szuperprogram alapján maga elvégzi ezt. Egyik módszer pl. az Univac Fac-tronic kompilerének A—2 eljárása: a programok lyukszalag helyett mágnesszalagra vannak felvéve. Tíz mágnesszalag közül az egyik konverziós program *minden* szuperprogramhoz egyforma. Egy másik szalagon van a szuperprogram, melyet a konverziós szubrutin átszerkeszt egy harmadik szalagra, a már ismertetett mikroprogram jelzésekkel (reálprogram). E szalag adatai már közvetlenül

* J. v. Neumann: Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components. Automata Studies. 1956.

a tárba kerülnek és a gép a többi szalagot a közbenső eredmények tárolására használja. Így kb. 12 szuperparancs (másnéven pseudo- vagy álparancs) szétbomlik egy perc alatt kb. ezer reálparancsra. A *83. ábra* jobb oldalán néhány szuperparancs felírásmódja van feltüntetve. Az összeadást AAO szimbólum jelzi, az összeadandók a 000 és 006 rekeszben találhatók és az eredmény a 012 rekeszbe küldendő. A gép az AAO jelzésre kilenc reálparancsot hív elő, ezenkívül az AAO művelet végjelét adott címre rögzíti, ugyanis egy-egy szubrutin mindig ugyanazon paranccsal hívható, de végjele a program szerint mindig máshova csatlakozik (ugyanis egy rutin többször is előfordulhat ugyanazon feladatban). Az ábrán látható utolsó hármas szuperparancs-csoport szerint a 000 fülkében álló számhoz a 002-ben levőt kell adni, az eredményt visszaküldeni a 000-ba és összehasonlítani a 004-ben levő számmal. Ha nem egyenlő, akkor a 00001 számú parancsot kell elővenni, ha egyenlő, akkor a 00011 (függő szökő parancs alkalmazása). Összetett képletek esetében az eljárás az, hogy *a zárójelbe foglalt művelet eredményének címét átírjuk a következő művelet megfelelő címrubrikájába.*



83. ábra

Említettük, hogy kétféle sikeresen bevált rendszer van használatban. Az egyik szerint a gép a szuperprogramból kivett műveletet azonnal végrehajtja (értelmező szubrutinnal), ez kb. 40-szeresére hosszabbítja az egész számolási időt, a másik konverziós szubrutinnal előbb átprogramoz, tehát csak a programozási időt hosszabbítja. Minél többet adunk át magának a gépnek a képlet átdolgozási munkájából, annál inkább drágul a gép, de annál hibamentesebb a program !*

Meg kell említenünk, hogy a Szovjetunió is tevékeny részt vesz az automatikus programozás fejlesztése terén (operatív módszer).

Az automatikus programozás ideális végcélja az, hogy a feladat a közönséges mondatokban legépelve kerüljön a gépbe, amely e gépírásról önműködőleg elkészíti a részletes programot.

Az automatikus gyárak számológépei program szerint vezérlik a gyárak minden ellenőrzendő gépi folyamatát a teljesítmények elemzése alapján. A munkagépeknek és továbbítógépeknek, valamint a kémiai egységeknek

* Automatikus programozás irodalma: J. Assoc. Computing Machines 1956. (4). Proc. of the Western Joint Conf. New York. 1956. Remington Rand Corp.: Manual of A-2 Complier. Research Departm. Remington Rand, Univac Division of Sperry Rand Corp.: Univac generalized programming etc. New York. 1957.

van önműködő szabályozása is (közvetlen negatív visszacsatolások). Ha a szabályozási folyamat számításokat is igényel, akkor az egyes gépek, illetőleg munkadarabok, anyagok állapotának adatai a központi számológépbe vezettetnek, mely az összehasonlításra szolgáló előírt értékek alapján a hibakorrekciót kiszámítja s ezt visszajelenti a gépegységnek. Digitális számolás esetén az állapotokat mérő műszerek adta folytonos értékeket előbb mintázni (sampling) és kvantálni kell (azaz adott időközönként adatot felvenni és ezt binerszámmá alakítani), a számítás végén pedig újra analóggá visszakonvertálni. Minthogy a gyártási folyamatok viszonylag lassúak, elégséges egy számológép is, amely azonban külön átkapcsolóegység útján sorra veszi a gépegységeket. Olyan esetben, amikor egy folyamat hibáit csak egy külön gépegységen való elemzéssel lehet megállapítani, akkor vezérlés tekintetében ez a gépegység is a többi gép sorába van iktatva. A programvezérléses gyár előnye a rögzítetten épült automatikus gyár felett kézenfekvő: az áttérés más árutípusra előre programozható s az áttérés maga is aránytalanul gyorsabb.

m) Adatfeldolgozó gépek

A hivatalok, vállalatok elektronikus gépei a következő feladatokat végzik: bérelszámolás, fő- és fiókintézetek raktárellenőrzése, bevételregisztrálás, könyvelés, személyzetstatisztika, dokumentáció, termelésellenőrzés, általában az ipar, kereskedelem, kormányzat minden ágának adminisztrálási számításai. Elkerülhetetlen az elektronikus gépek alkalmazása, ha naponta feldolgozásra kerülő adatok száma egy bizonyos határt túllép. Nemzetgazdasági szempontból is fontos az elektronikus adatfeldolgozás, mert nélküle az irnoki munka egy ország dolgozó népének kb. 16%-át foglalja le.

E célokra a tudományos számításokra készült számológépek klasszikus alakja nem válik be. Az adatfeldolgozó gépekben a kezdeti adatok száma igen nagy, a számolások mennyisége elhanyagolható és túlnyomó a fajtázások (osztályozás, szortírozás) mennyisége. A bemenő *Hollerith*-kártyák (10 kártya/mp) vagy lyukszalag leolvasása rendszerint Ge-fotocellákkal történik (vannak gépek, melyek távolbalátási képekről olvasnak le adatokat), gyakori a mágnesszalagos bemenetel is. A számológépekhez képest egyik elvi fő eltérés az, hogy többnyire nem cím szerint, hanem különféle szempontok szerint kell kikeresni az adatokat. A fajtázást a tudományos célokra készült számológép minden segítő berendezés nélkül is el tudja végezni oly módon, hogy az egy köteg lyukkártyának megfelelő rekesz-sorozat tartalmát sorra megvizsgálja a számolóműben oly tekintetben, hogy egy bizonyos bit-csoport egyezik-e a regiszterbe tett (szempontjelző) bit-csoporttal. Ezt kivonással teheti, egyezéskor ui. zérus az eredmény, s az ilyen rekeszek tartalmát külön rekeszsorba szállítja, tehát ugyanazt teszi, mint egy *Hollerith*-gép a kártyákkal. Az adatfeldolgozó gépeknek e célra külön berendezésük is van: a gép az egyik mágnesszalagon tárolt adatokból válogat s ez adatokat átírja egy másik szalagra. A szempontokat pl. hét választó kapcsolóval lehet beállítani (7 ösvényes gépen), miáltal $2^7 = 128$-féle szempont szerint válogathat a gép. Ily módon 16 000 darab 100 írásjeles információt másfél óra alatt rendez a gép. Az adatrendezés a következőkből áll: 1) az adatok adott sorrendbe rendezése, pl. az időrendben beérkező adatokat a raktári tételek számának sorrendjében kell elrendezni, 2) adatok beiktatása rendezett adatcsoportokba, pl. meglevő katalógust új tételekkel kell kiegészíteni, 3) adatok kiválogatása adott szempontok szerint, pl. kikeresendő az előző napi raktári zárókészlet, vagy pedig pl. minden tengerentúli szállításra alkalmas áru. Végül egy informáló egység az adatokról bármikor felvilágosítást ad, ezeket a gép a tárakból átkódolja rendes nyomtatott betűkkel széles papírszalagra. Országos viszonylatban dolgozó gépek igen sok egységből állnak, pl. a BIZMAC (RCA) adatfeldolgozó gép* 215 különálló egységből áll 1700 m^2 alapterületen, ezek között csak egy „klasszikus" számológép van, rendszere decimális, háromcímű, változó szóhosszal, gyorstára ferrites, 740 szó számára, közepes tára mágnesdob 1490 szó számára, a lassú tár 183 darab mágnesszalagos berendezésből áll, egy szalag 730 m hosszú, 16 mm széles, sebessége 2m/sec, beírás ill. kiolvasás 10 000 írásjel/sec. A szalag $2 \cdot 7$ ösvényes, e módon az adatok párhuzamosan kétszer vannak fölvive hibaelhárítás végett. A gép 10^5—10^7 bitet tud tárolni.

Sztatikus áttevő (elektronikus táblázat, translator, Zuordner)**

Olyan esetekben használatos gép, amikor minden számolás mellőzhető, s az adatok csupán egyszerű listaszerűen függnek össze [pl. egyszeregy táblázat, telefonkönyv, előfizetők lakcíme, ár- és bérlista, interurbán kikereső, információk kapcsolása rendszerező fogalmakkal, postai levélszortírozó (az alkalmazott itt csupán „elolvasó", azaz begépeli a címet s a gép a küldés útját végig megadja) stb.]. A gép nem egyéb, mint egy óriási matrix, tehát egy diódákból, tranzisztorokból és esetleg még vákumcsövekből gazdaságosan felépített, rögzített huzalozású hálózat, melyben a bemenő kapcsolókon kívül semmi mozgó alkatrész nincsen, sőt semmi elektronikus számolás sem történik. A kimenet rendszerint izzólámpácskák sorozatából áll. Bármely bemenő variációt lehet így bármily kimenő kombinációval összekötni.

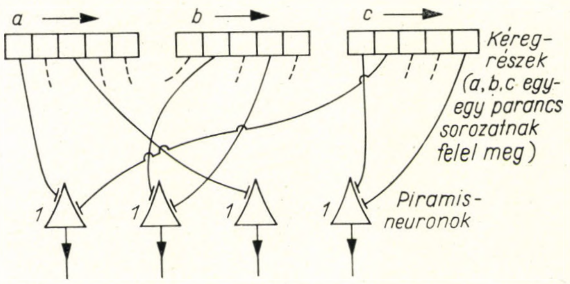
Ugyanezt a feladatot végzi *dinamikusan* a *lexikongép*, amelyben a bemenő és kimenő adatok összetartozó párjai sorjában vannak lyuk- vagy mágnesszalagon tárolva. A szalag a kívánt bemenő adatnál megállítható, s a hozzátartozó kimenő adat leolvasható, vagy megállás nélkül regiszterbe vagy másik szalagra átvihető. Mind a sztatikus, mind a dinamikus gép a számológépekkel ellentétben *nem termel információt,* a kimenő adatokat a tervezőnek előre kell kidolgozni és e kész információkat betárolni a gépbe. Az ilyen hipotétikus *robot,* bár elvben minden megoldható feladatot teljesíteni tud, csillagászati méretű tára és az előre elkészítendő eredmények szintén csillagászati mennyisége és készítési ideje miatt meg nem valósítható.

* J. A. Brustman—J. Agin: The BIZMAC II. Tapefile. Communication and Electronics. Nr. 34. 1958. Jan.

** W. Steinbuch—H. Endres: Elektrische Zuordner. N. T. Z. 1957. 280.

Az elektronikus digitális számológépek szokásos ,,gondolkozó gépek" elnevezésével egy jobb hasonlattal élhetünk: e gépek összehasonlíthatók egy kitűnő emlékezőtehetségű és fáradhatatlan hivatalnokkal, aki a neki elmagyarázott programot ideális engedelmességgel, gondolkozás nélkül híven követi és asztali számológépekkel elvégzi a feladatot.

Anatómiai tény, hogy pl. az egyes izmokhoz vezető agykéregbeli piramis-sejtek a kéreg más-más meghatározott részeiből ingerelhetők, ahol valamely mozdulatsor elemei egymást egymás után felidéző sorba vannak szedve (ösztönlánc, *84. ábra*). Lehetetlen a beépített szubrutinokkal való hasonlóságot fel nem ismerni. Az agyban nagy időmegtakarítást jelentenek a közvetlen huzalos (nem címkikereséses) kiolvasások; ezek felépítéséhez ugyan több ,,alkatrész" kell, de miniatür ,,vezeték" (axon) és miniatür ,,erősítő" (neuron) bőven áll rendelkezésre. Ezt mi egyelőre utánozni nem tudjuk, és ezért szorulunk a ,,busz"-ra, éppúgy, mint ahogyan távolbalátási technikában a recehártya párhuzamos idegkévéjét helyettesítjük (szukcesszív sorravétel révén) egyetlen hírvivőcsatornával. NEUMANN JÁNOS (1903–1957): The computer and the brain (New Haven, Yale University Press, 1958) posthumus könyvében főleg a működés megbízhatósága tekintetében tesz összehasonlítást. Az agyban a ,,számok" egy része analóg alakú *(erősebb* inger *sűrűbb* impulzussor alakú ingerületet kelt, a rezgésszám 50—200/sec); ez a receptoroknál biztosan így van, az effektorok esetében a mai hipotézis az, hogy pl. az izom *erősebb* ingerlését *több* izomelem együttes ingerlése végzi, de az egyes elemek eközben mindig egy-egy egységnyi ingert kapnak. Az analóg gépek pontossága ritkán lépi túl az $1 : 10^3$-at, és $1 : 10^6$-ra emelni a mai eszközökkel lehetetlen. Az analóg idegingerület pontossága rosszabb: legalább 10^2 impulzusnak kell lefolyni a leglassúbbik impulzussorban, hogy $1 : 10^2$ legyen a pontosság (a leggyorsabbik esetén sokkal több impulzus kell). Ezzel szemben a megbízhatósága igen nagy: egy impulzus kimaradása semmi zavart nem okoz, míg a digitális gépekben egyetlen impulzus kimaradása teljesen meghamisítja az eredményt.



84. ábra

A digitális gépekkel bármily pontosságot elérhetünk. Minthogy egy 12 jegyű decimális szám pontossága $1 : 10^{12}$, ezt emelni csak annyit jelent, hogy a szó hosszát növeljük. Egy decimálissal való növelés általában (nem mindenütt) 8,3%-kal növeli a ,,szerelvényt" és csökkenti a sebességet. Noha a gyakorlatban legtöbbször nincs értelme annak, hogy az eredmények $1 : 10^3$—$1 : 10^4$-nél nagyobb pontosságúak legyenek, a digitális gépekben mégis igen nagy pontosságra van szükségünk, mert a hosszabb számítások-ban halmozódnak a hibák. Egy $1 : 10^{12}$ pontossággal dolgozó gép, ha N műveletet végez, a szuperponálódó hibák révén $10^{-12} \sqrt{N}$ pontosságú eredményt ad. Ha azt akarjuk, hogy az eredmény $1 : 10^3$ pontosságú legyen, ezt $N \cong 10^{13}$ művelettel érjük el, s ennél jobbat kapunk, mert a mai számítások csak 10^{10} műveletnél tartanak. De ha a „szorzódó" hibákat vesszük tekintetbe, akkor $(1 : 10^3) : (1 : 10^{12}) = 10^9$, és így ha műveletenként 5% hibanövekedést veszünk fel, már 425 művelet leszállítja az eredmény pontosságát $1 : 10^3$-ra.

Sebesség, térfogat és energia tekintetében összehasonlítva a „természetes és mesterséges automatákat" (NEUMANN elnevezései) a neuron reakcióideje 10^{-2} sec-nak vehető, míg az erősítőcső és tranzisztor reakcióideje 10^{-6}—10^{-7} sec.

A közismert, pásztorfiúból lett számolóművész, Inaudi arra a kérdésre, hogy hány mp van 39 év, 3 hónap és 12-órában, három mp alatt felelt. Ha számológép programozással és eljárással végezte volna e számolást, akkor a fenti idegsebességgel nem érte volna el ezt az időt. A magyarázat az, hogy a számolóművészek kész eredményeket tartanak raktáron fejükben, amit az is bizonyít, hogy amikor a fenti feladatot abban a változatban adták fel, hogy legyen egy nap 23 óra, és 50 mp egy perc, akkor a fejszámolás jóval hosszabb ideig tartott.

Az emberi agy térfogata 1 literre becsülhető, ebben van 10^{10} neuron, egy neuronra tehát 10^{-7} cm^3 jut. Minthogy az elektronikus alkatrészek kb. lineárisan 10^3-szor nagyobbak, az agyvelő javára 10^8—10^9-szeres térfogatelőnyünk van. Az emberi agy disszipációja 10 Watt, tehát 10^{-9} W/neuron, egy erősítőcsőé 5—10 W, tranzisztoré 10^{-1} W, tehát ismét 10^8—10^9-szeres előnyünk van az agy javára. Az idegrendszer lassúbb a gépnél, de sok műveletet párhuzamosan (egyidejűleg) végez, de természetesen sem ember, sem gép nem végezhet párhuzamosan olyan műveleteket, melyeknél az egyik művelet eredményére szükség van a másik megkezdéséhez.

Tárkapacitás szempontjából a digitális gépnek ezer 8 jegyű decimális szám tárolásához $1000 \cdot 8 \cdot 3{,}32 = 2{,}66 \cdot 10^4$ bitre van szüksége. Modern gépek tára 10^5—10^6 bit kapacitást kíván (ehhez járul még 10^4 aktív elem). Ha feltesszük, hogy érzékszerveink egy mp alatt 14 bit információt vesznek fel és a 10^{10} neuron mind receptor, akkor a lehetséges maximális információ beáramlás $14 \cdot 10^{10}$ bit/sec. Ha feltesszük még, hogy nincs felejtés, 60 év, azaz $2 \cdot 10^9$ sec alatt összegyűl az emlékezetben $14 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 10^9 = 2{,}8 \cdot 10^{20}$ bit. (Ez persze nem áll, főleg mert távol áll az agy attól, hogy minden neuronja receptor legyen.)

IRODALOM

a „Digitális elektronikus számológépek" c. fejezethez

1. CALDWELL: Switching circuits and logical design. New York. 1958.
2. CULBERTSON: Mathematics and logic for digital devices. Princeton. 1958.
3. Б. В. ГНЕДЕНКО, В. С. КОРОЛЮК, Е. Л. ЮЩЕНКО: Элементы программирования. Москва. 1961.
4. P. MONTGOMERY: Logical design of digital computers. New York. 1958.

A „Digitális elektronikus számológépek" c. fejezetet sajnos, Szerző korai halála miatt nem lehetett lezárni, ezért nem tartalmazza az egészen korszerű gépek ismertetését. Kiegészítésképpen az irodalomra utalunk. *(Szerkesztő.)*

3.2. A KÜLVILÁGGAL FELVEVŐ KAPCSOLATBAN ÁLLÓ EGYSÉGEK (RECEPTOROKAT HELYETTESÍTŐK)

a) Betűolvasógépek

A *betűolvasógép* feladata bármely típusú gépírásos, vagy nyomtatott betűk átírása más típusú betűkké, vagy lyukkombinációkká, például számológépek, szedőgépek vagy más automaták bemenője számára. Írott betűk átírása gépírásossá vagy nyomtatottá szintén feladata lehet a betűolvasógépeknek. De legnagyobb gyakorlati jelentősége van a *felolvasó gépnek*, amely bármilyen könyvből hangosan felolvas. Nemcsak a vakok számára teszi így hozzáférhetővé az egész irodalmat, hanem azok számára is pihenést biztosít, akik szemfárasztó munka után is olvasni kívánnak.

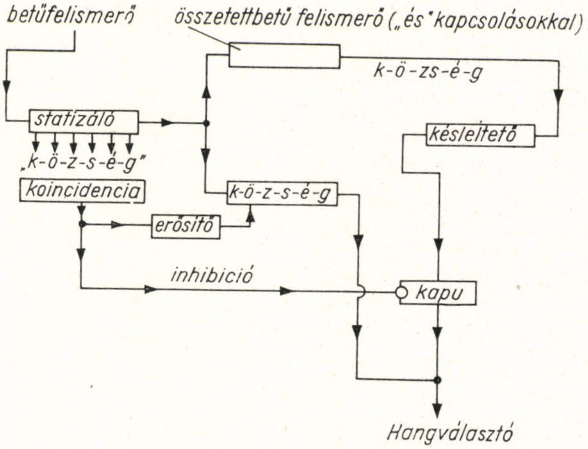
Amíg a gépelt, vagy írott szöveg más típusú betűkre való áttevésében a feladat csupán betűről-betűre való kapcsolatokra szorítkozik, addig a felolvasó gépen új problémák is merülnek fel. A fonetikusan író nyelvekben csupán ragozáskor és szóösszetételben merülnek fel ambiguozitások például e szavakban: igazság, község, vízsugár, házsor, munkászubbony, tetszészaj, vízszintes, vázszerű, egészség, (németben: Häuschen), láncsor, bolondság stb. A kettős betűk olvasására tehát szabályokat kell beépíteni a gépbe (így a francia ou, eu, ch, angol ch, sh stb.), viszont ezeket az összetételes esetekben fel kell oldani. Így például a gépnek nem szabad zs-vel olvasni a ,,község"-et és nem szabad ,,vízs-zintes"-t sem olvasnia. Kell, hogy szókritikai berendezése legyen. Minthogy ilyen kivételes szó kevés van, elég őket abc sorrendben tárolni és (a fordítógép nyelvtani kivétel kezelésének mintájára) a betűről-betűre való áttevést szóhossznyira késleltetni, hogy megvárja az olvasott szó koincidenciáját a tárolt kivételekkel, s ha ilyen egyezés jelentkezik, a tárolt szót írja le, a kettős-betű írás ideiglenes letiltásával. A *85. ábra* ,,egyhuzalos" megoldást ábrázol.

Nem fonetikusan író nyelvek esetében ugyanilyen a megoldás: a kivételes szókat mind kódexelni kell. Angolban még egyéb probléma is fellép, például ,,gill" ha kopoltyú, akkor g-vel kell olvasni, ha földi repkény, akkor ds-vel; a ,,sewer" ha varrónőt jelent, akkor szouer-nek ejtendő, ha pöcegödröt, akkor szju(ö)-nek. Itt nem elég a szótárkódex, itt ugyanolyan logikai szabálytárra és szemantikus egnéma-tárra volna szükség, mint a fordítógépben. Ez viszont nagyon drágítaná a készüléket és úgyis igen kevés ilyen szó van, úgy, hogy megelégedhetünk azzal, ha a gép ezeket egyszerűen mindkét kiejtésben egymás után kimondja. A föntebbi ,,község" típusú esetekben ez a gép is kitalálhatja a helyes olvasást, ha van teljes szó-, rag- és képzőtára, mert levágásos szóelemzéssel kiderül, hogy nem egymáshoz tartozó betűkkel van dolga.

A felolvasógép kimenője állhat egy folytonosan forgó átlátszó korongból, melyen a beszédhangok más-más sugarú koncentrikus körökön vannak hangosfilmszerűen felvéve és minden hang számára külön leolvasó fotocellából, melynek áramköreit a közös hangszóróra a betűfelismerők kimenői kapcsolják elektronikusan. A felolvasás monotonsága semmi esetre sem zavaró (még mindig tűrhetőbb, mint némely rádióbemondó hangsúlyozás örve alatti indokolatlan éneklése és pihegése), hiszen olvasáskor sem érzékelünk semmiféle hangsúlyt, azonban a vesszőt és pontot jelezni kell, például rövid szünettel és az alaphang emelésével, illetőleg süllyesztésével.

Minthogy ezt elég csak a magánhangzókon megtenni, a lemezre még két (emelt és süllyesztett hangú) magánhangzósorozatot kell felvinni és a vessző illetőleg pont előrejelzésével bekapcsolni. Nagyon szép és természetes lenne a gép beszéde, ha a hosszú szótagokat időben hosszabban is ejtené ki, mint a rövideket, a skandálás szabályai szerint.

Minthogy az *írott* betűknek is megvannak a jellemzőik, amikről felismerhetők, ezek olvasására is szerkeszthetünk gépet. De természetesen a gép bonyolultsága növekszik, minél több ,,kitalálási'' folyamatot kell beiktatni a következetlen, felismerhetetlen betűk automatikus meghatározására.



85. ábra

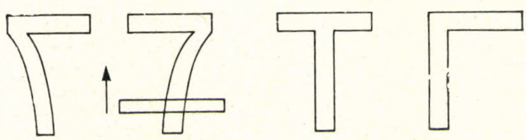
Betűfelismerés korrelációval. A korrelációs módszerrel való felismerés egy példája az alábbi összeállítás,* amely a nyomtatott számjegyeket 0—9-ig fel tudja ismerni. Az eljárás lényege az, hogy a gép egy elemzendő alakot összehasonlít a raktárban levő — jelen esetben tíz — alakzattal, és amelyikhez leginkább hasonlít, annak huzalát kapcsolja s így a felismert számjegynek megfelelő kodex-lyukcsoportot lyukasztja a szalagra, vagy újra nyomtatja ugyanolyan, vagy más betűtípussal.

Az összehasonlítandó görbének ordinátáit egyenként elosztjuk a raktári szkéma megfelelő ordinátáival. Ha a vizsgált alak pontosan egyezik a raktárbeli alakkal, minden egyes osztáskor 1-et kapunk; ez a tökéletes fedés esete. Ha eltérés van, ennek értékét a gép leméri és miután ezt mind a 10 raktári alakzatra elvégezte, a legkisebb eltéréssel bíró raktári alakzat huzalát kapcsolja. Tehát az elemzendő alak meglehetős torz is lehet, a papír piszkos is lehet stb., a gép mégis ,,kitalálja'', milyen számjegy került eléje. Mindjárt itt megemlíthetjük a gép egyes hiányosságait (nem hibáit!), pél-

* GLAUBERMAN: Electronics. 1956. Aug. 172.

dául azt, hogy részben a betűmagasságot, -szélességet és az olvasási irányt be kell állítani. De ez csak kiegészítést igényel és nem elvi hiba.

A gép szerzője digitális eljárást választott, ami nagyon komplikálja a szerkezetet, de szerfölött tanulságos, mert igen sok másféle kibernetikai eljárásban is felhasználható. Egy keskeny rés éles képét vetítjük a betűre *(86. ábra)* a rés alulról fölfelé egyszer végig pásztázza a betűt. A visszavert fény fotocellára vagy fototranzisztorra esik és erősítőn át a rés „lefedésével" időben változó feszültséget szolgáltat, amelyet egy kvantáló szerkezet (ADC = analóg-digitális converter) például 15 egyenlő időközben vett mintavétellel (sampling) 15 biner számmá alakít. A legnagyobb feszültségérték 7 egységnek felel meg, tehát ez esetben négy huzalban egyidejű négy impulzus (1 vagy 0) tökéletesen visszaadja a feszültségértékeket. A négy huzal négy tolótárba (shift regiszter) vezet. E regiszter-típus az elektronikus számológépekben használatos a tizedespont eltolására, rendszerint multivibrátorok sorozatából áll. A tolótár jelen esetben 20 ferritgyűrűből áll. A tolótár sajátsága az, hogy bármily állásában (azaz ha egyes ferritgyűrűk 0, nyugalmi, mások 1, átbillent mágneses állapotban vannak) egy, valamennyi gyűrűn átmenő közös tekercselésen át kapott impulzusra eggyel jobbra továbbadják állapotukat, tehát a biner szám, amit őriznek, eggyel jobbra halad. Ilyen módon a 15 mintavétel sorjában, az 1-en kezdve bevonul a tárba, míg az eleje az utolsó gyűrűig ér. Hét kvantumnál négy tár elég. A változó feszültséget leíró görbe így láthatatlanul fel van rajzolva a tolótárban.



86. ábra

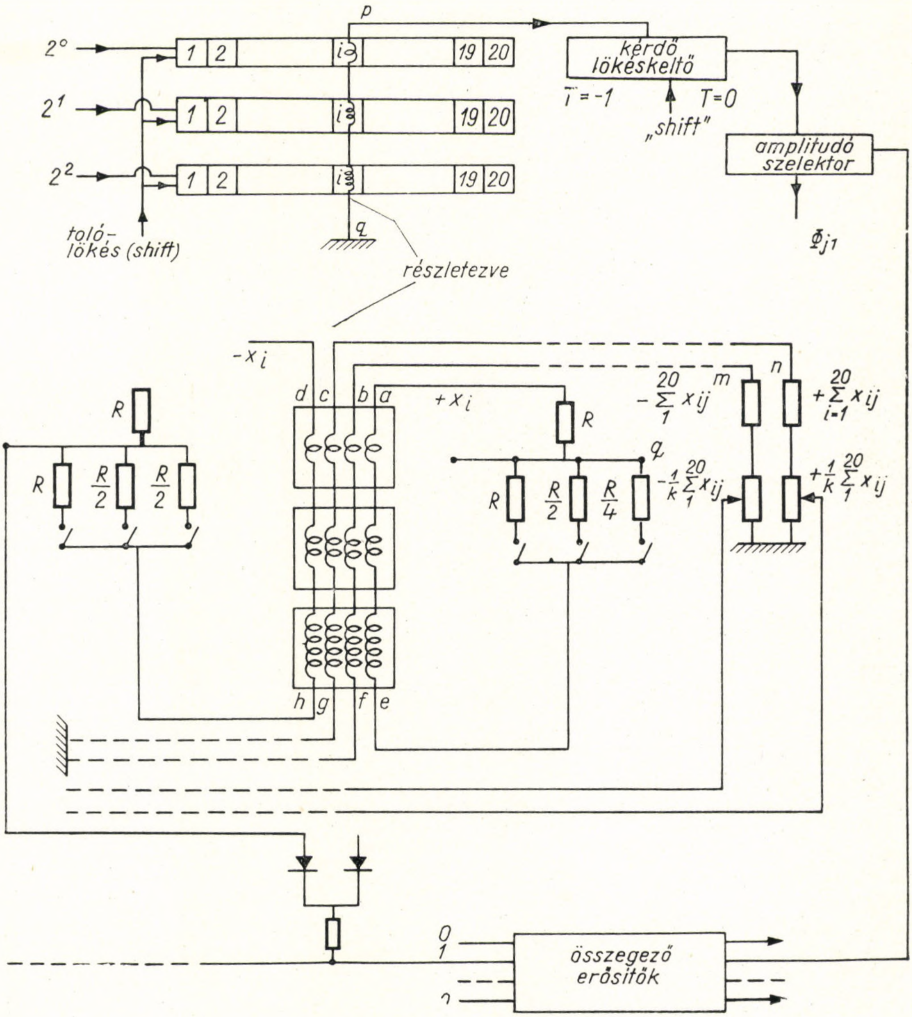
Közbevetőleg meg kell jegyeznünk, hogy a letapogatás fenti módja nem felel meg a kifogástalan alakfelismerés feltételeinek. Mint a *86. ábrán* látjuk, ugyanazt a görbét kapjuk a 7-es tükörképe esetén is, sőt T vagy gamma esetében is. Gyakorlatilag azonban a fenti is elég s látni fogjuk, hogy gyakorlott olvasáskor mi magunk is elvben hasonló elhanyagolásokat teszünk s részben innen ered, hogy folyamatos olvasás közben a nyomási hibákat egyszerűen észre sem vesszük.

A kvantizált tárolásnak előnye a zavarok egy részétől való mentesülés. A kvantizált ordináták újra áram- illetőleg feszültségamplitúdókká transzformálhatók (DAC = digitál-analóg-converter) *(87. ábra)*. Ezt a p—q körbe sorba kapcsolt és a ferritgyűrűkre tekert csévék révén érjük el, melyek menetszáma a fölötte levőnek mindig kétszerese és így egy-egy átbillentési normál impulzusra (1) a kettes hatványaival arányos feszültségamplitudót kapunk. A p—q kör feszültsége tehát

$k\,(a2^0 + b2^1 + c2^2 + \ldots + r2^n)$, ahol $a, b, \ldots, r$ csak 1 vagy 0 lehet.

Az összehasonlító eljárás a következő képlet alapján megy végbe:

$$\Phi_{jl} = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{x_{ij}}{r_{il}} - \frac{1}{k_l} \sum_{i=1}^{n} x_{ij} \right| ,$$



87. ábra

ahol: l index jelzi a tárolt szkémák (jelen esetben a 0—9 számjegyek adott görbéit),

j index jelzi a felismerendő, kívülről beérkezett görbéket,

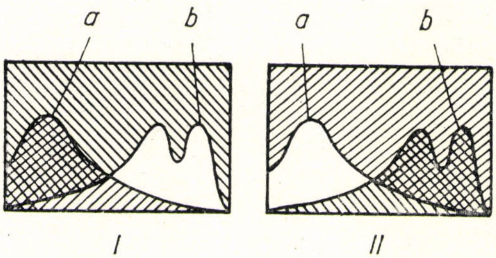
i index az egyenlő intervallumokban felvett mintavétel, azaz az ordináta sorszáma,

x a felismerendő görbe ordinátája,

r a tárolt szkéma ordinátája,

k állandó, úgy választva, hogy egyenlő legyen $\sum_{i=1}^{n} r_{il}$-lel.

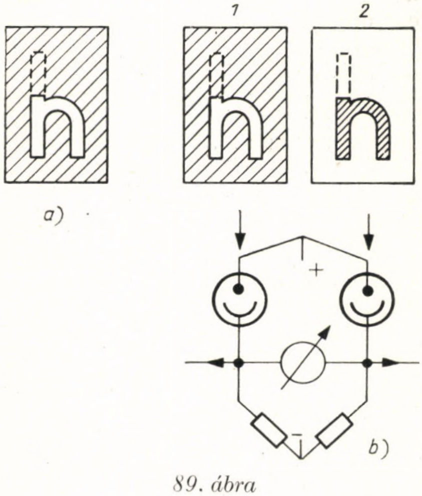
Ha a j görbe pontosan egyezik az l görbével, akkor autokorreláció áll fenn, és ha a j görbe bevándorolt az alapállásba, akkor a j és l tökéletesen fedi egymást, az abszolút jelben a második tag ekkor -1, az első tag pedig tagonkint is 1, az abszolút jelben tehát azonosan zérust kapunk. Ha az egyezés nem tökéletes, nem kapunk zérust. (Az abszolút érték azért kell, hogy az eltérés mindig pozitív legyen.) Mármost ha minden l szkémára a Φ-t megkaptuk, a legkisebb értékhez tartozó számjegy fog leginkább hasonlítani a vizsgálandóhoz, s ennek huzalát kell a gépnek bekapcsolni. (A műszaki megoldást a *87. ábra* mutatja.) Mihelyt a tár végére ért a görbe eleje, az utolsó tekercssor k kiváltja a „kérdő" impulzust, azaz az alapállás pillanatában kapcsolja az amplitudó szelektort, amely a tíz kiszámított Φ érték közül a legkisebbnek huzalát kapcsolja. Mint látható, igen sok alkatrészre van szükség. Az ábrán csak az i-edik tekercs készlet van feltüntetve (a, b, c, d ; e, f, g, h), az is csupán három regiszterre, de ebből tízféle van ugyanazon ferritgyűrűn, és mindegyikhez tartozik $\frac{1}{r}$ és $\frac{1}{k}$ csillapításkészlet. A képletet analóg módon realizáljuk: az x_i-t leveszsük az ae és dh végeken, + és — előjellel, az r_i pedig az ellenállásokkal állítandó be, mindjárt biner módon (R, $R/2$, $R/4$). A második tag képzésében a b, f és c, g tekercsek vesznek részt az összes többi gyűrűn levő hasonló tekercsekkel sorosan. A k állandó a két szabályozható ellenálláson állítható be. Az abszolút értéket a két dióda képezi. Minthogy az r_i sorozat minden l-re más, ezért kell jelen esetben tíz készlet a 0—9-es számjegyek számára. Az i-k szerinti összegezést a tíz erősítő végzi.



88. ábra

A fenti összeállítás éppen betűolvasás céljaira fölöslegesen bonyolult. Minthogy a kiindulás máris folyamatos (nem kvantizált), tehát az analóg számolás már a fölvételnél is helyénvaló, nincs értelme tehát digitális eljárásra áttérni. Ha ugyanis például a *88. ábra* szerinti két görbe teljes vagy részleges egyezését akarjuk eldönteni, akkor e sorok írója szerint maszkokat készítünk a két görbéről oly módon, hogy I. esetben az a görbével határolt alsó terület és a b görbével határolt felső terület legyen átlátszatlan; a II. esetben pedig fordítva. Ha a két görbe egyezik, akkor fény nem hatolhat át sem I., sem II. esetben. Ha nem egyeznek, akkor valamelyik esetben, vagy mindkettőben egyszerre fény jut át, ami fotocellával mérhető. Az eltérés mértéke az átjutó fénymennyiség. Ha az a_i görbék a raktárbeli szkémák és a b_j görbék az elemzendők, akkor az a_i kettős szkémákat csak végig kell futtatni az álló b_j előtt, s amplitúdószelektorral a minimumot, mint fenn, kikeresni. A raktárbeli a szkémák átlátszó filmre festett, illetőleg előzetesen ráfényképezett alakok lehetnek, míg a b-k egy vidikonnal (mini-resistron) felvett és rövidre zárt (ipari távolbalátás módján) két katódsugárcsövön vannak megjelentetve.

Mint említettük a fenti, réssel letapogató eljárás nem az igazi alakfelismerési mód. Első ízben SCHUTKOWSZKY (1928) mutatott rá a közvetlen alakfedési módszerre. A raktári betűszkéma egyszerűen az olvasandó nyomtatott betű negatívja, s az egyezés ráfektetéssel történik oly módon, hogyha a fekete betű képe kitölti a szkéma nyílását, akkor teljes sötétség áll be és a fotocella relét kapcsol. SCHUTKOWSZKY első szabadalmában annyi lencse szerepelt, ahány betű és mindegyiknek sötétkamrájában egy-egy rögzített betűnegatív volt (diapozitív alakban), egy-egy fotocellával A javított szabadalomban filmszalagon levő negatív betűsor pergett le egyetlen fotocella előtt, s egy szinkron forgó kapcsolókar abban az állásban kapcsolta az írógépbillentyűt, amikor a pillanatnyi elsötétülés beállt. A rendszernek csak egy hibája volt, hogy például a *h* betű kiváltotta az *n*-t is (*89a ábra*). E sorok írója szerint egy módja a hiba kiküszöbölésének például a következő (*89b ábra*) ; két katódsugárcsövön közvetlenül az olvasandó betű pozitív és negatív képét állítjuk elő és vetítjük lencséjével a forgó tárkorongra, mely mögött két fotocella áll hídkapcsolásban. Csak pontos egyezéskor kaphatunk zérus hídáramot; ha *h* betű képe esik az *n* raktári szkémájára, akkor az 1 cellája ugyan egész sötét lesz, de a 2 tár-szkémán a *h* szára világítva áll ki, és a hídfeszültség nem lesz zérus. Még a forgó korong is mellőzhető, ugyanis a két katódsugárcső adta képfelületet kirakhatjuk fekete papírból kivágott ábrákkal, és a felismerendő betű képét transzponáló mozgásokkal vihetjük végig valamennyi tárolt szkémán.



89. ábra

b) A beszédírógép

Egyik leghasznosabb, gyakorlatilag igen nagy fontosságú automata a mikrofon által felvett beszédet gépírásban visszaadó gép. E gépnek elsősorban a beszédhangokat kell gépi úton felismernie. Minthogy a beszédhangok mechanikus úton keletkeznek (hangszalagok, szájnyílás, gége, száj, orr üregei stb.), fizikai jellemzőik is kikutathatók. Így állította össze KEMPELEN billentyűs beszélőgépét mechanikai csattogókból, fúvókból stb. A folytonos hangokat (magánhangzók, az m, n, l, r típusúak és a „fúvósak": f, th, s stb.) bizonyos jellemző magasságú hangok (formánsok) jellemzik, a „robbanókat" (t, k, p stb.), ezenkívül a burkoló görbéjük is; s így rezonátor körök kombinációival mechanikusan fajtázhatunk. A megvalósítás eddig sikerül is. Azonban sokféle befolyás nehezíti meg már magának a beszédhangnak felismerését is. Ezek a következők:

1. Idegen zörejek hozzáadódnak a formáns-akkordhoz, s az egyes formánsokhoz adódva a köztük levő erősségviszonyt elrontják, vagy közé-

jük helyezkedve mint látszólagos formáns egy másik beszédhangra jellemző formáns-akkordot képezhetnek, s így hamis kimenőt kapcsolnak.

2. Az emberek nem tiszta hangzókat, hanem igen gyakran átmeneti hangokat ejtenek ki (például sokan *e* helyett *i*-t vagy valamilyen e kettő közötti hangot mondanak, s így nem csoda, hogy a gép is hibásan kapcsol).

3. A magánhangzók jóval erősebbek a mássalhangzóknál, s így az erősítők rendszerint csak az előbbieket adják vissza. Márpedig mint egyes írások (egyiptomi, héber, arab stb.) mutatják, a szavak jellemzőit a mássalhangzók hordozzák (a fenti írások ugyanis a magánhangzókat alig tüntetik fel, mivel e nyelvekben a mássalhangzók alkotják a szó állandó vázát). Az eddigi gépeken a mássalhangzókra elég kevés gondot fordítottak. Ide a magánhangzók leválasztása után pl. amplitúdóhatárolással újabb erősítő szükséges. Igen könnyű kiegészíteni a kihagyott magánhangzókat bármely mondatban (pl. ,,N.ncs.n r.zs. t.v.s n.lk.l'').

Ezek alapján az egyszerű hangzóról betűre való transzformálás gépezetéhez a következő kiegészítéseket javasoljuk: az érthetetlen vagy hamisan értett beérkező hangzókat kibernetikailag kell pótolni (információelméleti interpoláció-, illetőleg extrapolációval). ,,Érthetetlen'' hang az, amelynek van ugyan dinamikája és formáns-akkordja, de vagy nem kapcsol kimenő betűt, vagy többet is kapcsol egyszerre. ,,Hamisan értett'' hang az, amely más betűt kapcsol, mint amely hozzá tartozik. Az első kiegészítés az, hogy egész beérkező szavakat *rejtvénynek* tekintünk, s a rejtvénymegfejtés módjára (természetesen elektronikusan, milliomod másodpercek alatt) megfejtjük az érthetetlen szót. Ehhez természetesen elsősorban az illető nyelv teljes szótárára van szükség. Ha például a gép a következő hangzósort tudja felvenni: ,,ma.om'', melyben a középső betű a fenti definíció szerint érthetetlen, akkor két megoldást kell legépelnie: 1. majom, 2. malom, mert a szótárban e két szó felel meg a részleges koincidencia révén (ha a ragozott szókat figyelmen kívül hagyjuk). A részleges fedés megvalósítása igen egyszerűen eszközölhető, ha egyébként a teljes koincidencia berendezés megvan, például a raktári szkémán a hibás hang helyének letakarásával vagy elektronikus kiiktatásával. Ugyanez az eljárás több önállósággal fordul elő, ha például hibás kiejtés révén más betű jelentkezik ; pl. ,,teröl'', ekkor nem talál megfelelő szót a tárban, a gép először ,,egyhibásnak'' feltételezi a szót, és kiiktat sorjában minden betűt egyenként a fent vázolt módon. A szótáron ötszöri végigfuttatással így megkapja a ,,töröl'' és ,,terel'' megoldásokat. Ezek közül aztán elég ha az olvasó választ. Túl sokat kívánnánk a géptől, ha teljes értelmi korrekciót igényelnénk. Ekkor ugyanis szótáron kívül ,,egnéma tár'' is kellene, hogy a sematikus paradoxonokat is kiküszöbölhessük. Itt már nem elég *ismernie* a szókat, *értenie* is kell. Természetesen ez kolosszális tárat s programozást igényel, ami egyelőre nem lehet gyakorlati cél.

További meg nem felelés esetén ,,kéthibásnak'' veheti a szót, s az előbbi ,,teröl'' már lehet ,,terep'' vagy ,,pöröl'' is. A redundancia folytán a gyakorlatban sokszor gyorsabb a megfejtés, például a hatbetűs angol ,,oy. . . .'' négy érthetetlen betű dacára is csak ,,oyster'' (osztriga) lehet, s ezt a szótárkereső ki is adja, minden valószínűségi eljárás mellőzésével.

Ide kell sorolnunk a következő kétértelműségeket is: az angol ,,to, two, too" egyformán hangzik, de szemantikája szerint másképp kell leírni.

A második módszer csak az elsővel csatlakozva vezethető be. Ha egyszer valakinek hangtorzításai dacára *kitaláltuk* a fenti módon, hogy *a* helyett rövid *á*-t szokott ejteni, akkor félretehetjük már a rejtvényfejtést, mert az *á* helyett azonnal *a*-kat kapcsoltathatunk, ha megfelelő *tanuló* berendezésünk van, amely csak az illető egyéb jellemzői jelenlétekor végzi ezt az átkapcsolást (jellemzők nélkül is megtörténhetik az átkapcsolás, egyszerű próbakapcsolással). Ugyanez az eljárás megy végbe az optikai alakfelismeréskor, ahol pl. a betűtípusok olvasásakor is teljesen új alakot kell megtanulni; az antiqua, a fraktúr, az írott kis *a* betű és a hozzájuk tartozó nagy *A* hat, egymástól egészen eltérő alak, amelyeket külön kell megtanulni, mert a köztük való rokonság nemcsak alaktani, hanem írásfejlődéstani (történelmi).

Megemlítjük még a telefonálásban használt ,,betűző" szavakat *(14. táblázat)*, amelyeknek kezdőbetűje jelzi a jelzendő betűt.

14. táblázat

Nemzetközi ,,betűző" szavak

	új	1951	háborús	régi	angol	magyar
A	Alfa	Alfa	Able	Amsterdam	Andrew	Anna
B	Bravo	Bravo	Baker	Baltimore	Benjamin	Bálint
C	Charlie	Coca	Charlie	Casablanca	Charlie	Cecil
D	Delta	Delta	Dog	Danemark	David	Dénes
E	Echo	Echo	Easy	Edison	Edward	Endre/Éva
F	Foxtrot	Foxtrot	Fox	Florida	Frederick	Ferenc
G	Golf	Golf	George	Gallipoli	George	Gábor
H	Hotel	Hotel	How	Havana	Harry	Hugó
I	India	India	Item	Italia	Isaac	Irén
J	Juliet	Juliet	Jig	Jerusalem	Jack	János
K	Kilo	Kilo	King	Kilogramme	King	Károly
L	Lima	Lima	Love	Liverpool	Lucy	Lajos
M	Mike	Metro	Mike	Madagascar	Mary	Mária
N	November	Nectar	Nan	New-York	Nellie	Nóra
O	Oscar	Oscar	Oboe	Oslo	Oliver	Olga
P	Papa	Papa	Peter	Paris	Peter	Péter
Q	Quebec	Quebec	Queen	Quebec	Queenie	Qu
R	Romeo	Romeo	Roger	Roma	Robert	Robert
S	Sierra	Sierra	Sugar	Santiago	Sugar	Sándor
T	Tango	Tango	Tare	Tripoli	Tommy	Tibor
U	Uniform	Union	Uncle	Upsala	Uncle	Ulrik
V	Victor	Victor	Victor	Valencia	Vistory	Vince
W	Whisky	Whisky	William	Washington	William	
X	X-ray	Extra	X-Ray	Xantippe	Xmas	Iksz
Y	Yankee	Yankee	Yoke	Yokohama	Yellow	Ipszilon
Z	Zulu	Zulu	Zebra	Zurich	Zebra	Zoltán

A szavakat sajnos még a fenti elvek ismerete előtt választották meg, s ezért sok is a tévedés. Így pl. a magyar Dénes, Péter összetéveszthető gyenge hangerőnél, mert csak a magánhangzók érkeznek meg érthetően; és ugyanígy rossz az Endre, Ferenc, de legszerencsétlenebb a Gábor, János, Károly, Sándor csoport. Ilyeneket találunk a külföldiekben is: Casablanca, Madagaskar stb. A betűző szót könnyebben értjük meg, mint a fent vázolt általános, váratlan szókat, mert nem kell az egész szótárat végig pergetnünk, hanem csak a fenti huszonhat előre megtanult szóval kell összehasonlítást végeznünk.

A gép megvalósítására vonatkozó első kísérlet talán FLOWERS cikke,* amely még a formáns elmélet előtti időkből származik. Bár HELMHOLTZ már helyesen ítélte meg a hangzók jellemzőit (személytől független felhangmagasság), pl. az *ü* a 2000 rezgésszám körüli hang nélkül nem ejthető ki, a fenti cikk szerzője a hangzók burkoló görbéiben sejtette a jellemzőket. Ma tudjuk, hogy ez csak a ,,robbanó'' hangzókra áll, és fel is kell használnunk, mert pl. a *t* és *sz* spektruma (illetőleg formáns-akkordja) csaknem egyforma. E sorok írója 1930 táján német szabadalmat akart bejelenteni, de az akkori ,,tudományos'' szabadalom-jogászi felfogás szerint visszautasították azzal, hogy ,,beszédírógép elvileg lehetetlen''. Miután sok, mások ilyen irányú bejelentése elől is merev fölénnyel elzárkóztak, a kibernetikában meglehetősen lemaradtak. Minthogy hazánk szolgailag a németeket másolta, itt sem lehetett bejelenteni, csak jóval később (N-3557, 1940). E megoldást azért nem kell részletesen ismertetni, mert elvében teljesen egyezik a mai külföldi megoldásokkal, ezeknél azonban egyszerűbb. Természetes, hogy szintén a formáns-elméleten alapszik, csakhogy a spektrum előállítására nem elektromos szűrőket használ, hanem optikai rácsot. Ha egy sűrűségírásos hangosfilm szalagot optikai rács módjára világítunk át fehér fénnyel, akkor mély hang esetén rövid színképet, magas hang esetén pedig (mikor a rács sűrű) széles színképet kapunk. Ha most egyetlen színképvonallal pl. a Hg kiszűrt zöld vonalával világítjuk át a filmet, akkor sűrűbb rács esetén a zöld vonal a középtől kijjebb helyezkedik el, mint ritkább rács esetében. E zöld vonal tehát úgy viselkedik, mint egy frekvencia-mérő mutatója! Ha a hang a filmszalagon több szinuszrezgés összege, akkor több zöld vonal jelentkezik. Így válnak láthatóvá azonnal a formánsok. A kísérleti összeállítás, melyben a filmszalagot átvilágított kapilláris hullámok helyettesítették, mindezt igazolta, s a további építést csupán a második világháború akadályozta meg. A formáns akkordokat ezután amplitúdó függetlenné kell tenni és forgótáron alkalmas módon átvetíteni, hogy koincidenciával kiváltsák a megfelelő hangzókat, melyek azután konverteren (kodográf) át fonetikusról helyesen írottá lakulnak.

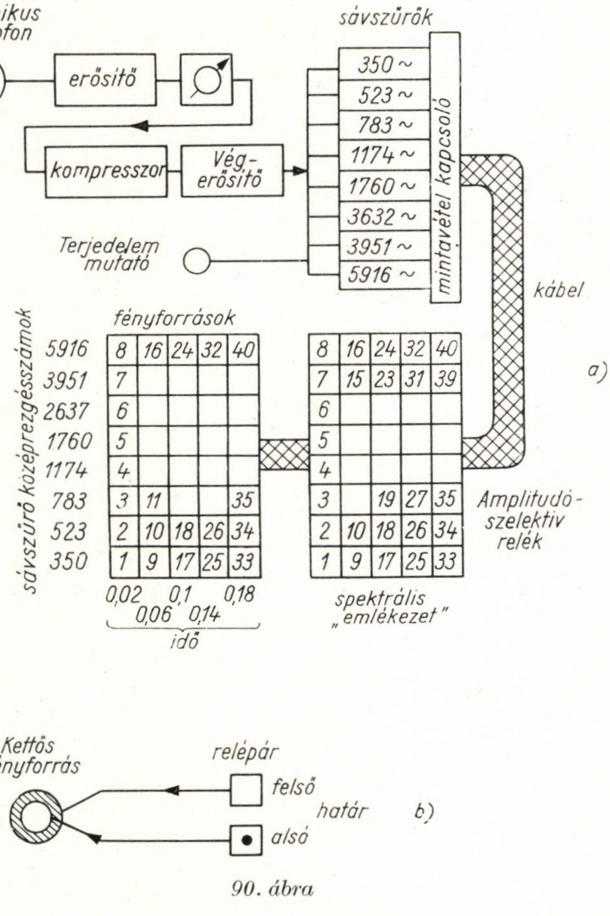
A közelmúlt kísérletei** csak abban térnek el, hogy szakaszos elektromos szűrőkkel dolgoznak, és többi részletükben is kvantált, digitális módon. A legújabb ez idő szerinti kivitelezett gépet*** itt kivonatosan ismertetjük.

A gép tervezője a *szótag*-írást tartja leggazdaságosabbnak, ama kompromisszum alapján, hogy a közvetlen *hang*-betű átírással (angolban 36 hangzó) csak 95% szóérthetőség érhető el, a szótagírással (1000 raktári

* FLOWERS: The true nature of speech. Proc. Am. Inst. El. Eng. 1916. Feb. 183.
** Például: D. B. FRY — P. DENES: Proc. of the third London Symposium on Inform. Theor. 1955.
*** WIREN—STUBBS: Phonetic typewriter. J. Ac. Soc. Am. 1956. Nov. 1072.

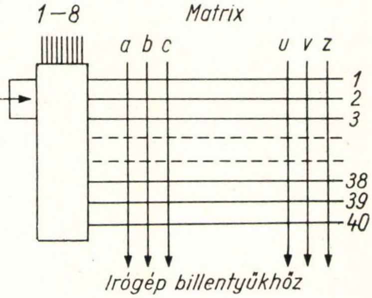
szótagszkéma) már 100% a szóérthetőség, míg *szó*írással (10 000 raktári szó) már a helyesírás is egylépésben van megoldva.

A szótagot időben öt részre osztja (0,04 sec közökben) egy mintavétel kapcsoló *(90. ábra)* oly módon, hogy az amplitúdó-szelektív relék közül először az 1—8 számúakat kapcsolja, 0,04 másodperc múlva a 9—16-ot és így tovább. A ,,spektrális emlékezet''-táblán egy-egy vízszintes sorban elhelyezett önzáró relék egy szűrővel állnak kapcsolatban. A dinamikus



90. ábra

mikrofon által felvett beszéd állítható erősítőn fut át, a ,,kompresszor'' egy visszacsatolt erősítő, amely mindig egyenlő átlag erősségnívón tartja az áthaladó beszédáramot úgy, hogy akár hangos a beszéd, akár halk, az amplitúdók abszolút értéke mindig ugyanaz marad, s így az amplitúdó-szelektív relék egyszer s mindenkorra beállíthatók. A csupán ellenőrzésre szolgáló ,,fényforrás''-táblán vannak elhelyezve a relék által kapcsolt lámpák (az 1-es relé az 1-es lámpát kapcsolja, s így tovább). A lámpák függélyes sorai tehát egy-egy hangzó spektrumát, formánsait árulják el, s így maximálisan öt hangból álló szótag hangzóinak jellemzői jelentkeznek egyidejűleg a táblán. (Ha minden egyes relé helyett egy relépárt építünk be, melyek egyike a másikon beállított amplitudónál valamivel kisebb amplitúdó-értékre kapcsol, akkor a velük kapcsolatban álló lámpapár akkor jelzi az előírt amplitúdó jelenlétét, ha az alsó reléhez kapcsolt lámpa ég, a felsőé nem; *90b ábra.)* A szótag betűit a matrixtábla révén nyerjük *(91. ábra).* Az eddig síkban elhelyezett 40 adatot egy függélyes vonalban helyezzük el (nem kell egyebet tennünk, mint a lámpafeszültségeket a vízszintes matrixhuzalokba vezetni). Az írógépbillentyűket működtető elektromágnesek vezetékeit a függélyes abc . . . huzalokhoz kapcsoljuk, s a megfelelő keresztezés pontokat kristály diódákkal kötjük össze. A gép, szerzőjének vallomása alapján, csak tíz szótagra épült, és a beszélő személy hangjára előzetesen be kell állítani. Olvasóink is azonnal észreveszik, hogy a ,,robbanó'' hangzókat e gép nem ismerheti fel.

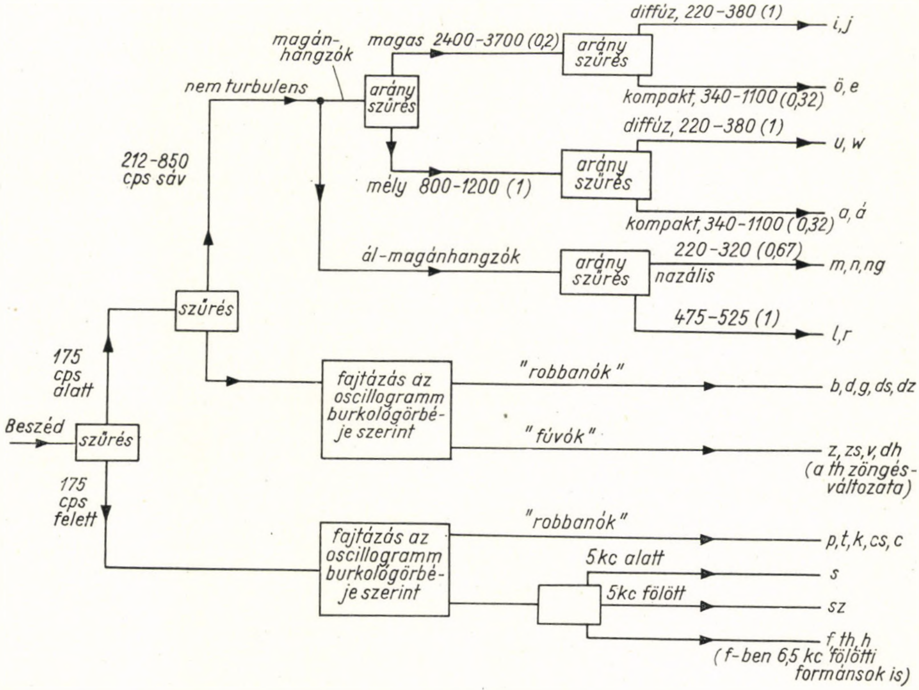


91. ábra

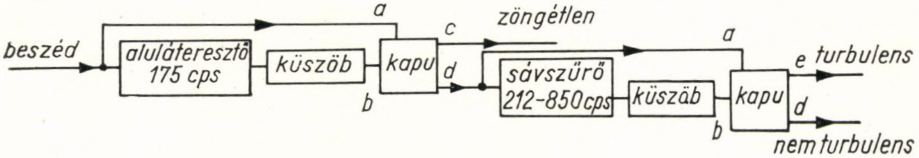
A lényegen nem változtat, ha matrix helyett *biner* elosztóval válogatjuk szét formánsaink szerint a hangzókat. Ilyen elosztóba aztán a ,,robbanó'' hangzók fajtázója (szelektora) is egyöntetűen beiktatható. Ilyen rendszer az alábbi:* A berezgési időveszteség kikerülése céljából a rezgésszámot (frekvencia) a nulla-átmenetek közti időtartam mérésével állapítják meg, ugyanis egy teljes szinuszhullám kétszer is metszi az időtengelyt, s lassúbb rezgés esetében két metszés között több idő telik el, mint gyorsnál. A ,,szűrő'' szerkezete a következő: a beérkező mikrofon-feszültség amplitudóit erősítés után csaknem a 0 vonalig levágják határolóval, s az így kapott lapos négyszögimpulzusokat újra erősítik, differenciálják, s a kapott impulzus indít egy fűrészgenerátort. Ennek feszültsége a következő impulzusig emelkedik. Egy küszöb-bemenetű erősítő (rácselőfeszültség negatívra állítva) csak bizonyos feszültséghatáron felül veszi fel az érkező folyamatot, tehát egy bizonyos határfrekvenciát állíthatunk be. Ez az erősítő már működteti azt a relét, amely a ,,zöngés'' hangzókat (illetőleg a magánhangzókat, s, zs, b, d, g stb.-t) kapcsolja. A ,,robbanók'' elválasztása a ,,fúvók''-tól a 0 átmenetek megszámlálásával megy végbe. Ha az első negyven hullám nagy amplitudójú, akkor robbanó hang van jelen, a fúvók első negyven hulláma ugyanis elhanyagolhatóan gyenge a lassú berezgés folytán. Egy számláló a 0 átmeneti impulzusokat megszámlálja, s ez időtartam alatt kondenzátort tölt. Ha ez bizonyos beállított feszültséget elér, egy küszöbbemenetű erősítő révén kapcsolja a robbanóhangzók reléjét. A teljes biner hangzófajtázó tömbvázlatát a *92. ábra* mutatja.

* Wiren Stubbs: Electronic binary selection system for phone classification.

A magánhangzók szétválasztása a következőképpen történik: két sávszűrő dolgozik párhuzamosan, mindegyik egyenirányítja a rajta átmenő formánscsoportot, így átlagamplitudót kap, ezt a súlyozó értékkel szorozza (két beállított erősítő révén), azután kivonja egymásból (Philbrick-egységen át), s most vagy pozitív, vagy negatív előjelű kimenő feszültséget szolgáltat, amely szerint egy relé két csoport közt választ. Látjuk, hogy a formánsok viszonya alapján megy végbe a fajtázás. Természetesen a



92. ábra



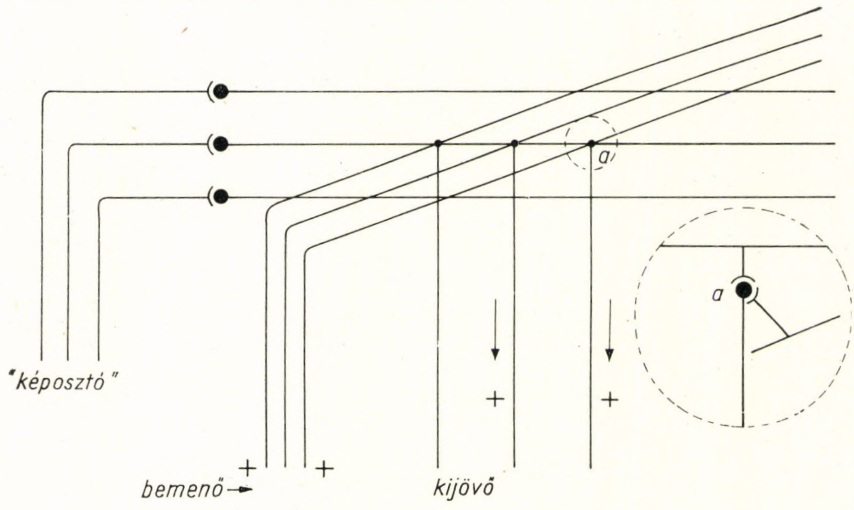
a b	c d
1 0	1 0
1 1	0 1
0 0	0 0
~~0 1~~	lehetetlen

93. ábra

kivitelben az egész rendszer szükségképpen zsúfolva van logikai kapcsolókapukkal is, pl. a föntebb említett zöngés-turbulens fajtázó (tömbvázlata a *93. ábrán*). A teljes kapcsolási rajzok tekintetében utalunk az eredeti cikkre.

*c) Kísérlet a hangközök és látási alakzatok felismerésének magyarázatára, idealizált neuronhálózatokkal**

Az alábbiak érdekesen mutatják, hogy idealizált neuronokból hogyan lehet fiziológiai működéseket utánzó automatákat tervezni. Minthogy a már ismertetett idealizált neuronok úgy működnek, mint a jelfogók, az



94. ábra

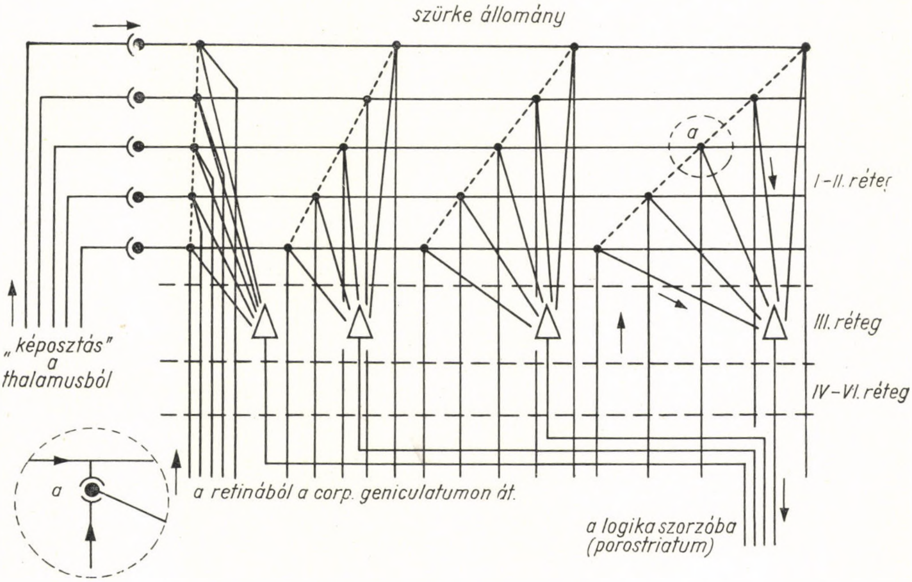
ilyen tervezés műszaki feladat. (A fenti és a fentiekhez hasonló feladatokat azonban egyéb műszaki eszközökkel sokszor egyszerűbben és tökéletesebben meg tudjuk oldani.) A relényelvnek ui. holt utat kell megtennie, míg az érintkezés beáll, s tömegtehetetlensége folytán ez időbe kerül. Ezt az időt tekintjük szinaptikus késésnek, hozzászámítva a tekercs önindukciójából eredő késést is. A gátló idegvégződést szakító érintkezővel helyettesíthetjük, és késését további önindukció beiktatásával állítjuk be.

A közlemény két hipotétikus idegszerkezetet ismertet, az egyik hangközöket ismer fel, tekintet nélkül a hangmagasságra, a másik látási idomokat, tekintet nélkül azok nagyságára.

A fül bazilár-membránjából kiinduló ideghálózat végállomása az agykéreg *Heschl*-girusában van, a hangok magasság szerint e tekervény hosszában (2—3 cm hosszban) helyezkednek el. Az oktávoknak egyenlő

* W. Pitts, W. S. McCulloch: How we know universals. The perception of auditory and visual forms. Bulletin of Math. Biophys. Vol 9. 1947. 127.

fizikai távolságok felelnek meg, mint a zongorán. Az anatómiai szerkezetből a *94.* szkematikus *ábra* szerkeszthető. A hangközt képező két hallott hang a ferde vonalakkal jelölt axonokon érkezik a bazilár-membrán érzővégződéseiből (a *94. ábrán* ++-tel jelölve), és elhalad egy „képosztó" neuronhálózat előtt oly módon, hogy minden keresztezéspontban a jobboldali kis ábrán feltüntetett konjunkcióskapcsolással csatlakozik egy-egy lefelé vezető kimenő neuronhoz. A „képosztó" itt fel nem tüntetett egysége az axonokat gyors egymásutánban gerjeszti úgy, hogy a bemenő hangköz végigsétál az egész skálán, mindig megmaradva ugyanazon hangköznek,



95. ábra

míg végre rátalál ama kimenő csoportra, amelyhez a megfelelő reakció, pl. „terc" szimbóluma (pl. a „terc" szó kimondása), kapcsolva van. Megjegyezzük, hogy ez Helmholtz konzonancia-elmélete alapján takarékosabban megoldható, mert a hangközöknek fizikai jellemzői vannak, melyek minden fekvésben invariánsak.

A távolbalátás (televízió) technikájából kölcsönzött „képosztás" célja valójában egészen más, mint a fenti alkalmazás. A képelemeket a technikában azért telegrafáljuk meg egymásután, mert egyenlőre még csak egyhuzalon (egycsatornán) tudunk reális összeköttetést biztosítani. A bazilármembrán és agykéreg, valamint a recehártya és agykéreg közt annyi neuron fut, ahány érzékelőelemünk van, itt tehát nincs szükség képosztásra. Mint említettük, a szerzők más célra állították be a képosztást.

Az alaklátás hipotétikus szerkezetét hasonló módon képzeli el szerzője. Az ideghálózat jelentékenyen egyszerűsített vázlatát mutatja a *95. ábra*. Ismét a baloldalon találjuk a képosztóhálózat bemenő neuronjait, amelyekhez csatlakoznak a retinából érkező axonok. Minden csatlakozás a bal alsó sarokban levő kis ábra szerinti konjunkciós csatlakozás szerint van kiképezve. Ha pl. egy képosztóneuron van ingerületben, akkor egy ábra, amely a rajta levő négy (csupán példaképp ilyen kevés!) csatlakozást ingerli, a négy, háromszöggel jelölt kimenő neuront egyszerre gerjeszti. A háromszögű sejtek szinapszisai diszjunktívek, míg axonjaik egy közös sejten (a rajzon nincs feltüntetve) konjunktíve kapcsolódnak. Ha az ábra nagyobb, akkor a képosztás során egy másik neuron bekapcsolásakor fog kongruenciába kerülni.

Meg kell jegyeznünk, hogy ily módon: 1. elforgatott helyzetű alakok nem ismerhetők fel, 2. nem a kellő helyen levő alak nem ismerhető fel, 3. csak geometriailag hasonló alakok ismerhetők fel, 4. az alakok színét, megvilágítását stb. nem veszi tekintetbe.

A kellő helyre való állítást a szerzők a szemgolyó mozgatásával oldják meg, a szemtengely beállítási zéruspontja az alak elemi pontjainak a fényerősségek alapján vett súlypontja. Tény az, hogy ha valamit alaposan szemügyre veszünk, szemünkkel „ráállunk" a tárgyra, azonban a recehártya minden részlet-területe képes alakfelismerésre a látásélességtől függő pontossággal, amit pillanatfénnyel (pl. villámfény) való kísérletek és megfigyelések igazolnak.

Közelfekvő az a gondolat, hogy kioperált neuronokból építsünk modelleket, átültetve élő szövetekbe. Talán a legelső ilyen „gép" volt Galvani viharjelző „machinilája" (Luigi Galvani: De viribus electricitatis in motu musculari. 1792, második kiadás): a béka levágott hátsólábait fémhorogra akasztva egy befőttes üvegbe akasztotta úgy, hogy a lábak talpa az üveg fenekére szórt sörétréteghez ért. A sörétrétegből huzal vezetett a kútba, a horog viszont az ereszcsatornával (ill. valamivel magasabban fekvő huzallal) volt fémesen összekötve. A lábpár egészen távoli villámok esetén is összerándult. Idegállomány átültetésével élő állatba ma sokan folytatnak kísérleteket.

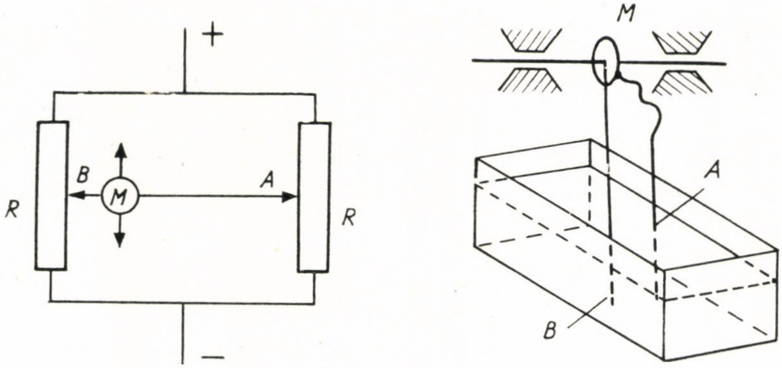
3.3. KÜLVILÁGGAL LEADÓ KAPCSOLATBAN ÁLLÓ EGYSÉGEK (EFFEKTOROKAT HELYETTESÍTŐK)

Ide sorolhatjuk ama gépeket, amelyek az élőlények mozgató végkészülékeikkel, illetőleg az azokat közvetlenül vezérlő idegszerkezetekkel hasonlíthatók össze.

Talán legrégibb ezek között a *Pollák—Virágh*-féle gyorstávíró, mint korát messze túlhaladó kibernetikus szerkezet. Lyukszalag vezérléssel tökéletes emberi író-mozgásokat végzett. A fénysugármozgató-rendszer egy csupán egypontú megtámasztással ellátott apró tükör volt, melyet két telefonmágnes mozgatott két tengely körül. A szalagon több sor lyuk és a lyukak eltérő átmérője módot nyújtott a lyukak által szabaddá tett kontaktusok áramainak erősség és tartam tekintetében való vezérlésére. A fénysugár által leírt kalligrafikus kézírást fényképen kellett rögzíteni. Talán a fényképezéssel járó munkatöbblet keltett ellene ellenszenvet, s így nem tudott elterjedni. Ma a *xerográfiával* e hiányt ki lehetne küszöbölni.

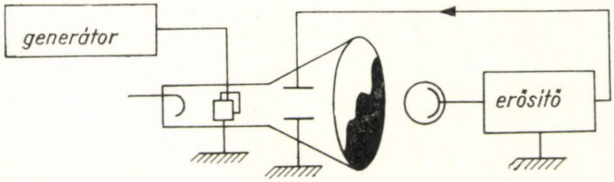
Ide kell sorolnunk a *mozgásmásolók* kimenő szerkezeteit. A mozgásmásolás már szorosan a regulátortechnikába tartozik. Az elektronikában a mozgásmásolás elemi szerkezete az egyszerű katódkövető kapcsolás; első hidraulikus megoldás volt a *Farcot*-tolattyú.

Igen régi az önműködő *Wheatstone*-híd *(96. ábra)*, ahol a *B* csúszó kontaktus ,,önként'' beáll az *A* magasságába, ha az *M* motor mozgatja, mert akkor áll meg, amikor a motor árammentes. Könnyen összeállítható ez egy elektrolit-vályúval, mely helyettesíti mindkét csúszó ellenállást, ha a *B* helyett egy nyitott iskolai mérőműszer mutatóját lógatjuk a folyadékba. Ha az *A* huzalt a folyadékba mártva a vályú hosszában mozgatjuk, a *B* mutató követni fogja. Ma már a távmérés technikája foglalkozik e területtel. A hidraulikus mozgásmásolókkal felszerelt fogó-



96. ábra
Önműködő Wheatstone-híd

kart a kezelő egészkaros kesztyűbe bújtatott karjaival kezeli. E kesztyűn vannak az ízületek másoló-adói, míg a táv-műkar elektromos huzalos összeköttetésben állván vele, másolja a kezelő mozgásait. Távolbalátóval kapcsolatban (e rendszer tulajdonképp már a következő csoportba tartozik) káros sugárzású anyagokkal való kísérletekhez, atommáglyák kezeléséhez használják. Eleinte egyszerű mechanikus átvivő karokat alkalmaztak, a kezelőt védő vastag betonfal másik oldalán levő laboratóriummal való összeköttetés céljaira. Ilyen, de mechanikus áttételű másolókart legelőször Kempelen Farkas készített. A sakkozógépben elbújtatott játékos karja szíjakkal egy karvázhoz volt erősítve, s e váz mechanikai kapcsolatban volt a báb karjával. Mozgásmásoló *járógépre* is találunk szabadalmi bejelentést (Nemes T.: 138.734 — 1944. november 11.). A gépben függő utas lépéseit például elektronikusan vezérelt sűrítettlég mozgásmásoló viszi át nagy léptékben a gép két igen hosszú lábára. ,,Függvény''-másoló a *fotoformer* (illetőleg *monoformer*, ha beépített alaklemeze van). Ha egy közönséges katódsugárcső villódzó lapjára kívül fekete papírból kivágott ,,görbét'' helyezünk *(97. ábra)*, és a sugarat vízszintes irányban az idővel arányosan kitérítjük, akkor a sugár függélyes irányban követni fogja a görbét, ha egy fotocellával a fényfolt fényét felvesszük és erősítőn át a függélyes lemezekre vezetjük úgy, hogy a foltot lefelé mozgassa. Ha ugyanis a fényfolt a fekete papír alá esik, az erősítés és így a folt lefelé való mozgása is megszűnik. Analóg gépek bevált univerzális függvényképzőjeként használják. Egy ollóval bármilyen függvényt kiszabhatunk, akár próbálkozással is.



97. ábra

Távolbalátó adóknál a legpontosabb lineáris fűrészfeszültséget gerjeszthetjük vele. A főfeltétel csupán az, hogy a felhasznált vízszintes terelőfeszültség lefolyása (egy nem lineáris fűrészgenerátorból) minden periódusban szigorúan azonos maradjon.

3.4. RECEPTOROS, EFFEKTOROS KÉSZÜLÉKEK, MELYEKBEN A KÖZPONTI VEZÉRLÉST EMBER VÉGZI

E csoportba soroljuk ama berendezéseket, amelyeknek bemenői az élőlények érzékszerveihez, kimenői pedig az élőlények mozgató szerveihez hasonlíthatók, de a vezérlést ember végzi.

Ide tartozik a már említett atom-laboratórium kezelő összeállítás (távolbalátó mint receptor, és mozgásmásoló-fogó mint effektor), a roch-madár típusú televíziós rakéták és torpedók,* mélytenger-kutató távolbalátó berendezések; az ipari távolbalátás azon fajai, ahol a felvevő kamra távolról mozgatható is stb.

A harmincas években Dr. Okolicsányi Ferenc egy táv-gépember találmányát jelentette be, amely elvben ugyanaz, mint a már említett atom-kezelő, azzal az eltéréssel, hogy járni is kell tudnia és a kapcsolat a kezelővel dróttalan összeköttetésű, a roch-madáréhoz hasonlóan. Ilyen például a rádióval vezérelt sakkozógép: a kezelője kis rádió zseb-adóval a gép mellett tartózkodik és a válaszlépés impulzus sorát észrevétlenül megtáviratozza a gépnek, melynek más feladata nincs, mint az impulzussor által meghatározott lépést megtenni.

Ide tartoznak még, mint műszakilag leggondosabban kidolgozott szerkezetek, a haditechnika *fény-* vagy *radar-kévében vezetett* torpedói és rakétái is stb.

* Kapcsolási rajzát lásd Nemes T.: A távolbalátás haladásáról. Mérnöki Továbbképző Intézet. G 91. 1949.

3.5. ÖNÁLLÓ AUTOMATÁK

3.51. ÁLLATMODELLEK

A történelmi időkben előállított, élőlényeket ábrázoló mozgó bábok célja volt a külső megjelenésben való utánzás.

A rugó feltalálása után különösen nagyobb órákon alkalmaztak egyszerűbb mozgásokat végző bábokat, később megkezdődött a rugóra járó állat- és emberalakú játékok divatja, pl. úszó hattyú, mely úszás közben jobbra-balra nézeget stb. Mindezek primitív szerkezetek, melyek egyetlen munkaprogramot darálnak le, s így vezérlés tekintetében megegyeznek pl. egy olyan automata-szerszámgéppel, mely egyetlen munkafolyamatra van beállítva.

Új korszakot nyitottak meg ama játékok, amelyek programja változtatható volt, pl. DROZ író-babája, amellyel tetszés szerinti szöveget lehetett íratni, mert kettős (alárendelt) vezérműve volt: az egyes betűk számára külön-külön munkaciklusok, és a betűk kiválasztására való ,,felsőbb'' sorrendkapcsoló. JAQUARDnak (1801) éppen e haszontalanságoknak látszó készülékek adták meg az ötletet korszakalkotó lyukkártyás szövőgépéhez. Mai napig is a lyukkártya az a gépelem, amely ,,pillanatok alatt előállítható vezérmű''-nek nevezhető. Lemezes kintornák, betűszedőgépek, statisztikai gépek, elektronikus számológépek egyik legfontosabb gépeleme.

A mai állatmodellek célja az agyi és idegrendszeri egyszerűbb folyamatokat elektronikus úton utánozni, illetőleg rekonstruálni annak tanulmányozása céljából, hogy mennyire válnak be az idegrendszer felépítésében és működésében tett elméleti feltételezéseink és egyszerűsítéseink.

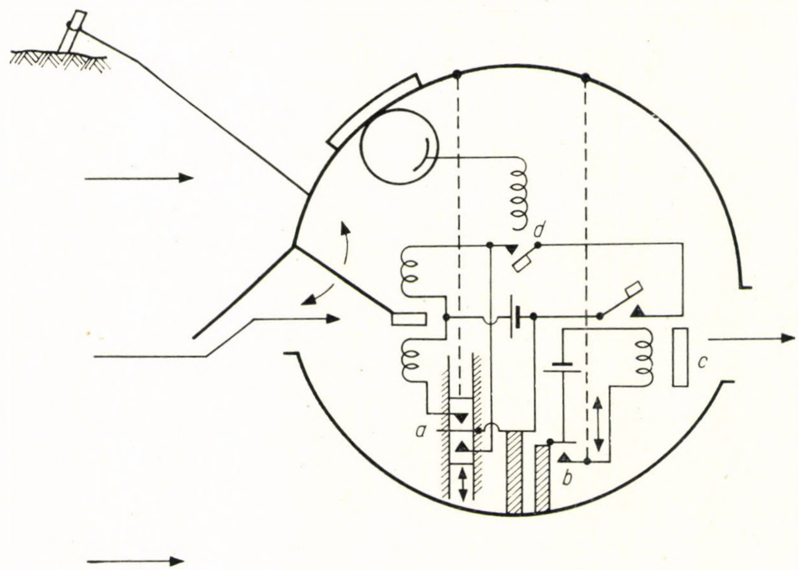
A primitívebb életjelenségekben a ,,negatív visszacsatolás''-nak jelentős szerepe van, de nem áll az, hogy a negatív visszacsatolás (ellencsatolás) az élőlényeket a géptől elválasztó jellemző tulajdonság. A technikában a negatív visszacsatolás régóta ismeretes. Igazi felfedezője: J. WATT 1784-ben szabadalmaztatta a gőzgépregulátort. Az izodróm regulátort (mely a terheléstől független nulla ponttal bír) már 1893-ban ismertette STODOLA.

Ha gőzgép az előírtnál *gyorsabban* jár, a regulátor golyói a centrifugális erő folytán távolodnak a tengelytől s egy karszerkezet révén a dugattyúhoz haladó gőzvezető cső szelepét *szűkíti*, tehát negatíve csatol vissza. A ,,visszacsatolás'' elnevezés a rádiótechnikából lett közismert. A negatív visszacsatolás szerepel pl. a lepkeféléknek a fény felé való repülésében (fototaxis), a zsákmány megcélozásában (pl. a béka v. kaméleon szemmel követi a legyet), az összetettebb alakban való megjelenésének példája a majom, amikor kezével a gyümölcs után nyúl és megfogja. Az iparban és haditechnikában a mechanikai, hidraulikus elektronikus szervós szabályozók igen nagy tökéletességet értek el, pl. egy önműködő üteget vezérlő radarberendezés, mely eltalál egy repülőgépet, jó analógiája a fenti majom-példának.

Az állatmodelleken azonban nemcsak a negatív visszacsatolás jelenségei, hanem pl. a *keresési folyamatok* és az *ösztönös működések* is tanulmányozhatók. Gépi hasonlat itt az automata-távbeszélő központ lehet, ahol a *híváskereső* és a *sorrendkapcsoló* működése tölti be az említett folyamat szerepét.

*a) Lux „véglény”-e**

E készülék egy egysejtű véglény egyszerűsített modellje, mely rövid zárt gumikörhengerből áll, és két nyílása van *(98. ábra)*. Szerzője az egészet lassan folyó patakba horgonyozva képzeli úgy, hogy függélyes tengellyel úszik félig vízbe süllyedve. Ha sok víz hatol belé (tehát túl sok a víz által hozott szerves táplálék, amelyet a véglény jelképesen megeszik), akkor a gumiburok kiduzzad, és a szaggatott vonallal jelzett rúd az *a*-nál



98. ábra
Lux „véglénye”

levő alsó kontaktust zárja, és a szájnak kinevezett ajtócska szűkíti a nyílást; kevés víz esetén az *a*-nál levő felső kontaktus zárása révén nyitja (negatív visszacsatolás). E „véglény” már a *Pavlov*-féle reflex szerint „tanulni”, „emlékezni” is tudott: ha nagyobb vízhullám jön, mely veszélyesen kitágítja a gumiburkot, akkor a *b* kontaktus is zár, és a *c* mágnes kontaktusa révén az ajtócska csukódik (l. feltétlen reflex), de minthogy a *c* jóideig permanens marad, ha ez időben a fotocella (melynek teljes áramkörét nem rajzoltuk fel) a nagy hullámot a víz csillogásáról (!) észreveszi, már előre zárja *d* kontaktus révén az ajtócskát (l. feltételes reflex).

E régi modellt azért említettük meg, mert az alább felsorolt mai állatmodellek nem a legelsők e téren, s főleg annyiban újak, hogy erősítőcsöveik vannak. Hangsúlyozzuk, hogy gyárak, hajók, repülőgépek, stb. kibernetikai berendezései sokkal magasabbrendű „kibernetikai” munkát végeznek.

* F. Lux: Gehirn und Seele. 1920.

b) *Philips-kutya*

Az előbbi után időrendben a *Philips*-„kutya" következik, mint az állati negatív visszacsatolás (pontosabban a fototaxis) modellje (1920–1930 közt), de már jóval előtte is voltak hasonló találmányok valamely fényforrás felé való automatikus irányításra. A „házőrző" *Philips*-kutya két fotocellája közül az, amelyik fényt kapott, egy motort kapcsolt, amely a fény felé fordította a kutyát, amíg mind a két cella fényt nem kapott. Ekkor mindkét motor elindult, most már egyenesen a fényforrás felé hajtva a kutyát. Ha a fényerő egy felső határértéket ért el, a motorok kikapcsolódtak, és egy további relé üvöltő szirénát kapcsolt be.

Ma ugyanilyen elven működő, de korszerűen kidolgozott berendezések nagy utasszállító hajókon az iránytű állást másolják át két fotocellával a kormányműre; meteorológiai rakétát tartanak a napra irányítva, többféle hadirakétában is szerepelnek. Csillagvizsgáló távcsövön is alkalmazzák pontos csillagkövetésre. Ide tartozik a németek hangtorpedója, amelyet a második világháborúban egy ideig nagy sikerrel alkalmaztak angol hadihajók ellen. A hajócsavar zúgását követte a két mikrofonnal felszerelt torpedó, amely követő görbében haladva a hajókat mindig hátulról találta el. Az angolok ellenszerül zurboló-gépet vontattak a hajó után, amelynek hangja magához vonzotta a torpedókat, s ezzel vége lett a sikereknek. Az említett szerkezetek annyira világosan negatív visszacsatolású szabályzóművek, hogy bővebb tárgyalásuk szempontjából a regulátortechnikára utalunk.

c) *Machina speculatrix**

A pozitív és negatív fototazis bemutatására alkalmas kis készülék mindössze két erősítőcsövet, két motort, egy fotocellát, egy érintőkontaktust és két telepet tartalmaz. A kis kocsi (tricikli) három kereke közül a két hátsó szabadon fut, az elsőt a *99. ábra* szerint az M motor hajtja, és függélyes kormánytengelyét az L motor forgatja mindig ugyanazon értelemben. A működés ezekután a kapcsolási rajz *(100. ábra)* és az alábbi táblázat alapján könnyen követhető. A táblázatban 1 bekapcsolt, 0 kikapcsolt állapotot jelent, r_1, r_2 relét, L és M a motorokat jelenti. Az 1/2 állásban az izzólámpa mint gyengítőellenállás van bekapcsolva.

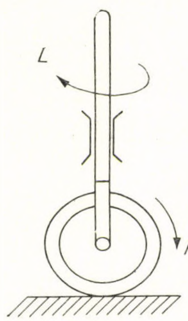
	r_1	r_2	L	M
Sötét	1	0	1	1/2
Fény	1	1	0	1
Vakítás	0	1	1/2	1
Érintés	1	0	1	1/2

Az *Elmer*- (elektro-mechanical robot) és *Elsie*- (external light sensitive, internal-ext. stab.) jelű teknősbéka alakú kis kocsik állandóan kis köröket írnak le, s ezáltal mereven beépített fotocellájuk minden irányba fordul. Ha fényforrással kerülnek szembe, a kormány kiegyenesedik, úgy, hogy a fény felé haladnak. Ha a fény túl erős, akkor hátat fordítanak a fényforrásnak, tehát távolodnak tőle. Ha akadályba ütköznek, a bura (a gép harang alakú burkolata) egy kontaktust (T) zár, mely az erősítő két csövét multivibrátorrá köti egy időre, s ezalatt nem reagál a fényre, hanem meg-

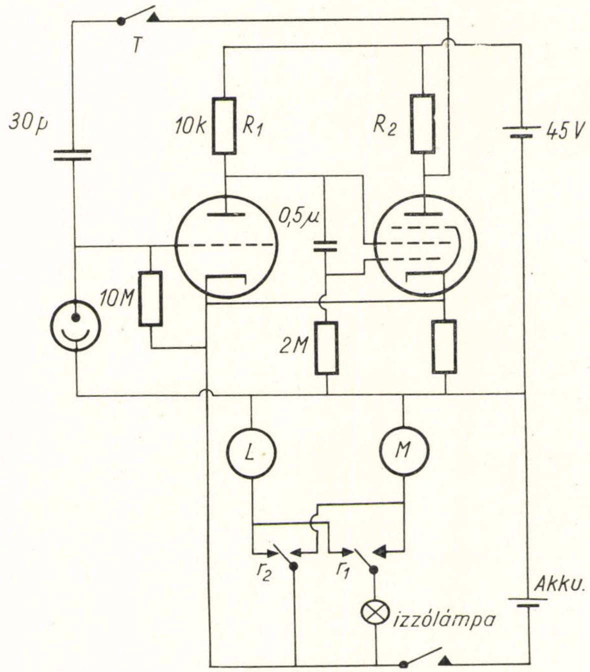
* W. Grey Walter: An imitation of life. Scientific Am. 1950. May. 43.

fordul és újra keresőmozgásokat végez. A trióda sötétben áram alatt van, gyenge fénynél gyengül az árama, de a pentódáé erősödik. Erős fénynél a trióda árammentes. Ha a *T* érintkezőt sötét állapotban zárjuk, a trióda erős pozitív feszültséglökést kap, s a pentóda egy időre árammentes lesz.

Két lámpa közt egy ilyen készülék ide-oda vándorló mozgást végez. Ha a saját akkumulátorának töltése kifogyóban van, akkor az erős fény felé is közeledik, s ez felhasználható arra, hogy saját töltőállomásához „hazatérjen”. Ha magára a készülékre teszünk lámpát, és eléje tükröt



99. ábra



100. ábra

állítunk, a tükör felé közeledik, majd távolodik; bonyolult mozgásokat végez két, lámpával felszerelt készülék egymás körül. A készülék érdekessége az, hogy talán először alkalmazza az értelmes működéseket is jellemző „keresés” folyamatot.

*d) Machina docilis**

*A Pavlov-féle reflex** modellszerű ábrázolása*

A gép az egyik legfontosabb reflexfejlődési jelenséget utánozza.

Reflexen értjük a szervezetnek a külső vagy belső környezet bármely ingerére adott válaszát. Ekkor az egyik szerv ingerülete egy másik szervbe terjed át, neuronok, neuronok láncolata, illetőleg hálózata révén. A világrahozott (veleszületett) reflexeket *feltétlen reflex*eknek nevezzük. Egyéb elnevezések: nem kondicionális, faji (fajra jellemző, régebben „kleronom”) reflex. Ilyen reflexek teszik lehetővé, hogy pl. a

* W. GREY WALTER: Scientific American. 1951. Aug. 60.

** T. P. PAVLOV: Előadások a nagyagyféltekék működéséről. Szerk.: K. M. Bikov, ford.: Mezei Á., Ak. Kiadó 1953. — ASZRATJAN: Pavlov tanítása a magasabbrendű idegtevékenységről. M. Sz. Társ. 1951.

tojásból kikelt kiscsirke azonnal járni tud és csőrével kapkod pl. a földreterített újság betűi után. Ezzel szemben az olyan reflexeket, amelyeket az egyén az élete során tanul, *feltételes* (szerzett, kondicionális, egyéni, régebben „embiontikus") *reflex*eknek nevezzük. A kiscsibe hamarosan megtanulja a valóságos, térbeli ehető magvakat a nem ehető foltoktól megkülönböztetni. Mármost feltételes reflex oly módon képezhető két feltétlenből, hogy az őket keltő ingereket egyidőben adjuk. Ha pl. egy fehér lapot mutatunk a kutyának az etetéssel egyidőben, s e kísérletet néhányszor ismételjük, elég csupán a fehér lapot felmutatni, hogy a kutya nyálelválasztása meginduljon. A lap felmutatása a *közömbös* (neutrális) *inger*, mely ez esetben semleges jellegű figyelő orientációs, tájékozódási mozgásokat vált ki. Ez is feltétlen reflex, csupán a feltételes reflexben való elhelyezkedése miatt kell külön elnevezést adnunk, a tájékozódási reflex a feltételes reflex első tagja. *Specifikus reflex* viszont az a feltétlen reflex, amelynek reakciója érvényesül a feltételes reflexben, tehát a feltételes reflex második illetőleg utolsó tagja. A fenti példában a reakció a kutya nyálkiválasztása az étel evésére, illetőleg meglátására működésbe jövő feltétlen reflex hatására. Általában közömbös ingerül a csupán figyelő reflexeket kiváltó ingerek választhatók, míg specifikus ingerül életfontosságú reakciókat kiváltó feltétlen reflexek alkalmasak. PAVLOV igen szerencsésen választotta specifikus reflexül a kutya nyálkiválasztási reakciót adó reflexeit, mert itt a kiválasztott nyálmennyiséggel a reflex *erőssége* is egyszerűen mérhető. E tanulásfolyamatra a neutrális és specifikus reflexek kapcsolódására, a következő fontosabb megállapításokat sorolhatjuk fel:

1. Bármely közömbös inger feltételes reflexet kiváltó ingerré fejleszthető.

2. A tájékozódási reflexet keltő ingert (közömbös inger, *N*) a specifikus reflexet keltő ingerrel (specifikus inger, *S*) egyidőben kell adni, vagy az *N*-et röviddel az *S* előtt. Az *S után* adott *N* a kísérlet bármily nagyszámú ismétlésére sem fejleszt olyan feltételes reflexet, amelyen *S* reakciója érvényesül.

3. *Nyom-* vagy *emlékképreflex* keletkezik, ha az *N* után bizonyos hosszabb, de mindig ugyanazon tartamú időköz múlva adjuk az *S*-et.

4. Az *N* és *S* együttes ismétlése erősíti a feltételes reflexet.

5. A kész feltételes reflexre új feltételes reflex építhető, ez a *másodlagos feltételes reflex*.

6. *Feltétlen* (veleszületett) *gátlások*. Bizonyos ingerek a feltételes reflexek kialakulását gátolják. Ezek: *a)* Külső gátlások: erős, rövid, nem „betervezett" közömbös ingerek, vagy huzamos fájdalomkeltő ingerek. *b)* Határonfelüli gátlások: „betervezett" inger, mely azonban túlerős. [A reflex képzése akkor megy legsikeresebben, ha minden zavaró körülményt a kísérletek (tanítás) tartama alatt távol tartunk. A külvilág megszokott ingereitől erősen eltérő *S* esetében (pl. PAVLOV egyik kutyájánál villanycsengő hangja) *egyetlen* kísérlet elég volt a feltételes reflex kialakítására.]

7. *Feltételes* (belső, tanult) *gátlások*:

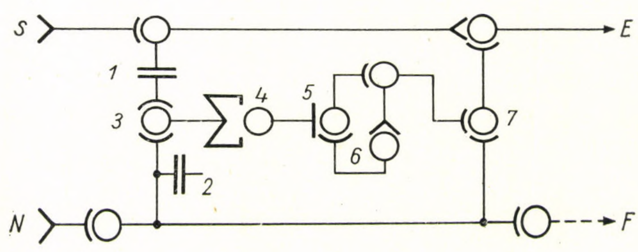
a) Kioltási gátlás áll elő, ha az *N*-et adjuk, de *S*-t nem adunk vele együtt. E kísérlet többszörös ismétlésével a már meglevő feltételes reflex tökéletesen kioltható. Néhány óra múlva ez a „blokád" elmúlik és visszaáll az eredeti feltételes reflex. Azonban hosszabb ideig (napok, hetek, hónapok) ismételve e gátlást, hatása állandósul.

b) Differenciáló gátlás: Összetett (egyidejű vagy egymás utáni ingerekből álló) közömbös inger elemei közül bármelyik és bármennyi kioltható. Ha pl. sípjelre képeztünk ki nyálelválasztást, akkor kezdetben a kutya minden magasságú hangra nyálelválasztással reagál, de ha a nem kívánt magasságú hangokat kioltási gátlással töröljük, egész élesen elhatárolt magasságú sípjelre finomíthatjuk az ingert. Ugyanígy képezhetjük ki a legkülönfélébb ingerek egyidejű vagy egymás utáni variációit feltételes ingerré.

c) Késleltető gátlás. Ha adunk egy huzamosabb, pl. 1 perces időtartamú ingert, és azt akarjuk, hogy nyálfolyás csak ennek vége felé következzen be, akkor először az inger elején (közvetlen beállása után) adunk enni a kutyának, aztán fokozatosan később s később adjuk az ételt, míg végre elérjük az inger végén adott étellel, hogy az egész inger tartama alatt nincs nyálfolyás, csupán a végén.

d) Szűkebb értelemben vett feltételes gátlás : pl. csengőjelre nyálelválasztási reakciót képezünk ki, majd ugyanezt tesszük berregő jelre. Ha most a csengőjellel egyidejűleg fényingert is adunk, de enni nem adunk többször ismételve, akkor nemcsak ezen ingerpár (csengő és fény) feltételes reflexe oltódik ki, hanem a fénnyel együtt adott berregő sem ad reakciót.

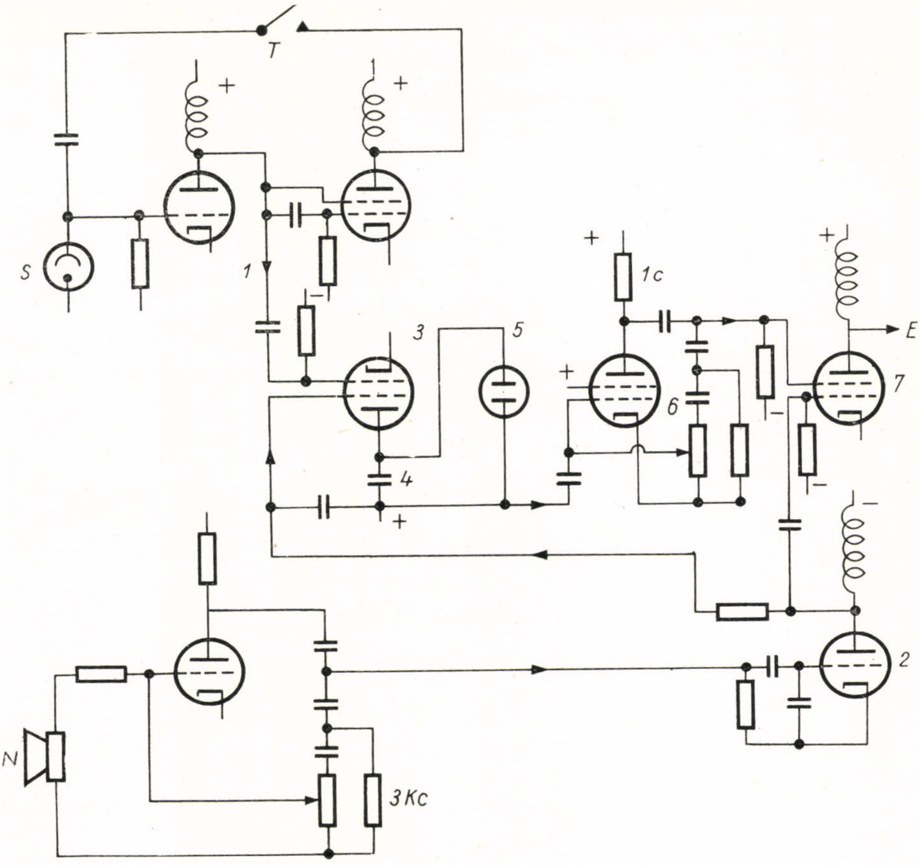
A *machina docilis* (vagy *Cora* : Conditional Reflex Automation), mely külalakra nézve megegyezik a *machina speculatrix*szal, a következőt tudja: Ha valamilyen előre megállapított hangjelet adunk, pl. sípba fújunk mindannyiszor, amikor keresés közben a gép a lámpa felé indul, bizonyos számú ismétlés után a gép a sípjel pillanatában fennálló irányban fog haladni akkor is, ha a lámpát kioltva tartjuk. Ezáltal a sípjellel kormányozhatjuk a gépet tetszés szerinti irányban. Bizonyos előre beállított idő múltán a gép e képessége megszűnik, „elfelejti, amit tanult". Ha a sípot olyankor fújjuk meg, amikor a gép akadályt érint, és ezt többször ismételjük, ez esetben elérjük, hogy a gép a síp „hallatára" már előre megteszi a hátráló és kitérő mozgásokat anélkül, hogy az akadályt érintenie kellene. A felejtési folyamat itt is olyan, mint az előbbi esetben. A *101. ábra* a fenti folya-



101. ábra

matokat véghezvivő hipotétikus neuronhálózatot (a kondenzátorokhoz hasonló elemek valóban vannak pl. az elektromos halakban: vékony izomrétegek kocsonyaszerű szigetelő rétegekkel) mutat, *S* a specifikus inger (jelen esetben a fény vagy érintés), *N* pedig a semleges inger (jelen esetben a síp hangja). A 3 konjunkció-kapcsolású neuron csak akkor vezet ingerületet a 4 felé, ha *S* és *N* egyidőben jelennek meg, helyesebben, ha az 1 kondenzátor által differenciált jel, azaz a jel homlokából alakult éles, pillanatnyi impulzusnak a 2 párhuzamosan kapcsolt kondenzátor által elnyújtott jelnek vannak időben egymást fedő részei. (A cikk szerzője tehát megenged hosszabb-rövidebb tartamú idegimpulzusokat. Ez megengedhető, ha valahol közben burkolófeszültségképző elemeket iktat be.) A 3-ból érkező impulzusokat a 4 felhalmozza, és egy bizonyos mennyiségi küszöb átlépésekor az 5 diszjunktív kapcsolású sejt impulzust kap, és így a 6 neuronkörben önmagát fenntartó impulzussorozat indul meg (pozitív visszacsatolás), miáltal a 7 konjunkcióskapcsolású sejt egyik szinapszisa állandóan ingerelve van. Ez állapotban elég csak az *N* ingert adni, hogy az *F* (figyelőmozgások) *és* a specifikus reflex *E* izomreakciói meginduljanak. A 6 körben elképzelt „csillapítás" bizonyos idő múltán megszünteti az impulzussort. Hogy az *N* időben az *S* előtt is megjelenhessen, alkalmazandó a 2 jelnyújtó, és hogy *S* előbbjövése hatástalan legyen, szükséges a jelrövidítő 1 alkalmazása. A *102. ábra* a kivitelezett kapcsolást mutatja. Az *S* fotocella feszültsége az 1 trióda (erősítő) rácsát vezérelve a 3 pentóda (egyszerűsített vázlatban) vezérrácsát befolyásolja, míg fékrácsa az

N mikrofonból kap közvetve feszültséget. Az *N* triódájának anódköréről való pozitív visszacsatolás révén élesen hangolható csillapított rezgőkör van pl. 3000 rezgésre mp-ként beállítva. A jelnyújtó párhuzamos kondenzátorok egyike a 2 trióda rácsához, a másik a 3 cső rácsához van kötve. A 3 pentóda csak akkor ad anódáramot, ha mindkét említett rácsa pozitív



102. ábra

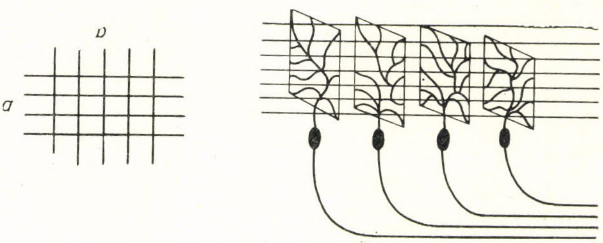
irányú feszültséget kap. Ennek ismételt bekövetkezése révén a 4 kondenzátor annyira megtelik, hogy kisül az 5 ködfénylámpán át. A keletkező pozitív feszültséglökés a 6 igen kis csillapítású rezgőkört működésbe hozza, s ez hosszú ideig rezgő állapotban marad, a 7 pentóda fékrácsára pozitív irányú feszültséget adva. E pentóda csak akkor ad anódáramot (tehát az *E* végkészüléket, motort csak akkor működteti), ha a vezérrácsa is pozitív irányú feszültséget kap a 2 triódából.

Ámost láthatjuk, hogy a *Cora* működése korántsem ábrázolja hűen a feltételes reflex kialakulási folyamatát, aminthogy szerzője szerint is csupán egy egyszerű megközelítésről van szó. Ha az s ítélet azt jelenti, hogy „S ingert adunk", és az n ítélet jelentése „N ingert adunk", akkor

	a *Cora* esetében:	élő állat esetében:
$ns \equiv$	feltételes reflex képződése megindul,	feltételes reflex képzése megindul
$n\bar{s} \equiv$	felejtés indul meg,	kioltási gátlás indul meg,
$\bar{n}s \equiv$	„ „ „	hosszú feledésfolyamat indul meg,
$\bar{n}\bar{s} \equiv$	„ „ „	„ „ „ „

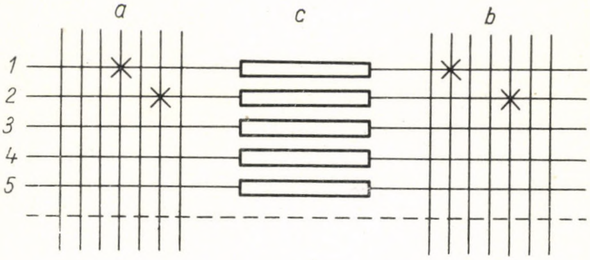
A *machina docilis* továbbfejlesztése érdekében a kioltási gátlást előnyös volna tekintetbe venni, mert ez a főeszköze bonyolult, összetett reflexek képzésének. ÁNGYÁN ANDRÁS 1958-ban kivitelezett modellje (megkonstruálását VARJU LÁSZLÓ végezte) a külső gátlások ábrázolására is különös tekintettel volt.

A fenti összehasonlítás mutatja, hogy az élő állat esetében az $n\bar{s}$-nek fontos szerepe van. Lehetetlen észre nem vennünk a hasonlóságot az ember viselkedésével az „enumeráció szimplex" alkalmazásakor: ha az okra csak egyszer is nem következik be az okozat, kezdünk nem hinni a kettő közti kapcsolatban, s csak azért nem mondunk le róla mindjárt, mert zavaró okok fellléptére is számíthattunk. Amikor a *Mill—Stuart*-féle szabályokat betartva megfigyelünk vagy kísérletezünk, mi is új ok-okozatpárt veszünk fel (tanulunk), a természetből ugyancsak az *ns*-el leírt folyamat erősíti a tanulandó dolgot, míg $n\bar{s}$ gyengíti, s eszközünk a nem oda tartozó okok eliminálására analóg a differenciáló gátlások alkalmazásával.



103. ábra

A *Cora* csak egyetlen feltételes reflex kialakulásának bemutatására volt tervezve. Az élő állatban természetesen sok ilyen reflex kialakulására van lehetőség. Minden semleges reflexnek kapcsolódhatónak kell lennie minden specifikussal. Ennek szép anatómiai példája a kisagy *Pukinje*-sejtjeinek hálózata, ahol a szinapszisok az *a* axonok és a sejtek dendritei között állnak elő. Elektromos analogonja (legprimitívebb kivitelben) a hírközléstechnikában ismert dugasztábla *(103. ábra)*, ahol az *a* huzal bármelyike kapcsolható a *b* huzalok bármelyikével, ha a keresztezéspontok helyén lyukakat képzelünk, melyek által a huzalok, illetőleg fémszalagok az ábra síkjára merőleges fémdugaszokkal vezetőleg összeköthetők. Ennél ökonomikusabb kapcsolást is elképzelhetünk *(104. ábra)* : az *a* huzalok legyenek a semleges reflexpályáknak megfelelői, a *b* huzalok a specifikusokéi, míg a *c* összekötő huzalokba iktatott oblongumok egy-egy teljes *machina docilis* kapcsolást tartalmaznak (mutatis mutandis). Egy különálló sorozó vezérmű is szükséges, amely minden már lefoglalt *c* után a következőt kapcsolja be a felírt számok sorrendjében. Az x-ek ama helyeket jelölik, ahol valamelyik a huzal a soron levő c-vel kapcsolódik, s ennek olyankor kell megtörténnie, amikor az illető a és c feszültség alatt vannak egyidőben. A b oldalról ugyanilyen működést tételezünk fel. Természetesen az x „tanulócsatlakozás"-oknak *már az első egyidejű előforduláskor* szilárdan kötődniük kell s visszabillenniük nem szabad. E módon nm számú tanulópont (x) és nm számú c készülék helyett csupán $(n+m)k$ tanulópont és k darab c készülék szükséges egy olyan állatmodellhez, amely n számú a huzallal, m számú b huzallal és k számú c huzallal, ill. *machina docilis* kapcsolással rendelkezik. Az állatokban elrendezésében hasonló idegszerkezetre számíthatunk, tekintettel a biológiában általános érvényű „takarékosság elvé"-re. Így a c-nek megfelelő szerkezetekből csak annyinak kell készenlétben lenni, amennyi az állat életében előreláthatólag használatba jöhet.



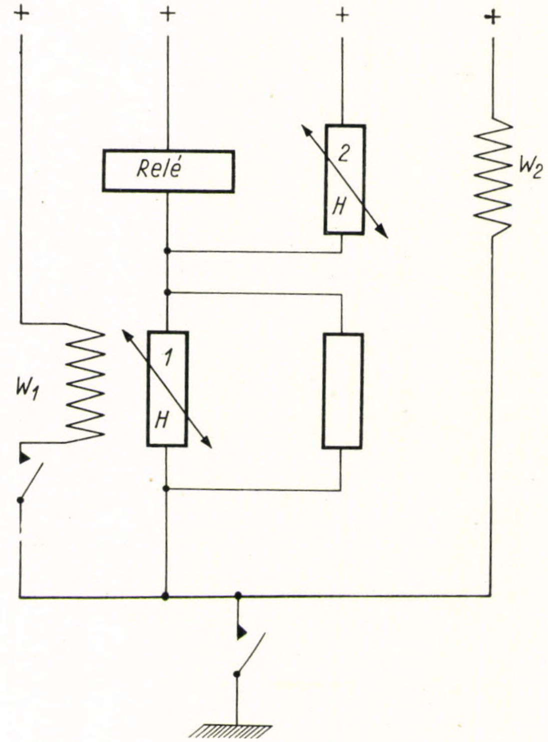
104. ábra

Meg kell még jegyeznünk, hogy a *102. ábrán* 4-gyel jelzett hipotétikus gyűjtősejt talán el is kerülhető ama meggondolások alapján, hogy az S és N többszörös együttes ismétlése inkább arra szolgál, hogy a sok egyidejű zavaróinger (S_i) hatása alatt eleinte keletkező sok $s_i n$ hamis kapcsolat kiküszöbölődjék, lehetőséget adva az $s_i n$ találkozásoknak mint hathatós kioltási gátlásoknak. Erre mutat az is, hogy a kísérletek körülményeiből kifolyólag a feltételes reflexek kiképzéséhez szükséges ismétlések száma igen különböző.

*e) A bécsi „műteknős"**

E készülék az előbbinek egy változata. Mint szigorlati terv szerepelt a bécsi műegyetemen. Nem sokban tér el az előbbitől. A *Pavlov*-féle feltételes reflexet modellező kapcsolásnak műszaki megoldása itt más, és ennek elmélete jobban ki van dolgozva.** A kapcsolás kivitele azonban más, csőmegtakarítás szempontjából középértékképzésre hő-ellenállások vannak beiktatva, amelyek néhány percig tartják a melegedéstől megváltozott ellenállásukat. A feladat az, hogy a gép, mint a *machina docilis*, hangjelre megálljon, és hátráló, majd kitérő mozgást végezzen, mintha érintette volna az akadályt. A *105. ábrán* W_1 hevítőtekercsre közösen kerül rá az érintés és hang árama, a hang egyedül kerül a W_2-re (az érintést itt elhanyagolja), a 2 ellenállás tehát söntöli a relét és ellene hat az 1 hőellenállásnak.

* E. Eichler: Ein umweltabhängiger Automat. Radiotechnik. 1955 5/6, 173.
** Hasonló elméletről l. T. Nemes: Logical machine for recognizing class and causal relations genetically. Acta Techn. Hung. Tom. VII. fasc. 1—2. 1953, beadva 1951. 15-ik oldal, cikkében; vö. 11. ábra az osztrák cikk 4 ábrájával és szövegével.



105. ábra

*f) A szegedi „katicabogár”**

A szegedi Tudományegyetem Neveléstudományi és Lélektani Intézetében 1956-ban konstruált „Coccinella” egy katicabogár külsejű *machina docilis* (hossza 60 cm, magassága 25 cm). Két fotocellája elvben a *Philips*-kutya szerinti kapcsolásban van, tehát a gép, ha egyszer „meglátta” a lámpát, nem keresgéli tovább, hanem negatív visszacsatolással kormányoz, míg egy harmadik fotocella az egyenesen előrehajtó motort kapcsolja, ha a fényforrás a gép tengelyébe esik. A pettyek ütésre, nyomásra a gép mozdulatlanságát idézik elő, melyet halk zúgó hang kísér. Háta megsimogatására e hang megszűnik, és a gép újra elindul. Egy bizonyos magasságú síphangra a gép saját lámpái felvillannak (a figyelő reflex utánzása).

* Muszka Dániel: Kibernetikai állatmodellek. Természettudományi Közlöny 1950. július.
A készüléket szerzője az 1961. évi Budapesti Ipari Vásáron is bemutatta. A bemutatott „elektronikus katicabogár” szerzőjétől nyert információ szerint csak egyféle feltételes reflex reprodukálására alkalmas. Mivel azonban a feltételes reflexet reprodukáló készülékrész olyan egyszerű (mindössze egy elektroncsövet tartalmaz), hogy lehetőség van egy — viszonylag kisméretű — modellbe több feltételes reflexanalógia beépítésére ilyen kapcsolási sémával. (Szerkesztő)

Többféle feltételes reflex képezhető, mert a feltételes reflexképzést reprodukáló kapcsolás egyszerű (egycsöves), s így többféle volt beépíthető. A gépben csak 7 elektroncső, 3 kristálydióda, 3 fotocella, 1 mikrofon és 2 motor van beépítve. Saját telep helyett (az előbbi modellek kis akkumulátort cipeltek) a gép hajlékony zsinórt húz maga után, mely a hálózatba van kapcsolva.

Az idézett cikk említést tesz Nikolau „reflex-kutyá"-járól, Albert Dusrocq *Miso* műállatcsaládjáról, és a Szovjetunióban készült állatmodellekről.

g) A „Squee" („műmókus")

A „*Squee*" elnevezésű állatmodell* egyszerűbb ösztönműködéseket utánoz.

Az ösztön (régebbi meghatározás szerint) az idegrendszerrel bíró élőlények oly cselekvési készsége (tendenciája), amely az önfentartást illetőleg fajfentartást szolgálja. Mai meghatározás szerint az ösztön nem más, mint reflexek láncolata. Az ösztönt végrehajtó idegszerkezet több feltétlen és erre épült feltételes reflex hálózatából áll.

A *Squee* két keréken és egy csúszólapátján haladó doboz, felül vízszintes síkban forgó kettős fotocellával. Ha fehér labdát dobnak a padlóra, a gép odagurul, felveszi és a szoba egyik sarkába viszi (szerzője evvel a mókus diógyűjtését utánozza). E fészek: fémlemez a padlón, melyet ha érint, elereszti a labdát, és fordul vissza új labdát keresni. A fészek váltóáramú lámpával van megvilágítva, a sötét padló többi része pedig (tehát valójában a megfogandó labda) egyenáramú lámpával. A két fotocella (relés motorokkal) pontosan a labdához vezérli a szerkezetet úgy, hogy a labda a nyitott lapátba csúszik, ahol egy nyomókontaktust megnyomva a lapát csukódik, és a fotocellák váltóáramú erősítőre kapcsolva a *Squee*-t a fészekhez vezérlik. Kapcsolásában semmi elvi új dolog nincs, ezért ismertetését itt mellőzzük.

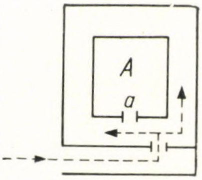
*h) A labirint-megfejtő gép*** *(„műegér")*

Tetszés szerint beállítható alumíniumlapokból 25 négyzetből álló „sakktábla" alapra összeszerelhető útvesztőbe egy háromkerekű apró kocsi helyezhető, amely egy rúdmágnest hord, s az elején kontaktust adó rézbajusza van az akadályok érzékelésére. Ez a „műegér" egy-két perc alatt megtalálja az útvesztő kijáratát. A vezérmű a labirint fenéklapjába van beépítve. Minthogy kapcsolási rajzát szerzője nem ismertette, úgy képzelhetjük, hogy a mozgatórész kétmotoros futómacskából áll, mágneses fogóval; vagy pedig az egyes négyzetek alatti elektromágnesek oly erősek, hogy az egeret egy négyzetnyire magukhoz vonzzák. A programozó negyven relés, és 50 relé szolgál emlékező tárul. Az „egér" mágnese rögzített helyjelző kontaktusok átbillentésével jelzi az aktuális helyét. Ha az egér menetközben falba ütközik, a vezérmű őt 90 fokkal elfordítja, s ezt min-

* Jensen—Koff—Szabó: Light sensitive electronic beast. Rad. Electronics. 1951. Dec. 46.

** C. E. Shannon: Probleme solving electric mouse aids in improved telephone research. Electrical Eng. 1952. Jul. 671.

den újabb ütközéskor megteszi. Ilyen szisztematikus kereséssel (sorravétellel) a közvetlen szabad útrészre rátalál. Az útvesztőknek ugyanis igen régóta ismert „népies" megoldása van: minden akadálynál mindig pl. jobbra tartani. Ezáltal a labirint egyik fala mentén haladunk, és *minden* bejáratot, elágazást sorraveszünk, ezek közt lesz tehát a helyes is. Ez az egyszerű elv csődöt mond az olyan útvesztők esetén, ahol, mint a *106. ábrán* az *A* négyszögű résznek, nincs a többi fallal érintkezése. Az adattár („emlékezőegység") révén — ha az „egér" már egyszer megtalálta a kijáratot — az „egér" akárhová tehető a labirintban, keresés nélkül kb. 15 mp alatt célbafut.



106. ábra

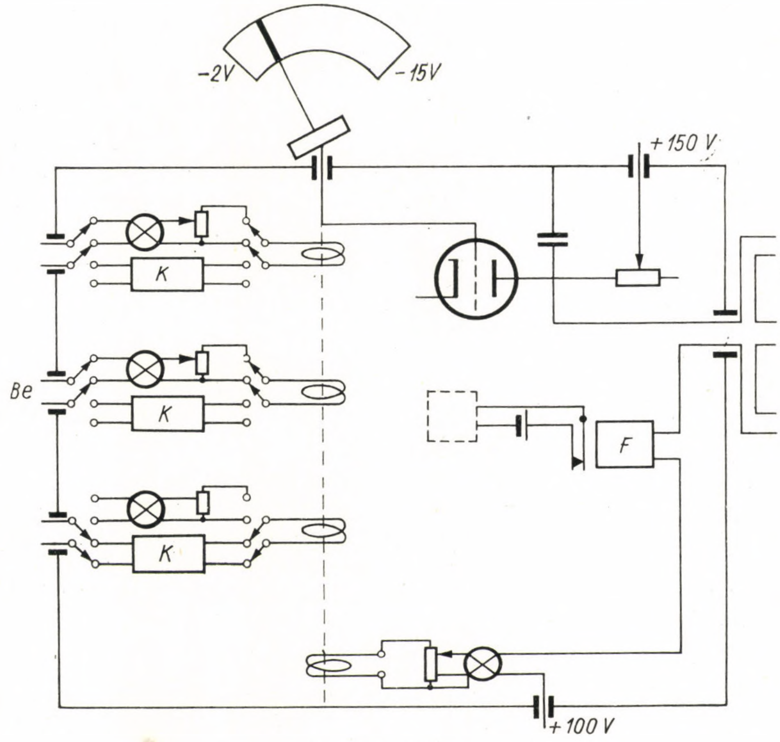
E modell egy nagyon fontos antropomorf tulajdonságot mutat be, amely az értelmes működéseknek nélkülözhetetlen kelléke és ez: a kísérlet bevált eredményének azonnali megtanulása. Ez alapvető folyamat más oldalról való bemutatásával már a Pavlov-féle reflex és a tanulógép ismertetésénél találkozunk. Itt említjük meg a közismert mechanizmus (rugós felhúzó szerkezetű) műegeret, amely futás közben az asztal szélére érve, onnan meglepően „értelmesen" visszafordul és más irányban továbbfut. Ez jó példája a feltétlen reflex *mechanikus* elemekből összeállított modelljének.

*i) A „homeostat"**

A „*homeostat*" szerzője szerint egy teljes agyvelő bonyolult működését mutatja be elvben és vázlatosan. A *homeostat* áll négy mutatós műszerből, melyek mutatói folyadékos vályúkban lengenek *(107. ábra)*. A vályúk mint potenciométerek vannak kiképezve úgy, hogy a mutatók minden helyzetükben más-más feszültséget adnak egy-egy trióda rácsára. A műszer tekercse négy részből áll. Az egyik rész áramot kap a saját triódájából, a többi három az „idegen" triódákból. Ha csak a saját triódája volna bekapcsolva, a mutató addig lengene, míg megtalálná a folyadékban azt a pontot, amely éppen azt a rácsfeszültséget szolgáltatja, amelyhez zérus anódáram tartozik, mert a műszerek nincsenek rugózva. A szűkszavú leírásból kitűnik, hogy miután a tekercs áll és a mágnes mozog, mégis van (földmágnességi) visszatérítő erő, de ez csak annyit változtat a dolgon, hogy valamely más anódáramértéknél jut a műszer nyugalomba. Eddig csak egyszerű regulátorral állunk szemben. Ha a négy műszert a fentebb jelzett módon kapcsoljuk egymáshoz, akkor mindegyik hat a többire, és a mutatók vagy bizonyos lengésjáték után nyugalomba jönnek, megállva egy-egy egyensúlyi ponton, vagy pedig mindig vadabb lengéseket végezve szüntelen verdesik a vályúk oldalát. Ha most egyes tekercsek áramát kommutáljuk, vagy az amplitúdókat kézi potenciométerekkel megváltoztatjuk, akkor találhatunk oly beállítást, melyben újra stabil helyzet áll elő, s a mutatók megállnak. E nyugalmi helyzetből kézzel kimozdítva, a mutatók újra visszatérnek az egyensúlyi helyzetbe. A rendszer még eddig is csupán egy, többszörösen visszacsatolt regulátor, melynek mozgástörvényeit jól ismerjük, s minden bonyolultsága mellett sem mond semmi újat.

* W. R. Ashby: Design for a brain. Electronic Eng. 1948. Dec. 379.

Mihelyt azonban képessé tesszük az összeállítást arra, hogy a kikereső műveletet, amit előbb kézzel végeztünk, most a gép maga csinálja meg, már az állati ösztönberendezésekhez hasonlítható szerkezetet kaptunk. E művelethez elég, ha egy bizonyos, elég nagy áramerősségnél az *F* relé bekapcsolja egy kapcsolókar léptetőmágnesét, mely a *K* dobozokban levő potenciómétereken, illetőleg kommutátorokon más értéket állít be. Ha az így bekapcsolt értékek mellett is nőnek a kilengések, az *F* relé újra tovább viszi a kapcsolókart s ez addig ismétlődik, míg egy egyensúlyi helyzet elő



107. ábra

nem áll. Miután 25 kapcsolási helyzete van mindegyik forgókarnak, 390 625 kombináció lehetséges. A kapcsolt értékek nem sorrendben vannak elosztva a kapcsoló szektorain, hanem összekeverve oly módon, hogy lehetőleg teljes „hazárd" eloszlást mutassanak.* E hazárd sorrendnek itt semmi értelme sincs, mert lehet, hogy egyik feladatban így talál hamarabb megoldást, másikban meg éppen a nagyság szerinti sorrendben.

Ami új a *homeostat* esetében,s amit a gépek terén még alig hasznosítottak, az, hogy bemutatja egy egyszerű példáját a szisztematikus keresés-

* Fisher-Yates: Statistical tables. 1943.

nek, az *önműködő kísérletezésnek*, ami magasabbrendű a negatív visszacsatolásnál.

Az állatvilágban rengeteg példáját ismerjük a negatív visszacsatolást ideiglenesen a kereséssel helyettesítő működéseknek. A kutya például, ha egyenes irányban nem tud a kerítésen átjönni, hogy ételét elérje, szalad a kerítés hosszában, míg nyílást nem talál, tehát először *távolodnia* kell a céljától [ezt a szigorú ellencsatolás (negatív visszacsatolás) meg sem engedné neki]; a csimpánzokkal való teneriffai kísérletek azt is megmutatták, hogy némely csimpánz a banánt akadályok közül rúddal akkor is maga felé tudta piszkálni, ha előbb ellenkező irányban kellett is tolnia, hogy kiszabadítsa.

A homeostat sokféle helyzetben feltalálja magát: pl. ha az egyik tekercs (vagy akár több tekercs) áramát a kézi potencióméterrel elállítjuk, a gép azonnal új egyensúlyi helyzetet keres. Ha a kimenő vagy bemenő huzalok valamelyikének polaritását felcseréljük, a gép újra talál egyensúlyi helyzetet, egy vályú polaritásának felcserélése, egy mágnes megfordítása, akadály helyezése a vályúba, két mágnes mechanikai összekötése stb. nem akadályozza meg a gépet abban, hogy ki ne keressen olyan kapcsoláskombinációt, amelyben újra egyensúlyba jut. Természetesen olyan változtatást ez a gép sem tud csinálni, amit előzetesen bele nem építettek a gépbe, azaz a forgókar csak azt tudja bekapcsolni, ami a szegmenseihez van kötve, tehát csak azon lehetőségek közül tud választani, amit rendelkezésére bocsátottunk.

A technikában a ,,keresés'' első alkalmazása talán a távbeszélőtechnika ,,híváskereső gépe'', a kibernetikai gépek közt a *machina speculatrix*ban, a *labirintmegfejtő*ben és a *sakkozógép*ben lép fel először.

3.52. JÁTÉKGÉPEK*

*a) L. Torres-Quevedo sakkozógépe***

A század elejei párizsi világkiállításon működésben bemutatott sakkozógép az első világháború kitörése miatt nem keltett feltűnést és teljesen feledésbe merült. Bármilyen egyszerű szerkezet volt is, mégis példája az oly célműködést végző gépnek, amelynek munkafolyamatát a külső behatások megváltoztatják. A gép csak egyszerű bástya végjátékot (a nem kombinatív, pozíciójáték egy példája !) tudott játszani: mindig a gépnek (világos) volt bástyája, az emberi ellenfél (sötét) csak királlyal játszott. Hibás lépésre a gép jelzést adott, és a játékos harmadik hibás lépése után nem játszott tovább. A gép mindig a legalsó sorban adta meg a mattot. A munkaprogramot nagyon egyszerűsíti, hogy a sötét király terelése ugyanazon mozgáscsoporttal történhet, mint maga a matt-adás. Közismert dolog, hogy bástyával és királlyal kétféle módon lehet beterelni

* Szerző szándékában állott itt egy rövid játék-elméleti bevezetés megírása; melyben azonban korai halála sajnos megakadályozta. A játékelmélet a matematika egyik legfiatalabb ága. Önálló elméletté NEUMANN JÁNOS magyar származású matematikus fejlesztette. Lásd: J. NEUMANN és O. MORGENSTERN: Theory of games and economic behavior. Princeton Univ. Press. 1944. *(Szerkesztő.)*

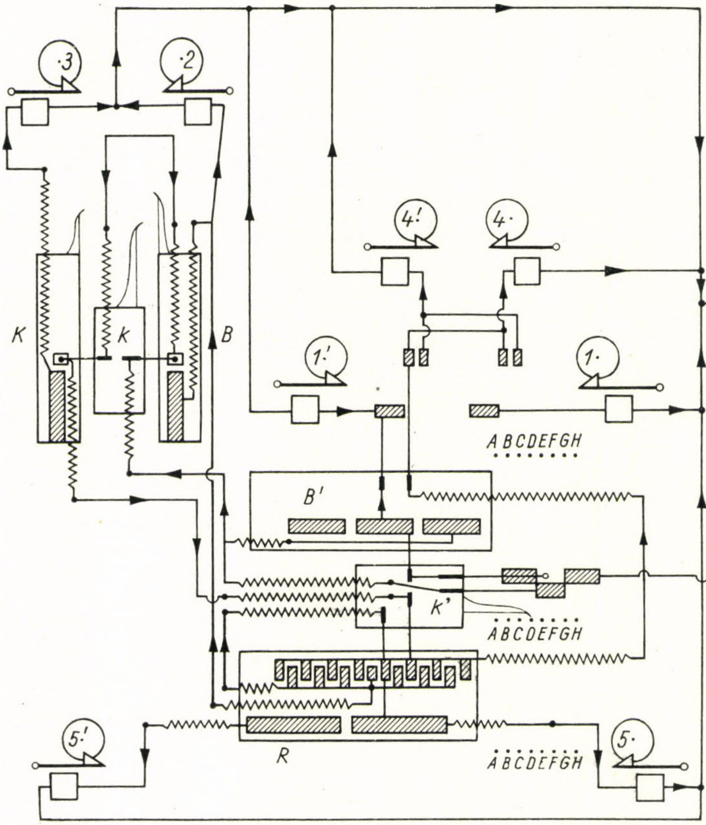
** H. VIGNERON: Les automates. La Nature. 1914. 56.

az ellenfél királyát az utolsó sorba: a királlyal védett bástyával bárhol a táblán sarkot képezni s a sarokkal követni a királyt, vagy pedig a bástyát a tábla szélére állítva sorompót képezni, és mikor az ellenfél királya oppozícióba kerül, a sorompót eggyel lejjebb húzni sakkadással. Az előbbi gyorsabban vezet mattra (bármely állásból maximálisan 16 lépéssel), az utóbbi viszont egyszerűbb, mert a módszert az utolsó sorban is folytatva, az így adott sakk egyúttal matt is. A feltaláló e módszert alkalmazta és eszerint a munkaprogram:

<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Sötét király (játékos bábja)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">A bástyával azonos zónában</td><td colspan="5">A bástyával nem azonos zónában
A függélyes táv sötét király és bástya közt:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Nagyobb egy lépésnél</td><td colspan="4">Egy mező
A függélyes táv a két király közt:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Nagyobb két lépésnél</td><td colspan="3">Két lépés
A két királyt vízszintesen elválasztó lépések száma:</td></tr>
<tr><td>Páratlan</td><td>Páros</td><td>Semmi</td></tr>
<tr><td>Bástya vízszintesen a tábla túlsó szélére fut</td><td>Bástya egy mezővel lefelé lép</td><td>Király egy mezővel lefelé lép</td><td>Bástya vízszintesen lép egy mezőt</td><td>Király egy mezővel a sötét király felé lép</td><td>Bástya egyet lefelé lép</td></tr>
<tr><td>(Ütés elleni védelem)</td><td>Közeledés</td><td>Közeledés</td><td>(Tempólépés)</td><td>(Huszártáv beállás)</td><td>(Sakk vagy matt)</td></tr>
<tr><td>1, 1'</td><td>2</td><td>3</td><td>4, 4'</td><td>5, 5'</td><td>2</td></tr>
</table>

E játékmód nagyon egyszerű, de hosszadalmas, úgyhogy pl. Ka8, Bb7, ka6 állásából, ha a játékos ismeri a gép játékmódját, kikényszerítheti, hogy a gép csak 62 lépés után adjon mattot, és így a mai játékszabályok szerint remist érhet el.

A munkaprogram alapján a gép könnyen megtervezhető. A tényleges kivitel elektromechanikus volt. A 108. ábrán baloldalt, a sakktábla fölött három, mutatóval ellátott csúszka látható, melyek a három báb függélyes helyzetét szabják meg. Az elsőt (*K*) és harmadikat (*B*) a gép mozgatja a 3 és 2 léptetővel, a második a játékosé (*k*), ezt a sötét királlyal kapcsolt mechanikus áttétellel maga a játékos mozgatja. A léptetők elektromágnessel feloldott motorok, melyek addig járnak, míg a kilincs újra meg nem akasztja. A zegzugos vonalakkal ábrázolt összeköttetések nem ellenállások, hanem csak régi módon ábrázolt rugalmas huzalspirálisok a csúszókontaktusok számának csökkentése céljából. A *k*-ból eredő két kar és a *K*- és *B*-n levő fémszektorok a *K* és *k*, valamint a *B* és *k* közti függélyes távolság szerint kapcsolják az elektromágnesek áramkörét. A világos király *K* vízszintes mozgatását hasonló módon az 5 és 5' léptetők végzik. Az *R* csúszkán levő legalsó fémszektor-pár a vízszintes mozgás irányát kapcsolja be aszerint, hogy a *k* karja melyiket érinti, a páros-páratlan lépéstávot az e fölött feltüntetett szektorsor érzékeli. A *k*' csúszkának jobbra nyúló két karja egy hármas fémszeletcsoporton csúszik. Ezek közül a külsők a ,,zónákat'' kapcsolják, azaz azt a két-három mezőnyi szélességű sávot, mely a tábla jobb és bal szélét foglalja el; amelybe ha a sötét király (*k*) belép, az ott levő világos bástya átfut a másik oldalra. A *B'* csúszkáján kívül még négy léptetőt látunk, melyek a bástya átfutását és tempólépését eszközlik a fent leírtakhoz hasonlóan. Quevedo nem adott programírást arra, amikor a világos király pl. lejjebb van a sötét királynál. Valószínű, hogy a táblát



108. ábra

kellett ilyenkor olyan kezdőhelyzetbe forgatni, hogy a világos király legyen följebb.

A gépnek mattolási eljárása ugyanaz, mint amit az olyan kezdő játékos végez, aki csak ezt a mattolási módot ismeri. Amily relatív távolságokat a gép lemér, ugyanazokra kell a gép helyébe képzelt játékosnak is ügyelnie. Az eljárás tehát a *betanult módszer* típusa, amelyben a tényleges lépések az ellenfél lépései szerint előre megállapított program (rutin) alapján változnak. A különbség csupán az, hogy míg e gépben az érzékszervek nehézkes módon közvetlenül a végrehajtó szervekhez vannak kapcsolva, addig az emberi játékos egy közbülső centrális szerven át könnyedén ,,átkapcsolhat'' egyéb betanult módszerekre is.

A fenti szerkezet egyébként jó példája annak, hogy a végjátékban a kombinatív okoskodás sokszor látszólag teljesen kimaradhat, hogy helyet adjon a pozíciójátékbeli meggondolásoknak.

A korszerűen átépített gépet 1958-ban a brüsszeli világkiállításon a feltaláló leánya bemutatta.

b) A sakkfeladvány megfejtőgép és a játszma-játszó sakkozógép

A sakkjátékban egy állást (helyzet, pozíció) jellemeznek a következők:

1. Az állás ,,diagramja'' (felrajzolt sakktábla a bábok beleírt szimbólumaival) vagy a bábok betűszimbólumainak koordinátáikkal együtt való felsorolása, pl. Kh2, Bd5, kb3 (ahol az első betű a bábot, a második kettő a koordinátáit jelöli, a világos bábokat nagy-, a sötéteket kisbetűvel jelöljük, és a gyalog *G*, illetőleg *g* betűjét is kitesszük), vagy sok báb esetén előnyösen az áttekinthető ,,forsythe'' jelölés: a tábla felső bal sarkából kiindulva vízszintesen jobbra haladva minden sort balról jobbra sorravéve a bábok betűit beírjuk, az üres mezőket csoportosan, számuk összegével írjuk fel, s a sorokat kötőjellel választjuk el egymástól, pl. a fenti Kh2, Bd5, kb3 állás forsythe-ben: 8-8-8-3B4-8-2k5-7K-8.

2. A lépés sora (világos vagy fehér következik lépésre).

3. Az állás múltja:

a) Mozdult-e a király (sáncolás lehetőségét állapítja meg).

b) Menetbeli ütés (en passant) ellenőrzése céljából feljegyzendő minden kettős lépést tevő gyalog lépése a követő lépésig.

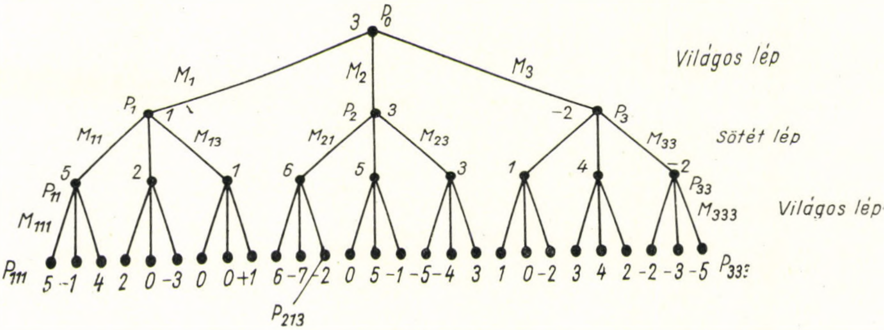
c) Megszámlálandó 50 lépésig minden megtett lépés egy-egy ütés vagy gyaloglépés után.

d) Az állás ismételt előfordulása döntetlenné teszi a játszmát (a közben tett lépések száma nem számít). A sakkszabályok háromszori előfordulást írnak elő.

A 3*d* pont kizárja azt, hogy egy játék a kölcsönös ciklikus lépéssorozatok folytán végtelenig nyúljon, a 3*c* pont pedig azzal, hogy a legutolsó ütés és gyaloglépés után 50 lépésre a játékot befejezettnek tekinti, *minden* esetre kizárja a végtelen hosszú játékot. Eszerint a leghosszabb játék 6350 lépésű. Ha felvesszük, hogy átlagosan egy állásból 30 lehetséges lépés (variáns) tehető és 40 lépéspárból (80 lépés) áll egy átlagos játék, akkor 10^{120} variánssal kell számolnunk, s ha a gép egy új állást egy $\mu\mu$sec alatt szerkeszt meg, akkor 10^{90} év alatt jut el az utolsóhoz. Egy ideális sakkozógépnek ezt el kellene végeznie, hogy 1. a játékvégződéseket kimutassa, 2. ezeket minősítse, 3. visszafelé kikeresse azokat az első lépéseket, amelyek a legjobb végződésekhez vezetnek. (Természetesen pl. világos csak akkor nyer biztosan, ha van világosnak olyan lépés-kaszkádja, amely sötét bármily lépései során mindig mattal végződik.)

A sakk és a hozzá hasonló játékok esetében ez az eljárás a gyakorlatilag igen régóta alkalmazott, ma ,,minimax'' néven tudományosan is elemzett eljárással egyező. Az értelmes játékos ugyanis felteszi, hogy ellenfele nem ostoba, és így ellenfele is a rendelkezésére álló lépések közül a neki

,,legerősebbet'' fogja választani. Tehát, hogy ne adjon ellenfelének alkalmat erre, olyan saját lépést választ, amelyhez az ellenfél legerősebb lépése is ,,gyenge'', sőt leggyengébb *(109. ábra)*. Ez a lényege a minimax eljárásnak. Tegyük föl, hogy egy előre elképzelt szinten (az ábrán a legalsó sor) *már tudjuk értékelni* az állásokat. Ha P az állás, értéke legyen $f(P)$, s ez értékeket felírjuk az állásokat jelző kövér pontok mellé. Minthogy a legalsó szint világos lépései után állt elő (legyünk a világos ,,mi''), természetesen a maximális értékű állásokat fogjuk választani minden csoportban. E maximumokat felírjuk a közvetlen felettük levő állásokhoz, mint azok $f(P)$ értékeit. Minthogy ezt a szintet az ellenfél (sötét) lépései hozzák létre, ő választ, tehát a neki legjobb állásokat választja ki. (Számára a legkisebb számértékű állások a legértékesebbek, mert a világos mattadó



109. ábra
A minimax értékelés diagramja. A számok az $f(P)$ értékei, az indexek a lépések(M), illetőleg állások (P) besorolását jelölik

állását pl. +200-zal értékelve, a sötét mattadó állást —200-zal értékeljük.) E minimumokat fölírjuk a közvetlen feljebb következő szint állásaihoz. Ezekből mi választjuk ki a maximálist és írjuk följebb. Elérve a kiindulási állást, a maximális értékű állásra vezető lépést fogjuk választani. Mindegy, hogy az ábrázolt ,,törzsfa'' milyen messzire nyúlik lefelé, a vázolt eljárás mindig ugyanaz marad. Mármost az ideális gép számára (amely akár 6350 lépésig képes kiszerkeszteni a törzsfát), csak háromféle értékelés szükséges, egy pozitív szám a világos, egy negatív a sötét által adott mattra és zérus a döntetlenre. *Ugyanilyen értékelés elégséges* a két- vagy kevéslépésű sakkfeladványokat megfejtő gépekhez, mert ezek végállásig kitervezhető játékok.

Teljes játszmák esetében azonban, mert nem tervezhetjük végig, egyéb értékelést is kell adnunk. Az emberi játékos az állások jóságát (a sakkozók általában az állásokra vezető lépést ugyanúgy minősítik, mint magát az állást) tapasztalatok és következtetések útján ítélik meg. A tapasztalatok révén való megítélést a gép számára képletbe is foglalhatjuk. Ez értékelésre SHANNON* adott előzetes, szerinte is még fejlesztésre váró

* C. E. SHANNON: Programming a computer for playing chess. Philosophical Magazine. 1950. 256., és Scientific American. 1950. Febr. 48.

G. SCHIEBE: Über die Grundzüge eines Programs für eine schachspielende Rechnenmaschine. Funk u. Ton. 1953. 257.

képletet. A bábok ismert ütési értékeit veszi alapul, a mattot ezekhez képest döntő nagy számmal (200) számítja, és hozzá vesz három, a régi sakkkönyvekben található pozíciószabályt. Az álláskiértékelő függvény tehát bármely álláshoz:

$$f(P) = 200\,(K - k) + 9\,(V - v) + 5\,(B - b) + 3\,(F - f) + \\ + 3\,(H - h) + (G - g) + 0{,}5\,(D - d + S - s + I - i) + \\ + 0{,}1\,(M - m) + \dots,$$

ahol a betűk a megfelelő bábok darabszámát, D a kettős gyalogok, S a lemaradt, I az izolált gyalogok számát jelöli (nagybetű a világosra, kicsi a sötétre vonatkozik), és M a világos, m a sötét, ez állásból tehető összes lehetséges lépéseinek száma. Főkérdés mármost az, hogy a fenti függvény hányadik lépésre legyen előre kiszámítva? Az emberi játékos elasztikusan tolja ki e határt: olyan állásig tervez előre, amely veszélytelennek, sőt egyenesen előnyösnek *látszik* (a további következményeket ő sem láthatja), s így két-három lépéspárnál átlagban nem tervez tovább. Lecserélési sorozatban vagy sakksorozatban, ahol kevés a variánsszám, mesterjátékosok akár 20 lépéssel is előre tervezhetnek. E változó mélységű elemzés felelne meg a gép teljes kapacitása kihasználásának is. Egyébként a játszmagépnek is a minimax eljárással kell játszania: megszerkeszteni a megadott lépésnívóig (pl. 3 lépéspárig) előre az összes variánsokat, a legalsó szint állásait az $f(P)$ függvénnyel kiértékelni, és visszafelé minimax eljárással a megteendő lépést kijelölni.

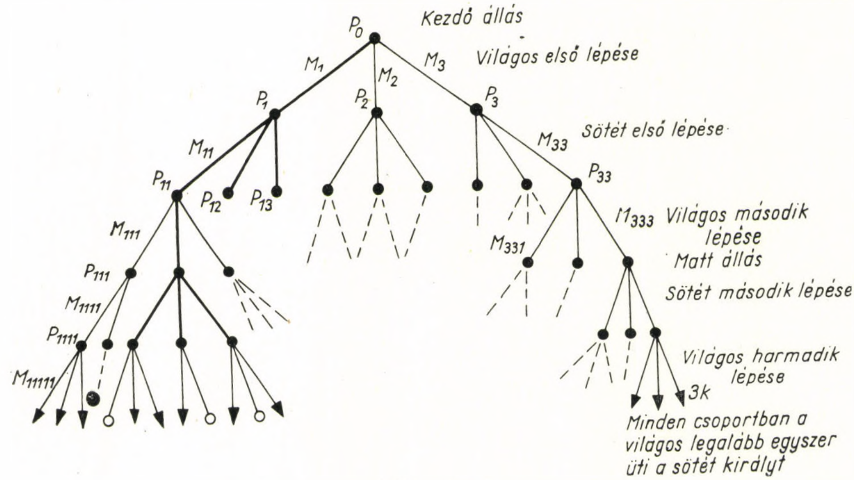
c) *A kétlépéses sakkfeladvány megfejtőgép**

Rövid sakkfeladványok megfejtésére tökéletes gépet szerkeszthetünk. A szükséges tárkapacitás nem nagy s így az ideális sakkozógép minimax eljárásával dolgozhatunk, a gépnek csak a mattot és ,,nem matt''-ot kell felismernie. A gép az összes lehetséges variánsokat kikeresi, míg a matt ismertető jelei nem jelentkeznek s ekkor megáll, jelezvén egyben a kapott állást és az ehhez vezető lépéseket. A mattot az jellemzi, hogy a győzőnek a vesztő *minden* lépéséhez van legalább egy olyan lépése, amely a királyt üti. A lépéskereső ezt a harmadik lépéscsoporttal könnyen kikeresi. Az összes lehetséges lépéseken azt értjük, hogy a bábokkal a lépésszabályok szerint valamennyi lépést megtétettünk, kivéve azokat, amelyek a táblán kívül esnek, vagy pedig saját bábot találnak. A *110. ábra* a lépések ,,törzsfáját'' ábrázolja, míg a *111. ábra* mutatja a gép blokkvázlatát.

A vázlaton az első oszlop négyszöglapjai (a legfelső és legalsó kivételével) olyan készülékeket jelentenek, amelyek adott állásokból valamennyi lehetséges lépéssel új állásokat tudnak képezni. A legfelső téglalap a kezdőállás behelyezésére szolgáló készülék. Ez megadja a 2 téglalap számára a

* T. Nemes: The chess-playing machine. Acta Techn. Hung. Tomus I fasc. 3. p. 215., (1951), a cikk első része: Műegy. Közl. 1949. Szept. 29. Rövid jelentés a blokkvázlattal: Rádiótechnika, 1949. Febr. 37.

kiindulóállást. A 2 téglalapnak megfelelő készülék („doboz") megteszi világos lehetséges első lépéseinek adott sorrend szerinti első lépését és megáll. Ez állásból a 3 doboz sötét egy lehetséges lépését (szintén adott sorrendben) teszi meg és megáll. Ebből az állásból azután a 4 doboz képezi világos második lépéseinek egyikét, az 5 doboz ugyanígy sötét második lépését teszi meg, végül 6 doboz világos 3-ik lépéseit képezve már nem áll meg, hanem gyorsan kikeresi az összes lehetséges lépéseket. Ha eközben eltalálja az ellenfél királyát, a 7 doboz jelzést ad az 5-nek, hogy sötét következő második lépése



110. ábra

A kétlépéses sakkfeladvány összes lépéseinek vázlata. Egyszerűsítés kedvéért minden állásból kiindulólag legfeljebb csak három lehetséges lépést rajzoltunk fel, az ágak nagyrészét (középen) mellőztük. A lépések sorravételének rendje — amely a legkisebb kapacitású emlékezést (tárolást) igényli —, a következő: a szélső bal oldalon:

$$M_1, M_{11}, M_{111}, M_{1111}, M_{11111}, M_{11112}, M_{11113}, \dots, \text{ ez után}$$
$$M_{1112}, M_{11121}, M_{11122}, M_{11123}, \dots; M_{112}, M_{1121}, M_{11211}, M_{11212}, M_{11213}, \dots \text{ stb;}$$

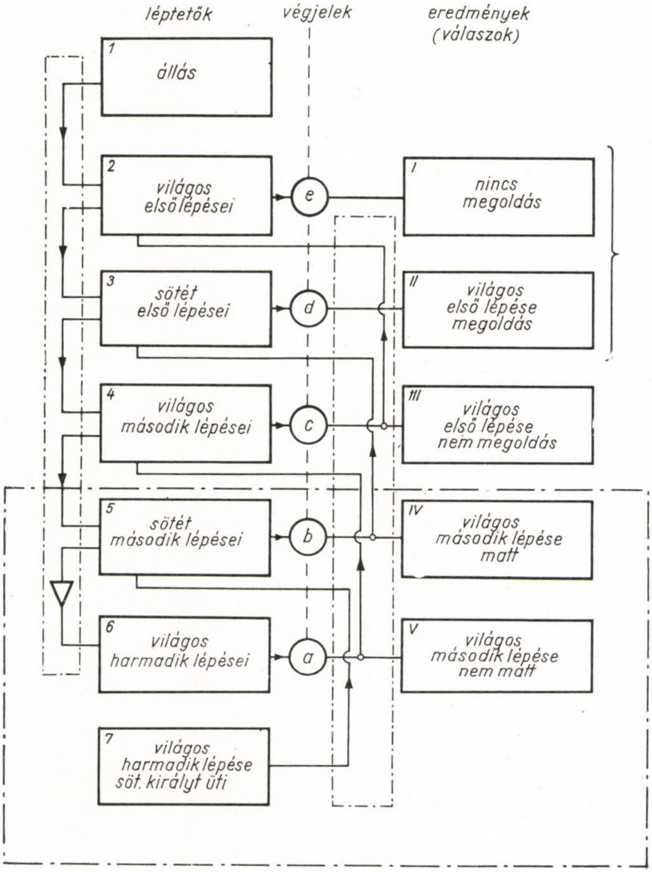
tehát, ha valamelyik állásból képezhető lépéscsoport „elfogy", megyünk a fölötte levő „csomóponthoz", s onnan lefelé egészen a 3-ok szintjére. Az üres nullkörök jelölik a sötét király kiütését. A P_{12} és P_{13} állások további ágainak is olyanoknak kell lenniük, mint a P_{11} folytatásának: legalább egy M_{12i} és legalább egy M_{13i}, melyekhez tartozó *minden* M_{12ij} és M_{13ij} mattal kell hogy végződjön

jöhet sorra (azaz eggyel „továbbit"). Az 5 doboz ez új állásából a 6 doboz a világos harmadik lépéseit újra végig kikeresi és ha ismét „királyt" talál, újra eggyel tovább lépteti az 5 dobozt. Ha az 5 doboz kimerítette a lehetséges lépéseket, akkor a b végjelet (egy egyszerű impulzust) adja ki, mely egyrészt a második téglalaposzlopban a IV téglalappal ábrázolt átlátszó feliratos doboz lámpáját kigyújtja, másrészt a 3 dobozt továbblépteti sötét első lépései közül a további lehetséges lépések vizsgálatára.

Ha a 7 doboz nem jelez királyütést, akkor a 6 doboz végig tud futni minden lépésén, és az a végjelet adja le, az utolsó feliratot (V) kivilágítja és a 4 dobozt továbblépteti. A további menetet a nyilak mentén követhetjük.

A 2—6 dobozból kivitelezéskor egy is elég, de az általa szerkesztett állásokat külön kell tárolni.

Sokan észre fogják venni, hogy a fenti „matt" meghatározás még magában foglalja a pattot is. Ezt még el kell választani. Patt az olyan „matt", amelyben a király nem áll sakkban. Felismerhető arról, hogy ha a király nem lép, nem üthet. Ezt úgy oldjuk meg a gépen, hogy sötét 2-ik



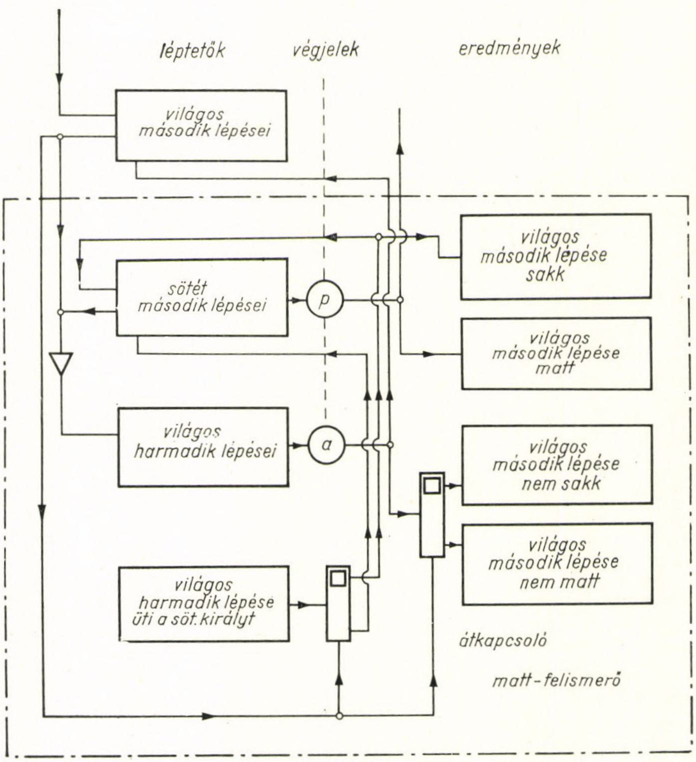
111. ábra

A kétlépéses sakkfeladvány megfejtőgép blokkvázlata

lépései közé osztjuk a „nemlépést" is, és ehhez az álláshoz is végig kikeressük világos 3-ik tapogató lépéseit is, és itt is kell sötét királyt eltalálnia ahhoz, hogy az állás igazán matt legyen. A kiegészített kapcsolást a *112. ábra* mutatja. Két átkapcsoló kell, amelynek akkor, amikor a világos 3-ik lépéskeresője a nyugvó sötét esetében működik és: 1. talál sötét 2-ik lépései sorravételével; 2. nem talál királyt (tehát patt lehet, de matt semmi esetre sem), világos következő 2-ik lépéseit kezdi vizsgálni.

Még mindig nem teljes így a matt-adás gépezete. Ha csak ennyit építtetünk a gépbe, hajlandó a saját királyával is sakkot adni, sőt királya nélkül tovább játszani. Egyszerű kapcsolással ezt is elháríthatjuk (lásd eredeti cikk 3. ábráját). Ezenkívül a sáncolást és az en passant lépést is ismernie kell a gépnek, s ezekhez nemcsak külön programozás, hanem külön tárolási terület is szükséges, amit legkényelmesebben külön emlékező és leolvasó csővel valósíthatunk meg.

A gép megvalósítható: 1. huzalozásos elektronikus gép alakjában és 2. normális elektronikus számológép programozásával. Az előbbi gyorsabban játszik, de természetesen nem tud mást, mint sakkfeladványt meg-



112. ábra

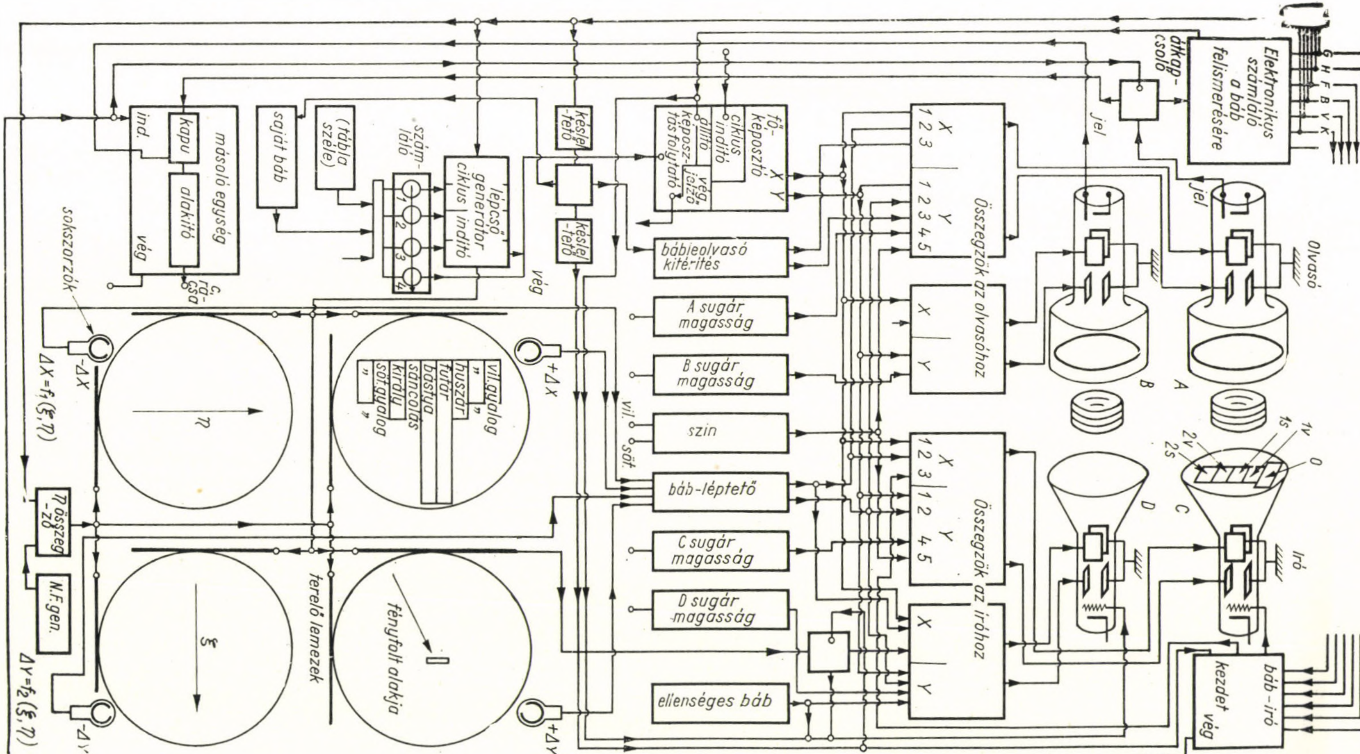
fejteni. A *113. ábra* a huzalozott kivitel részletesebb vázlatát mutatja. Az állások tárolására leginkább megfelel valamely emlékező katódsugárcső felírási és leolvasási képességgel (pl. „Graphecon" stb.), az eredeti terv tartósvilágítású katódsugárcső volt orthicon leolvasással. Ma ez újra aktuális, mert időközben létrejött a „Memotron" (tetszőleges időtartamú tartósítású, „látható emlékezetű" katódsugárcső) és az olcsó „Vidicon" képfelvevőcső. A látható tárolás ugyanis könnyebben, közvetlenebbül ellenőrizhető, mint a csupán sztatikus töltésekkel való tárolás. A *C* emlékezőcső képfelületén kell elférnie nemcsak a kezdőállás képének, hanem a lépések folytán keletkező állások ,,sakkdiagramjának'' is. (A *113. ábra C* csövének képfelületén az 1—5 megfelelnek a *111. ábra* 1—5 dobozok emlékező tárainak.) A bábok szimbólumai itt célszerűen fénypontok sorai, pl. gyalog egy fénypont, huszár kettő, futár három, bástya négy, vezér öt, király hat a mezőn egy vízszintes sorban, hogy egyszerű vízszintes letapogatással felismerhetők legyenek. (Tudjuk, hogy három fényfolt elég hat báb jelzésére, de miután úgyis azonnal hatfelé kell szétosztani, nincs értelme előbb kódolni, aztán nyomban utána dekódolni katrixok vagy más berendezések révén.)

A fekete bábok jelei pl. egy letapogatási sorral magasabban fekszenek, mint a világosokéi, s így ,,sorváltással'' külön seregszemle tartható a világos és sötét bábokon. Tizenhatszoros képosztás elég. A lépéseket négy külön függvényképző katódsugárcső (lépésképző) képezi. Az egyik pár a pozitív, a másik pár a negatív lépéskordinátákat adja meg. A lépésképző-csőben a báb minősége (η) szerint függélyes irányban állítjuk a sugarat a kívül felragasztott lyukasztott sablonokra, azután a vízszintes (ξ) irányban továbbmozgatott sugár a báb összes lépéseinek megfelelő léptető impulzusokat adja a rések révén egy-egy (összesen négy) fotocellára. A fényfolt függélyes mérete hosszúkás, úgyhogy függélyes irányban különböző hosszúságú réseken átjutva gyengébb, illetőleg erősebb impulzusokat tud gerjeszteni. A *114. ábra* néhány báb lépésképző kivágásait mutatja. A lépés átvitele a *C* csőre úgy történik, hogy a kapott léptető impulzushoz még hozzá kell adni a báb kiindulási helyének kordinátáit is, és a *C* emlékezőcső felírósugarát ezzel az összesített impulzussal terelni. Ezt az *összegezők* végzik el (l. *113. ábra).* Ha a lépés saját bábbal kitöltött kockára, vagy a tábla ,,szélén'' kívülre esik, feljegyzés nem történik, hanem ,,továbbítás'', azaz ugyanazon báb következő lépése kerül sorra. Ha ez a báb utolsó lehetséges lépése volna, akkor a következő bábra kerül a sor, azaz ennek összes lehetséges lépései követik egymást. Azt, hogy már az állás összes egyszínű bábjai sorra kerültek, az jelzi, hogy a tábla utolsó sorában az utolsó mezőt éri a leolvasó sugár.

Az átváltozás (promoció) képzése a normális lépésekkel egyöntetűen megy: az utolsó sorba érő gyalog *következő* lépései nem egyebek négy tiszt lépéseinek sorravételénél. Amelyiknél a továbbiakban sikere van, azt a tisztet fogja a gép a gyalog helyébe helyettesíteni. A promócióhoz tartozik tehát az egyes báb legdúsabb lépésválasztéka.

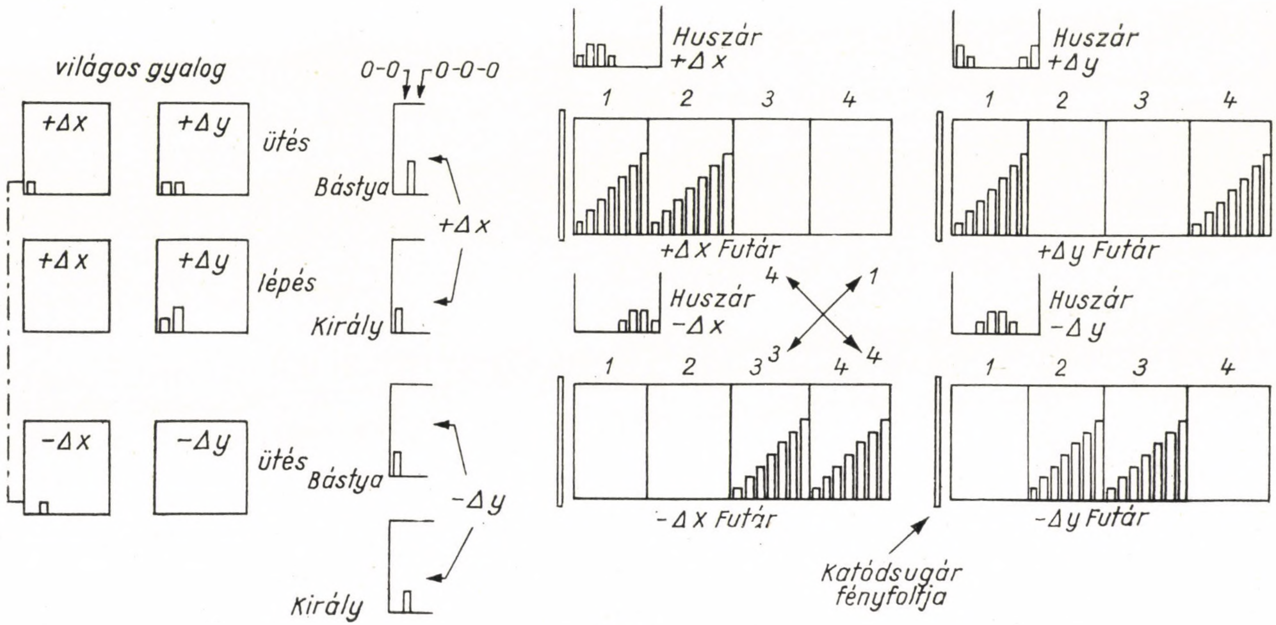
A kezdőállás (1) egy lyukkártyára van lyukasztva, melyet *kívül* helyezünk el a *C* katódsugárcsövön. Az *A* vidikon-csőnek leolvasásával kezdi meg az első lépés megszerkesztését, mely a *C* cső *2* felületén sakkdiagram alakjában jelenik meg.

Ebből leolvasással sötét első lépését megszerkeszti, s ezt is teljes diagramban felrajzolja (a 3 felületre). Ezután ugyanígy a második világos és második sötét lépést is megszerkeszti, majd világos harmadik lépésein már csak végigfut, és csupán azt vizsgálja, érint-e sötét királyt e lépések valamelyike, de ezen kívül nem vesz tekintetbe semmit. Ha volt királyütés, akkor sötét második lépései közül a következőt veszi sorra, azaz törli e táblát és új diagramot rajzol; és ehhez képezi újra világos harmadik lépéseit úgy, mint előbb, azaz csupán királyütést keres. Ha ilyen van, ismét



113. ábra

A kétlépéses sakkfeladvány megfejtőgép huzalozott kivitelének vázlata


világos gyalog
+Δx
+Δy
ütés
+Δx
+Δy
lépés
−Δx
−Δy
ütés
0-0
0-0-0
Bástya
+Δx
Király
Bástya
−Δy
Király
Huszár
+Δx
1
2
3
4
+Δx Futár
Huszár
−Δx
1
2
3
4
−Δx Futár
Huszár
+Δy
1
2
3
4
+Δy Futár
Huszár
−Δy
1
2
3
4
−Δy Futár
Katódsugár fényfoltja

114. ábra

sötét második lépéseiből szerkeszti meg a következőt, s ehhez ismét világos harmadik lépéseit, ahogy ezt a *111. ábránál* elmondtuk. A *D* felíró katódsugárcső célja feljegyezni koordinátákban a variánslépés kiindulási és érkezési pontját. Ez azért kell, hogy a lépcső-generátort ugyanarra a lépésképzőre lehessen visszaállítani, ahol valamely báb lépését egy előbbi variánsban abbahagyta; például a „futár jobbra fölfelé harmadik mező" volt a próbált lépés (ami a *D* csövön föl van jegyezve), és most a negyedik mező következik (közben ugyanis a lépcső-generátor további variánsok képzésére volt felhasználva). Ilyenkor üresen jár, míg a feljegyzett állással egyező helyzetbe nem jut és ekkor tovább indul üzemszerűen. Az alatta levő négyes számláló a négy térirányt kapcsolja be sorjában (azaz, ha a futár jobbra fölfelé a tábla szélére ért, következik a jobbra lefelé irány első lépése és így tovább). Ha a báb lépései elfogytak, a fő képosztó tovább indul, míg a következő bábra nem talál, itt vár, ezalatt az elektronikus számláló a bábot felismeri, a potenciométer az összegező révén a függvényképző csövek fényfoltját a megfelelő báb-sablonra emeli és a lépcsőgenerátor elkezdi x irányban léptetni a fényfoltot a lépésekre előírt nyílásokra s a fotocellák, illetőleg sokszorozók az összegezőkön át a *C* és *D* csövek fényfoltját a báblépés szerint léptetik. Most még le kell másolni az egész „tábláról" a többi mozdulatlan báb állását is, ami egyszerű távolbalátó (televíziós) kapcsolással megy végbe: az *A* vidikon 16 képosztóvonalat húz, felveszi a *C* csövön talált bábok pontsorait és egy táblányival alább ugyancsak a *C* csőre le is másolja. Ki kell hagynia természetesen az ellépett bábot, ezt az egyidejűleg működő *B* olvasó végzi, amely kioltja a *C* sugarát, ha a *D*-n bábkiindulást jelző folton fut át. A báb az új helyén már a másolás előtt fel van jegyezve.

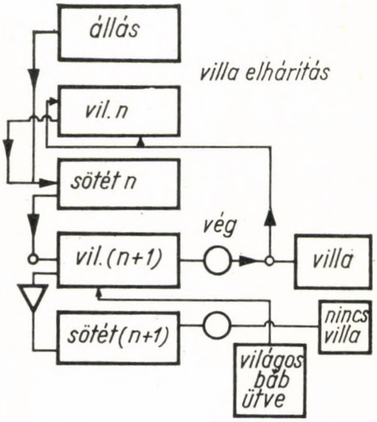
d) A játszma-játszó sakkozógépről

Az egész játszmát lejátszó gép, hacsak két lépéssel is lát előre, már nagyon jól látszik, mert gép esetében az elnézés („sakkvakság") ki van zárva. Azonkívül a legveszélyesebb támadó lépés, a „*villa*", már kétlépéses géppel felfedezhető és elhárítható. Villán itt nem csak a gyaloggal egyszerre támadott két tiszt esetét értjük, hanem kiterjedt értelemben minden olyan állást, ahol két báb van egyszerre támadva pl. sakk-sekk, sekk-bástya stb.

E vizsgálatban sok variáns kikeresése megtakarítható a *ceteris paribus* lépések bevezetése által. Bár világoson (gép) a lépés sora, nem szerkeszti meg mindjárt a saját lépéseit, hanem előbb az ellenféle lépéseit sorolja fel. Minden ilyen állásból végigkeresi közvetlenül újra csak az ellenfél következő lépéseit is. Ezek között ütőlépések is lesznek, s az ezt megelőző lépés a támadólépés. Így kevesbíti a variánsokat az emberi játékos is. Kikerülve így a minimax eljárást, ami természetesen sok tévedésre ad alkalmat, miért is a tervezgetés végén a teendő lépés meghatározásához természetesen már a saját lépéseinek felsorolására is szükség van. A villa megállapításánál pl. sötét első lépése után a saját lehetséges lépéseit is el kell sorolni és mindegyikhez a lépéskeresővel sötét összes lépéseit is el kell sorolni *(115. ábra)*. Ha most minden ilyen saját lépésre sötét tud ütni fehér tisztet, akkor a villa fel van fedezve. Természetesen védekezni most könnyű, mert a gép a saját első lépését még nem tette meg. Ekkor ismét sok variáns elemzését takarítja meg azzal, hogy elég saját első-lépés variánsai után *csak* a villaadó sötét variáns következményeit vizsgálja. Így a villa el van hárítva és a játék antropomorf módon könnyítve van, de természetesen ilyenkor a távolabbi veszélyek súlyosbodhatnak; ugyanis a nyerés lehetősége annál inkább nő, mennél több lépéssel előre vizsgálunk meg *minden* variánst. Minden olyan stratégia, amely variánsokat hanyagol el agyafúrt tervek alapján, *csak* gyenge játékos ellen vezet célra.

Hosszabb kölcsönös lecserélés-sorok kis tárkapacitással is lebonyolíthatók, ha a nemütő variánsok képzését elhanyagoljuk, de természetesen ez a körültekintés rovására megy.

Újabb nehézséget jelent az, hogy különösen a végjátékokban a vakvariáns keresés magában nem elég (pl. számítsuk csak ki, hogyha QUEVEDO helyes tizenhat lépését variátorral kívánnánk kikeresni, a legnagyobb számológép kapacitása sem volna elég). Itt geometriai és egyéb módszerekre van szükség: irányok, sorompók, sarkok megállapítására, tempólépések stb. logikai alkalmazására. Ilyenkor egyelőre elkészített rutinokat (átkapcsolható huzalozott egyes vagy külön részletprogram) építhetünk a gépbe. Ilyen volt pl. a *KBk* rutinja QUEVEDO gépén. Rutin készíthető pl. a *KBGkb* végjátékra is, amely csak bizonyos állásokban (pl. *Lucena*-féle) nyerhető stb. esetekben. A rutint az illető állás, vagy a meglevő bábanyag felismerése emeli ki az emlékezet-tárból. Az egyes rutinokat előre is elkészítheti a gép, mint ahogy ezt a sakkmesterek is előre kikísérletezik. Itt láthatjuk, hogy az emberen csupán csak a „gondolkozás" *sebességével* túltevő gép már mennyire fölénybe kerülhet: a rutin játék közben is kikísérletezheti és végleges rögzített alakba hozhatja megdöbbentően rövid idő alatt!



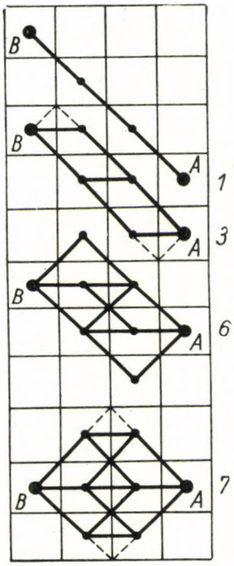
115. ábra

A megnyitások annyira ki vannak már dolgozva, hogy lexikális (ezek alacsonyabb rendűek a rutinoknál) tárolással építhetők be: minden ellenséges lépésre egy-egy kész válaszlépés áll rendelkezésre; a gépnek pl. minimax eljárás szerinti működésére csak később kerül sor, akkor, ha a kidolgozott megnyitásnak már végére ért.

A végjátékban a kombináció a háttérbe szorul, s a vezetést a geometriai módszerek veszik át. Például a királlyal egy távol álló gyalogot akarunk elérni, akkor a királynak nem minden irányú lépéseit vesszük sorra, hanem képzeletben húzunk a király és gyalog között egy összekötő vonalat, és csak az ezzel szomszédos variánsokat próbáljuk ki. A *116. ábrán* az egyenlő úthosszú pályákat ábrázoltuk. (A sakkjátékban az átló hossza egyenlő az oldalhosszal!) A király-gyalog verseny „belépő négyzet"-ét mindenki ismeri. A bástya „sorompói" a király számára átléphetetlenek. A sakkszabályok szerint remisre vezető lépésismétlődést a gépnek fel kell ismernie. Ezt megteheti azzal, hogy a játék végéig megőrzi a valóságosan lejátszott (nem a csupán tervezett!) állások feljegyzéseit, s ha harmadszor jön elő (a szabályok szerint) ugyanazon állás, döntetlent jelez.

Semmilyen vak kombinátorral meg nem oldhatók a „végtelen sakktábla" feladatai. Ilyen pl. BÁN JENŐ kérdése: a végtelen tábla egyetlen végesben levő sarkában van a világos király és bástya, a sötét király pedig tetszés szerinti távoli mezőn.

Megmattolható-e a sötét? Ez csupán geometriai meggondolásokkal sikerül: csak a tábla szélén mattolható, tehát a bástyának és királynak a sötét király „külső" oldalán kell lennie. Első tekintetre úgy látszik, hogy a világos király sohasem érheti utol a sötétet. De a megkerülést két koordinátára bontva igen: a bástyát úgy állítjuk, hogy a sötét király x irányban ne mehessen, míg a világos király ezalatt x irányban átlépi a sorompót. Ezután az y irányt zárjuk le a bástyával és a világos királlyal e sorompót is átlépjük, s most már mindkét világos báb a sötét király „külső" oldalára kerül, s most már bástyával és királlyal a véges sorokba szorítjuk a sötét királyt.



116. ábra

A *tervezés* a sakkozásban is az alkotó gondolkozás általános típusa szerint megy végbe. Egy kitűzött, elképzelt célt igyekszünk elérni és az ehhez vezető utat kísérletezéssel keressük ki, egyenként kipróbálva, vajon elérik-e a célt. Magát a célt az ellenfél állása, vagy, amint már említettük, a bábkészlet veti fel, pl. a *KFHk* végjátékban tudjuk, hogy sötét megmattolható, s ha nem ismerjük ennek rutinját, de ismerjük a mattállást, akkor e mattállás lesz a cél, s az erre vezető lépéseket keressük ki. Ha ismerjük a királyterelés „sorompós" geometriai módszerét, akkor csak az erre szolgáló variánsokkal kísérletezünk s így a csillagászati számokat elkerültük. Számos kitűnő példát találunk a tervezésre (pl. Asztalos—Bán: „A sakkjáték elemei 1952" c. könyvben), melyekből láthatjuk, hogy mennyi részlettapasztalat és részlet-rutin kell egy-egy terv végrehajtásához. De hangsúlyozzuk, hogy a variánskeresés ilyenkor sem marad el, csupán a variánsok csillagászati száma szűkül be, mert a geometriai s egyéb elvek alapján való bizonyítással ki tudjuk jelölni a meddő variánsokat.

Felmerült az a kívánság is, hogy úgy kellene a gépet megkonstruálni, hogy tanulni tudjon a más és a maga kárán. Ha a gép ugyanis nemcsak egy játék tartamára, hanem állandó használatra is szervezetten feljegyzi az állásokat és csatolja hozzájuk a játék eredményét, akkor elérhető, hogy a „természetes kiválogatás"-hoz hasonló módon félredobja és törli a letális változatokat és új játékaiban az előjövő ismert állás-, vagy állástípushoz azt a lépést fogja választani, amelyikkel már a múltban is nyert. Semmi elvi nehézség sincsen magában véve ma már tanulógéppel kapcsolni a sakkautomatát, azonban a főnehézség máshol rejlik: az állástípusok felismerésében, aminek kiderítéséhez ma még sok kutatás szükséges. (Az állások csillagászati száma nem akadály: a mattállásoknak száma is csillagászati, mégis a matt könnyen felismerhető.) Mihelyt ez sikerülni fog, egy állandóan járatott központi sakkozógép az embernél sokkal gyorsabb „gondolkozása" révén elérhetné és túl is haladhatná az emberiség eddig összegyűjtött sakkstatisztikai tapasztalatait.

Mesterektől származó néhány statisztikai észrevétel: *korrekt játék* esetén 1. áldozati kombinációk egyáltalán nem lehetségesek, 2. a játszma középtájékban be nem fejezhető, 3. aránylag gyengébb játékos nagy valószínűséggel elérheti a döntetlent, 4. a játszmák többségében világos győz.

Az elektronikus számológépek sakkozásra való programozására először Shannon adott idézett cikkében útmutatást. Azóta sok ilyen programozás történt. Ma már a $f(P)$ függvény pontosabban ki van dolgozva és fejlesztése állandó munkában van. A sakkozásra programozott IBM 704 jelű elektronikus számológép *két* lépéspárral tervez előre (mint a rejtvényfejtőgép), tehát egy háromlépéses csapdával már le lehet győzni. Azonkívül minden állásból csak *hét* ,,plauzibilis" lépést próbál ki. Ez 2800 állás vizsgálata, ami körülbelül 8 percig tart (8 lépéslehetőség 15 percet igényel). *Három lépéssel való előretervezés már 6 és fél órát vesz igénybe* egyetlen megteendő lépés számára. E lassúság oka valószínűleg a mágnesszalag használata és talán az, hogy a gép nem speciálisan sakkozásra épült huzalozott gép.

e) A ,,Fan-Tan"-t játszó gép

Az ismeretlen eredetű ,,Fan-Tan" játék* matematikai elmélete ismeretes lévén, különösen alkalmas arra, hogy gépet szerkesszenek az automatikus játszására. A játék, amely ,,Nim" néven is ismeretes, a közismert ,,gyufajáték"-hoz hasonlít,** de annál általánosabb. Ketten játsszák tetszőleges számú egységekkel, mondjuk gyufákkal, melyek tetszés szerinti számú halmazokba csoportosíthatók. A játékosok felváltva lépnek, azaz gyufákat vesznek fel valamelyik halmazból. Egyszerre csak egy halmazból szabad felvenni, de abból akármennyit. Az nyer, aki az utolsó gyufát veszi fel. Játszható a fordított játék is, amelyben az utolsó gyufa felvevője a vesztes. Szokták még olyan változatban is játszani, melyben több halmazból is lehet egyszerre venni (Nim-*K*) ahol *K* előre megállapított maximális száma az érinthető halmazoknak.

A játékban kétféle típusú állás van: 1. a ,,nyerő", amelyet a játékos, ha lépésével el tud érni, biztosan győz, 2. a ,,vesztő", amelyet, ha lépésével létrehoz a játékos, biztosan veszt. A győző állásból semmilyen lépéssel sem lehet közvetlenül győző állást létrehozni, bármely halmazból veszünk el bármennyi gyufát, mindig csak vesztő állásba jutunk. Viszont a vesztő állásból a következő lépéssel kaphatunk nyerő vagy vesztő állást. A játékot ismerő játékos ilyenkor mindig nyerő állást tud előállítani. A játékban tehát, ha a kezdő állás vesztő, akkor az a játékos nyer, aki kezd; nyerő kezdőállás esetén a másik játékos nyer, ha mindkettő tud játszani. Bebizonyítjuk, hogy ha az a győző állás, amelyben a gyufák számát biner számokban felírva (minden halmazra külön, s e számokat egymás fölé írjuk), egy-egy oszlopba páros számú egyes (1) jut, akkor az állásból bármely lépéssel csak vesztő állást kaphatunk. Három halmaz esetén pl.:

I halmaz	6 gyufa	110
II halmaz	8 gyufa	1000
III halmaz	14 gyufa	1110
az 1-ek összege az oszlopokban:		2220.

* Fan-Tan néven egy egész más játék (szerencsejáték) volt elterjedve Kínában. A *New Chinese-English Dictionary* (The Commercial Press, Limited, Shanghai, China) szótárban e néven nincs említve.

** A két játékos felváltva felvesz egy halom gyufából tetszés szerint 1, 2 vagy 3 szálat, s az veszt, aki az utolsó szálat felveszi. L.: Charles L. Bouton: Nim, a game with a complete mathematical theory. Annals of Mathematics. Second Series, Vol. 3, Nr 1. Oct. 1901. 35.

Tudnunk kell, hogy egy biner számban, ha azt kisebbítjük, a megváltozott számjegyek közül a (balról számított) legelső mindig egy 1-ből lett 0, mert vagy 1-eseket veszünk el, vagy zérusból veszünk el s utóbbi esetben ettől balfelé kell eltűnni egy egyesnek. Ha tehát egyetlen halmazból veszünk el bármennyi gyufát, binerszámából eltűnvén egy egyes, egy oszlop párossága megszűnik s így az állás ,,vesztő"-vé alakult. Bizonyítsuk be továbbá, hogy bármely vesztő állásból mindig lehet egy lépéssel nyerő állásba jutni.

Legyen példánk az

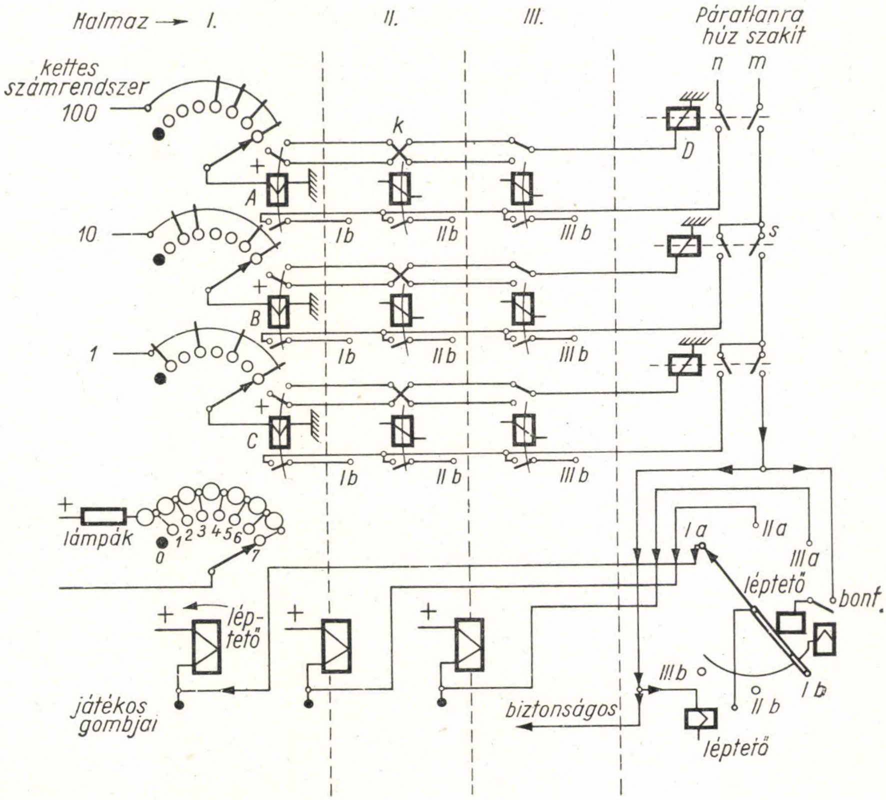
I	halmaz	6 gyufa	110
III	halmaz	8 gyufa	1000
III	halmaz	11 gyufa	1011

amelyen az általános eljárást bemutatjuk. Ha az állás vesztő, akkor legalább egy oszlopban egy, vagy három 1-et kell találnunk. Ha több ily oszlop volna, vizsgáljuk balról a legelsőt. A példán a második oszlopban csak egy 1 van. Ez azt jelenti, hogy a másik két biner számnak ez oszloptól jobbra eső részei mind kisebbek a példa 110 binerszámánál, tehát e szám fokozatos csökkentésével 1 és 0 bármelyik variációja előállítható, s így az első halmazból három gyufát elvéve az első sorban 11-es fog állni s állásunk biztonságos lett. E módon azt is megkaptuk, hogy *melyik* halmazból kell elvenni. (A példában a legkisebb halmazt kellett fogyasztani, mert az első olyan oszlopban, amelyben csak egy 1-es volt, ez az 1-es a legkisebb halmaz binerszámában találtatott. Ilyen példa még: 3, 4, 6.) Ha az állás pl. 2, 5, 6, akkor a középsőből kell elvenni egyet, hogy nyerővé tegyük az állást. Ha olyan az állás, hogy egyik biner szám oly ,,hosszú", hogy ,,kiáll bal felé", akkor az első oszlop nyilván egy 1-esből és két 0-ból áll s ez esetben már egyszerű rátekintéssel is eldönthetjük, hogy a legnagyobb halmazból kell venni.

Ha balról haladva az első olyan oszlop, amely nem két egyest tartalmaz, *három* egyesből áll, akkor *bármely* halmazból lehet venni (ilyen pl. a 4, 5, 6, állás). Ugyanis, ha bármelyik számot fokozatosan csökkentjük, elérünk oda, hogy a három egyest tartalmazó oszlopból a csökkentett szám 1-ese eltűnik (tehát ez az oszlop már ,,nyerővé" lett) és tőle jobbra csupa 1-es jelen meg e sorban. E szám további fogyasztásával az 1 és 0 elemek minden variációja előáll, s így az is, amely minden jobbra eső oszlopot két 1-es egy 0-ra, vagy három 0-ra alakít. Tehát bebizonyítottuk azt, hogy bármely vesztő álláshoz mindig található olyan lépés, amely az állást nyerővé teszi. A fentiekből világos, hogy ha a három halmaz közül kettőben a gyufák száma megegyezik, akkor a harmadikat egészében elvéve nyerő állást kapunk s azután bármennyit is vesz el az ellenfél az egyikből, újra nyerővé tesszük azzal, hogy ugyanannyit veszünk el a másikból.

Most még azt kell kimutatnunk, hogy a nyerő állással valóban elérjük a nyerést. A lépések során a halmazok fogynak s ha a ,,vesztő" játékos a legóvatosabb, az utolsó nyerő állás — ha még mindhárom halmaz megvan — az 1, 2, 3 állás. Ebből további elvételekkel végül is két halmaz marad, egy-egy gyufával, és ez is nyerő állás. Az ellenfél itt már kénytelen az egyiket felvenni és veszt.

A ,,Fan-Tan''-t játszó gépen a halmazok elemei égő lámpák, s az elvételnek kioltás felel meg. A gép a következőket végzi: 1. az égő lámpák számát biner számokká alakítja, 2. balról haladva megvizsgálja az oszlopokat és ha páros az oszlopokban előforduló 1-esek száma, akkor továbbhalad, ha



117. ábra

egy 1-et és két 0-t talál az oszlopban, akkor az 1-hez tartozó halmaz lámpáit kezdi sorra oltogatni, míg minden oszlopban páros nem lesz az 1-esek száma, miáltal a nyerő állást elérte. Ha három 1-et talál az első keresésre, akkor, minthogy bármelyik halmazból lehet venni, legjobb a gépen már előre egyszer s mindenkorra az egyik lámpahalmazt kijelölni e célra.

Több halmaz esetén az eljárás elvben hasonló (ezért mondtunk eddig is kettő helyett párost).

Az első ilyen gépet 1940-ben szabadalmaztatták.* Ez négy halmazzal játszik, melyek mindegyike legfeljebb hét égő lámpát tartalmazhat. A gép nem elektronikus, csupán jelfogókat alkalmaz. Az 1951-ben kiállított gép** már elektronikus, 480 db. 12AT7 típusú triódát használ, de van 120 jelfogója is a lámpák kapcsolására. E gép 6 kilowattot fogyaszt és súlya négy tonna.

E helyütt csak HENNYEY ZOLTÁN gépének elvét ismertetjük, amely előnyösen eltér a külföldi megoldásoktól. Léptető rendszerű karos kapcsolókkal a szerkezet ugyanis igen egyszerűvé tervezhető s így a Nim-1 játék, szemben a 4 tonnás külföldi kivitellel, egy egész könnyű kis szerkezet alakjában megépíthető.

A *117. ábra* azt a részletműködést magyarázza, amikor a gép a legnagyobb halmaz fogyasztásával vesztőből nyerő állást alakít. Az ábrán római számok jelzik a halmazokat, melyek mindegyikéhez egy többemeletes karos kapcsoló tartozik (egyszerűség kedvéért csak az I. halmaz kapcsolója van feltüntetve). A legalul található nyomógomb minden lenyomására a játékos kiolthat egy további lámpát, melyeket a legalsó kar kapcsol. A közös tengelyű kapcsoló további három (vagy több) emelete az égő lámpák számát átteszi kettős számrendszerbe oly módon, hogy az A relében csak akkor van áram, ha 2^2 szerepel a lámpaszámban, B-ben, ha 2^1, és C-ben ha 2^0 fordul elő.

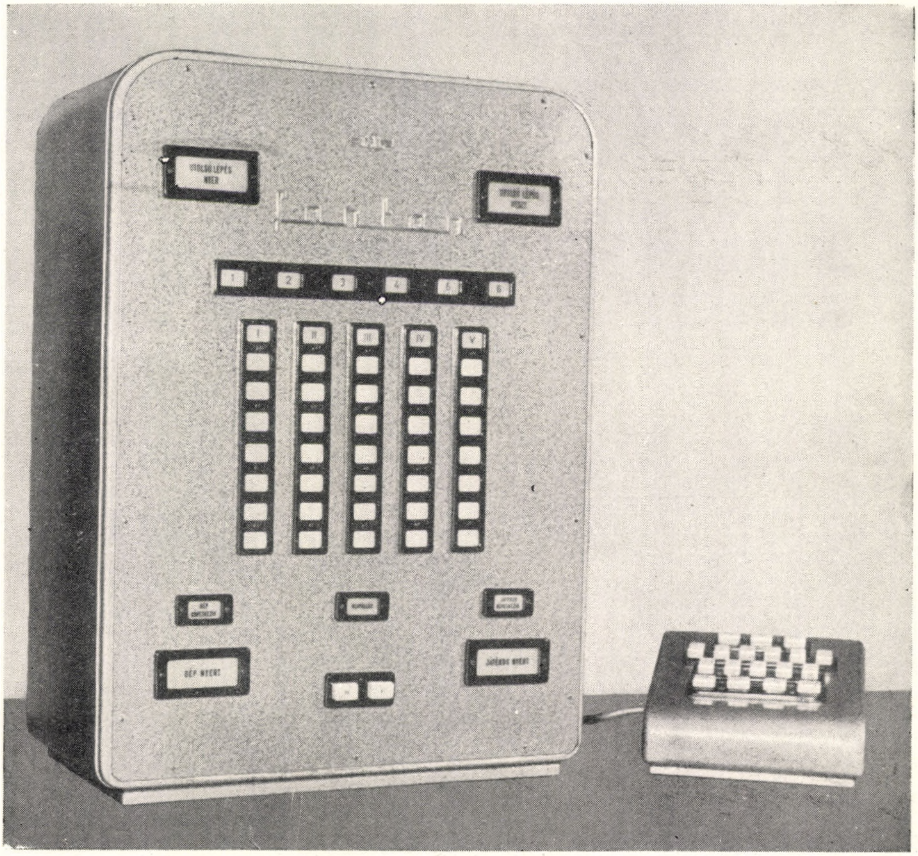
Ugyanez áll elő a II. és III. stb. halmazban is, melyek mindegyikének külön nyomógombja van a játékos számára. A relék K kommutátorokat működtetnek, melyek víszintes sorban egymáshoz vannak kötve a közismert *,,szállodakapcsoló''* mintájára, ez ugyanis a legszellemesebb és legtakarékosabb módja a ,,páratlan'' és ,,páros'' megkülönböztetésének. A D relé ugyanis csak akkor kap áramot, ha a vele vízszintes sorba helyezett relék közül páratlan számúak állnak áram alatt. Ha azután az összes D relék (függélyes sorban) árammentesek, akkor az m kör záródik és az állás ,,biztonságos''.

A legmagasabb hatványt tartalmazó halmazt a jobb alsó sorokban feltüntetett karos kapcsoló keresi ki, mely mindaddig jár, míg a b szektorai valamelyikéről áramot nem kap. Minden A, B, C relék ugyanis a kommutátoron kívül még egy-egy kontaktust is zárnak, melyek a jelölt módon az Ib, IIb, IIIb szektorokhoz kapcsolják. Miután a ,,magasabb hatványú'' D relék az ,,alacsonyabbak'' által kapcsolt áramköröket megszakítják, csak a legmagasabb hatványt tartalmazó halmazok b szektorai vannak feszültség alatt. Mihelyt megállt a kar, a megfelelő Ia, vagy IIa, vagy IIIa elindítja a hozzátartozó halmaz léptetőjét s addig oltogatja el sorban e halmaz lámpáit, míg a D relék mind árammentesek nem lesznek s így a ,,biztonságos'' állás elő nem állt.***

* CONDON—TAWNEY—DERR: Machine to play game of Nim. 1940. (Egyesült Államok szabadalom száma: 2,215,544).

** R. STUART WILLIAMS: Nimrod, a small automatic computer. Electronic Eng. 1951. Sept. 344.

*** Az 1958-ban készített és a II. Országos Műszerkiállításon (Budapest, 1958. nov. 24—dec. 10) bemutatott *Hennyey*-féle játékgép az itt ismertetett többemeletes karos kapcsolók helyett tisztán relés megoldásokat tartalmaz. A gép hat oszlopa egyenként hét lámpából áll (l. *118. ábra). (Szerkesztő.)*



118. ábra
A HENNYEY-féle „Fan-tan" gép

f) „Nulla és kereszt"-et játszó gép

Külföldi kiállításokon szerepelt nemrégen a „Nulla és kereszt" (tit-tat-toe) játékot játszó automata. A század elején nálunk is közismert játék volt, krétával táblára rajzolt 3 · 3 mezőbe kellett (felváltva lépő) két játékosnak, az egyiknek 0-t, a másiknak X-et beírni, míg malomszerűen három egyforma jel egy sorba nem került.* Csak három 0 és három X szerepelhetett, de ezek akárhova ugorhattak.

Az automata mindig fenn tudja tartani a remist s ha a játékos hibát csinál, a gép győz.

Az ún. „gin-rummy"-t és egyéb játékokat játszó automatát is bemutattak. Szerkezetük ismertetése fölösleges, mert maga a játékmenet ismeretében mint munkaprogram, könnyen megtervezhető, tehát nem nyújtanak univerzális logikai vagy matematikai tanulságot.

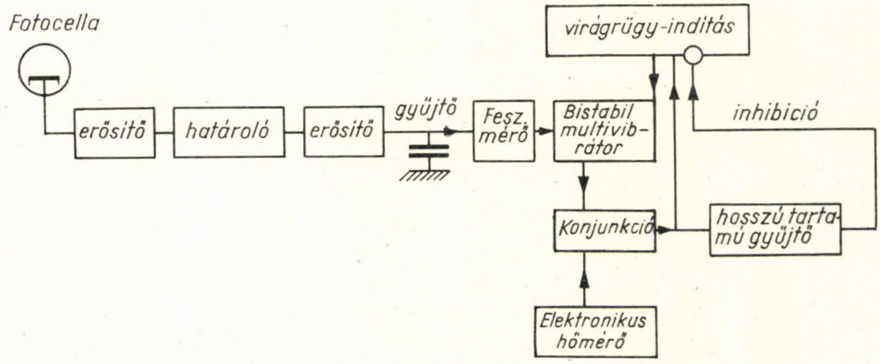
* Az „egyszerű malom" elméletét lásd: AHRENS: Mathematische Spiele, 1910, első kötet.

3.6 EGYES ÉLETJELENSÉGEKET UTÁNZÓ MODELLEK

a) *A növények fotoperiodizmusának modellezése*

Egyes növényeket (a mérsékelt égöviek közül) a hosszú nappal és rövid éjjel indukál virágzásra. Példánk e *hosszúnappalú* növényekre vonatkozik.

Egy növényi életjelenség elektronikus utánzásának példája lehet a virágzás megindításának időpontját megadó szerkezet modellje. Tudjuk, hogy vannak növények, melyek virágzásához nem elég a hőmérséklet bizonyos foka; ezek a trópusokon csak akkor virágzanak, ha a világosság időtartamát mesterséges megvilágítással meghosszabbítjuk (a nappalok hosszabbodását utánozzuk). E növényekben kell, hogy lényegében a *119. ábrán* feltüntetett beosztású elektronikus szerkezethez hasonló elvű berendezés legyen. Fényérző egysége csak határolás után gyűjt, természetesen a növényben nem kondenzátoros gyűjtésre gondolunk, hanem például keményítő tárolásra, melynek bizonyos mennyisége a rügyezést indító fermentum képzésére ad ingert. Az őszi rügyezés letiltását nemcsak a nyáron termelt anyagok által megindított inhibicióval képzelhetjük el, hanem bizonyos feltételezett téli fermentumok konjunkciós kapcsolásával is.



119. ábra

b) *Műsúrlódás*

A regulátor-technika fejlődése előtt a gépek fékezésére mindig igazi súrlódást alkalmaztak. Feltűnő volt itt az eltérés az állatok és a gépek mozgása közt, bár egy kar mozgatása ugyanolyan dinamikai probléma, mint egy emelőgépé. Az állati izületek, inak és izmok szembetűnőleg súrlódásmentesek (helyesebben: elhanyagolható folyadéksúrlódással bírnak), mégis szabatosan fékezett fogó és egyéb mozgásokra képesek. Még növeli az eltérést az is, hogy az emelőgépeket a szerkezet és az üzem olcsóbbítása céljából ellensúlyokkal szokták kiegyensúlyozni (például lift, daru stb.), míg az állatok mozgató szervein ilyesminek híre-hamva sincs. Karunkat szépen vízszintesen tudjuk tartani, pedig nem áll ki a hátunkból felkarcsontunk valami toldata ellensúlyként. A természet a legökonomikusabban oldotta meg a kérdést: a fizikai súrlódás már csak azért is elvetendő, mert elpocsékolt energia. Minthogy a súrlódó erő arányos az elmozdulásnak, azaz az $s = f(t)$ útnak az első differenciálhányadosával s'-vel, ilyen erőt kell már magának az izomnak járulékosan kifejtenie és hogy ezt tehesse, az izomnak nyújtott ideg-ingerületet már így kell kiképezni. E műsúrlódáson kívül még az egész kar, illetőleg még a vele mozgó megfogott tárgy tömegét is tekintetbe kell venni. Ha valamely megtervezett $s = f(t)$ úton akarjuk a kart mozgatni, még egy adalék erőre van szükség, ugyanis az s'' második differenciálhányadossal arányos tömeggyorsító erőt is képezni kell. Ha elektromágneses mozgatószerkezeteket használunk, akkor végső egyszerűsítésben az *Abraham*-elv* szerint járhatunk el: adva van egy mechanikus (például tekercses) oszcillográf, melynek önsúlya, súrlódása és tömege van, és azt kívánjuk, hogy ennek s útja (kitérése) hűen mutassa az $i = f(t)$ elektromos áram lefolyását. Minthogy a tekercs szolgáltatta mozgatóerő arányos i-vel, nyilvánvaló, hogy előbb elektromosan képeznünk kell i-ből az $ai + bi' + ci'' = I$ áramot (egyszeri és kétszeri transzformálással és keveréssel) és ezt vezetni be a tekercsbe, miáltal az a, b, c konstansok kísérleti beállításával elérhetjük, hogy $s = A \cdot f(t)$ legyen pontosan. Az a konstans a kitéréssel arányos rugóerő együtthatója; ha nincs rúgó, előjöhet, mint például a nehézségi erő folytán karunk vízszintes kinyújtásával arányosan növekvő nyomaték. Saját és idegen súlyemelésnél még egy konstans is kerül az egyenletbe. A valóságban a bonyolult kinematikai lánc miatt az egyenlet természetesen nem lesz ilyen egyszerű. A fenti elv minden regulátor, minden automatikus egyensúly-szabályozó (például műpilóta stb.) működésének alapja és ezért van szükség a regulátortechnikában az út, sebesség és gyorsulás érzékelésére vagy képzésére. Ilyen módon az állatmodellek mozdulatai az állatokéhoz hasonlóbbakká tehetők.

c) *Műfigyelem*

A radar-technikában lépett fel először kényszerítő módon egy olyan elv alkalmazása, ami összehasonlítható az emberi figyelem egy megnyilvánulásával. Ha valamely katódsugár-oszcillográfon egy egyszerű impulzust akarunk követni, amelynek még az amplitudója is ingadozik és amellett sok más, vele egyenlő nagyságrendű impulzus is van jelen, és mindössze az impulzus átlagos vándorlási sebességét ismerjük (azzal a kellemetlen körülménnyel, hogy a többi zavaró impulzus vándorlási sebessége is ugyanaz lehet), akkor módunk van rá, hogy a kiszemelt impulzust kijelöljük és állandóan kövessük, a következő módon: Egy négyszög alakú kapu-impulzust adunk például az oszcillográf rácsára a vizsgált impulzus várható időpontjában oly módon, hogy csak a kapu-impulzus időtartamára legyen az oszcillográf bekapcsolt állapotban. A kapu-impulzus tartama olyan legyen, hogy a vándorló jel (vizsgált impulzus) következő megjelenése még ebbe az

* ABRAHAM: Journ. de physique. **6**. 1897. Éclair. électr. **11**. 1897. 145. Comptes rendus. **124**. 1897. 758.

időtartamba beleessen. A vándorló jel amplitudójának időpontja megszabja az újabb kapu-impulzus indítási időpontját. Ilyen módon mindig csak a vizsgált vándorló jel közvetlen környéke van „figyelem" alatt, s azok a zavaró impulzusok, amelyek e körzeten kívül esnek, egyszerűen törölve vannak. Láthatjuk, hogy a „figyelemmel kísért" jelet nem is kell felismernünk, nem kell hogy valami kitüntetett alakja legyen. Mindössze egyszer meg kell „mutatnunk" a gépnek, s ez azután követi azon az alapon, hogy a jel a kapu-jelből ki nem lép. Tehát a kapujel tartamát úgy méretezzük, hogy a figyelemmel kísért jel ismert sebességingadozásai még a kapujelen belül maradjanak.

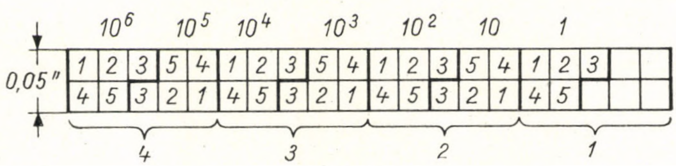
Ez a műfigyelem a legtöbb gyakorlati esetben beválik és csak akkor mond csődöt, ha egy másik impulzus is belemegy a kapujelbe. Ilyenkor a kapujel már nem „tudhatja" melyik volt, amit eddig követett és a két jel kettéválása után már a hamishoz csatlakozhat.

E jelenség közismert a bűvészetben, amikor például a bűvész úgy tesz, mintha a figyelt pénzdarabot jobbkezéből a balba tenné, de tulajdonképpen megtartja jobbkezében. A pénzdarabnak alig csücskét látjuk, ami legfeljebb egy haladó impulzusnak felel meg, s az átadásnál a néző a haladás irányát a pénz eltűnése után is követi például a balhüvelyk körme alapján — tehát már a hamis impulzust követte. Ennek „szemfényvesztés" a közönséges neve, de „tárgyképtévesztés" pontosabb volna.

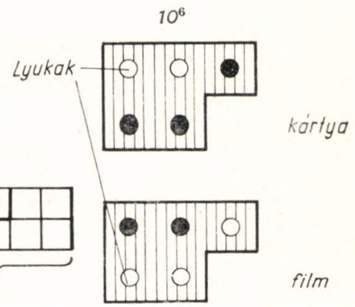
d) Fotoelektronikus idézettár. (Lexikon, könyvtárkatalógus, szótár, inventárium stb.)

A tudományos munka ma már alig nélkülözhet olyan lexikont, kartotékot, mely a folyóiratok anyagának kivonatait is tartalmazza és minimális keresési idő alatt rendelkezésre bocsátja. Napjainkban igen nagy a száma az évente megjelenő könyveknek és folyóiratoknak. A könyvtárak tizenhat évenként a kétszeresükre nőnek. A mai komplex műszaki problémákhoz az idézetek gyors beszerzése életfontosságú. A kikeresés lexikonok, szótárak esetén a keresett szóval, idézetkereső esetén a szempont, a kategória számával történik legcélszerűbben. Tetszőleges kapacitása miatt a filmszalagra való tárolás a legszokásosabb. A kategóriák szerint lyukasztott kérdőkártyát kell a gépbe helyezni, ahol a kártya képét erős fényforrás a gyorsan futó filmre vetíti. Optikai koincidencia esetén villanyfény (flash) villan fel, és így a film megfelelő helyén található adatok a válaszfilmre átfényképeződnek. A szövegnek a tárfilmen csak egyszer kell meglennie, míg a használatos kártya kartotékokban annyiszor, ahány szempontból van osztályozva, mert felhívható többféle számmal is. A film sebessége 60 000 adat/perc, tehát 15 perc alatt lefutja például a Chemical Abstracts utolsó harminc évét. Tízmillió adat raktározásának semmi akadálya sincs. A fotó vagy optikai koincidencia abból áll, hogy az összes lyukak elsötétülnek, amikor a kártyán levő lyukasztott szám egyezik a filmen levővel. Minthogy például 40 lyuk esetén ha csak egy lyuk világos, ez csak bizonytalan jelet ad, ezért több, például négy fotocellát alkalmaznak a lyukak négy csoportra való felosztásával. Koincidencia esetén minden cellának sötétet kell jeleznie. Egyik, tízmillióig terjedő számolási módot a *120. ábra* mutatja. Minden számjegyet az öt lyuk közül két lyuk jelez, s a filmen a másik három helyen kell lyuknak lenni (például a milliós számjegyre *121. ábra* szerint). Egy-egy idézethez hat ilyen sorpár tartozik, azonkívül egy szinkronlyuk, illetőleg beállító jel is szükséges a fedés helyes pillanatának jelzésére. Az adatok átfényképezésekor egy 0,1 μF kondenzátor sül ki 2000 volt-ról egy GE típusú FT 108 flashcsövön. Az elsütést trigger egy transzformátor primerjén kisülő thyratron által nyert szekunder feszültség végzi.*

A közeljövőben remélhetjük az elektronikus zsebszótár megvalósulását is, például olyan alakban, hogy öt apró billentyű van az öt ujj számára, melyekkel a zsebben hordott készüléken *Baudot*-féle abc-vel bármely szót észrevétlenül legépelhetünk, s a felelet két igen vékony, testszínű szigetelésű huzalon át a fülbe dugott apró termofonon akár morze jelekben, vagy telefonikusan, szavakban kapjuk.



120. ábra



121. ábra

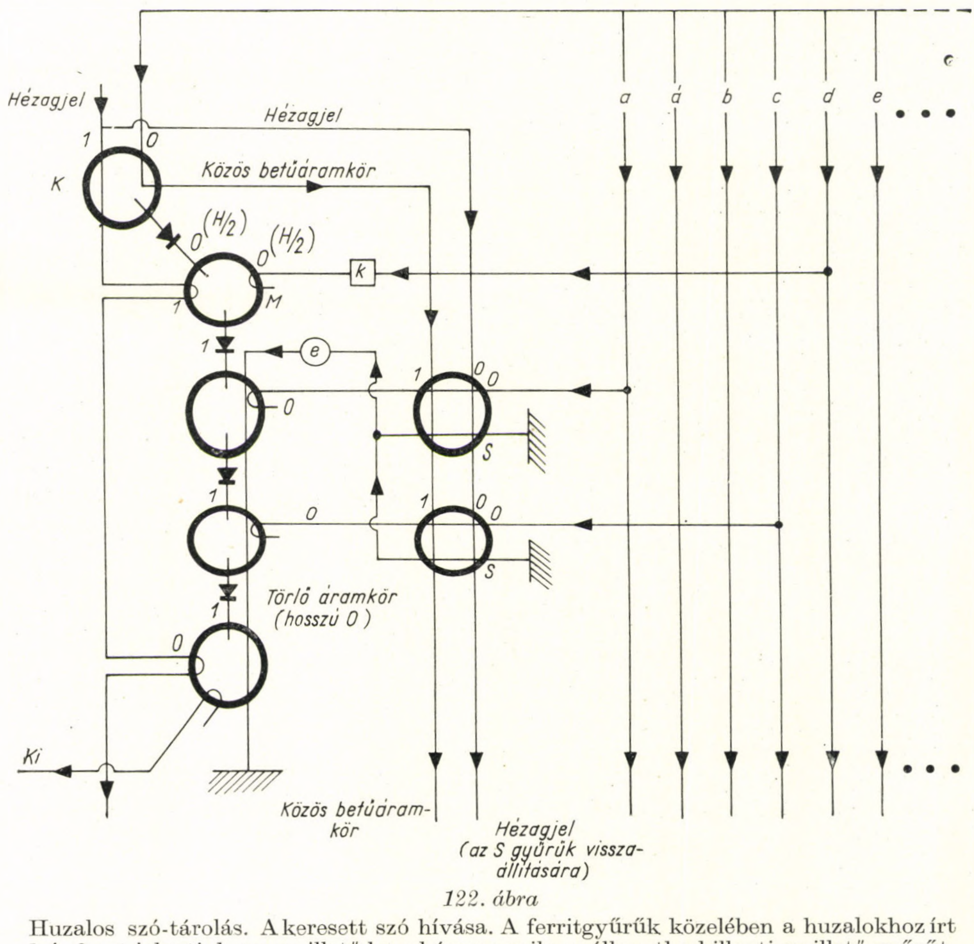
e) Kikeresés nélküli „önjelentkező" szótárak

Egy szótár egy függvénytáblázatnak tekinthető, ahol legegyszerűbb esetben az *A* nyelv minden szavának a *B* nyelv egy-egy szava felel meg. Ezért dióda-matrix kiképzésű szótár is készíthető, melyben az oszlopokat a bemenő vezetékek, a sorokat a kimenő vezetékek képezik. Tekintettel arra, hogy egy betűt öt binerszám ábrázol, egy 3 betűs szóhoz 30 oszlopirányú vezeték és 15 dióda szükséges. Minden egyes szóhoz csak egy-egy kimenőhuzal tartozik, amely közvetlenül van kötve a *B* nyelvű szó rekeszéhez (vagy megadja a rekesz címét). Az *A* nyelvű szó összes bitjeinek természetesen egyidőben kell jelentkezniük. E huzalozásos rendszer hátránya az, hogy igen sok kristálydiódát igényel, előnye, hogy kikeresési manőver nincsen.

Egy másik huzalozásos megoldás a következő neuromorf tervezet: A beérkező *A* nyelvű szó betűimpulzus-csoportjait a gép átkódolja diódamatrixok révén 32-es számrendszerbeli számoknak megfelelő áramlökésekké, azaz röviden: minden betűnek külön oszlopirányú huzala van és minden betűnek a saját huzalán egy-egy áramlökés felel meg. A betűk áramlökése *nem* egyidőben, hanem egymásután, a szóban előforduló sorrendjükben adandók a huzalaikra (l. *122. ábra*) pl. a „dac" szó esetében a sorrend *d, a, c,* és végül a hézagjel. A forrasztott vízszintes leágazások ferritgyűrűkhöz vezetnek. Minden szónak külön gyűrűlánca van. Nyugalomban minden gyűrű 0-állapotban van, kivéve az első *M* gyűrűt, mely 1 állapotú. Ezt az 1-es állapotot kergetik végig a láncon (l. helyértékeltolás!) a sorjában beérkező betű-áramlökések, s az utolsó (a hézagimpulzus) révén a kimenőimpulzust

* Egyéb adatokat l.: Electronics 1949. Sept. 122. (Photoelectric librarian).

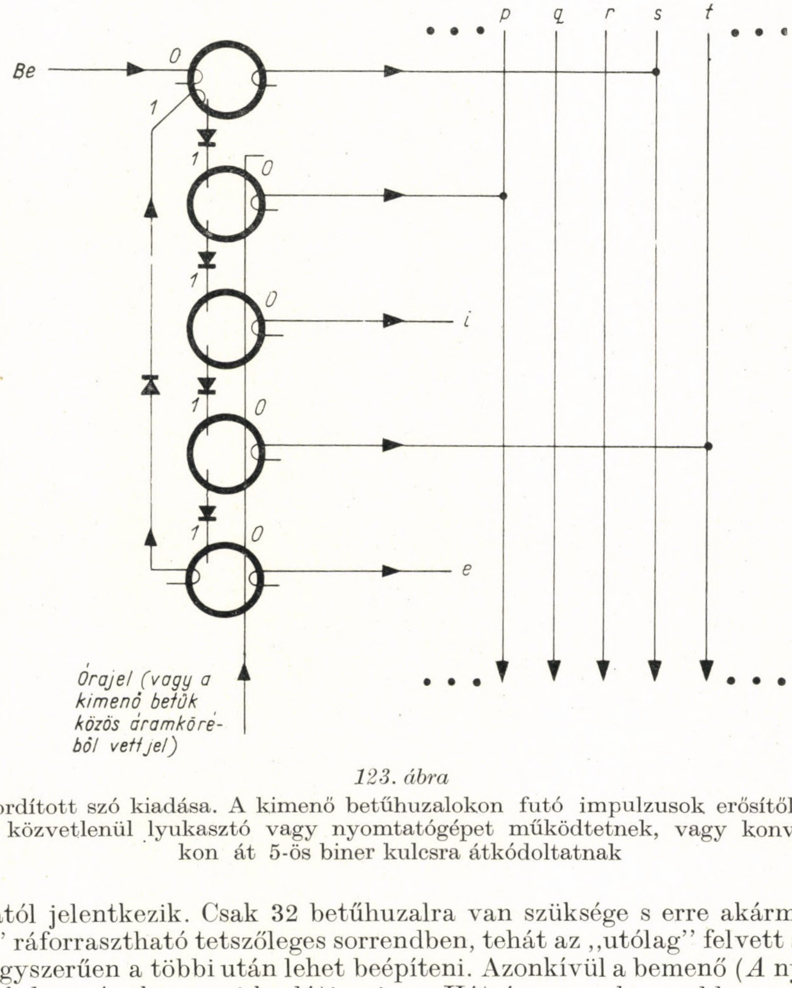
megkapjuk. Magában ez az egyszerű gyűrűsor még nem elég, mert pl. a ,,cserebogár'' szó 11 gyűrűből álló lánca kiváltaná még a cser, csere, bogár, bár, ár, tárolt szókat is, a ,,mester'' az est, este szókat, a ,,valahogy'' a vagy szót stb. A *K* közös gyűrű gondoskodik arról, hogy minden láncot csak a hozzátartozó *első* betű indíthassa el (az *M* gyűrű csak hézag utáni betűre billenhet át). A közös gyűrűt minden hézag visszaállítja 1-es állapotába.



122. ábra

Huzalos szó-tárolás. A keresett szó hívása. A ferritgyűrűk közelében a huzalokhoz írt 1 és 0 azt jelenti, hogy az illető huzal árama milyen állapotba billenti az illető gyűrűt. *e* : erősítő (tranzisztor) jelhosszabbítóval, *k* : késleltető, *K* : közös gyűrű, *S* : segédgyűrűk

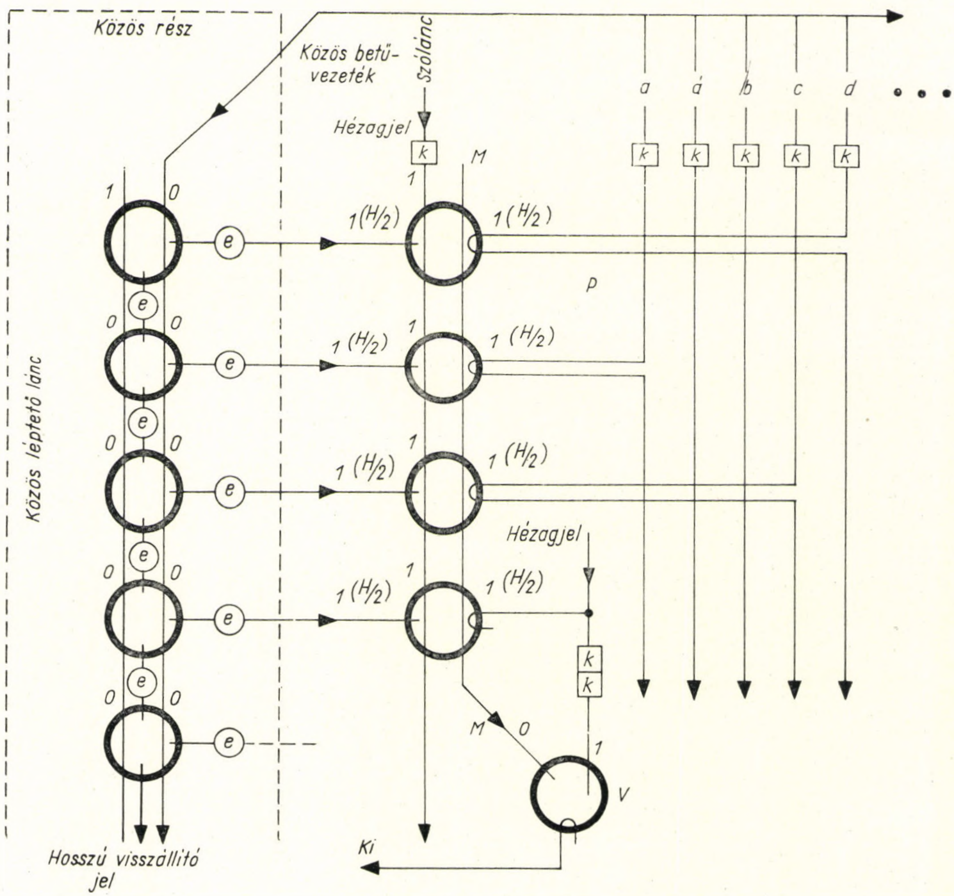
Azonkívül, az *S* gyűrűk révén, ha valamelyik közbenső gyűrű olyankor kap betűzést, amikor nincs soron (azaz a közös betűkörről kap impulzust, de a rákapcsolt betűhuzalról nem), akkor közbenső gyűrűk 0-ra visszaállító ,,törlő'' impulzust kapnak. A törlő impulzusnak nyújtottnak kell lennie, hogy a diódák által átadott impulzusokat is törölje, erről a jelnyújtó kapcsolású *e* tranzisztor gondoskodik. Íly módon csak ama szó lánca adhat kimenőjelet, amelynek betűit sorjában begépeltük. E rendszer-tervezetnek előrelátható előnye és hátrányai vannak. Egy n betűs szó tárolására $n + 1 + n - 1 = 2n$ gyűrű, n kristálydióda és egy tranzisztor szükséges. Ugyanehhez rendes ferrit-tárban $5n$ gyűrű kell. Keresés valójában nincsen, a szó azonnal,



123. ábra

A lefordított szó kiadása. A kimenő betűhuzalokon futó impulzusok erősítőkön át vagy közvetlenül lyukasztó vagy nyomtatógépet működtetnek, vagy konvertálókon át 5-ös biner kulcsra átkódoltatnak

magától jelentkezik. Csak 32 betűhuzalra van szüksége s erre akármennyi „szó" ráforrasztható tetszőleges sorrendben, tehát az „utólag" felvett szavakat egyszerűen a többi után lehet beépíteni. Azonkívül a bemenő (*A* nyelvű) szavak hosszának semmi korlátja nincs. Hátránya az, hogy ebben az alakjában „taníthatatlan", azaz az *A* nyelvű szókat nem lehet programozással bevinni, hanem külön kell minden szóláncot elkészíteni (ez fordítógépben nem baj, mert itt amúgy is örökrögzítés kell). Valószínűnek látszik, hogy a kapcsolást egyszerűsíteni lehet (pl. csupán gyűrűkből összeállítani). E rendszert neuromorfnak neveztük, mert az ösztönláncok berendezéséhez hasonló, és a huzalozás is emlékeztet, arányaiban is, a nagy-agy fehérállományára (a nagy-agy 60%-a fehérállomány, mely hosszú axonokból áll, de a 40% szürke kéregállomány is, mely a sejttesteket tartalmazza, sok axont rejt magában). Hasonló hálózat tervezhető a kimenő (*B* nyelvű) szókra. *(123. ábra)*, mely magyarázatra nem szorul. Itt határozott előny mutatkozik

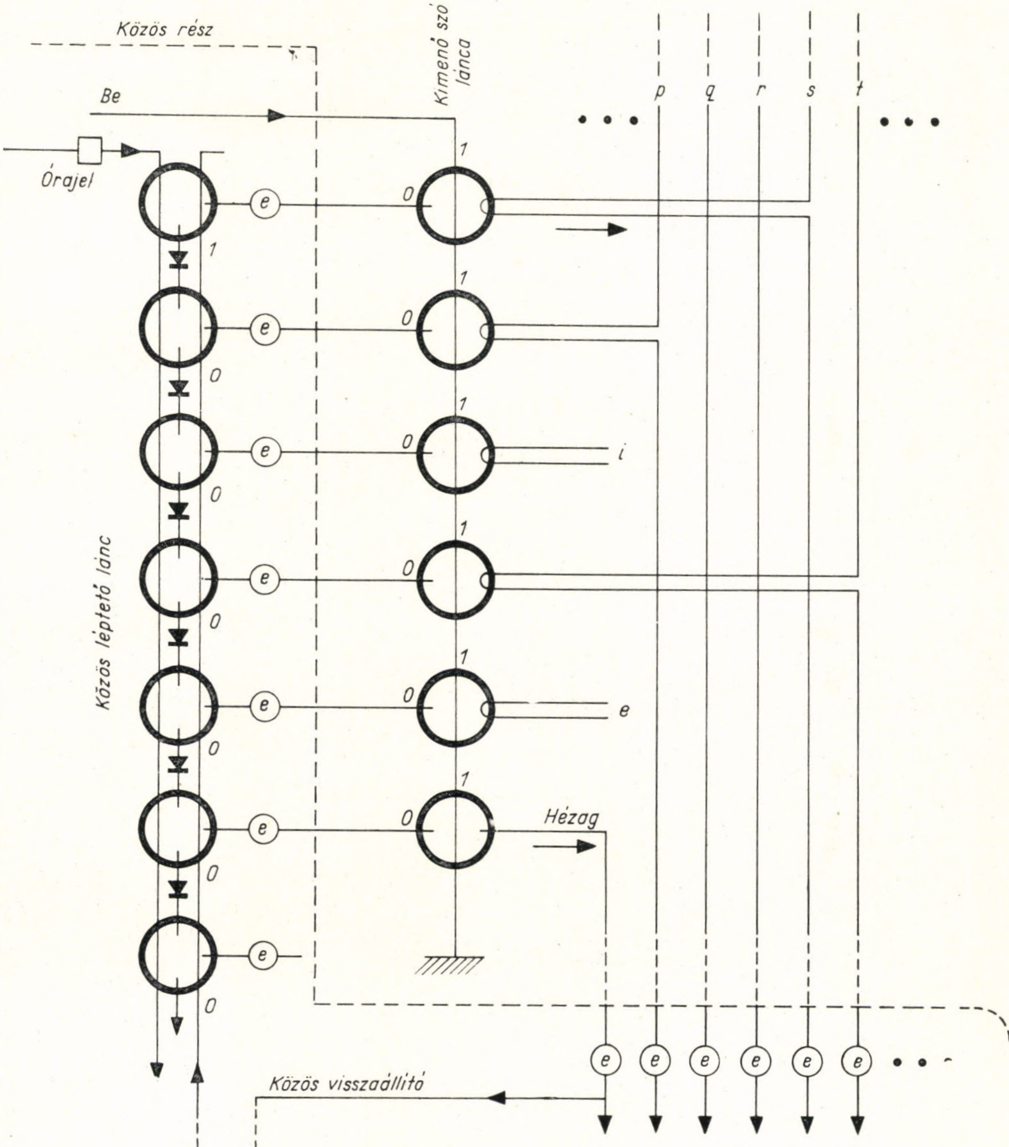


124. ábra

A *122. ábra* változata. *e* : erősítők (tranzisztorok), *k* : késleltetők

abban, hogy tetszés szerinti hosszú kimenő szó, kifejezés, és szófaj valamint kategória információk lehetnek tárolva.

A betűhuzalokról való soros leágaztatásnak (l. *124.* és *125. ábra)* előnye a terhelés megfelelőbb illesztése, azonkívül a forrasztás elmaradása (ugyanis a szólánc gyűrűi közvetlenül az egyenes betűhuzalra fűzhetők), (tehát a rajzon látható hurkok elmaradnak. A *124.*, és *125. ábra* az előbbi rendszer egyszerűsített változatát mutatja. Az összes aktív elemek egy közös központi részbe vannak sűrítve és a tárolás csupán a szólánc ferrit-gyűrűire van bízva. A *124. ábra* az *A* nyelvű szó hívását ábrázolja. Nyugalomban



125. ábra
A *123. ábra* változata

minden gyűrű 0 állapotban van, kivéve a közös léptetőlánc legfelső gyűrűjét. Az első betű befutásakor e legfelső gyűrű átbillen 0 állapotba, az alatta levő gyűrűnek átadja 1-es állapotát, a vízszintes huzalon át pedig egy félamplitudós áramlökést ad *minden* szó első gyűrűjére. Csak azok a gyűrűk billennek át 1-re, melyek a betűhuzalok felől is fél áramlökést kaptak (jelen esetben a *d* betűre kapcsolt gyűrűk). A közös betűjelhez képest az egyes betűimpulzusoknak kissé késniük kell, hogy a két $H/2$ impulzus egyszerre érkezzen a gyűrűre. Mint láthatjuk, a szólánc *minden* gyűrűje csak akkor billen át 1 állapotba, ha az előírt sorrendben érkeznek be a gyűrűk jobb- és baloldalán az áramlökések. A szóvéget jelző hézagimpulzus először is a szó utolsó gyűrűjét állítja 1-esre, majd egy egységnyi késleltetés után a szólánc összes gyűrűinek 1-es állapotra állító impulzust ad. Ha ekkor a szóláncban *már* csak átbillent gyűrűk vannak, a M szekunderben *nem* kapunk impulzust, és így a kétszer késleltetett hézagimpulzus a V gyűrűt átbillentheti, és megkaptuk a kimenőimpulzust. Ha azonban csak egyetlen gyűrű is 0 állapotban maradt a szóláncban, az M huzalon 0-ra állítóimpulzus érkezik a V gyűrűre és semlegesíti a hézagimpulzust, tehát nem kapunk a V-ből kimenő áramlökést. A szóláncok közös visszaállító vezetékét nem tüntettük fel. A közös léptetőlánc természetesen annyi elemből áll, amennyi betűje van a leghosszabb A nyelvű szónak.

A B nyelvű szó kiadását a *127. ábra* vázolja. Az előbbi ,,ki'' vezeték itt a ,,be'' vezetékhez csatlakozik és a B szó minden gyűrűjét átbillenti egyszerre. A közös léptetőlánc tehát csak e gyűrűket fogja sorjában visszabillenteni s így kimenőimpulzusokat adni a betűhuzalokra. A hézagjel kezdőállásba billenti a közös léptetőláncokat. (Több szóból álló kifejezések esetén kétféle hézagjelről kell gondoskodni: egy a szóköz, egy a kifejezés-vég számára.) Mint látjuk, e változatban az A szó tárolására csupán $n + 2$, a B szóhoz csupán $n + 1$ ferritgyűrű kell és semmi más (n a betűk száma a szóban). Anyagilag tehát ez a legolcsóbb ferrites szótárolási mód, ezzel szemben a szerelés nehézkes.

f) Optikai ,,örök''-rögzítési eljárások

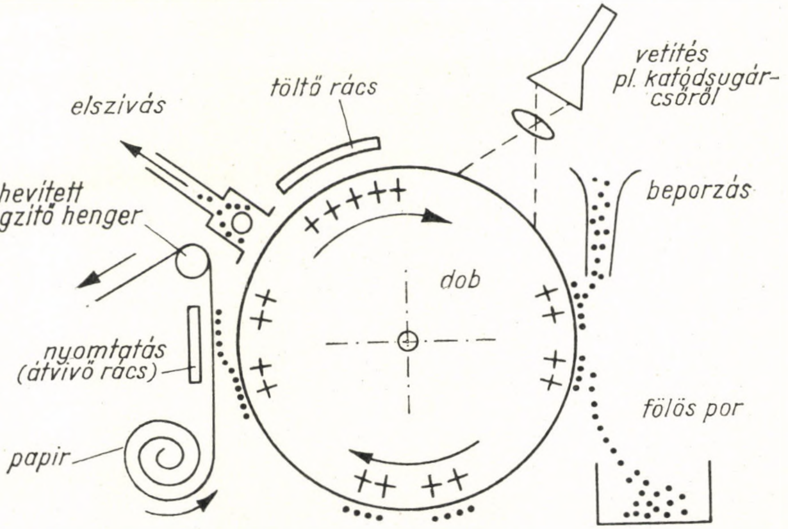
Ideális tárolás, rögzítés, ,,emlékezés'' volna az, amely elhanyagolható rövid idő alatt feljegyez, látható, végtelen nagy kapacitású és addig rögzít, míg le nem töröljük. A törlés elhanyagolhatóan kicsiny idő alatt következzék be. Az ismert rendszerek közül egyedül a tartósított katódsugárcső rendszerek feljegyzései láthatóak, tehát közvetlenül ellenőrizhetők, de kapacitásuk kicsi. Az alábbi látható rendszerek kapacitása végtelen nagy, de láthatóságuk csak bizonyos késéssel következik be.

Amely esetekben fél másodperc megfelel, mint késés, akkor a fényérzékeny papírszalagot közvetlen egy 110 C° hőmérsékletű felvevő hengeren, hideg hívón át vezetjük. Az ezüstözött 5 $^5/_8$''* sárgaréz henger hat láb/perc** kerületi sebességgel forog. A hevítés nemcsak gyorsítja a hívást, hanem szárításával eléggé fixál is.*** A kép vagy jelek felvétele a forró felvevő hengeren történik. Mozgó készülékben természetesen kellemetlen a folyadé-

* 142,875 mm ∅ (1'' = 1 hüvelyk (inch) = 25,40 mm);
** 182, 88 cm/perc (1 láb = 12 hüvelyk = 30,48 cm) *(Szerkesztő)*.
*** Jour. Sci. Instr. 1950. Jun. 170.

kos eljárás. Ezért újabban a SELÉNYI PÁL ,,beporzásos'' elektrográfiai eljárásához* hasonló száraz eljárások kerültek előtérbe.

A *xerográfia*** CHESTER F. CARLSON (1930) szabadalma szerint fotokonduktív rétegre fényképeznek, melyet előzőleg macskaprémmel megdörzsölnek. A megvilágított helyeken vezetővé lett réteg a töltést levezeti (*126. ábra*). A megvilágítás megszűnte után újra mindenütt szigetel. Finom



126. ábra
A *xerográfia*

gyantapor rászórásával, mely csak a töltött részekre ragad, a kép láthatóvá tehető. A por letörlése után a réteg újra használható, viszont hevítéssel a por a rétegbe rögzíthető. A kép papírra is átvihető egyszerű ráfektetéssel, ha a papirnak előbb töltést adunk, hogy átvonzza a port. Hevítéssel a papírra is rögzíthető. Igen finom röntgen képek nyerhetők a xeroradiográfiával.

*Elektrofax**** (*127. ábra*). Gyantával papírra ragasztott fehér cinkoxid rétegre sötétben 3—7 kV koronakisüléssel (csúcsokon történő nagyfeszültségű kisülés) 300—600 voltnyi negatív töltést adnak. Ha erre erős fénnyel képet vetítünk, a megvilágított helyeken töltést veszt. Pozitív töltésű porral behintve látható képet kapunk, mely hevítéssel rögzíthető. E színes port előzetesen vasporral keverik, így a behintés valójában egy mágnessel, mint kefével történik, mely a vasport kefeszerűen tartja a rátapadt triboelektomosság által pozitívvá lett színes porral együtt. $^1/_{10}$—

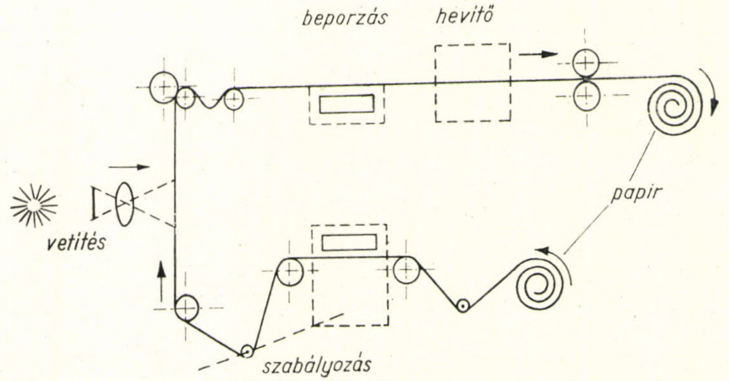
* Z. T. Phys. 1928. 452.

** J. Op. Soc. Am. 1948. 991. El. Eng. 1949. Jan. 46. Onde Électr. Déc. 1954. 979. Electrical Eng. 1956. May. 487.

*** R.C.A. Rev. 1954. Dec. 469; Bull. Schw. E. V. 1955. Nr. 13. 614.; F. T. Z. 1955. Sept. 516.; El. Eng. 1956. Jul. 313.

2 mp a felvétel és láthatóság közötti késés. Többezerszeresen érzékenyebb a kéknyomó, diazotyp és bikromát kolloidpapíroknál. Elektronikus villanó fénnyel (flash) tiz lábról 10^{-6} sec a megvilágítási idő. Felhasználható még nyomtatott áramkörök, diapozitívok készítésére is.

Ahol képosztásos rögzítés is megfelel (képtávírószerű feljegyzés), a következő eljárások szokásosak: Égetés: vékony fémréteggel bevont papír halad szénhengeren, és vékony fémtű 20—24 volt feszültséggel égéspettyeket hagy a papíron. A tű sebessége több méter lehet másodpercenként.* Transzformátor primerjébe kisütött kondenzátor által nyert szekunderfeszültség átüti a fekete papír fehér viaszrétegét, s így a fekete alap előtűnik.**



127. ábra
Az *elektrofax*

A kémiai regisztráló rendszer 187 hüvelyk/szekundum*** sebességgel dolgozik 0,01″ tűhegy terület mellett, 50 V és 100 mA jelerővel (tehát 1000 amper négyzethüvelyenként), azovegyületekkel itatott speciális vékony papíron.**** Még megemlíthető az *Evaporográf****** és a szemcsementes kép kicsinyítésre szolgáló eljárás fényérzékeny üveggel.******

g) Önsokszorosító gép („szaporodó-gép")

Biológusok és gépészmérnökök már a század eleje óta egymástól függetlenül foglalkoztak — csupán l'art pour l'art — ezzel az érdekes automatizálási feladattal. Kedvenc találós kérdésünk volt a Műegyetem rajztermében az, hogy hogyan kellene egy olyan automata-esztergát megtervezni, amely önmagát elő tudja állítani. Többen is megadták a helyes választ: olyan vezérhengerre (akkoriban lyukszalag helyett csak ez a vál-

* Frequenz. 1952. Nr. 3. 87.
** Bell Syst. 1948. 510. 588.
*** 474, 98 cm/sec *(Szerkesztő)*.
**** Proc. I. R. E. 1948. Okt. 1224.
***** El. Eng. 1956. Maj. 491.
****** Industrial Eng.: Chem. 1949. Apr.

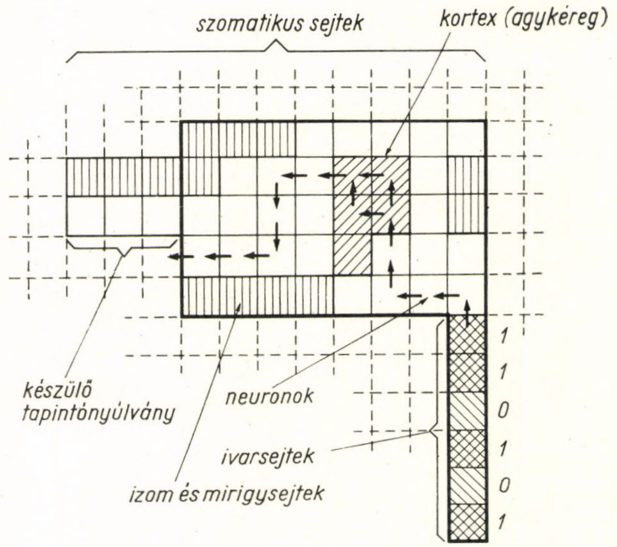
tozat dívott) van szükség, amely az egész gyártási folyamat menetét tartalmazza, beleértve magának az új vezérhengernek nyers előkészítő megmunkálását is. Utoljára marad a vezérhenger vájatainak marása, de ezt természetesen már nem vezérelheti maga a henger, hiszen most őt magát kell lemásolni. Ezt egy kis pót-vezérhenger végzi, amely már a fő munkaciklusba osztva másodpéldányban elkészült. A fő munkaciklus végén a fővezérhenger utolsó tette az, hogy átkapcsol a pótvezérműre, amely a hengermásolót indítja el és behelyezi a kész hengert az új padba, végül elindítja újra az új és régi gépet új munkaciklusra. Természetesen fémrudakat, olajat stb. korlátlanul és egyszerű módon kell a gépcsoport rendelkezésére bocsátani.

A biológusok inkább valami zsebóra-szerű gépet képzeltek el, amely önsíkjával párhuzamosan ketté vágható és mégis zavartalanul tovább jár, azután a két új óra valamiképpen eredeti vastagságára hízik. Láthatjuk, hogy ez az analógon a mitózis (sejtosztódás) képére készült. A sejtosztódáskor ugyanis a kromoszómák a sejt ekvátor-síkjában helyezkednek el, és e sík fizikailag is két egyenlő részre oszt minden kromoszómát. Ezek képezik azután a két új sejtmagot. Az eszterga-analógia is jól ábrázolja ezt az elvet: a pót-vezérmű is megvan a sejtben, ez a ,,vezértest" (centroszóma), amelynek a feladata *kizárólag csak* a fő-vezérmű (kromoszóma állomány) lemásolása, pontosabban: kettéosztása.

A gépek szaporodásának egy másik irányú lehetőségére mutatott rá Karinthy Frigyes ,,Farɛmidó" című ıegényében: a kész gépemberek gyá:akban készítik és állíıják össze az új egyedeket. Az utolsó simítás után a próbateremben álló szerelvény csɔdálkozva körülnéz és lelép a dɔbogóıól.

A gépek szaporodásának egy másik irányú lehetőségére mutatott rá Karinthy Frigyes ,,Faremido" című regényében: a kész gépemberek gyárakban készítik és állítják össze az új egyedeket. Az utolsó simítás után a próbateremben álló szerelvény csodálkozva körülnéz és lelép a dobogóról.

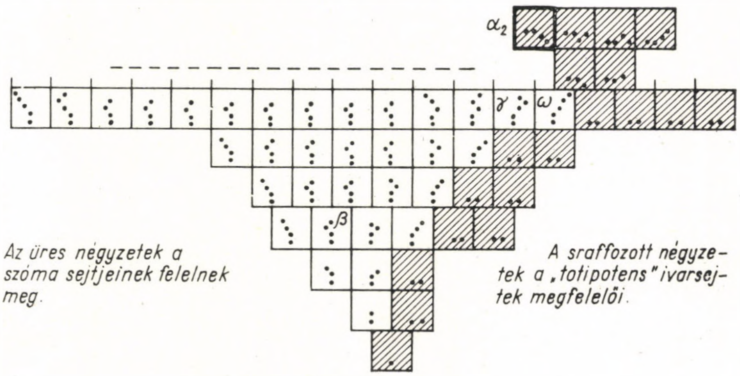
Felmerültek tervek az embriófejlődés pontosabb modelljére is (ez volna a groteszk *mechanikus* ,,gépembrió", a középkori alkimisták *kémiai* ,,homunkulus"-ának mai megfelelője). Ezekben az ,,organizátorok" működését kell utánozni, melyek fellépése az egyes szervek kialakulását vezérli biokémiai úton. Az organizátorokból a fejlődés során mind több és többnek kell megjelenni és egyben ők határozzák meg a következő időszakasz organizátorait. Az egész ontogenetikus fejlődési folyamatot igen szellemes összehasonlításokkal mutatták be, illetőleg ábrázolták, melyek az invaginatio, entobolia, gyűrűs leválás stb. menetét utánozták. Elágazási lehetőségekkel a fenotíp változatok is utánozhatók. [Vö. Üxküll, Ergebn. d. Physiol. XX. 129., ahol az ivadékváltás vezérlését ,,időalak-melódiával" (,,fermentum zongora") oly rajzzal ábrázolja, melyben egy haladó kerék különféle fogai beleilleszkednek egy meglevő alakos sínbe.] Neumann János elméleti embrió-modelljét mutatja *128. ábránk.* Egyszerűsítés céljából minden transzlációs mozgás ki van küszöbölve azzal, hogy a fejlődő ,,élőlény" síkban egymás mellett elhelyezkedő kockákból épül fel, melyek a külvilágot képező szintén síkban elképzelendő, minden nyersanyagot még rendezetlenül tartalmazó kockákból alakulnak. A csírasejt (zygóta) analogonja az 1 és 0 jeleket viselő kockasor, mely tehát ,,bit"-ekben tartalmazza a fejlesztésprogramot. (Egy kb. 100 sejtes „lény" előállítására 150 000 bit kell.) E bitekből kiinduló jelzések a „neuronkockákon" át a „kortexkockákba" jutnak és onnan átdolgozva a „mirigy", illetőleg „izom-kockákhoz", melyek e vezérlés hatására a szomszédos külvilágkockákat átalakítják szervekké. Ha kész az „élőlény", akkor agya lemásolja a zygótát, s ez aztán újabb „lény" előállítását kezdheti meg. Azonban e modell egyáltalán nem ábrázolja híven a valóságot, hanem inkább csak az öngyártó esztergának egy elvontabb alakját. Hiszen amíg ennek a gép- embriónak nincs idegrendszere, addig nem is működhet; és mikor már van, proprioceptív idegeknek kellene haladniuk az ivarsejtektől az agyig, aminek nyoma sincs a valóságban. Azonkívül az eredeti zygóta az első osztódás után már nem is léltezik ! Az élők szaporodása és az iparcikkgyártás közt ugyanis az a neve-



128. ábra
Neumann elméleti embrió modellje

zetes eltérés van, hogy amíg az utóbbinál a „tégla van a gyárban", addig az előbbinél a *„gyár van a téglában"* (sejtben). Az örökítőelemek (elvben mindegy mik ezek: gemmulák, idek, gének, DRN-molekulák) nem diktálnak távolról, mint a fenti modellen, hanem minden sejt magával hurcolja másolataikat s *helyben* kapja tőlük a vezérlés oroszlánrészét. A vezérlés többi részét a szomszédos sejtek katalizátorai (organizátorok) intézik, míg később a hormon és ideghatások távolabbról is belépnek. A valóságban tehát egy vagy több bonyolult szerves vegyületből álló egység fokozatos lebomlásából (vagy másfajta változásából) állnak elő az organizátorok. Az osztódó sejt (különösen az ontogenezis kezdeti fázisaiban) két fióksejtje nem egészen pontosan egyforma; azonkívül a kromoszómák a test minden sejtjében megvannak ugyan, de mindenesetre különböző fokozatoknak megfelelő átalakult állapotban, mert a kifejlett szervezet test sejtjei csak önmagukat tudják sokszorozni (pl. bőrsejt csak bőrsejtet tud előállítani, de pl. májsejtet nem), az idegsejtek a kész élőlényben még azt sem!

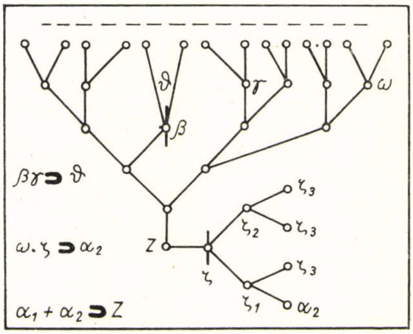
Az ontogenézis sokkal hűbb ábrázolását nyerjük az alábbi *„dinamikus homunkulus”* révén, mely egyszerűsítve utánozza az ontogenézis időbeli lefolyásában megnyilatkozó vezérműhálózat kibontakozását. Modelljét *(129. ábra)* egy kirakó kártyajáték alakjában valósíthatjuk meg. Egy adott állatfaj génszerelvényét egy kártya képviselje *(130. ábra)*. A lyukak, ill. a pontok a géneket jelentik. A táplálkozást és mitózist (sejtoszlást) úgy játsszuk, hogy egy lyukasztóklisével minden sejtosztódás alkalmával gyártunk egy pontosan ugyanilyen kártyát. A játék elején egy kártyát teszünk az asztalra *(129. ábrán* a legalsó), ez a csírasejt (zygóta). A kártyán levő, lyukat megjelöljük pl. kis fekete dugasszal, jelezvén ezzel azt, hogy e „gén”



129. ábra
A *„dinamikus homunkulus”* modellje

kötelességét már elvégezte, egyben elhelyezünk az asztalon egy ugyanígy megjelölt második kártyát, s most mind a kettőt a második sorba toljuk. Ez volt az első sejtoszlás (az asztalon mindig csak *egy* vízszintes kártyasor lehet jelen! Az időt alulról felfelé haladónak képzeljük.) Ugyanekkor új dugaszt is teszünk mindegyik kártya megfelelő lyukába (a *129. ábrán* újabb fekete ponttal jelölve) jelezve azt, hogy e gének is elvégezték kötelességüket. A harmadik osztódáskor három sejtünk van az asztalon, mert példaképp feltételezzük, hogy az ivarsejt lassabban szaporodik ivartalanul, tehát ebben az időmetszetben még nem osztódott. A kártyán *(130. ábra)* a β és ζ lyuknál látható vastag függélyes vonallal jeleztük azt, hogy ez állapotba jutott sejtek *változatlanul* szaporodnak mindaddig, míg valahonnan egy újonnan fellépő organizátor további átalakulásra nem vezérli. E játékban az „organizátor” olyan utasítás (játékszabály) a játékos számára, amelyet a már bedugaszolt lyukak bizonyos konstellációja alkalmával kell végrehajtani. A kártyákon evégből előrenyomtatott görög betűk vannak a megfelelő lyuknál. Tehát az organizátor akkor jelenik meg, amikor a betű melletti lyukat dugaszoljuk. Az utasításokat táblázatba foglalva adhatjuk meg, pl. β és γ együttesére ϑ utasítás hajtandó végre; ω és ζ együttes megjelenésére *egyetlen* ivarsejt (nőstény állatban) redukciósan osztandó stb.

Igy pl. a β organizátor, melynek felléptét a *129. ábra* alulról negyedik sorában a már dugaszolt lyukak konstellációja szabja meg, sejtjét a többinél gyorsabb szaporodásra ingerli, tehát utasításunk az, hogy kártyáját *változatlan dugaszolással* mindaddig szaporítjuk, míg a γ organizátor meg nem jelenik. A γ utasítását akkor hajtjuk végre, amikor dugaszolással eljutottunk a *129. ábrán* a γ-val jelzett négyszög lyukábrájáig, s eszerint most e ,,sejtek'' gyors ,,szaporodását'' beszüntetjük (ϑ). A játék folyamán a bedugaszolt lyukak száma mindig több lesz és e bedugaszolt lyukak konstellációját megfeleltetjük a ,,sejt'' minőségének (pl. májsejt). Az ω organizátor ugyanilyen módon való megjelenése az ivarérettséget jelzi, ez a ζ organizátorral változatlan szaporodásban tartott ivarsejtet redukciós osztódásra serkenti, azaz a játékosnak ezt is le kell játszania (a *129. ábrán* a legfelső két kártyasor). A bekeretezett kártya lyukkonstellációja megfelel az α_2 organizátor fellépésének, mely a további osztódást megszünteti a kopulációig (érett petesejt). A hím mind a négy gamétájának ,,hormonát'' nevezzük el α_1-nek (az ábrán nincs feltüntetve). Ha két kártyacsomaggal játszunk, akkor az α_1 és α_2 együttes jelenléte jelenti a megtermékenyítést, s ezt úgy játsszuk le, hogy az α_2 jelű gamétából kivesszük a dugaszokat, csak a Z-t hagyván meg. E kártyából kiindulva új játszmába kezdhetünk. Egyszerűség kedvéért mellőztük egyelőre a nemi kromoszomák ábrázolását.

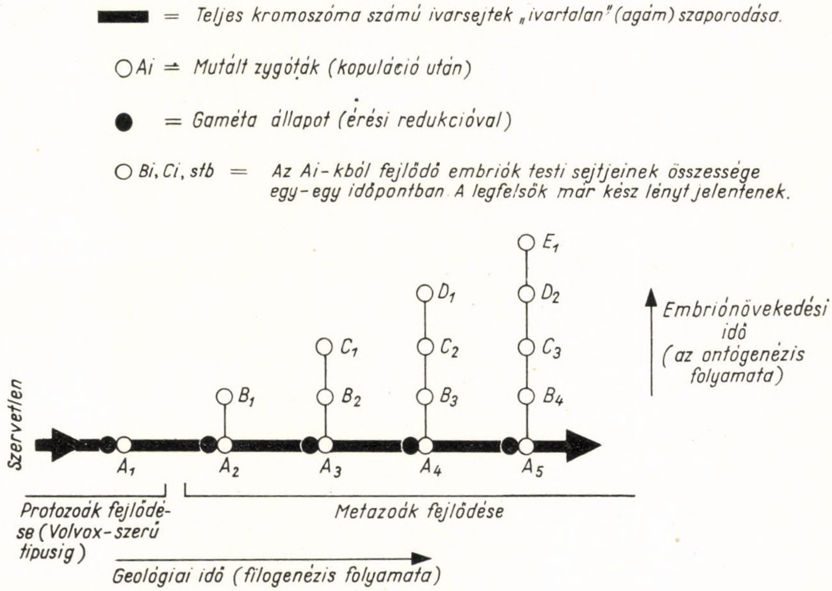


130. ábra
Génszerelvény-kártya a ,,*dinamikus homunkulus*''-hoz

E modellt kivetíthetővé is tehetjük, pl. egyetlen diapozitív alakjában, melyen egy mozgatható ablakkal mindig csak egy vízszintes kártyasor képét tesszük láthatóvá.

h) A filogenetikus gép

Már Neumann is megemlíti, hogy modelljéből ,,*Darwin*-féle gépet'' úgy csinálhatunk, hogy a variabilitást az 1 és 0 elemek (l. *128 ábra)* néhányának hazárd felcserélésével utánozzuk, ami találó analogonja a mutációnak. Így az ősöktől elütő lény keletkezik, amely ,,élete'' során automatikusan átesik a kiválogatódás szitáján. Ehhez természetesen egy beépített és szintén ,,veleszaporított'' variátor szükséges. De mindez nem elég ahhoz, hogy alsóbbrendűből magasabbrendű lény álljon elő. Nyilvánvaló, hogy egy meduza-zygótának sokkal kevesebb bitre van szüksége, mint az embernek. Tehát a mutációban a bitek *számának* is változni kell. Az élet fejlődésmechanikájának erre az egyetlen logikus, konstruktív, legegyszerűbb és egyben legtakarékosabb megoldására a *Haeckel*-féle biológiai alaptörvény O. Hertwig által módosított alakja: az *ontogenetikus kauzáltörvény* mutat rá. E törvényt szemléltető alakban a *131. ábra* mutatja be. Az embrió nem veszi fel pontosan egyenes-ősei alakjait, hanem ,,célszerű'' egyszerűsítéseknek van alávetve (pl. B_2 nem lehet azonos a B_1 homológ állapottal, mert akkor nem tudna eltérő C_2-ket fejleszteni !). Az A_{i+1}-et A_i-től új mutáció választja el.



131. ábra

Az ontogenetikus kauzalitás törvénye

i) Az „ítélőgép"

Az ítélőgép* (talán „minősítőgép vagy „elhatározó" „döntő-gép" elnevezés jobban megfelelne) bizonyos bonyolult esetekben tényleg elfogulatlanul és igazságosan dönt *(132. ábra)*.

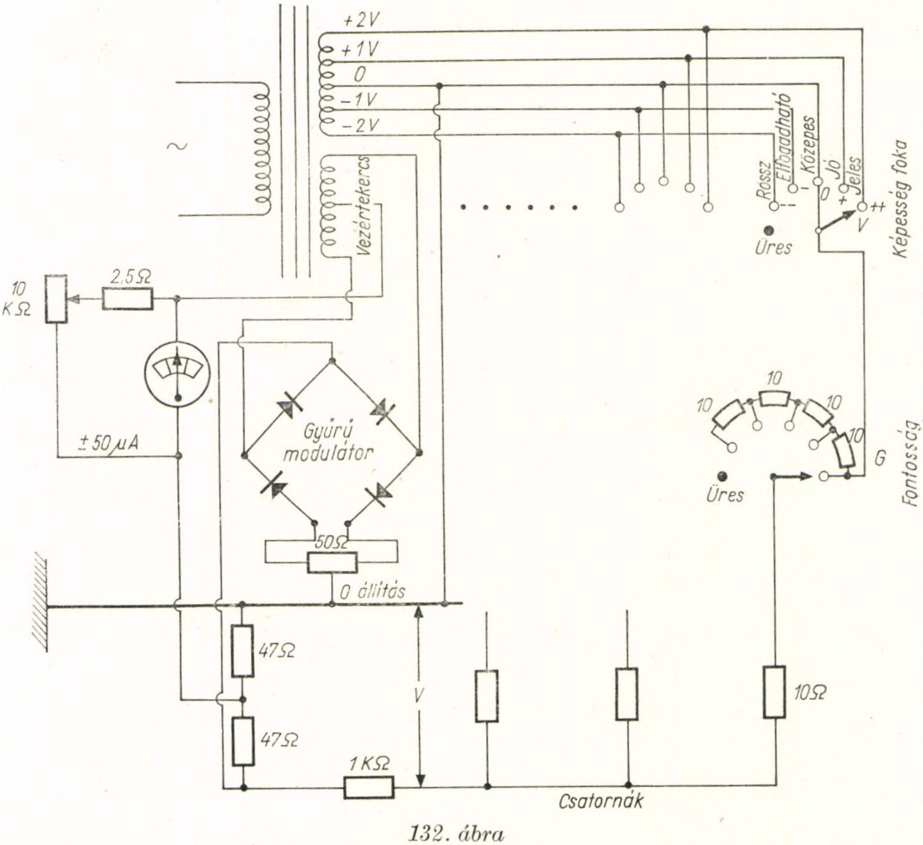
Legkönnyebben egy példán érthetjük meg működését. Bizonyos állásra jelentkezők közül kell a legalkalmasabbat kiválasztani. Ez a gyakorlatban is bonyolult kérdés, és legtöbbször érzelmi alapon szoktak dönteni. Egyszerre csak egy jelentkező adatait kell beállítani a gépbe. Legyen G_i a képességek fontossága az állás szempontjából, V_i az egyén kiválósága egyes képességekben (pl. iskolai osztályozási jegy), melyeket be kell állítani valamilyen önkényes kulcs szerint. A G_i-ket vezetőképességek képviselik, a V_i-k feszültségek. A kivitelezett gépen tíz, párhuzamosan kapcsolt csatorna van tízféle „képesség" számára. Az egyenáramú műszer minden jelentkezőnél ad valamilyen kitérést és a legnagyobb kitérést mutató jelentkező választandó.

Ugyanilyen módon kikereshető adott egyén számára a legmegfelelőbb állás. Súlyozott szavazásra is alkalmas a gép: a V_i-ket a szavazók állítják

* W. H. Alexander: A judgment box. Electronic Eng. 1951. Jul. 256.

be, a G_i-ket a szavazó képzettsége szerint a szavaztató állítja. A gép egyszerre csak egy jelöltre ad kitérést, de kitéréseinek feljegyzése révén minősíthetők is azután a jelöltek. A kapcsolás egy analóg-számológép, amely a feszültség súlyozott középértékét a következő képlet alapján képezi:

$$V = \frac{\sum V_i G_i}{\sum G_i}.$$



132. ábra
Az „ítélőgép" kapcsolási vázlata

Egy-egy csatorna árama ugyanis

$$I_i = (V_i - V)\, G_i\,,$$

ahol V a közös vezetéken uralkodó feszültség. Egyszerű szummázással és V-t kiemelve kapjuk, hogy

$$0 = I = \sum_{i=1}^{n} I_i = \sum_{i=1}^{n} (V_i - V) G_i = \sum_{i=1}^{n} V_i\, G_i - V \sum_{i=1}^{n} G_i\,.$$

Az I-t zérussá tesszük azáltal, hogy a közös vezetékbe relatíve nagy ellenállást iktatunk úgy, hogy csupán a közös vezetékbe szükséges elhanyagolhatóan kis áram fusson rajta, s akkor V valóban a súlyozott középpel arányos. A kapcsolás magyarázatát az eredeti cikk mellőzi. Megjegyezzük, hogy az ismert kristálydiódás gyűrű-modulátor feladata itt az, hogy amikor a V feszültség és a vezértekercs feszültsége fázisban vannak, akkor az egyenáramú műszer egyik oldalra térjen ki, ha pedig 180^0-ban el vannak tolva (ellenkező fázisban vannak), akkor a másik oldalra térjen ki.

Természetesen másfajta kapcsolásokkal is konstruálhatunk a súlyozott közép kiszámítását véghezvivő analóg-gépet.

j) Alkotógépek

,,Tudományos utópián kívül egyetlen logikai vagy számológép sem árulta el még eddig a legcsekélyebb szikráját sem az eredetiségének."* Tegyük még hozzá LADY LOVELACE kritikáját BABBAGE számológépéről (1830): Babbage gépe ,,nem igényli, hogy *alkosson* valamit. Csak azt tudja teljesíteni, amit *meg tudunk parancsolni* neki. Tud utánozni analizálást; de nincs tehetsége *kitalálni* semmilyen analitikai relációt vagy igazságot".** De mi lenne, ha magát az eredetiség mechanizmusát konstruálnánk a gépbe? Az eredetiség sem metafizikai valami: megvannak a természettörvényei, melyek kikutathatók és modellezhetők. Az előbbi vigasztalan zord ,,végzések" ugyan igazak a jelenre, de nem elégségesek a haladás, a további kutatások kizárására. Nem szabad oly módon értelmezni őket, hogy: ,,amely mérnök nem tud puszta kézzel 300 kilót felemelni, az nem is tud olyan gépet csinálni, amely 300 kilót felemel". Bármely inspiráció, bármely ,,természetfelettire" értékelt ,,explozív rádöbbenés", mely ,,mintegy ragyogó csillag, a semmiből jönni látszik", visszavezethető determinisztikus gondolkozási folyamatokra. Már PAPPUS (i. e. 300) foglalkozik ,,a feladatok megfejtésének művészetével", DESCARTES (1596—1650) leszögezi, hogy problémák megoldásakor gondolkozásunk meghatározott szabályokat követ, LEIBNIZ (1646—1716) introspektíve megfigyeli gondolkozásunk automatikus és természettörvények szerint való lefolyását. HELMHOLTZ szerint: . . . ,,miután a következtetések nem a szerző önkénye, hanem törvény szerint folynak egymásból, sokszor úgy tetszett, mintha nem is a magam munkáját, hanem valaki másét vetném papírra". A feltűnően modern kibernetikai szinten gondolkozó E. A. POE megjegyzi: az elemző típusú ember megoldásai... ,,melyekhez szigorú módszeresség és következtetések útján jutott, az avatatlanok előtt ritka intuíció szülötteinek tetszenek". Mondhatjuk tehát, hogy a ragyogó alkotások mögött száraz, kietlen lécek és iszkábák kibrándító állványzata rejtőzik.

Az alkotó gondolkozás általában kérdések, feladatok, problémák felmerülésekor indul meg. Ilyen értelemben nemcsak az egész emberiség

* M. GARDNER: Sci. A. 1952. March. 68.

** ,,The Analitical Engine has no pretentions whatever to *originate* anything. It can *follow* analysis; but it has no power of *anticipating* any analitical relations or truths". Taylors Scientific Memoirs. Vol. III. p. 666—731. A kiadó jegyzeteit LADY LOVELACE (Ada Augusta) írta: Article XXIX. L. F. MENABRIA: Scetch of the Analytical Engine etc. Note G-Page 360, második bekezdés.

számára új nagy felfedezéseket, művészi teljesítményeket stb. kell alkotásnak minősítenünk, hanem a mindennapi élet mindenkor adódó, az egyén számára új, apró problémáit is, pl. egy bevásárlási program tervezését (milyen sorrendben és milyen járműveken látogatjuk sorra az üzleteket a legrövidebb úton), egy erősítő tervezését, ahol csak az erősítés és rezgésszámhatár más, mint az eddig ismert kivitelekben, egy reprodukáló művész feladatát stb.

„Zsenialitás" alsóbbrendű állatokban. Az átlag-selyemhernyó teljesen sík terepen nem tudja a begubódzást elkezdeni, s ezért rendszerint laza szalmacsomók közé rakják őket. Sík asztalra tett selyemhernyóknak csak egész kis százaléka tud begubódzni, a többi elpusztul. A „tehetségesek" idegrendszere mindenesetre fejlettebb kell, hogy legyen a többinél. Ugyanazon fecskefaj más-más egyedei igen nagy eltérést mutatnak a fészeképítésben (Perbetei Kun V.: A fecskék fészeképítése. Természettudományi Közlöny 1928, 370). Egy kb. tíz év előtti újsághír szerint egy „zseniális" tehén minden idomítás nélkül a kútból vizet tudott szivattyúzni magának. A hihetetlen hírt a filmhiradó igazolta. A tehén a kútoszlophoz ment, és nyakát ősi reflexlánc alapján vakarni kezdte egész teste előre-hátra himbálásával. Közben a szarva, mely kedvező alakú volt, beleakadt a dugattyús kút ismert hurokalakú mozgatókarjába s így ezt is mozgatván a víz a kifolyócsövön folyni kezdett s a tehén a vízsugarat helyzetváltoztatás nélkül, kinyújtott nyelvvel elérte. Minthogy a tehén valahányszor szomjas volt, megtette a fenti mozgássorozatot, Pavlov törvénye szerint egy új reflexláncnak kellett benne már a legelső alkalommal felépülnie. E primitív felfedezésben — nem tagadhatjuk — az alkotóműködés néhány fázisát megtaláljuk: az adódó szerencsés alkalmak észrevevése, felhasználása és emlékezetben tartása itt nyilvánvaló.

Az emberi alkotó gondolkozás szerkezeti elemzését a rövid fejtörőkkel legalkalmasabb megkezdeni, mert minden bonyolult jelenséget azok legegyszerűbb típusaiból kiindulva célszerű elemezni és így fölépíteni az összetettebb típusokat.

Közismert fejtörő a következő: Ha egy utas szó nélkül egyforintnyi pénzösszeget ad a villamoskalauznak, mikor fog az szó nélkül átszállót adni? A megfejtő „gép"-nek ismernie kell a pénzskálát, a jegyskálát és a visszaadás fogalmát, ezenkívül rá kell jönnie arra, hogy szisztematikusan képeznie kell az egy forint minden lehetséges összeállítását. Tudnia kell még, hogy fizetéskor olyan pénzdarabot nem adunk oda, amely változatlanul visszakerül. Az összes lehetőségek elsorolása után kiderül, hogy két 50 filléres csak 70 filléres jegy esetében kerüli el egy pénzdarab változatlan visszaadását. E fejtörőt minden kalauz pillanatok alatt megoldja, pedig a fenti folyamatok valamennyijén *elkerülhetetlenül* végig kell futnia! Elég ritka eset, amikor lehetőség nyílik a szisztematikus keresésre, illetőleg egy kész sorozatból („listá"-ból) való kikeresésre. A képrejtvényekben például sok kovencionális jelölés van, s ezek végigpróbálásával hamar megfejthetők. Matematikai bizonyítások esetén rendelkezésre áll az axiómakészlet, mely a kiinduláskor sorra végigpróbálható. A keresésre egyszerű példa: adva egy hatbetűs szó, melyben egy betűt kihagytunk, s e betűt ki kell találni. A kezdő először rendszertelenül próbálgat betűket beiktatni, majd hirtelen „intuicióval" eszébe villan, hogy van abc is, és így elég sorjában beiktatni az üres helyre a betűket, hogy biztosan megkapja a megoldást. Ez a hirtelen „intuició" nem egyéb, mint a rendezett emlékezettárunkban a *meglevő* „a betű eleme az abc-nek" ítélet látens módon való felidézése a „betű" asszociatív bekapcsoltsága révén, és az ítéletből való kiemelése. Az „abc" azután további ítéleteket hív fel pl. „az abc-ben nyelvünk *minden* betűje megvan" stb. Eddig csak „érintkezéses" (dominószerű) felidézések folytak le, de az az ítélet, hogy „ha minden betű megvan, akkor a megoldás is biztosan megvan", már logikai folyamat eredménye. A vezető művelet ebben az alkotásepizódban is közös minden alkotáséval: megoldások keresése, a jelentkező látszólagos megoldások (ill. részletmegoldások) ellenőrzése, megvizsgálása oly szempontból, hogy a probléma előírt feltételeinek („kikötéseknek", követelményeknek) megfelelnek-e, és a „bevált"-ak és be nem váltak külön-külön feljegyzése. A keresés, legalább részben, csak akkor marad el, amikor valami új jelenség szerencsés véletlen folytán kerül elénk, és így csak az ellenőrzés marad ránk. Jellemző példa erre HERAPATH esete, aki kb. száz évvel ezelőtt felfedezte a szerves polaroid kristályt. Tanítványainak kininszulfáttal való kísérleteket adott fel és egyikük bemutatott neki egy epruvettában apró sárga kristályokat, melyek, ha keresztben feküdtek egymáson, áteső fényben teljesen feketéknek látszottak. Minthogy a tanítvány nem tudta megmondani, hogyan jöttek létre a kristályok, a probléma ennek kiderítésére tolódott el. Ki is derült, hogy valami sebesülésre jódot használtak hanyagul, s az epruvettába jutott igen kevés jód elég volt a polyjodid képződésére. Ezzel szemben teljesen szisztematikus volt JEVONS logikai gépének feltalálása: először táblára írta az összes variációkat s áthúzta a hamisakat; majd a variációkat papírcsíkokra írta és törlés helyett eltolta, majd falécekre írta őket és szegekkel látta el, hogy egy közös vonalzóval tologathassa, végül több vonalzót alkalmazott a nagyobb mozgások elkerülésére és ezeket billentyűkhöz kötött zsínorokkal mozgatta, és kész volt a gép.

Az emberiség nagy felfedezései rendszerint nem egy-egy ember művei, de sokszor az utolsó simítást végzőnek neve alatt szerepelnek. Például PLUTARCHOS művei NEWTON idejében közkézen forogtak s ezek egyikében PHARNATIUS idézve van: „... az elhajított kő nem esik le (értsd: függélyesen), hanem körszerű ívet ír le. Nem kell tehát félnünk a hold leesésétől ...", NEWTONra tehát már csak a számszerű bizonyítás maradt. LEIBNIZ is „intuitiv-explozív kirobbanással" fedezte fel a differenciálást. De tudjuk, hogy előtte már mások az ax, ax^2 és ax^3 differenciálhányadosát már meghatározták, és így LEIBNIZre csak az nax^{n-1} indukció, ill. általánosítás várt. DARWIN „faji kiválogatódás"-ának ötletét megtaláljuk DIDEROT: „Levél a vakokról azok használatára, akik látnak" (1749) című művében:* „... csak azok (a kombinációk) maradtak meg, amelyeknek mechanizmusa semmi lényegesebb ellentmondást nem foglalt magában, amelyek tehát önerejükből fennállhattak és szaporodhattak". Ám DIDEROTot is megelőzte EMPEDOKLES.** Az alkotó gondolkozás számos kitűnő példáját elemzi behatóan PÓLYA GYÖRGY.***

Nagy gondolkozók introspektív megfigyeléseit és ezek fejtegetését találjuk J. HADAMARD: An essay on the psychology of invention in the mathematical field. 1944 és 1945. Princeton Univ. Press. c. könyvében, további irodalmi adatokkal. L. még: E. I. GREEN: Creative thinking (Electrical Eng. Jún. 1954, p. 490) című cikkét, amely az alkotó folyamatot felosztja a következő szakaszokra: logikai előkészület, inkubációs periódus, hirtelen illumináció, és az eredmények tisztázása. (Új fogalmak: az omphaloskepsis = szigorú tartózkodás minden külső segédeszköztől; szerendibitás = = új ötlet olyankor való előbukkanása, amikor a gondolkozó éppen egészen mással foglalkozik).

Az alkotógép megtervezésének nehézségei. A kutatás az alkotó és általában a „szellemi" működések vizsgálatában lehet: 1. szubjektív, azaz introspektív (önmagunk belső megfigyelése), 2. objektív, azaz behaviorisztikus (mások viselkedésének megfigyelése). Az előbbi hibája egyrészt az, hogy a vizsgálat megváltoztatja a vizsgált folyamatot, másrészt sokkal inkább az, hogy az introspekció számára csak egyes olyan belső jelenségek hozzáférhetők, amelyek egyenesen arra vannak berendezve, hogy megfigyeljük őket, míg a folyamat túlnyomó része erre nem alkalmas (pl. látensen folyik le). Az objektív megfigyelés hibája pedig az, hogy kívülről nézve valamit, nem sokat láthatunk a belsejéből. Vegyük még ehhez hozzá a 3. konstruktív kutatást (amelyet kibernetikainak is nevezhetünk). Ebben a folyamat elemzését műszaki feladatnak fogjuk fel:

* Diderot válogatott filozófiai művei. I, ford. Kun S. 1915, Franklin Társulat.
** E. HAECKEL: Világproblémák. 1899., ford. Iván I. és Szabó S. 1905, 271 o.
*** Mathematics and plausible reasoning. Princeton. 1954, és How to solve it. 1945 és 1948. Ford. Lakatos I.: A gondolkozás iskolája. 1957.

kiindulunk abból, hogy ha az embernek ilyen és ilyen kérdéseket, feladatokat adunk fel és az ember ezekre ilyen és ilyen megoldásokat szolgáltat, akkor konstruáljunk egy olyan gépet, amely ugyanezen „bemenő adatokra" ugyanazon „kimenő eredményeket" adja ki; szélső esetben mit sem törődve az emberrel (bár az 1. és 2. eredményeinek felhasználása nemcsak, hogy haszonnal jár, hanem egyenesen kibernetikai szabály is), — minden rendelkezésre álló műszaki eszköz igénybevételével. Ebben az értelemben az egész emberi agyvelő modellezése a „tapasztalatokat hasznosító gép" elnevezést kaphatná; e konstruálás nem fog könnyen sikerülni, a kibernetika egyelőre részletfeladatokkal foglalkozik. PÓLYA a matematikai feladatok megoldásának elemzésében már konstruktív irányt követ, mert tárgyilagosan magát a problémát boncolja (felhasználva az 1. és 2. megfigyeléseket is). Az eljárásnak s az ehhez kapcsolódó gépi rutinnak eddig talán legjobb kiindulási vázlata a „Gondolkozás iskolája" című művének borítékoldalán található táblázat. Az alábbiakban ezt kíséreljük meg továbbfejleszteni. A z a l k o t ó „e l j á r á s", úgy, ahogy az ember végzi, nem algoritmus (bár „külalakjára" nézve hasonló), mert „jótállást" nem ad arra nézve, hogy eredményt is nyújt, azaz nem ad mindig megoldást, és azt sem mondja meg mindig, hogy van-e megoldás egyáltalán és megoldhatatlan feladat esetén bizonyítani sem tudja általában, hogy nincs megoldás. Az ilyen eljárást *heurisztikusnak* nevezik (heurisztika: a „feltalálás, felfedezés művészete" a görög heuriszkó, heurészó = „feltalálok" igéből). A megoldandó matematikai feladatot lehet 1. egy bizonyítandó teoréma, amikor is az axiómákból (vagy már bizonyított teorémákból) kell levezetni a teorémát, 2. ismeretlenek meghatározása, melyhez a kezdeti adatok és kezdeti feltételek, követelmények (PÓLYA szavaival: kikötések) adva vannak. A tudományok és művészetek egyéb ágaiban is általában (pl. pályázati felhívások esetén) a feladat kikötései adottak, és a megoldásban követett (alább részletezett) eljárás is lényegében ugyanaz. Általában tehát a megoldási eljárás abban áll, hogy a problémával foglalkozó keres olyan megoldásnak látszó lehetőségeket (látszólagos megoldásokat), amelyeket sorra összehasonlítva a kikötésekkel és egyéb kezdeti adatokkal (ezeket együtt röviden „célkomplexumnak" is nevezhetjük) azokat előírt módon kielégíti. Ez az eljárás minden olyan esetben *heurisztikus*, amikor nem tudjuk bizonyítani, hogy *minden* lehetőséget elsoroltunk, és ez a leggyakoribb, általános eset. Az eljárás főmotívuma tehát a lehetőségek keresése (kedvező esetben „termelése") s a talált lehetőségek összehasonlítása a célkomplexummal. Befejeződik az eljárás, ha legalább egy olyan lehetőség kerül elő, amely az összehasonlítás próbáját kiállja („beválik").

Már előre látjuk, hogy az összehasonlítás gépesítése nem lesz nehéz, hiszen sokféle koincidencia-módszert — már csak a digitális számológépek terén is — ismerünk. A bökkenő a keresésben van. Ha van szépen sorba rakott listánk (mint pl. az abc-vel megoldott példánkban, akkor a keresés egyszerű „kikeresés", sorravétel lesz; de ha ilyen nincs, akkor (kizárva egyelőre a külső kísérleteket és megfigyelést, sőt a papíron való tervezést is) az emlékezettárunkban rendelkezésre álló adatkészletben való keresésre szorulunk. Általános esetben ilyenkor a keresés meglehetősen passzív, sokszor nem tehetünk egyebet, aktíve, mint hogy csendes helyre vonulunk, szemünket behúnyjuk stb., vagyis igyekszünk ,,szabadjára engedni fantáziánkat". De vannak aktív segédeszközök is, ezeket gyűjtötte össze PÓLYA az ,,önkérdések" említett táblázatában. Ezek révén valójában szisztematikusan alproblémákat adunk meg, melyek révén a kereseti területek beszűkülnek s így a találat valószínűsége nő.

Emlékezettárunk felhívóberendezése igen magas szervezettségű. A legsokoldalúbb felhívhatóságot kell feltételeznünk, oly értelemben, hogy egy-egy megadott szempont elég a hozzátartozó szavak, relációk felhívásához. Egy (beszédbeli) szó felidézheti mindazokat a külvilágból felvett (beleértve még a tanulással bevett) komplexumokat, amelyekben szerepelt. Lesznek tehát emlékezetünkben tárolva olyan ítéletek, amelyek szorosan vett logikai kapcsolatok pl. implikációk, osztály és egyéb relációk, azonkívül puszta ,,történetes" kapcsolatok verbális feljegyzései, pl. két oly esemény leírása, melyek a valóságban csak egyszer követték egymást, vagy két jelenségé, melyek csak egyszer fordultak elő a térben egymás mellett. Ezek részei egymást és egészüket felhívhatják (és viszont). A ,,történetes" kapcsolatok teljesen diszparát dolgokat is összehozhatnak, pl. ha egy porcelánkereskedés kirakatában láttunk egy elefántcsontszobrocskát, akkor később a ,,porcelán" szó eszünkbe juttathatja az ,,elefánt" szót (ami, ha a folyamat látensen történik, ,,megmagyarázhatatlannak" tűnik). Az olyan külvilágból szerzett ítéleteket, amelyek tartalma valamely törvényszerűséget fejez ki (pl. ha a vasat kénsavba tesszük, feloldódik), rövidség kedvéért *egnémák*nak* fogjuk nevezni (konyhagörögséggel, önkényesen képzett szó), megkülönböztetésül a ,,történetes" ítéletektől (amilyen pl. ,,Aladár tegnap du. hatkor átment a Szabadság-hídon"). A hasonlóság, az általánosítás és specializálás szerint való felhívhatóság így magyarázatot nyer, mert a részben való azonosságnál a hasonlók az azonos rész révén felhívhatják egymást, a ,,négyzet" szintén a részleges azonosság alapján felhívhatja a ,,négyzet egy faja a téglalapnak" tárolt ítéletet, és ez felhívhatja a ,,téglalap" szót és viszont.

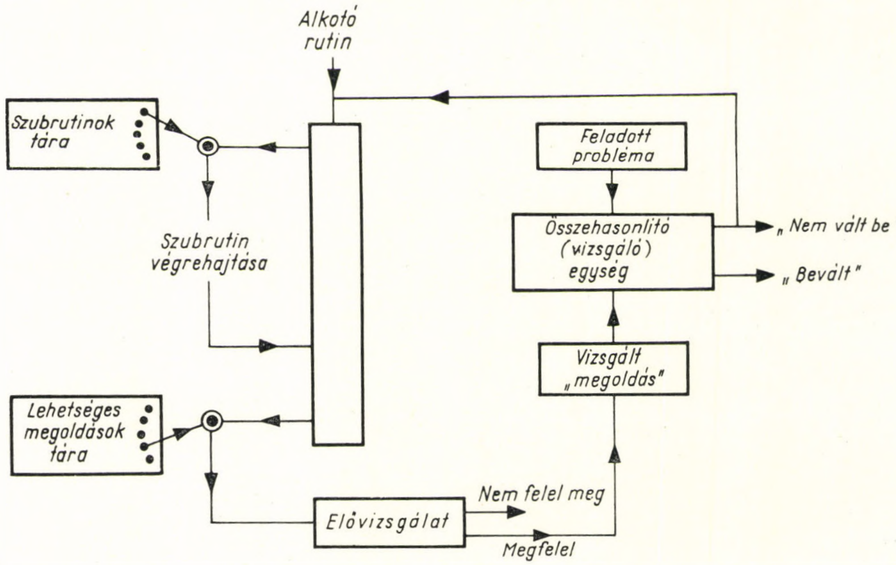
A plauzibilis következtetések alkalmazása az így nyert anyagon alproblémákat vet föl, amelyek a megadott probléma megoldására vezethetnek. Így pl. az előbbi: ,,a négyzet faja a téglalapnak" ítéletből általánosítással az ,,a négyzetre álló A teoréma áll a téglalapra" plauzibilis következtetés tehető, melyben az ,,A teoréma áll a téglalapra" alprobléma bizonyításra szorul. Analógiás következtetés pl. ,,két probléma hasonló, megoldásuk — mutatis matandis — hasonló" és pl. ,,A teoréma hasonló a B teorémához, A levezethető B-ből." Nem teljes indukció: ,,néhány páros szám két prímszám összege, minden páros szám két prímszám összege". A specializálás (osztályról következtetés a fajra) érvényes következtetést is nyújt: egy általános tétel nem lehet igaz, ha egy speciális esetre nem igaz.

A bizonyítás menetét vezérlő rutinoknak, ill. szubrutinoknak érvényes logikai következtetések szigorú alkalmazását kell követniük minden esetben.

Említést kell tennünk még a ,,képekben" gondolkozásról is (pl. HADAMARD nyomatékosan figyelmeztet erre). Az eddig tárgyalt gondolkozási típus (szélső esetben) szavakban folyik le; nagy mennyiségű szóbeli tanulás révén gyűjtött, axiómákul használt ítéletekből indul ki, és a rendelkezésre álló eljárásokkal ezekből új ítéleteket termel. Ezzel szemben a ,,képzelő" típus nagy mennyiségű ,,képzetet" gyűjt a természetből vagy ábrákból, s ezeket ,,paradigma"-ként használja, azaz ezekről olvassa le ítéleteit éppen úgy, mintha közvetlenül a természetben látott jelenségről tenné. Az első típus pl. a ,,hány lába van a légynek?" kérdésre a légyről tanult összes ,,axiómáit" előidézi és eszerint felel, míg az utóbbi típus elképzeli a legyet és megszámlálja a lábait. A részben illetőleg vonatkozásokban való egyezés (hasonlóság) itt is észrevehető és szerepe ugyanaz, mint az első típusnál. Geometriai feladatok megoldásakor feltehetőleg mindenki vízuálisan gondolkozik. Modellezésére legalkalmasabb a katódsugárcső, szembeállított leolvasó vidikonnal, a képek tárolhatók sorokra bontva digitálisan, vagy képek alakjában mikrofilmen.

* Az egnémák *tartalma* a fontos. Ezek ama *kezdetben igaz* ítéletek, amelyekből (érvényes következtetésekkel) újra igaz ítéletekre jutunk. (Az ok-okozat kapcsolatoknak implikáció alakban való leírásai szintén egnémák, ezek felvételének egy módját a ,,Genetikus logikai gép" c. fejezetben vázoltuk.)

Az alkotógép programozása lényegesen eltér a számológépek szokásos programozásától abban, hogy nincsenek kész parancsai arra, hogy *melyik* tárolt rutinjait (ill. szubrutinjait) használja az adott feladathoz. Végeredményben az ember sem tud mást tenni, mint ezzel analóg módon a rendelkezésére álló, általa ismert módszerekkel próbálkozni. Tehát mindkét esetben kell egy olyan mindent átfogó, mindig működő programnak lenni, amely bármilyen felmerülő probléma esetén a siker reményében alkalmazásba vehető.



133. ábra

Az általános alkotóműködések modelljének egyszerűsített vázlata. (A forgókaros kapcsoló csak az áttekinthetőség kedvéért áll itt az elektronikus szerkezetek helyén.)

A *133. ábra* csak egy első felvázolási kísérlete egy általános alkotó (feladatmegoldó) gépnek. Ha ugyanis áttekinthetően a lényeget akarjuk hangsúlyozni, igen sok, szintén fontos részletet mellőznünk kell.

k) Bizonyítógép

Az előző pontban elmondottakat igazolja egy időközben elkészült speciális alkotógép, amely e téren tapasztalataink kibővítésére is alkalmat nyújtott. Valójában a *Johnniac* digitális számológép egy programjáról van szó, amely az ítéletkalkulus bármely teorémáját automatikusan bizonyítani képes. E bizonyítógép („Logic Theory Machine") a feladott teorémát az axiómákból szabályos levezetéssel bizonyítja be. Mint tudjuk, az ítéletkalkulusban a műveletek definícióiból kiindulva az algoritmussal egyszerűbben eredményre jutunk, e gép tehát fölösleges; a cél azonban az volt, hogy az axiómákból kiinduló bizonyításokra példát mutassanak, s erre legegyszerűbbnek találták az ítéletkalkulust.* Axiomákul olyan teorémákat kell választani, melyek nem ellentmondók, teljes sorozatot képeznek és függetlenek egymástól. A gép programjához a *P. M.* axiómáit vették alapul:

$(p \vee p) \supset p$ (1.2); $p \supset (q \vee p)$ (1.3); $(p \vee q) \supset (q \vee p)$ (1.4)

$[p \vee (q \vee r)] \supset [q \vee (p \vee r)]$ (1.5); $(p \supset q) \supset [(r \vee p) \supset (r \vee q)]$ (1.6).

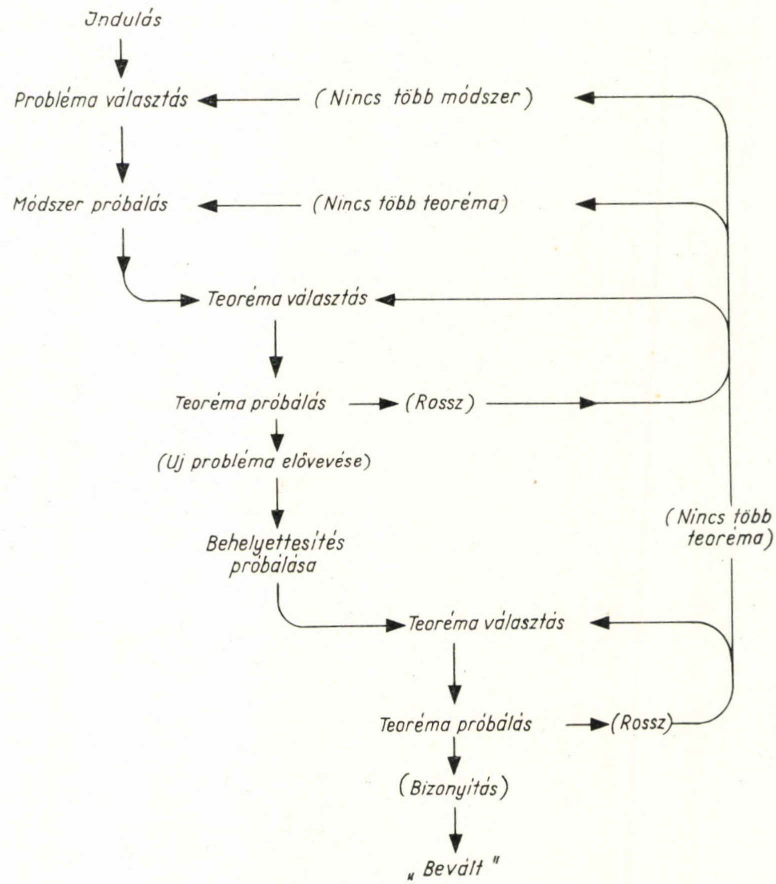
A levezetés lépései, ill. szabályai pedig: 1. behelyettesítés, azaz bármely változó helyébe bármilyen kifejezést (axiómát, teorémát) behelyettesíthetünk (természetesen a változó minden előfordulása helyén). 2. Transzformálás, azaz azonosságok egyik oldalának előfordulása esetén ennek helyébe a másik oldalt helyettesíthetjük. 3. A szorosan vett következtetés alapján tett kiemelés. Minthogy a p és $p \supset q$ teorémákból következik q, ha tehát q-t kell bizonyítani, a gép keres egy $p \supset q$ alakú teorémát és igyekszik p-t bizonyítani. 4. a láncolás, mely már összetett szabály, ui. az előreláncolás úgy történik, hogy ha a probléma $p \supset r$ alakú, akkor keresni kell egy $p \supset q$ alakú axiómát vagy teorémát. Ha találtunk ilyet, akkor $q \supset r$ lesz a bizonyítandó alprobléma; a hátra-láncolásnál pedig egy $q \supset r$ alakú axiómát, illetve teorámát keresünk, és a bizonyítandó alprobléma lesz $p \supset q$ (alapul szolgált az implikáció tranzitivitás tétele).

A gép által levezetett egyik egyszerű példa, melyhez elég volt az 1. és 2. lépésalkalmazása: bizonyítandó $(p \supset \bar{p}) \supset \bar{p}$. A gép próbálkozásai során a (1.2) axiómában p helyébe $\bar{p}$-t helyettesített: $(\bar{p} \vee \bar{p}) \supset \bar{p}$. Transzformálva a $\vee$-t $\supset$-vá (l. táblázat „Az ítéletkalkulus" c. fejezetben) kapjuk a $(p \supset \bar{p}) \supset \bar{p}$ teorémát; szabályos lépések során megkaptuk feladott képletünket egy axiómából, tehát teoréma lett, a bizonyítás megtörtént. Noha a *Johnniac* nagysebességű gép, az ilyen bizonyítások elvégzéséhez több percre van szüksége, akkor is, ha heurisztikus módszerekre van elkészítve a programozása.

Ha a heurisztikus módszereket el akarjuk kerülni, akkor csak a vakkeresés algoritmusa áll rendelkezésünkre, azaz sorra kell vennünk minden lehetséges lépést, pontosabban: minden axiómát, mint kiindulást sorravenni és minden lehetséges behelyettesítést, transzformációt, kiemelést, láncolást végigpróbálni; ezt a szerzők *British-Museum algoritmus*nak nevezték el (ennek egy előnyösebb faja: bebizonyítandó tételből visszafelé haladva az axiómákig eljutni). A gép az axiómákból kiindulva minden egyes lépésével egy új teorémát termel, melyből további lépésekkel ismét újabb teorémákat vezet le, s ezt addig folytatja, míg a feladott teorémát el nem éri. Minthogy így általában csillagászati idők telnének el egy-egy bizonyítás során, heurisztikus látszólag bizonyítást elősegítő elővizsgálatokból álló módszereket kell bevezetni a lehetséges variációk (itt teorémák) számának csökkentésére. Ilyen előzetes kirostálás az *„illesztés"*. Legyen pl. a bizonyítandó teoréma $p \supset (q \supset p)$. A gép először *összehasonlítja* e képletet az axiómákkal (ill. még az esetleg tárolt egyéb teorémákkal is), és a *leghasonlóbbat* választja

* A. NEWELL, J. C. SHAW, H. A. SIMON: Empirical exploration of the Logic Theory Machine: a case study in heuristic. Proceedings of the Western Joint Computer Conference. Feb. 26—28, 1957. p. 218. és A. NEWELL, J. C. SHAW: Programming the Logic Theory Machine. Ugyanott, 230 o.

kiindulásul. (Az (1.3) axióma ilyen: $p \supset (q \vee p)$, mert főfunktora és fő-előtagja valamint a fő-utótagban a változók száma és sorrendje egyezik a bizonyítandóéival. (A képlet-*hasonlóságot* természetesen sokféle módon lehet megadni s a fenti szerint programozott gép, amint a kísérletek kimutatták, bizonyos problémacsoportot gyorsabban old meg, míg más problé-



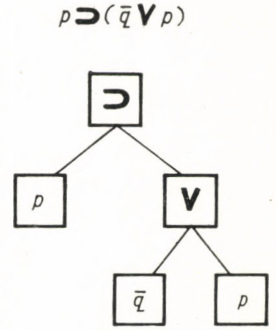
134. ábra

Az ítéletkalkulus bizonyítógépének folyamatdiagramja

mákra más hasonlóság adott gyorsabban eredményt.) A gép csak akkor indul el lépéseivel, ha a sorravett axióma hasonló a bizonyítandó képlethez, ellenkező esetben ,,passzol'', és sorraveszi a következő axiómát a listáról. A gép természetesen nemcsak a kiinduláskor, hanem az alprobléma bizonyítása során is használja a heurisztikus hasonlóság szerinti kirostálást.

A v é g r e h a j t ó r u t i n. A *134. ábra* mutatja a gép végrehajtó rutinjainak a szerzők szerinti igen vázlatos folyamatdiagramját (a diagram annyiban is kifogásolható, hogy a jobboldali mutatóvonalak egykötegben haladnak, pedig semmi akadálya sem volna szétválasztva felrajzolni, mint pl. a képtlépéses sakkfeladványfejtő gép magyarázó diagramját).

1. A feladott problémán (amely egy bizonyítandó képlet) a behelyettesítés módszerét hajtja végre a gép: az axiómákon illetőleg a tárolt teorémákon sorra a lehetséges behelyettesítéseket teszi, majd transzformációkat végez (hasonlósággal) irányított módon. Ha valamelyik behelyettesítés vagy transzformáció a problémával egyező képletre vezet, a bizonyítás megtörtént, a problémából teoréma lett. Ha nem, a kapott teorémákat a gép egy regiszterbe tárolja, mint *teorémalistát*. 2. Ezután a gép a problémán a kiemelés módszerét hajtja végre, azaz olyan axiómákat illetőleg teorémákat válogat ki (ez szintén irányítás, előválogatás), amelyek implikációk, és utótagjuk a probléma. Az előtag lesz az *alprobléma*. Ha ez az alprobléma egy axióma, illetőleg teoréma, akkor a bizonyítás kész. Ha nem, akkor a gép az alproblémán az 1. módszert hajtja végre. Ha így nem fut rá az alproblémára, az alproblémát az *alproblémalistára* teszi (ez más, mint a teorémalista, mert a teorémalista már bizonyított képletek gyűjteménye, míg az alproblémalista képletei nincsenek bizonyítva!). Nem jutva eredményre, 3. a gép rátér a teorémalistára, azaz sorraveszi őket, és az 1. és 2. módszert végrehajtja rajtuk. Ha felrajzolnánk a gép lépéseinek „törzsfáját", akkor ez a teorémalista az első „lépések" szintje, s a most kapott újabb teorémák a gép második lépéseinek szintjét képezik. Ha itt sem jelentkezik a probléma, illetőleg alprobléma, akkor a gép a láncolás módszerét veszi elő. Valahányszor alproblémát alkotott eközben, ezeken az 1., 2. módszereket végrehajtja. Ha ezek közül valamelyiket sikerül bizonyítani (azaz az alprobléma, mint eredmény „kijön") a feladat meg van oldva, ellenkező esetben az alproblémát az alproblémalistára teszi a gép. 4. A gép az alproblémákat a listáról sorra veszi és az 1. és 2. módszereket végrehajtja rajtuk. Az eljárás tehát tovább ismétlődik, és további szinteket termel mindaddig, amíg nem teljesülnek a következők: *a*, a bizonyítás sikerül, vagy *b*, a rászánt idő lefut, vagy *c*, a gép emlékezet tára megtelik, vagy *d*, elfogynak a kipróbálatlan alproblémák a listán. A gép az utóbbi három esetben *nem* tudta megoldani a problémát és azt sem tudta megmondani, hogy a probléma megoldható-e vagy sem.



135. ábra

A gép által követett eljárás csak abban tér el a játszmatjátszó sakkozógép eljárásától, hogy nincs ellenfele, s így nem kell a minimax eljárást alkalmaznia. De a listára gyűjtés elvben azonos. A kétlépéses sakkfeladványfejtő gépnek viszont listára nincs szüksége, mert a játékot befejező utolsó lépést mindig eléri.

A programozásra vonatkozólag utalunk az eredeti cikkre, s itt csak annyit említünk meg, hogy egy-egy képletet több „szó"-val (a számológép-szakkifejezések értelmében) határozzuk meg: a $p \supset (\bar{q} \vee p)$ képlethez öt szó tartozik *(135. ábra)*. Egy-egy szóban szerepel többek közt a tagadó-jelek száma (egyszeres vagy többszörös tagadás számára), a változó, illetőleg funktor, az egész kifejezést őrző lista címe, a pozíciószám (mely a változónak, illetőleg funktornak a képletben való helyét adja meg), a szint száma (a *135. ábrán* ama sor száma, amelyben a változó, illetőleg funktor fekszik).

Mint láttuk, a gép egy heurisztikus módszert, — a képlethasonlóság szerinti elõválogatást („irányítást") — alkalmazott, azonkívül egy nem heurisztikus, hanem szükséges elõválogatást a kiemeléshez szintén hasonlósági alapon: $p \supset q$ alakú teorémát kellett keresnie a p alprobléma kikeresése céljából. Az általános matematikai bizonyítógépnek még számos más heurisztikus és szükséges elővizsgálati eljárást kell alkalmaznia. Látjuk tehát, hogy a konstruktív gépszerkesztésnek (illetőleg programozásnak) előnyei abban is mutatkoznak, hogy kísérletek végezhetők, és így a további szerkesztésre tapasztalatokat gyűjthetünk.

Visszatérve az „eredetiségre", ez az úttörő kísérletet végző gép máris *egyéni* vonásokat mutat, pl. a beépített hasonlatfelismerő szubrutin fajtája szerint. Az embert a világrahozott, a gépet a beépített szervezeti, ill. szerkezeti változatok teszik „egyéniséggé".

Már e gép is nagy lépés az általános alkotógép felé. Bár minden gépre állni fog L. Lovelace kritikája, a beépített rutinokat sikerülni fog mind tökéletesebbé tervezni. A haladó kutatás nem torpanhat meg leplezett idealista tabuk előtt.

l) Az elhatározás mechanizmusa

Az emberi egyén „zárt egység" oly értelemben, hogy kívülről más egyén közvetlenül nem olvashatja le gondolatait, és azokat közvetlenül nem is befolyásolhatja, gondolatai tehát más emberekétől függetlenek. Ha e függetlenséget értjük a „szabad"-on, akkor az egyén akarata „jogilag" szabad.

Ha azonban az egyént, mint biológiai egységet vizsgáljuk, akkor magát az elhatározás folyamatát kell vizsgálnunk és ez, mint minden természetbeni folyamat, természettörvényeknek engedelmeskedik, és semmi metafizikai elem nincs ebben sem, tehát kauzális, ill. determinisztikus. Spinoza szerint az akarat szabadságának illúziója onnan ered, hogy elhatározásaink okait legtöbbször nem ismerjük.

Akaratlagos választáskor a következő esetek állhatnak fenn:

1. Megindokoljuk választásunkat és bizonyos értékelés, pontozás, becslés alapján (mindezt akár enthymemásan is) mérlegelünk. Ez az ésszerű, bölcs elhatározás menete. E mérlegelés a gyakorlatban a leggyakrabban nem vihető keresztül teljes mértékben. Pontos minősítést csak a változatoknak a végeredményig való megtervezése adna (lehetőleg pontosan tükrözve a változatok valóságos lefolyását). A kellő alap nélküli becslés mindig bizonytalan és végzetes lehet, mert ilyenkor vagy érzelmi alapon (kellemes és öncsaló remény) vagy találomra szokás dönteni. Az elhatározás gépi utánzására példát mutattunk a sakkozógép és az ítélőgép leírásánál.

2. Választás érzelmi alapon. Az érzelemhajtotta elhatározások eredetileg valamennyien hasznosak voltak az egyénre vagy a fajra. De pl. az ópiumszívást nem nevezhetjük hasznosnak. Az érzelmek közti választásban kevés szerepe van az értelemnek, súlyozásuk általában készen áll. A leg-

érdekesebb eset, amikor érzelem és értelem áll harcban egymással, pl. egy önhibáján kívül tönkrejutott ember azon töpreng, hogy utolsó fillérjein ennivalót vegyen vagy borotválkozni menjen. Ilyen esetekben azért ,,nehéz'' a döntés, mert a valóságban sincs bázis az összehasonlításhoz, s az illetőnek először valamilyen, némileg is elfogadható alapot kell találnia a mérlegeléshez.

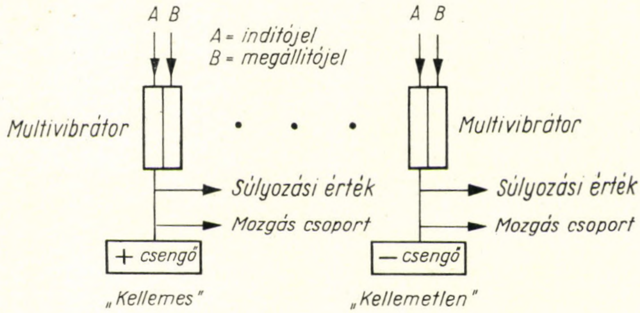
3. Választás ,,találomra'' (lásd még a ,,Komponálógépek'' című fejezetet). Amikor az ,,önállóan gondolkozó egyén'' sehogyan sem jut elhatározásra, kiszámolja a gombjain, vagy másképp csinál önmagából ,,rulettgolyót'', például ha tetszés szerinti irányt kell mutatnia behunyt szemmel, megfordul néhányszor és ujjával előre mutat. Vannak olyan metafizikai irányzatok, amelyek ,,természetfeletti''-nek tartják pl. egy olyan vadász elhatározási képességét, aki egy simára meszelt hengeres szoba közepén állva száz, teljesen egyforma, körben felszerelt céltábla közül önkényesen tud választani. A ,,csodá''-nak itt abban kellene rejlenie, hogy miután a céltáblák hajszálig mind egyformák, nincs semmi, aminek alapján választhatna, és a vadász mégis tud választani. Először is, a céltáblák koordinátái máris nem egyformák. Ennek alapján máris választhat a fenti módon találomra. Másodszor még egy vadász feje sem egészen üres, számtalan ,,felszálló'' asszociáció ad ötletet a céltáblák közti választásra, például ,,az előttem levőtől jobbra a harmadikat választom'', ami végső esetben nem egyéb, mint emlékképek által megindított gondolatsorok eredményével koordinátákat megadni. Harmadszor a kibernetika szempontjából nemcsak hogy ,,természetfeletti''-nek nem tartható, hanem egyenesen teljesen értelmetlen erőfeszítésnek tekintendő pontosan egyforma dolgok közül választani.

m) ,,Érzelemgép''

Az érzelmek (pl. öröm, rémület stb.) az élő szervezet hasznos jelzőműködései, melyek 1. mint értékjelzők az egyént arról értesítik, hogy külső vagy belső ingerei (beleértve bármely értelmi információit is) előnyösen vagy hátrányosan befolyásolják az egyén működéseit, 2. mint figyelemlekötők, az egyén figyelmét tartósan éberen tartják a kiváltó ingerek megszűnte után is, hogy a jelzett ,,irányban'' meggondolásra és cselekvésre serkentsék bekövetkezhető kielégülési jelzés elérkeztéig. Mint állapot, az érzelem az inger által reflexesen kiváltott testi folyamatokkal járó érzetek összessége.

Az érzelmeket kellemesekre és kellemetlenekre oszthatjuk (jelölhetjük + és — előjellel) s ezenkívül ,,súlyozási'' fokozatokat is észlelhetünk, melyek szerepet játszanak több érzelem együttes felléptekor való cselekvési elhatározásban. A legkellemetlenebbek a testi fájdalomérzetet kísérő érzelem és az életveszély felismerését kísérő félelem vagy rémület. Az előbbit közvetlen testi érzetek, az utóbbit értelmi működések idézik fel. Az érzelmek fajai közül az indulatok rövid, gyors lefolyásúak, a hangulatok az egész életre kiterjedhetnek.

A kibernetikai gépekről elmondhatjuk, hogy mind *,,anaesthesia affectivá''*-ban szenvednek: ragyogó világossággal ,,gondolkoznak'', de örülni, szomorkodni nem tudnak. Nem segíthetünk ezen azzal, hogy az érzelmek egyes *külső megnyilvánulásait* modellezhetjük, azaz a gépre hasznos értékelő és figyelemtartósító jelzőberendezést szerkeszthetünk *(136. ábra)*, amely megadja (az állapotokhoz előzetesen hozzárendelt értékskála révén) az előjelet és súlyozási fokozatot. Legegyszerűbb a fájdalomérzet ,,érzelemgépét'' megszerkeszteni. Ha valamely védendő berendezés külső felületét olyan kontaktusokkal szereljük fel, amelyek egy bizonyos erősségütől kezdődő, a berendezésben már éppen kárt tevő ütésekre zárulnak és egy



136. ábra
Érzelmek fiziológiai hálózatának egyszerűsített elvi modellje

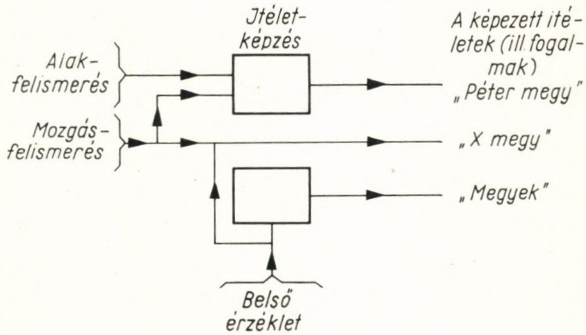
központi vészcsengőt működtetnek önzáró (pl. multivibrátoros) kapcsolásban, mely a menekülő mozgásokat is bekapcsolja és csak akkor old ki, ha a modell pl. adott távolságot futott be, akkor a fájdalomérző ideghálózat egyszerűsített analogonja áll előttünk. Ábránkat a lehető legegyszerűbbre vontuk össze: egy teljes ábra túl bonyolult és inkább elrejti, mint kiemeli a lényeget. A kellemes érzelmeknek más hangú jelzőcsengőt feleltetünk meg, mint a kellemetleneknek. A kellemesekhez közelítő, a kellemetlenekhez távolító mozgáscsoportok tartoznak. A tartós testi állapotokat bistabil multivibrátorokkal helyettesítjük, maguktól is elmúló indulatokkal járó testi állapotokat monostabil multivibrátorokkal modellezhetjük. Egyáltalában nem állítjuk, hogy ez a csengő vagy a huzalok vagy együttesük fájdalmat érez, hiszen ugyanilyen joggal azt is ráfoghatnánk, hogy kéjt érez akkor, ha a ráírt előjelet pozitívra változtatjuk. Külsőleg utánozhatjuk az érzelmek némely tulajdonságát, de a belső érzelmi élmények részletes magyarázatától még messze állunk, az érzelmek elemzésének még csak a kezdetén sem vagyunk. De tegyük még ide PAVLOV szavait:*

,,Remélhetjük, hogy a szervezet bonyolultabb működéseit, . . . amelyeket még kényszerűségből pszichológiai elnevezésekkel, mint düh, félelem, játék stb. jelölünk, belátható időn belül egyszerű reflexműködésekhez kapcsolhatjuk . . .''

* I. P. PAVLOV: Előadások a nagyagyféltekék működéséről. Bp. 1953. Akad. Kiadó. 11. o.

n) „Mű-öntudat"

Az „én"-re vonatkozó meddő metafizikai spekulációkat mellőzve, ott igyekszünk elemezni a problémát, ahol az enged. Az öntudat egyik külső megnyilvánulását utánozhatja az olyan (kérdésekre felelő) gép, amely például kiadott lyukszalagján, mondataiban helyesen használja az „én" szót (természetesen nem gramofonszöveg egyszerű lejátszásával, hanem a kérdésekre felelő gépnek feltett kérdések elemzése során). Legyen a gépnek pl. vidikonos alak- és mozgásfelismerő szerkezete is. Ekkor például az „*x megy*" ítéletet kiadhatja a gép, ha előtte elmegy valaki, csupán a „látási érzékletei" alapján. Legyen a gépnek helyváltoztató berendezése is (pl. járógép). Ha e berendezés működéséről visszajelentéseket kap (élőlényekben ezeknek megfelelnek a proprioceptív értesülések: a járást kísérő izom, ízület és tapintó érzetek), ennyi elég, hogy az „*én megyek*" ítéletet megszerkeszthesse. Az „*x megy*" fogalmat a két esetben feltűnően eltérő „érzékletek" idézték fel. Az ember gyermekkorában hosszas tanulásfolyamattal tanulja meg, hogy a két eltérő érzékletcsoportra egyaránt a „menni" ige alkalmazandó (egyrészt abból, hogy mások „menés"-nek nevezik az ő járását, másrészt a tükörben ugyanolyan mozdulatokban látja magát, mint amilyenekben másokat lát járni). A gépbe természetesen beleépíthetjük a kétféle kapcsolást (*137. ábra*). A következő példa legyen: „*én gondolkozom*". Az ember ezt az ítéletet kimondhatja, ha pl. proprioceptív értesülést kap saját agyának fokozottabb vérellátásáról, viszont az „*ő gondolkozik*" ítéletet csak behaviorisztikusan következtetheti embertársa viselkedéséről, gesztusairól, pl. a Rodin-féle testtartásról. A „fájdalmaim vannak" és „rosszul vagyok"-féle ítéleteket főleg enteroceptív jelzések vezetik be. Mint látjuk, az „én" szót belső jelzések idézik fel, amiket modellezésben szintén belső jelentő és visszajelentő egységekkel valósítunk meg. Természetesen az ilyen huzalozott vagy programozott gép az öntudatnak csak egyik külső megnyilvánulását utánozza. Láthatjuk, hogy az „én" fogalom kialakulásához a beszéd és a társadalom elengedhetetlenül szükséges.



137. ábra

Az „első személy" szereplésének előzetes, közelítő elvi vázlata

o) Az ős-vezérmű

Az idegrendszerrel bíró élőlények mindegyikének kell, hogy központi irányító szervének valami olyan egységes működési elve legyen, amely minden cselekvését a legismeretlenebb külső körülmények között is az egyén és a faj hasznára érvényesíteni képes. Ez minden idegrendszerrel bíró élőlényben egyforma: az *önzés*, részletesebben: örömkeresés és *fájdalomkerülés.*

Még a legaltruistább (tehát a faj hasznát szolgáló) cselekedet mögött is az egyéni önzés a hajtóerő: az anyaállat kicsinyeit az élete árán is oltalmazza, mert benne a kicsinyei közelsége kellemes érzést kelt, és a kicsinyek kiáltásai a szánalom érzelmét ébresztik fel, és az anya minden tevékenysége azonnal ennek szolgálatába áll. Minél magasabbrendű az élőlény, annál inkább áll választása értelmi ellenőrzés alatt: a legalsóbbrendűekben (szélső eset) egyszerű, közvetlen reflexes összeköttetés van az érzet és hasznos reakció közt, a felsőbbrendűekben érzelmeket is kell feltételeznünk, hogy idejük legyen a reakcióik közti válogatásra is, végül az ember az érzelem sürgetésére cselekvésének eredményét előbb elképzeli (célképzet-komplexum), azaz képzeletben eljátssza a szándékolt cselekményt s csak e ,,játék'' kedvező eredménye után cselekszik. Az előbbiek alsóbbrendű ösztönfolyamatok, ennek modellezésében a mozgáscsoportok helyébe képzetkomplexumok valamely megfelelőjét kell helyettesítenünk.

Az ideghálózat, amely lehetővé teszi a minden előfordulható behatáskomplexumra való választ, kell hogy elvben minden élőlényben hasonló felépítésű legyen, hiszen saját és fajának léte függ ettől. Primitív, főleg helyhezkötött élőlények (pl. növények) ilyen szabályozó rendszer nélkül s fennmaradnak bő szaporodásuk révén, és ez megmagyarázza, hogy egyáltalán kiindulhatott valahonnan az állatvilág, kiválogathatódott egy fejlődő ideghálózat, melynek centrális része az ős-vezérmű.

p) Kérdésekre felelő gép

Ez elnevezésen olyan (ez idő szerint még nem létező) gépet értünk, amely például a lyukszalagon beadott kérdőmondatra értelmes választ ad ki szintén lyukszalagon, nyomtatásban vagy hallható szintetikus beszédben. A gép lehet speciálisan e célra készült huzalozott vagy programozott statisztikai vagy elektronikus számológép. A gép célja egyelőre l'art pour l'art-szerűen az emberi értelem vizsgálata. Az értelmesség ama kritériuma, hogy ,,amennyiben és oly területen értelmes egy gép, amennyiben és amilyen területen feleletei nem különböztethetők meg a kérdésre adott emberi feleletektől'', legfeljebb gyakorlati útmutatásnak jó, mert csak annyit mond, hogy értelmes az, ami nem különböztethető meg az értelmestől. Más meghatározás szerint* értelmen a gondolkozást szolgáló elmejelenségek összességét értjük; szorosabban véve az oly gondolkozási jelenségek összességét, amelyekben az érzelmek szereplése nem nyilvánvaló, legalábbis nem szembeszökő. Egyéb meghatározások szerint: az értelem azon szellemi képességek összessége, amelyek a logikai kapcsolatok észrevevését (fogalomalkotás, ítélet, következtetés) és a megismerést szolgálják.

Az egyszerűbb típusú fordítógépnek csak *ismernie* kell a szavakat, illetőleg kifejezéseket, a felelőgépnek azonban *értenie* is kell a hozzá intézett kérdést. ,,Ismerni'' annyit jelent, hogy a szó megvan a szótárában.

* Ranschburg Pál: Az emberi elme. 1923.

„Érteni" viszont a szó-, illetőleg mondat (és szavainak) összes szemantikus vonatkozásainak felhívhatóságát jelenti, sőt az általuk jelentett tárgyaknak valamilyen (képzetszerű) megjelenthetőségét is.

A *lexikon-gép* (amely a kikeresendő szóra kiadja a hozzáírt tárolt szöveget) tud ugyan feleletet adni, de értelmetlenül, szajkószerűen; egy „nem-ökonomikus robot" feleletei értelmesek lehetnek, mert a minden lehetőségre kész feleletek tárolva vannak benne, de ezeket előbb egy értelmes lénynek kellett elkészítenie, tehát ez a robot maga nem értelmes. A kérdésre értelmes feleleteket adó gép ötletét egy rövid megjegyzésben először talán V. Bush vetette fel egy készülő „Memex" nevű géppel kapcsolatban (1952). A például feltett kérdés volt: hány fokon forr a víz a holdon?, melyre a gépnek a szükséges adatok birtokában felelni kell tudnia. (A holdról itt természetesen elég a légnyomást ismernie.)

A kérdések feloszthatók: 1. az igen-nem választ kívánókra, például: Zöld a fű?, 2. az adatokat kívánókra, például: Milyen színű a fű? A válasz az előző esetben is lehet teljes mondatú: A fű zöld. 3. Hosszabb feleletet váró kérdésekre például: Mondja el ezt és ezt; Beszéljen valamit a . . . ről, stb., amelyekre rendszerint több mondatban lehet csak felelni.

A gép bemenője esetleg beszédírógép is lehet. A beszéd és a nyomtatott (gépelt) szöveg közt eltérés van; a beszéd tartalmazza: 1. a beszélő egyéni hangszínét, 2. érzelmi állapotának néhány jelét, 3. a mondat és szóhangsúlyt, 4. az írásjeleknek megfelelő szüneteket, illetőleg hanglejtést és 5. magát a szimbolumsorozatból álló szöveget. A nyomtatott szöveg csupán az írásjeleket és a betűsorozatot tartalmazza. Az információátvitel szempontjából nincs szükség az 1.- és 2.-re, a 3. viszont többnyire egyértelműleg megszerkeszthető a szórendből és az előző (sokszor utánakövetkező) mondatok tartalmából.

Mielőtt rendszeresebb tárgyalásra térnénk, két megvilágító példát adunk arról, hogyan lehet statisztikai géppel egyszerűbb kérdésekre felelni. A „milyen színű a fű?" kérdésre a következő módon kell eljárnunk: Tegyük fel, hogy az összes konkrét, megfogható tárgyak kártyái egy csomagban vannak és csak egy érintkezőpáros egyszerű fajtázó *Hollerith*-gép áll rendelkezésre. Beállítjuk először az *f* betű oszlopára az eltolható érintkezőt és átjáratjuk a kártyákat, az *f* rekeszből kivesszük a kártyákat, az érintkezőt a második betű *ü* oszlopára állítjuk, átjáratunk, és még a harmadik betűre zérust állítunk be, ezzel a „fű" kártya előkerült. E kártyán a fű minden adata megvan kategorikusan, azaz sajátságok szerint oszlopokba rakva. Így például a „szín" oszlopban a „zöld" helye (legyen a 4-es lyuk) van kilyukasztva. (Több kártyája is lehet egy-egy „fogalomnak" ha az összes adatok nem férnek el a kártyán.) E kártyát illetőleg kártyákat újra végigjáratva a színoszlopra állított tűvel, a „zöld" (4-es) fülkébe fog esni a kártya. A tizenkét fülke (rekesz) minősítése természetesen az oszlopok szerint változik. Vegyünk egy nehezebb példát: „hány lába van a Dermestesnek?" kérdést. A Dermestest a fenti abc-módszerrel kikeresve, a kártyán lesz egy csomó adat, de a lábak számáról semmi. Ekkor az osztályokat (kategóriákat) kezdjük (kiindulva a legközelebbi osztályon, amelybe a Dermestes tartozik) próbálni, tehát az érintkezőt sorjában a még nem próbált kategória-oszlopokra állítjuk. Ha nincs is meg a rendszeres állattani beosztás, és csupán annyit találunk, hogy „a Dermestes rovar" (mert a kártya felvételekor annak tervezője csak annyit tudott), már előkerestethetjük a géppel a fenti abc-módszerrel az összes kártyáinkról a „rovar" kártyát és ezen már lesz oszlop a lábak számáról, s az érintkezőt erre beállítva most már az egyetlen kártya a „hat" lábat megadó 6 rekeszbe esik.

A *kérdőszó* tehát mindig egy osztályt (kategóriát) ad meg, és így az érintkezőnek a megfelelő oszlopra való állításával kereshető ki. Amint látjuk, a *Hollerith*-gép most a *Barbara-szillogizmus* segítségével megadta a feleletet a kérdésre, és előzetes megfelelő dugaszoló programozás révén a feleletet rá is lyukaszthatja a Dermestes-kártya megfelelő oszlopára, esetleg rá is nyomtathatja olvasható betűkkel.

Mondjuk, hogy a gép n-féle rovart ismer (minden eddig ismert rovarról kártyát vezetni nagyon megterhelő feladat volna, mert csupán hazai darazsakból kb. 20 000 fajt ismerünk) és a rovar-kártyán m-számú adatunk van, akkor belátható, hogy $n \cdot m$ feljegyzés helyett csak *$n + m$ feljegyzés szükséges ahhoz, hogy a gép $n \cdot m$ számú értelmes mondatot szerkeszthessen.* E gép tehát már nem szajkol, mint egy lexikongép vagy egy „nemökonomikus robot", hanem maga termel olyan információt, amely készen nincs meg a gépben. A *Barbara* szillogizmus jól programozható és elektronikus számológépre programozva a fenti folyamat sokkal gyorsabban megy végbe; itt a fénykoincidenciás mikroglosszárium a leggazdaságosabb „öröktároló".

A kérdésre feleleteket adó gépnek az alábbi fő típusairól beszélhetünk:

1. A kérdésekre csak belső, osztályokba rendezett tár tartalmának birtokában felel, „érzékelni" nem tud. Érintkezése a külvilággal csak a kérdések (lyukkártyák) beadása és ugyanilyen vagy nyomtatott feleletek kiadása révén megy végbe.

Eddig csak olyan rendszerekről beszéltünk, melyeknek csupán szavak az elemei és mégis elvben minden olyan kérdésre felelhet, amelyre konstruktőre is meg tud felelni. A tárat természetesen előzetesen meg kell tölteni jelentésük szerint osztályokba csoportosított szavakkal. Ha ezt minden szakma emberei egy gép számára elvégzik, akkor valóban ismereteiben „emberfeletti" (nem „természetfeletti"!) képességű gépet kapunk.

2. A kérdésekre való válaszadásra a külvilágtól kér tanácsot, azaz például a fenti „milyen színű a fű?" kérdésre „megnézi" az eléje tartott valóságos füvet és a kapott „érzéklés" alapján építi fel a válaszul szolgáló mondatot. A gép tehát *látottakat transzformál mondottakká;* pontosabban: térben és időben való észleleteit alakítja lineáris közleménnyé. Ezt csak úgy teheti, hogy az észlelt kategóriái és egyéb kapcsolatok szóbeli megfelelőit módszeresen egysorba rakja, látási felismeréskor ugyanis a kategóriák az individuumról, a relációk az individuumok elrendeződéséről leolvashatók. Igy például az „*a* jobbra esik *b*-től" a szem látóterének beosztása és a szem vezérelt mozgásai révén felismerhető, s e műveletet géppel utánozni tudjuk. A látottak nyers leírását több mondatban is nyújthatja a gép a térbeli egymásmellettiség felhasználásával; sorraveheti az: „alatt, mellett, mögött" stb. relációkat. Természetesen mindehhez a gépnek látási felismerőberendezéssel kell bírnia.

3. A kérdésekre való választ tárolt képekről vagy tárolt térbeli idomokról való leolvasással szerkeszti meg. Tehát „vizuális emlékezet"-tel kell bírnia. A feleletek annál inkább tükrözik a valóságot, minél jobban megfelelnek a belső „modellek" a külső tárgyaknak. Ha például egy kocka „képzete" a gépben egy valóságos miniatür üvegből vagy huzalból készült kocka, akkor arról megfelelő elemzőberendezéssel belsőleg minden adat éppen úgy leolvasható, mint a külvilágban levő valóságos kockáról, és a

feleletek abszolút szabatosak és igazak lesznek. Természetesen e modell lehet valamilyen analogon is, végső esetben matrix-sorozat is. Az így berendezett gép a gondolkozó élőlényekhez hasonlóan a ,,valóság távollétében'' is a legtöbbet veheti le a valóságot hűen visszatükröző ,,képzet''-ekről. Már az alkotó gondolkozás területébe esik e belső idomok belső alakíthatósága. Ha olyan gépet tudunk tervezni, amely erre képes, akkor megvan a ,,gondolatkísérlet'' lehetősége. Vizuális típusú emberek egész geometriai feladatokat tudnak fejben megoldani: elképzelik a táblát, ,,rajzolnak'' és ,,törölnek'', új vonalakat húznak a ,,térben'' stb. Ilyen működést utánzó gép már bonyolult kérdésekre is feleletet tudna szerkeszteni. De azt is tudjuk, hogy sok mindent mi magunk sem tudunk fejben elképzelni vagy rekonstruálni, például egy bonyolult csomókötést, tehát máris ki tudunk jelölni olyan irányokat, amelyekben a ,,legtökéletesebb''-nek tartott emberi agy továbbfejlődése is elképzelhető. Ilyen értelemben mondta Wells, hogy az emberi agyvelő ma még csak egész kezdeti állapotában van (H. G. Wells: The shape of things to come).

4. Kérdésekre, helyesebben parancsokra értelmes cselekedeteket végrehajtó gép (a ,,robot'' ideális fajtája). Az előbbiek változata annyiban, hogy míg azokban a kimenő oldalon szimbolumokban kaptunk információt, ezeknél a ,,felelet'' mechanikai mozgásokból (illetőleg kémiai hatásokból) áll. Természetesen a 2.-ben említett receptorokat, azaz felvevő berendezéseket itt egyáltalán nem nélkülözhetjük. Például egy hernyószedőgépnek látnia és tapintania is kell, a hasznos rovart meg kell kímélnie, például a katicabogár álcáját e célból fel kell ismernie, a darázs és légyálcák lábait meg kell számlálnia fajuk meghatározása végett stb. (A fotocellás gyapotszedőgépet, a fotocellás babválogatót stb. nem sorolhatjuk ezek közé, mert primitív működésük csupán egyetlen reflexnek felel meg.)

q) A ,,tanuló'' gép

A kérdésre felelő gép 1. típusa példáját mutatta az elkészítésekor egyszer s mindekorra beadott tárolt anyagot igénybevevő gépnek. A tanulógép a tanulás, tapasztalás modellezését célzó kísérleti gép. A tanulás fogalma nagyon relatív. Egy szónoklat gramofonikus feljegyzését is tanulásnak lehet minősíteni, mert hiszen a gép a szónoklatot el tudja mondani. A szajkó beszéde és az értelmetlenül betanult gyermekvers is ugyanezen nívóra tehető.

Tanulásnak nevezhetjük ama folyamatot is, amikor az elektronikus számológép a beadott lyukszalag leolvasott tartalmát tárolja. A szorosabban vett ,,tanulás'' ezeknél komplexebb valami. A régi elképzelés az volt, hogy például a vívás tanulása abból áll, hogy ,,sokszor ismételjük'' ugyanazon mozdulatot, s akkor az ,,bevésődik'' (Bahnung), azaz valahogyan kitapossa a már egyszer bejárt utat. De *mit* ismétlünk, amikor még nem is tudjuk a helyes mozdulatot? Hogyan jutunk el oda, hogy egyáltalán helyesen csináljuk? Fejlődési folyamat kell ahhoz, hogy a kezdetbeli, egészen rossz mozdulat átalakuljon helyessé. Sok próbálgatás után, a helyesnek észrevevése (vagy tanár útján való korrigálása) kiválogatással rávezet a helyes megoldásra.

E tanulásfolyamat két példáját programozza elektronikus számológépre OETTINGER.* Az egyik példa utánzása ama kisgyerek viselkedésének, akit bevásárolni küldenek a közeli üzletekbe, megadott árucikkekért. A számológép egyik része a gyerek, a másik az üzletek sorozata. Matrix alakban van megadva, hogy melyik üzletben mily árucikk kapható. Az árucikkeket az oszlopok jelzik, az üzleteket a sorok, tehát pl. a második üzletben az 1 és 3 jelzésű árucikk kapható, amit a beírt 1-esek jelölnek:

$$\begin{array}{r|l} & \longrightarrow \text{árucikkek} \\ \text{üzletek} & 1001000 \\ & 1010000 \\ & 0110000 \\ & 0000100 \\ & 0111000 \\ & 0001000 \\ & 0111100 \\ \downarrow & 0000010 \end{array}$$

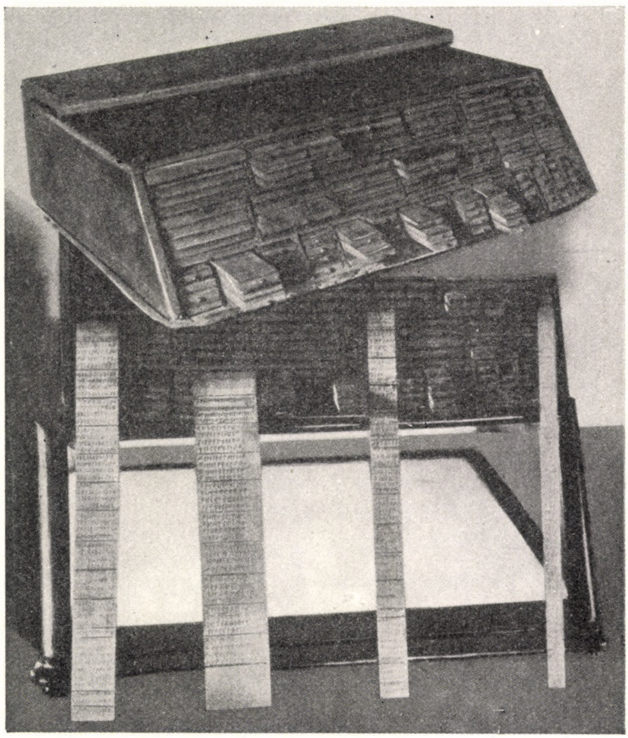
A ,,gyerek'' feladata hétféle árucikket vásárolni anélkül, hogy tudná, melyik boltban mi kapható, de ha már valamelyik árucikket valamelyik boltban megtalált, emlékeznie kell rá, hogy újabb kiküldetéskor egyenesen a megfelelő boltba ,,mehessen''. A számológép programozásakor csak a nem-aritmetikus parancsokra van szükség; ilyenek a ,,tologató''-nak nevezhető parancsok, pl. adott cím tartalmát másik adott címre szállítani, tartalmak törlése, lyukszalag leolvasása és tartalmának adott címre szállítása, adott cím tartalmának lyukszalagra lyukasztása, illetőleg nyomtatása, következő parancs elővétele stb. A matrix leolvasására például I parancs alkalmas, a leolvasás eredményével T parancsot teljesít (ha 1 van az ,,üzletben'', mást végez, mint mikor a 0 a cím tartalma). A ,,gyerek'' sorraveszi az ,,üzleteket'', míg a keresett ,,árucikket'' meg nem találja s külön feljegyzi az árucikk száma mellé a bolt számát s ezzel a ,,tanulás'' megvan. Ezután ugyanezt a műveletet végzi a második árucikkel és így tovább. Felnőtt persze nem így járna el, hanem az összes cikkeket mindjárt minden üzletben megérdeklődné, mert így minden üzletbe csak egyszer kellene elmennie; és az üzletek sorravételét sem hazárd számok igénybevételével határozná meg, mint konstruktőre ajánlja, hanem előzetesen kitervezne egy legrövidebb utat biztosító sorrendet.

A második példában a gépet meg kell tanítani, hogy adott ingerre adott feleletet adjon (a feltételes reflex számológépre való programozása). Sorozatosan több különféle erősségű ingert adunk be lyukkártyára lyukasztott számok alakjában, melyek nagysága az ,,inger'' erősségével egyezik, s a gépnek mindegyik ingerhez olyan számokat kell kiadnia, amilyet kívánunk tőle, például mindjárt az inger erősségét megadó számokat. A feladat ez is lehetne: van egy árammérő műszerünk, de nincs a skálája beírva s a hozzákapcsolt számológépnek be kell írni a helyes skálát, de más útmutatást nem adunk, mint azt, hogy a gép által eleinte találomra ideiglenesen beírt számokat jónak vagy rossznak minősítjük s ezt a géppel közöljük.

* A. G. OETTINGER Programming a digital computer to learn. Philosophical Magazine. 1952. 1243.

r) Komponálógépek

Az első „zeneszerző" gépet PEPYS SÁMUEL (1639—1703) építette *musarithmica mirifica* elnevezéssel *(138. ábra)*, mely szám és jeltáblázatokból áll. Sajnos, használatáról semmi leírás nem maradt ránk. Gyaníthatjuk, hogy hazárdul variálható dallamalakzatokat tartalmazott. M. VOGT prágai cisztercita (1719) többféle alakúra hajlított hosszú szögekkel jelölt



138. ábra
A PEPPYS-féle első „zeneszerző gép"

egy-egy elemi dallamalakzatot (pl. tirata, groppo, circulum, messanza) s e szögeket földobta s abban a sorrendben írta egymásután, ahogy a padlón elhelyezkedtek. A. KIRCHER *Musurgia* c. művében (1650) kiszámította az öt egymásutáni hangból képezhető variációk számát. Ez időtől kezdve a zenei invenció úgyszólván állandó vizsgálat tárgyává lesz (ars inveniendi, artificia heuristica, ars combinatoria stb. címeken), „mert az inspiráció óráira várni ellenkezik a praktikus zene egész felfogásával". MATTHESON *Vollkommenen Kappelmeister*ében felsorolja a zenei invenció „locus"-ait és például templomi zenéből egyszerű eljárással világi táncdalt transzformál.

Egy régi, tréfás rágalom szerint Haydn a Gotterhaltét úgy szerezte, hogy matematikai értelemben differenciálta az „O du lieber Augusztin"-t. Való igaz, hogy az egymással törtvonallal összekötött hangjegyek e vonalának derivációja új dallamot ad meg. Még egyszerűbb eljárás kottapapírra sörétet szórni és kottafejeknek tekinteni, mint ahogy az egyszeri tehetségtelen zeneszerző az öt távíróhuzalon ülő fecskékkel tette. Közismertek a szavak betűiből képzett motívumok (B-a-c-h, A-b-e-g-g). Robida: „Száz év múlva" című, 1870-ben magyarul is megjelent regényében megjósol egy gépet, melynek szerzeményét az operában előadják; szerzéskor nem csinál lármát, mert mindjárt kottát ír. Az 1894-es humoros magyar Rebesszer naptárban a találmányok közt szerepel egy „Zeneszerző zongora", melyben „a forgattyú hajtása a billentyűket úgy összevissza dobálja, hogy a legeredetibb kombinációk jönnek létre". „Minden egyes zongorát optikai telefon köt össze az Egyetemes Központi Zeneraktárral." Mindezek nagyon jó példái a teljesen kötetlen, minden hangnemtől, ritmustól, szabálytól, törvénytől független szabad dallamköltésnek.

Ilyen elven működik Zemanek bécsi komponálógépe (1956): „A gép periodikus és aperiodikus feszültségfolyamatokat kever egymással, s ezt hangegymásutánná alakítja. A modern zenéről sokféle vélemény van forgalomban. Az olyan emberek, akik zenei téren nem specialisták, abba a veszélybe kerülnek, hogy a gép hangját valami modern zenei hanglemez lejátszásának tartják".

A teljesen szabad, kötetlen melódiában sem a hangok és szünetek időtartamának, sem a hangmagasságoknak nincs semmiféle megkötése. Ilyen, teljesen hazárd szólamot már meglevő, de eredetileg más célt szolgáló gépekkel, illetőleg azoknak nem lényegbevágó átalakításával előállíthatunk.

A technika régóta ismeri a találomra, vaktában (random, hazárd) variálást. A haditechnika az adóállomások hullámhosszának előrekiszámíthatatlanságát ilyen készülékekkel biztosítja.* Igen egyszerű „Monte-Carlo" gépet szerkesztett Vágo Artur a tréfásan „motoszkóp"-nak nevezett készülék számára. E gép célja az, hogy a gyárból távozóknak ne mindegyikét terheljék a szokásos motozással. A gép gombját mindenkinek le kell nyomnia, de nem mindenkinél villan fel a jelzőlámpa. A fő hazárd körülmény itt a lenyomás időtartama. Lenyomáskor ugyanis egy jelfogóval léptetett kar másodpercenként 45 kontaktuson fut végig, de csak azt kapcsolja, amelyiken megáll. Egyes kontaktusokra, szabálytalan csoportosításban, rá van kapcsolva a lámpa. A csoportosítással a százalékszám 2—10 közt beállítható.

Íróasztali módszerek randomszámok képzésére: négyzetre emelni egy egynél kisebb 10 tizedesig terjedő számot, az eredményből kivenni a középső 10 számjegyet és újra négyzetre emelni s így tovább. Telefonszámok sorát is felhasználhatjuk, persze az első számjegy kihagyásával (a budapesti telefonszámok első számai ez idő szerint csak 1—4-ig terjednek). Legkorszerűbb a sörétzaj erősített amplitudóiból mintasorozatot venni s áttranszformálni például számokká.** Sztochasztikus generátor másodpercenként 10 hazárdszámot ad meg. Ismétlődéseket és egyéb hibákat kizáró módszert is találunk.***

A legegyszerűbb „kaleidofon", amely közvetlenül hallható és hangtartamai is változók, egy rulettgépből képezhető, amelyben a golyó kapacitása „kapcsolja" a számok helyére épített rezgőköröket, vagy még egyszerűbben a hosszú, hajlékony huzalra erősített golyó rezgőkörök kon-

* Electrotonics. 1954. Febr. 166.

** ERNIE gép, Post Office. El. Eng. 1957. Apr.

*** Electronics. 1957. Jan. 228. Zeitschrift Angew. Math. Phys. 1957. Jan. 26. Egyéb hazárdszám generátorok: F. Sterzer: Random-number generator using subharmonic oscillators. Rev. Sci. Instr. 1959. ápr. 241. Electronics. 1957. Jan. 228.

taktusait közvetlenül kapcsolja. E variációkat a diatonikus skálára szoríthatjuk azáltal, hogy csak ilyen rezgőköröket építünk bele. Még további megszorításokat tettek a komponálás céljára programozott számológépekben* azzal, hogy csak a statisztikailag gyakran előforduló hangegymásutánokból engedték válogatni a gépet. Mi nem hibáztatjuk a statisztikai elemzést, de itt értelmetlenül van alkalmazva: eredményül csak meglevő motívumoknak szerkezettelen, zagyva sorozatát kaphatjuk. Az igazi dal hangjai ugyanis csak igen kis mértékben függnek a közvetlen előző hangtól, azonkívül a dalnak ritmusa, harmóniája és értelme (szerkezete) is van.

A helyes irányt a kompozíciótan repetitóriumán át világíthatjuk meg. És itt HELMHOLTZ szavaival kell kezdenünk a természettudományok embere nem elégszik meg költői hangú esztétikai fejtegetésekkel, hanem ,,az emeltyűket, köteleket, csigákat keresi, melyek a színfalak mögött működnek''. Valóban, a zenét HELMHOLTZ óta nem vették újra fizikai, illetőleg fiziológiai bonckés alá. A disszonanciát például a megszólaltatott hangok egymásrahatásából származó lüktetések (érdesség) okozzák és így a disszonancia fokát számokban is meg lehet adni.**

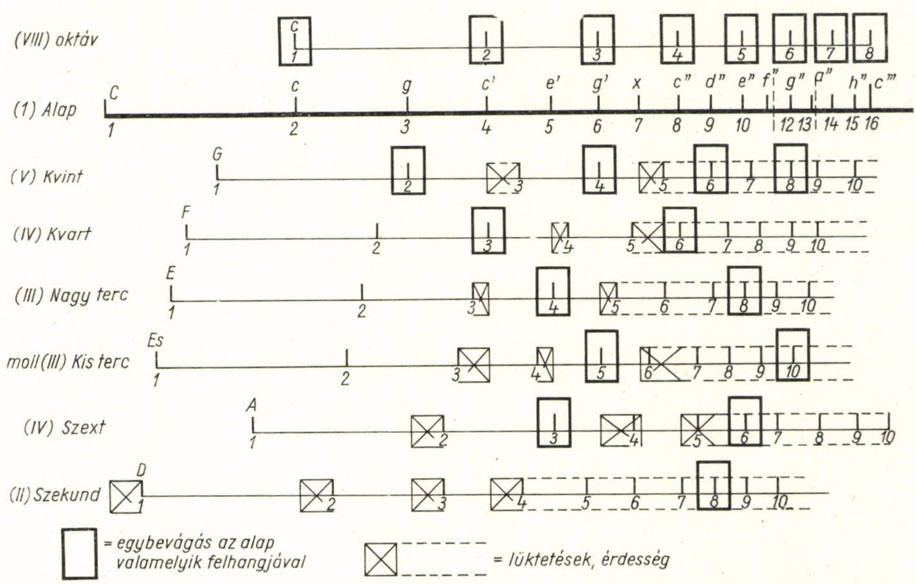
E szám toleranciájának növelésével a modern zene akkordjai igazolhatók. Figyelembe veendők azonkívül a következők: egy hang saját harmonikusai egymás közt nem adnak disszonáns lüktetéseket, mert e kombinációs hangok mind beleesnek a saját harmonikusokba (az alaphangot is természetesen beleértve). Ezért konszonáns tágabb értelemben például az alapállású természetes domináns heted (a 4, 5, 6, 7 felhangok sorozata), sőt nóna stb. is. A konszonáns hangközöket és a skálahangokat nem a ,,megszokás'' szülte, hanem szilárd alapjuk van a fizikai felhangsorozatban. A harmónia e helmholtzi természettörvények alapján a bazilármembrán síkdíszítményszerű (helyesebben lineáris) ornamentikájára van visszavezetve (l. *139. ábra)*. Az oktávot jellemzi az, hogy a magasabbik hang *minden* felhangja (harmonikusa) egybevág a mélyebbik (alap) egy-egy felhangjával. (Ezért is nevezi a köznyelv egy hang oktávját ,,ugyanannak a hangnak''.) A kvintet minden második felhang ilyen egyezése jellemzi és így tovább. A hangközök felismerése így géppel is egyszerűbb és lényegében is más, mint a már említett idegmodell elvén alapuló eljárással. (A fül maga is gerjeszt felhangokat s így pl. a felhangmentes celeszta és fedett ajaksíp hangközeit is felismerjük). A hangközök e sajátsága bármely fekvésben invariáns. A dallam harmonikus lépéseit pedig az ornamens olyan eltolódása determinálja, mely az előbbi helyének bizonyos pontjaival (felhangok) érintkezést tart fenn. Így egyebek közt a transzponált kongruencia és az összhangzattan szabályai fizikai magyarázatot nyernek. Ugyanígy a disszonanciák feloldási módja nem ,,a szokások szentesítette szabály'', hanem fizikai törvény: minél több hang félhanglépéses átmenete egy disszonáns akkordból egy konszonáns akkordba. (A félhangmenetes portamentóban valamennyi hang félhanggal megy át a követő akkordba, de ez nem fel-

* D. BOLITHO—M. KLEIN: Datatron slágerszerző és J. SCHILLINGER gyermekdalszerző programjai, 1956—1957. NEUMANN—SCHEPPERT: Komponieren mit elektronischen Rechennautomaten. N. T. Z. 1959. Aug. 403.

** HELMHOLTZ: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Musik. Braunschweig. 1896.

oldás, mert konszonánsból konszonánsba, vagy disszonánsból disszonáns akkordba történik átlépés!)

A dal szerkezete. Nevezzük dalnak egyelőre a valódi zárlattal lezárt zenei egységet. Ez „mondatokra" bontható, melyek jól felismerhető zárlatokkal (kádencia) végződnek. E zárlatok lehetnek állítók, kérdők, felelők és befejezők, melyek még további alfajokra oszthatók. Mindezek, mint valami csontváz, a ritmusszerkezeten helyezkednek el. A dal mindig egy bizonyos hangnemet foglal el, ez végigvonulhat a dal egészén, de változhat a dalon belül is (modulálás). A dal első hangsúlyos akkordja fiziológiai célszerűségből maga a tonikahármas, mert így legkevésbé fárasztja a hallgatót a hangnem kikeresgélésével (tehát nem törvény, lehet másként is kezdeni). A zárlatok minimálisan két akkordból állnak s egyben képezhetik a legrövidebb mondatokat is,



139. ábra

például (I—IV), (V_7—I), a legelemibb dal két mondatból, négy akkorddal (a római számok az akkordok alaphangját jelölik). A mondatokat nagybetűkkel jelölve, a „legkönnyebben érthető" dalszerkezetek néhánya: AABA, ABCA, ABAC stb., ahol a mondatok tartama egyenlő. A mondat-aláosztás egy hatásos példája a *Cigánybáró* toborzójának dalszerkezete: az AABC feloszlik: A_1A_2, A_1A_2, B_1B_2, B_1C_0-ra, ahol a B-k modulált hangnemben szerepelnek. Mármost a zene „értelme", a mondatok „mondanivalója" abban rejlik, hogy az egyes mondatok, és a mondatokon belüli elemek is, ismétlődéses vonatkozásban vannak egymással, kezdve a teljes kongruenciáktól (zenei szakkifejezéssel: szimmetriák; e kifejezést félrevezetőnek tartjuk, s itt nem élünk vele), a transzponált kongruenciákon, hasonlóságokon, változatokon át csupán a ritmus megtartásáig, sőt ezen is túlmenőleg csupán a ritmus asszonáncig. A ritmus megkönnyíti az egymásutáni hangok csoportosítását ama fiziológiai képességünk folytán, hogy több impulzust tudunk egy egységként felfogni, főleg, ha a hangok és szünetek tartama egy adott egységnyi tartam egészszámú sokszorosaiból áll. A dallam szerkezetében alapvető a dal *rajza*, hullámzása, alakzata. E rajz két szélső lehetősége: 1. a szétbontott akkord (ősi kürt), 2. a diatonikus futam (ősi pánsíp), e két lehetőség közt természetesen a hangok bármilyen elrendezésű sorozatai is lehetséges dalrajzok. A különféle „rajzok" közül századok folyamán felfedezték a kellemes hatásúakat, ezek az emberi beszéd és érzelmi hangok hanglejtéséhez hasonlóak, és többnyire konvencionális képletekké rögződtek. Bár itt elsorolásukat mellőznünk kell, hangsúlyozzuk, hogy a zeneszerzőgépek „örök”-tárának fontos állományát fogják képezni.

Még a legegyszerűbbnek látszó dalnak is rendkívül komplex szerkezete van. Példaként álljon itt *Verdi:* „O terra addio”, AABAC szerkezetéből az *A* és *B* mondat *(140a ábra)*. Az ábrán nincs feltüntetve a következő lehetséges taglalás: három, a 4 hangból álló szekvencia, melyekben három fölfelé lépő és egy lelépő hang van (az utolsó csoport helyébe is tehetnénk 4 ilyen hangot.) A felbontott akkordok alaphangjai: I, I_7—I, V_7—I, tehát zárlata szerint szabályos állító mondat. De feloszthatjuk a

a)

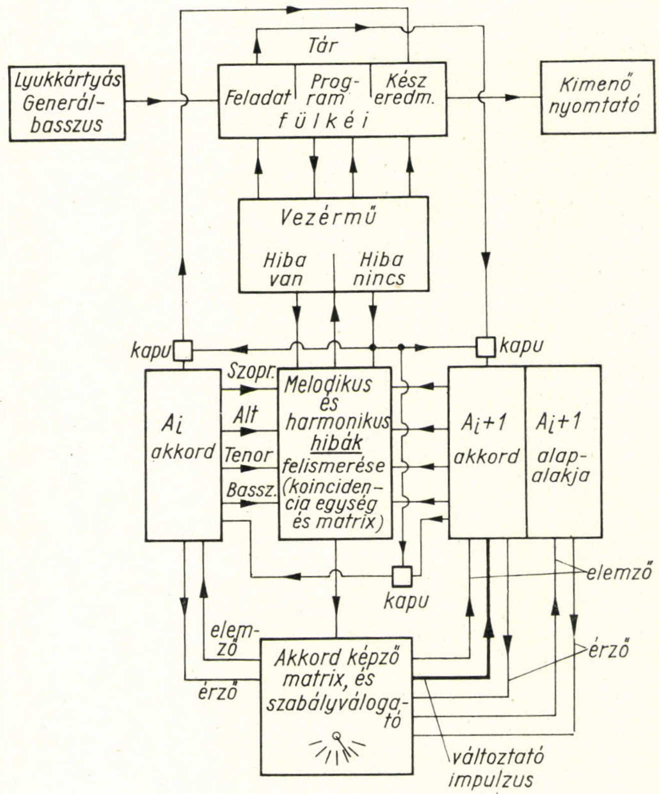
b)

c)

140. ábra

rajz szerint is: egy csonka *p* szekvenciát követ egy utánzó *q*, melyet a tonika hangzat fejez be s így egy „állítást az állításban”-t kapunk (az *A*-t befejezi az *r*). Újak e dalban a *v* hasonlatok (nem azonos ütemrészekre esőket, „transzlokáltakat” is találunk, vö. variatio per arsin et thesin). A *B*-ben minden magyarázat nélkül is megtaláljuk a homológ elemeket, melyeknek tehát nemcsak egymásközt, hanem mint az *A* egészében való hasonlatának is megvan az értelmük. A *B* hangzatfelbontásai: I, majd párhuzamos moll modulációban I—V (kérdő almondat), végül visszamodulál I kérdőzárlatába. Az *A* alterációja modernül élénk, s így az általános művészi szabályok szerint kiemeli a *B* konszonanciáját. Egyetlen kísérlet megmutatja, hogy szigorú akkordbontással nem tudjuk szebbé tenni e dalt. Merőben elütő szerkezetűeket találhatunk J. S. Bach dalai közt: szabályos összhangzattani alapon kapcsolódó akkordsorból álló, makromelódiás szabályos zárlatokkal végződő, de egyenlőtlen tartamú mondatok akkordjai egymáshoz hasonló („fejlődő") mikromelódiákra vannak bontva. Egyik legjellemzőbb alaphangsor a felfelé haladó kvartmenet, néha 14 is egymásután (a legmegrázóbb kísérlet, melyet nagy zenészek mindig ki is használtak, és ez is a helmholtzi törvényeken nyugszik!)

A *zeneszerző gép* legkézenfekvőbb „kiviteli alakja" tekintetében követhetjük a XVII—XVIII. századbeli felosztást: a „phonascus" a dallam feltalálója, a „symphoneter" a kíséret, szólamok harmonizálója. Vegyük először az egyszerűbbet, a symphonetert: könnyen belátható, hogy egy



141. ábra

„összhangzattani példákat megoldó gép" nehézség nélkül megtervezhető *(141. ábra)*, illetőleg meglevő digitális számológép programozható e célra. A programozást megkönnyíti, hogy az összhangzattan szabályai szerint *minden akkord hangelrendezése* (de csakis ez!) *csak a közvetlen megelőző akkordtól függ*. Ez az „elsőfajú" harmonizáló gép betárolt szabályrendszer révén felismeri a szólamvezetési és harmóniahibákat, parancsrendszerével pedig e hibákat ki is javítja. Az i-edik hangzatról az $i + 1$-edikre csak akkor lép, ha a talált hibát már kijavította. Több megoldás esetén mindet külön lejegyzi. Ahol nincs közvetlen javítási szabály, szabadon variálja (ill. sorraveszi) a skála hangjait, míg a hiba többé már nem jelentkezik. A ,,másodfajú symphoneter" már nem számozott generálbasszust dolgoz ki, hanem adott szólamot harmonizál. Ennek sokkal szélesebbkörű programozásra van szüksége: először is megkeresni a dallam hangnemét, a ritmusbeosztást és ennek alapján a kadenciák helyét. E pillanatban a kísérőhangzatok alaphangjai máris adva vannak (a hangsúlyos dallamhang egyezik az akkord valamelyik hangjával), így az első hangsúlyos hang legkézenfekvőbben a tonikahármas egyik hangja a kezdő hangnemben, az utolsó hang pedig a befejező hangnem tonikája. Természetesen több megoldást kapunk.

Sokkal komplexebb a ,,phonascus". Mint a fentiekből is láttuk, az egyszólamú dallam, a cantus firmus, tartalmazza már a ritmust és ,,embriószerűleg" a zárlatokat és kíséretet is (ahogy költőileg mondani szokás: dallam, ritmus és kíséret együtt születik). A vak kaleidofon még nem egész phonascus, mert még csak szerkezettelen motívumokat ad meg. Minthogy a ritmus áll meg egyedül magában is (dobszó) és tartalmazza egyben a dal időbeli szerkezetét, egy ritmusvariátorra is szükségünk van. Erre kiválóan alkalmas egy a ,,ritmustan"* szabályaival működő egység binerszámlálója (pl. az ,,O terra addio" egy mondatának ritmusát a következőképp adja meg: 0111/1111/1011/1000). A gép ,,komponálási" módját többféleképp programozhatjuk: lehet a motívumhoz megkeresni egy mondatritmus elejét, vagy egy előre adott ritmikus szerkezetre ráhúzni a vak motívum hangjait, illetőleg e motívum hasonlatait, kongruenciáit a ritmusbeosztás szerint s a mondatvégekre zárlatokat próbálgatni. Az első mondat azután már ,,diofantikusan" (azaz meghatározott számú megoldások) korlátozza a többi mondat dallamait. Az első mondat dallamának (megmaradó kísérlet mellett) ,,vezetett" variálásával számtalan értelmes variáció állítható elő. Jó példákat találhatunk erre Bach műveiben, ahol pl. két műben *azonos* alaphangsorozatra épített *hasonló* makromelódiák akkordjai *más-más* mikromelódiákra vannak bontva. De nem minden gépies variáció szép is egyúttal, könnyen meggyőződhetünk erről valamely mestermű variálásával, amelyet rendszerint csak elrontani sikerül. Egy ideális komponálógépnek ,,szépérzékkel" is kell bírnia, azaz olyan beépített szerkezettel, amely pl. ,,csenget", ha szép variánst talál. Az ilyen gép a konstruktőrénél szebb dalokat tudna írni. Minthogy ma még az ,,isteni szikra" definícióját nem ismerjük, nem tehetünk mást, mint ismert szép motívumokat, dallamokat tárolni, hogy e gép ezekhez mérje a gépi dallamokat. Ez a gép azután nem tud többet, mint tervezője; igazi lángész helyett csupán dilettáns, önképzett, ,,olvasott" talentum.

Abból, hogy a zenei szép kritériumait ma még élesen körvonalazni nem tudjuk, nem jelenti azt, hogy nincsenek is törvényei. Ha a korok, egyének ízlései különfélék is, ez csak bonyolultságot jelent, de nem megfejthetetlenséget. Az esztétikai kutatásban nagy szerepe nyílik a kísérletezésnek, pl. a zenei hatás megállapítása a kétes hatású részek helyébe más részek behelyettesítésével stb. (föntebb is megemlítettünk ,,próbálgatásokkal" való kísérletezési módokat).

Gyakorlati szempontból célszerűbb és könnyebb is a komponálógép számára a szerzendő ,,mű" kezdeti adatait megadni, pl. legyen megadva:

* Kívánatos lenne egy ún. ritmustan alapjait megvetni, amely a szép dallamok kimeríthetetlen ritmuslehetőségeit vizsgálja.

csörgő-dob-tánc (tárolt ritmusainak egyike: 1111/1010/1010/1010), az első mondat akkordalaphangjai (I...I) állítást, a második (I...V) kérdést ábrázoljanak, a dallam típusa diatonikus futam legyen, mollhangnemben. Minthogy a futamok kezdete és vége az adott hangzatok hangjaival már adva van, a gépi variánsok egész tűrhetőek lesznek. *(140b ábra)*. De ha a föntebb említett jóhangzású motívumok tárát is igénybe vesszük, akkor a vak lépcsőmenetek közé ékelt ,,ismerten kellemes'' elemek szebbé teszik a dalt, ilyen pl. J. PH. RAMEAU (1683—1764) megoldása. *(140c ábra)*.

s) A komikum mechanizmusa

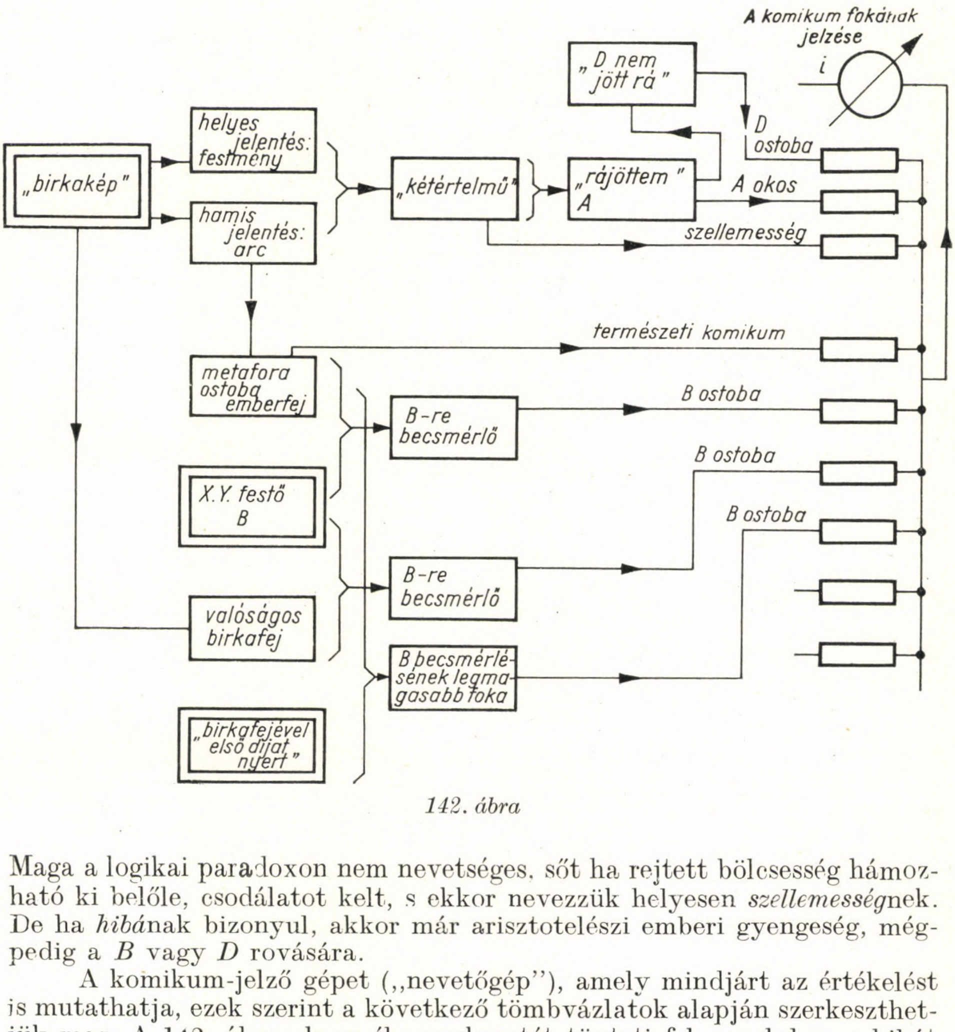
Egyik külföldi műszaki folyóiratban néhány évvel ezelőtt a következő kitétel jelent meg: ,,Még eddig nem építettük be gépeinkbe a humor iránti érzéket''.* Noha a témának csak l'art pour l'art értéke van, a fenti állításra feleletképpen foglalkozni fogunk vele e lapokon, mert a kérdés egy újabb oldalról is világot vet értelmünk szerkezetére. A humor (helyesebben: komikum) esztétikai vizsgálatának nagy irodalma van,** de itt nincs helyünk sem ezzel, sem a humor ontogenetikájával és filogenetikájával foglalkozni. Az ősi alap-kárörömnek ma már csak kulturális lefokozása szerepel: az ősi ,,megölt ember'' helyébe a ,,bosszankodó ember'' kerül. A nevetést megindítja az arisztotelészi*** ,,nem ártalmas sérelem'', mely másvalakin esik meg; nevetünk azon, akiben emberi (ma már főleg szellemi) gyengeséget észlelünk, tehát aki ostoba, téved, bosszankodik, kellemetlen érzései, vagy érzelmei vannak, vagy ilyesmik csupán rá vannak fogva: becsmérlés, megtévesztés stb. által. Az ún. természeti humor is ebből ered, pl. a poloskán nevetünk, mert megjelenik előttünk a bosszankodó ember képe; a majom: ember-karikatúra, azaz alakjában, mozdulataiban egyes ismerőseinkre emlékeztetve, őket becsmérli; a megbotlás és elesés különösen komikus, mert igen sok becsmérlő asszociációt ébreszt: 1. a komoly emberi járást becsmérli, 2. az illető ügyetlenségét ábrázolja, vagy arra ráfogható, 3. utána bosszankodik az illető magáért az esésért, a nem ártalmas fájdalomért és 4. ruhája piszkosságáért, végül 5. azért, hogy nevetnek rajta. Már maga a természetes humor is, ha ,,történés''-be van foglalva, magasabbrendű is lehet. A póruljárás, a kudarc, a felsülés, a lefőzés ennek fokozatai, melyek mind megannyi *miniatür tragédiák*, melybe a hős (a szenvedő fél) saját hibájából bukik. Felsülésre példa burleszk filmből: a kerékpártolvaj menekül, és egy kerti tó partján éles fordulatot vesz úgy, hogy az üldöző motorkerékpáros rendőr motorostul berepül a vízbe. Diadalmas mosollyal néz vissza a tolvaj s úgy megy neki a fának, hogy biciklije szétmegy és feje is megdagad. A drámai szerkezet itt tökéletes: saját hibájából, önelégültségéből eredő vigyázatlanságból érte a vég. Az, hogy a tolvaj ,,meg is érdemelte'', erkölcsileg nyugtat meg, s csak annyiban járul a komikum fokozá-

* W. L. EVERITT: Proc. I. R. E. 1954. 3.

** SZIGETVÁRI IVÁN: A komikum elmélete. 1911 (a M. Tud. Ak. Kiadása).

*** ARISZTOTELÉSZ-nek (i. e. 384—322) a komikumról írt munkája elveszett, csak idézői feljegyzései nyomán ismerjük nagyjelentőségű definícióját: ,,A nevetséges valamely hiba vagy rútság, mely fájdalmat és bajt nem okoz.'' Ma a hiba vagy rútság helyett inkább ,,emberi gyengeség''-et mondunk.

sához, hogy *nem ad* ellentétes, a komikumot lerontó erkölcsileg felháborító elemeket hozzá. Úgy látszik, hogy maximálisan négyféle szereplőt találunk bármely komikus jelenségben, eseményben, még a szójátékban is. A = mi, a kívülállók, akik nevetünk, B = a szenvedő főszereplő, akin nevetünk, C = a „leégető" és D = aki elmondja történését vagy szójátékot. Az A és D még a legrövidebb szójátékban is megvan. Az ilyen „oxymoron", azaz élc (szolgai német átvétellel: vicc) rendszerint egyetlen logikai hibából áll.



142. ábra

Maga a logikai paradoxon nem nevetséges, sőt ha rejtett bölcsesség hámozható ki belőle, csodálatot kelt, s ekkor nevezzük helyesen *szellemességnek*. De ha *hibának* bizonyul, akkor már arisztotelészi emberi gyengeség, mégpedig a B vagy D rovására.

A komikum-jelző gépet („nevetőgép"), amely mindjárt az értékelést is mutathatja, ezek szerint a következő tömbvázlatok alapján szerkeszthetjük meg. A 142. ábra olyan élc szerkezetét tünteti fel, amelyben a hibát egyetlen szó kétértelműsége okozza, melyek közül az egyik a helyes értelem, míg a 143. ábrához tartozó élcben egy mondat helyes értelmét előbb ki kell találni. A szerkezet lényegében mindig azonos. Egy nemrég megjelent újsághírben e mondatot olvashattuk: „A tárlaton X. Y. híres állatfestő birkaképével megnyerte az első díjat." A „nevetés" foka annál nagyobb, mennél több párhuzamos ellenállás kapcsolódik ugyanazon feszültségre, s így a milliampermérő kitérése nő. Minden ellenállás egy-egy arisztotelészi humor-alapelem felismerőhöz van kapcsolva. Tehát *B*-, *D*-nek ostobának vagy bosszankodónak, míg *A*- és *C*-nek relatíve vagy abszolúte szellemesnek, okosnak kell lennie. Az első példában a szó hamis jelentése a *B* festőt közvetlenül kétszeresen is becsmérli, de felső fokban is becsmérli azzal, hogy a mondat egészében is új értelmet lehet felfedezni: azt állítja ugyanis a festőről, hogy olyan buta arca van, amellyel első díjat lehet nyerni az ostobák versenyén. Az újsághír *D* irójának gyengesége pedig az, hogy nem vette észre a szó kétértelműségét. *C* itt nincsen, *A* pedig, az olvasó, kétszeresen is örvend: 1. tárgyilagosan örül a szó kétértelműségének, amit saját szellemességének tarthat, 2. örül annak, hogy ezt ő, *A* fedezte fel, tehát okosabb *D*-nél. Azonkívül még természetes komikum is növeli a hatást: felidéződik a birkafej metaforikus képe (ostoba emberfej). A szintén felidézett valódi birkafej képe önmagában nem humoros.

A másik élc (egyben a gúnyra példa) egy regényből van idézve: „a gyár igazgatójának a legcsekélyebb szaktudás sem homályosította el ítélőképességét". Közvetlenül kitűnnek a következők: *B* becsmérlése (nincs szaktudása); *B* ítélőképessége alakilag dicsérve (nincs elhomályosítva). A gúny definíciója ugyanis az, hogy az ellenkezőjét állítja annak, amit mondani akar, de valami apróság révén keletkező logikai paradoxon elárulja, hogy nem szabad szó szerint venni (innen a régi jellemzés: a gúnyt nők és gyermekek nem értik meg). A mondat szemantikájából megmagyarázódik a paradoxon, a logikailag helyes mondat volna ugyanis: a szaktudás megvilágítja az ítélőképességet. Hogy mit kell ellenkezőleg érteni, azt próbálgatás dönti el, melynek iránymutatója az, hogy *az* a szándékolt állítás, amelyik *B*-t becsmérli. Itt a paradoxont éppen ezért nem tartjuk hibának, sőt a *D* szándékának ismerjük el. A szereplők itt *A*, *B*, *D*, az élc *D* szerzője itt nem tűnik ostobának, az *A* oldalán van, *C* szerepét vette át.

A humor lefokozására példa: Ampère rendkívül rövidlátó volt, de jó ideig eszébe nem jutott szemüveget viselni. Naivságában mindenkiről hasonló rövidlátást tételezett fel, s így diákjai folyton arra kérték, hogy nagyobb betűkkel írjon a táblára, mert nem látják jól. Végül már egész táblányi betűket írt; azonban a diákok mulatságát nagyban csökkentette az, hogy Ampère-nek csak azon a gyengeségén nevethettek, hogy nagy jóindulatában nem veszi észre a tréfát. Bosszankodásra ugyanis képtelen volt.

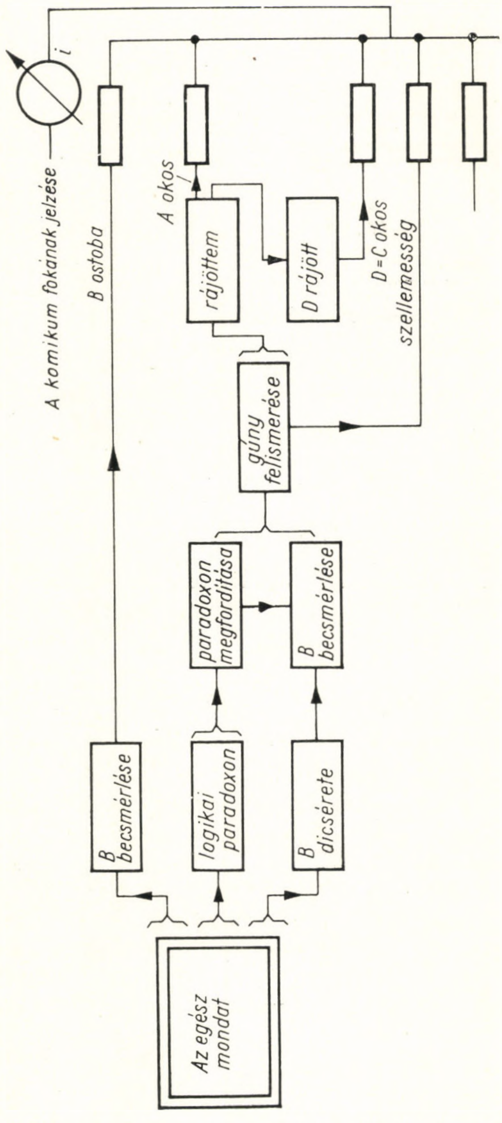
A komikum szerkezetének a fenti vázlat természetesen csak előzetes papírravetése. A teljes programozás előreláthatólag hallatlanul bonyolult lesz, amit nem csodálhatunk, hiszen a humor felismerése a legmagasabbrendű szellemi működések körébe tartozik.

Itt találkozunk először azzal, hogy a gépnek „Én"-t tartalmazó mondatokat kell szerkesztenie. Az ember ilyen mondatait tágabb értelemben vett proprioceptív értesülések (belső érzékszervi érzések és érzelmek) jellemzik. Például: „én megyek" abban tér el a csupán látással érzékelt „ő megy"-től, hogy járásunkat tapintó, izom és ízületérzések meghatározott kombinációja és a járásindító agyi központ ingereltségének külön jelzése kíséri. A fenti példákban említett ,,én találtam ki'' hasonló módon áll elő; kell hozzá a ,,kitalálás'' felismerése logikai relációk alapján, párosulva agykéregi proprioceptív jelzésekkel, melyek azt adják tudtul, hogy ,,bennük'' történt e felismerés.

Az ábrák hipotetikus szerkezetekből összeállított modelleket mutatnak; a humort csökkentő ,,ártalom'' és az $A = B$ (mikor mi vagyunk a szenvedők) kapcsolásait egyszerűsítés kedvéért az ábrán mellőztük. A két ábrán az ellenállássorozatot természetesen ,,súlyozni'' kell. A ,,szellemesség'' maga inkább csodálatot kelt és csak gyenge mosolyt, ugyanígy az A és C fölénye is csak megelégedést, s az ezzel járó arckifejezést (mosolyt) hozza magával, hahotára csak a B, D fogyatékossága és a természeti humor ingerel.

A kapcsok az ábrákon hipotetikus felismerőszerkezeteket jelölnek. Vázoljuk itt pl. a ,,becsmérlés'' felismerését.

Legyen a ,,becsmérlés'' definíciója: ,,a becsmérlés olyan ítélet, amelyben valaki vagy valami az igazi értékén alul van becsülve''. A modell emlékezettárában legyenek rangsorba rendezve fajai a következő kategóriáknak (illetőleg ezek szimbólumainak): testi tulajdonságok, szellemi tulajdonságok, erkölcsi, jellemi tulajdonságok, az egyén társadalmi helyzete (rang, állás, anyagi helyzet) stb. Mármost adjuk a gépbe ezt az ítéletet: ,,Andor oroszlán''. Ez több értelmű: jelentheti azt, hogy 1. Andor (ember) oroszlán, ami nem igaz ítélet, 2. Andor (oroszlán neve) oroszlán, ami igaz ítélet és 3. Andor oroszlán (metaforikusan), ami igaz ítélet, mert ,,oroszlán'' helyett itt ,,bátor''-t kell helyettesíteni. (Mindhárom jelentést, mint közbenső eredményt, le kell jegyeznie a gépnek). A *jellem*-skálában be kell hogy sorolva legyen



143. ábra

a „bátor" a „dicséret" oldalon. Ebben az ítéletben viszont: „Andor állat" a *szellemi* tulajdonságok skálájában találjuk az „állat" metaforikus besorolását a „becsmérlés" oldalon. Végül az „Andor az állatok királya" ítélet, noha állítmánya szinonim az „oroszlán"-nal (mely a jellem skálában dicséret), a szellemi tulajdonságok rangsorában az „állat" fokozása révén súlyos becsmérlés. Becsmérlést tehát akkor „észlel" a gép, ha a vizsgált ítélet alanyáról állított állítmány az alany valódi értékénél alacsonyabb értékű valamelyik, az alany tulajdonságait tartalmazó kategóriában.

t) Fordítógépek

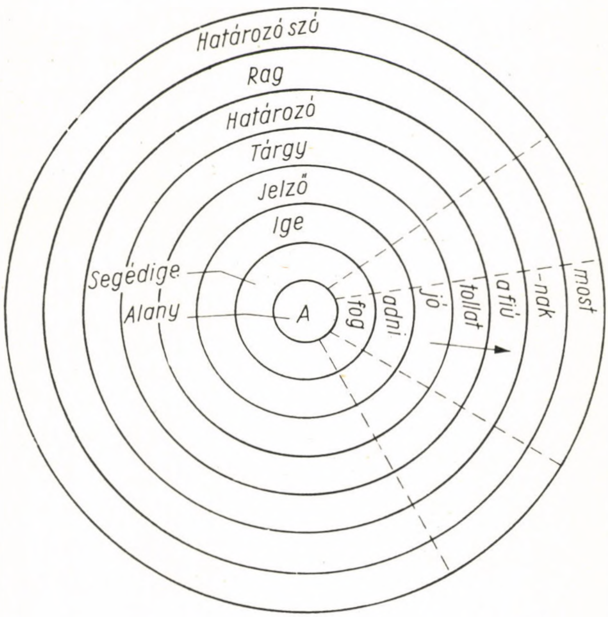
A fordítógépek adott szöveget fordítanak le teljesen önműködően egy másik nyelvre. Minthogy a nyelvek szórendje és mondatszerkezete általában eltérő, a gépnek nemcsak az egyes szavakat kell egymástól függetlenül lefordítania, hanem a mondatokat is szét kell szednie nyelvtani elemeire. A nyelvtannak a logikával egybeolvadó mechanizálását kísérelte meg Ramon Lull (1234—1315) az „Ars Magna"-jában. A „szerkezet" hat elforgatható koncentrikus tárcsa volt, hat kategória számára, amelyekbe kilenc-kilenc alapfogalom tartozott, s így bármely kombinációt be lehetett állítani pontosan ugyanúgy, mint a „Basic English" mai tankönyvében található „basic word wheel"-en *(144. ábra)*, csakhogy ezen kilenc tárcsa van, itt már a mondatrészek számára. Bármely tárcsaállás mellett *nyelvtanilag helyes,* de csak véletlenül értelmes mondatot kapunk.

A nyugati nyelvek nagy részében a szórend meglehetősen kötött (a „tárgy"-at gyakran csak a szórend határozza meg), csak ritkán, mellékmondatos szerkezetben találunk fordított szórendet, vagy olyankor, amikor restriktív funktor határozza meg a mondatrészt. A magyar nyelv szórendi szabálya a legszabadabb: a hangsúlyos szó az ige elé kerül. Érdekes azonban, hogy a *kérdőmondat* kérdőnévmásos típusaiban az ismertebb idegen nyelvek szórendje is a magyarnak felel meg.

Leibniz korában és előtte is voltak a nyelvtannak materialista kutatói: Breissac („Abacus polysophus"), Alsted, Pierre Grégoire (Syntaxis artis mirabilis), Dalgarno (Lingua philosophica), Albert Holten („Hengeres Grammatika"), utóbbi koaxiális hengerekre írt szótövekkel, ragokkal, mellyel deklinálni és konjugálni is lehetett. Meg kell említenünk végül Stöhr: Algebra der Grammatik (1898) c. könyvét, melyben a meglevő nyelvtani egységeknek új jelöléseket ad, de minthogy kihagyni semmit se lehet, mert a megértéshez a beszédben minden beszéd- és mondatrész, rag, szórend stb. szükséges —, csak más írásmódot talált fel.

Az első fordítógép Caralozzi „Robot translatora" 1933-ból, németről holland fordításra volt tervezve. Kivitelezéséről nincsenek adataink. Ma leginkább meglevő elektronikus digitális számológépeket programoznak fordításra. Így pl. 1954-ben egy IBM géppel orosz—angol fordítást végeztettek csupán 250 szavas tárral. 1955-ben egy APEXC és egy HEC gépet is munkába állítottak. Hat szabály is elég tűrhető fordításokat nyújtott. A hat szabály, valójában hat szubrutincsoport, igen szellemesen volt összeválogatva: 1. A szó megfelelőjének kikeresése a szótárban, 2. két szó sorrendváltoztatása, 3. választás elöljáró szerint (hátratapogatás), 4. választás rag szerint (előretapogatás), 5. („blank") a bemenőnyelvből elhagy valamit, 6. „blank" kitöltése a kimenőnyelv számára. A tárolás külön mágnesdobokon történt külön a főnevek, melléknevek, igék és határozók számára. A szovjet BESZM gépet angolról oroszra való fordításra programozták.

Komoly fordítógépnek mindkét nyelvet tökéletesen kell „ismernie", azaz minden nyelvtani és idiomatikus adatot minden szaktudományban, feljegyezve kell tartania. A gépnek először is fel kell ismernie a begépelt mondat szerkezetét, ami a következőkből áll: Az egyes szók lefordítása után meg kell határoznia a *mondatrészeket* (enélkül hiába próbál értelmesen fordítani!), azután az egész mondatalaknak megfelelő mondatalakot (a másik nyelvben) a tárból kikeresni, végül a kikeresett és lefordított szavakat behelyettesíteni. Olyan esetekben, amikor a gép idiomatikus kifejezést fordít, az egész kifejezés megfelelőjének (a másik nyelvben) egészében készen kell állni a tárban, ilyenkor ugyanis a két nyelv eltérő fogalmakat használ (pl. nem fordítható le szavanként az „utolsó ítélet" németre: Jüngste Gericht).



144. ábra

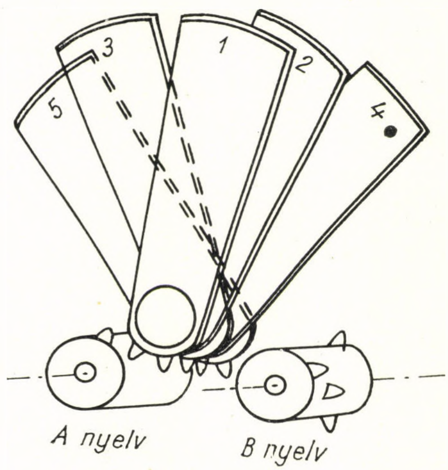
Ragozott szók esetén a szótő megkeresése a szóvég fokozatos levágásával s közben a csonkított szó szótári keresésével történik, míg a szótár találatot nem jelez. Pl. „vonaton" esetén levágja először az n-t, aztán az o-t és itt áll meg, mert a „vonat" már megvan a szótárban, viszont a „Balaton" esetében el sem kezdi a levágást, mert a szótár azonnal jelez, pedig a két szó végződése ugyanaz. A szótár egyben megadja a beszédrészt is (főnév, melléknév stb.). Ez és a ragok, valamint a szórend megadják azt, hogy a szó milyen mondatrész* (alany, állítmány stb.), a jelzők hova tartozását, vonzatokat és behelyettesítik a mellékmondatokat.

Még eddig nem építettek speciális fordítógépet, pedig az elektronikus digitális számológépek nem alkalmasak mindenben fordítási célokra. A rekeszrendszer például kitűnően megfelel szavaknak mondatvázakba való helyettesítésére, szórendi elhelyezésére, ellenben e tárolás módja nem egészen megfelelő; kapacitása és a szóhossz kicsi, a tárolás ideiglenes (a fordítógépben „örök"-rögzített lehet), a kikeresés címek szerint megy (a fordító-

* Angolból való szolgai fordítással „szófajta" (wordclass).

gépben ,,nyelvi szavak" szerint). Tehát a gyorstár (a munkarekeszek számára) ferritgyűrűs tárként tervezendő, míg a szó- és szabálytára valamilyen örökrögzített rendszerűnek választandó. A mikro-glosszárium (szakosított tárak egyes tudományágakra) tartalmának cserélhetőnek kell lennie, vagy pedig kész ilyen tárak legyenek beilleszthetők e gépbe, illetőleg kívül hozzáilleszthetők a géphez. Ma leginkább mágnesszalagot használnak utóbbi célokra, de ez túl lassúnak bizonyult. A számolóművet csak az összeadásra (kivonásra) kell tervezni.

A gépies szóról szóra fordítás (tekintet nélkül a szórendre, értelemre stb.) bár döcögő szöveget ad, már magában nagy könnyítés az olvasóra nézve; és jelentékenyen csökkenti a fordítási költségeket.



145. ábra

A mondatról mondatra fordító gép működése két részre osztható: A bejövő mondat elemzése, azután a kimenő mondat összeállítása. A bemenő elemzése egyúttal annak nyelvtani helyességét is automatikusan ellenőrzi. A legegyszerűbb mód kész, egész kifejezések lefordítása a ,,Polyglott Kunze nyelvmester"-ének utazási kifejezéstárai módjára, ami utazáskor gyakran kielégítő is, de általános és tudományos szöveg fordításakor elégtelen.

A rekeszes tár mint említettük, nagyon alkalmas a mondatok szétszedésére és újra megszerkesztésére, a szavak milliomod másodpercek alatt könnyedén tologathatók, félretehetők és a szórend szerint átcsoportosíthatók stb., amit pl. mechanikailag (lásd *145. ábra*) a szórend ,,legyezővel" igen nehézkesen, legfeljebb oktatási célokra alkalmazhatunk. Az ilyen legyezővel legkönnyebben kísérletezhetjük ki a szakaszokra való csoportosítást is.

A mondat megszerkesztése *diofantikus* feladat oly értelemben, hogy sok variáció között csupán egy vagy több diszkrét megoldást találunk. Ezek teljesen határozottak, és éppen ezért nem valószínűségszámítási eljárások eredményei.

Valószínűségi számítások akkor merülhetnének fel, ha nem volna elég adat a feladat megoldására. Ilyenkor a meglevő adatokból ki lehetne hozni valószínű eredményt, de senki sem biztosíthatna afelől, hogy ez a keresett eredmény, hiszen éppen a valószínűség lényegéből következik, hogy *egyes esetekre* nem ad megoldást (valószínűségi alapon nem lehet megjósolni, hogy a rulettben a következő kijövő szám melyik lesz).

Az a *jó* fordítógép, amely minél hűbben, szolgaibban fordít, és csak ott használ képes kifejezést, ahol ez az egyetlen megoldás; és ott is olyat, amelyet a kifejezéstár neki szigorúan előír. Nem szabad, hogy a fordító (gép vagy személy) maga konstruáljon egyéni kifejezéseket, mert abból (tudományos szöveget értvén) veszedelem származik. Költői művek fordításakor viszont éppen az új kifejezés megtervezése a fő feladat, és ezért a fordítónak széleskörű nyelvismeretének és ő magának is alkotótehetségnek kell lennie.

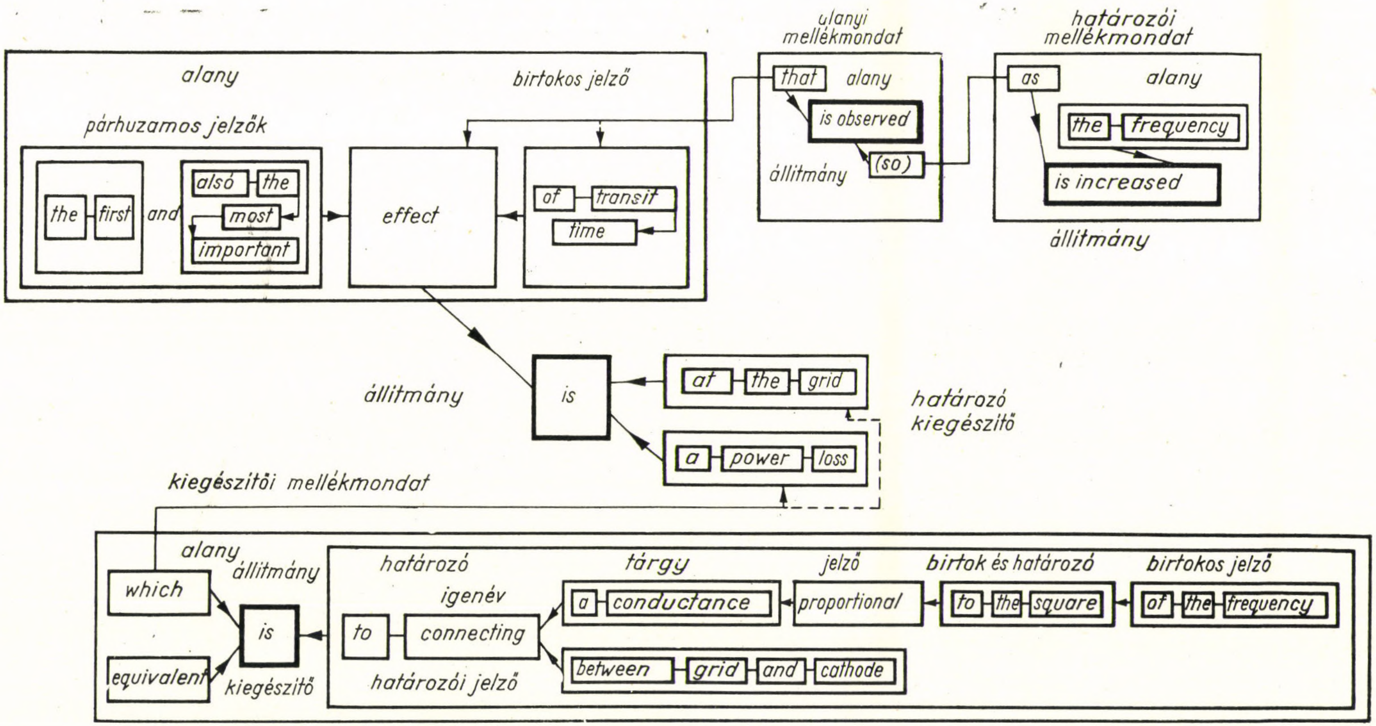
A mondat fordításának menete. Most elemezzük végig egy egészen mindennapi mondat fordítási folyamatát. A mondatot ragadjuk ki találomra egy tankönyvből. A szokásos vélemény szerint a tudományos szövegek egyszerűbbek, mint a szépirodalloméi. Hogy ez mennyire nem áll, mutatja az alábbi mondat:

„The first and also the most important effect of transit time that is observed as the frequency is increased, is a power loss at the grid which is equivalent to connecting between grid and cathode a conductance proportional to the square of the frequency."

E példán nemcsak a szórend átalakítását, hanem a mellékmondatok különválasztását is figyelemmel kísérhetjük.

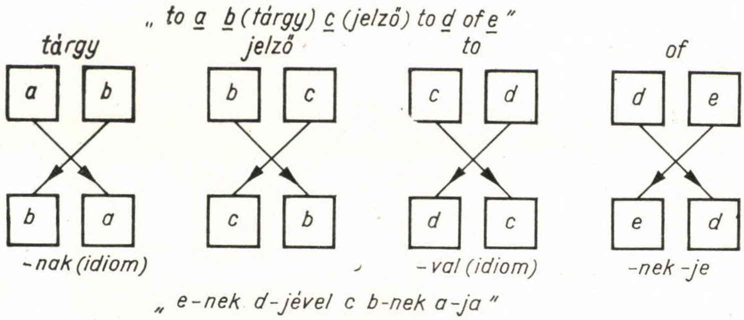
A gép a szavaknak a szótárban való kikeresésével kezdi s onnan válaszul a beszédrész-minősítéseket megkapja (természetesen a raglevágásokat is elvégzi). Minthogy négy élő igét talál, tehát ennyi a főmondattal együtt a mellékmondatok száma. Az elöljárók (ragok), névelők, kötőszók, névmások révén a mellékmondatok és mondatrészek határai megállapíthatók: elöljárótól főnévig bezárólag terjed egy-egy *határozó-szakasz*. Ezeket a gép más címsorba teszi, vagy ha a gép rendszere megengedi, meghagyja a szavakat rekeszükben, de indexszámmal toldja meg; a lényeg az, hogy a mondat szavai és szócsoportjai most már az új osztályozás szerint is elővehetők. Kötőszó vagy névmás jelzi a mellékmondat kezdetét. Az ige előre és hátrafelé is határt jelent. *Ahol a névszó előtti jelzősor előtt legfeljebb névelő áll, az vagy az alany, vagy a névszói állítmány, vagy tárgy szakasza.* A mellékmondat alárendeltségét kötőszók és névmások árulják el. A mellékmondatok a főmondat valamely legközelebbi előtte levő mondatrészére vonatkoznak, ami még akkor sem okoz zavart, ha az illető mondatrész nincs is kitéve. A legtöbb kétértelműséget az hozza elő, ha több mondatrész van a főmondatban a mellékmondat előtt. Ilyenkor csak nyelvtani restrikcióval (például a szó neme) vagy szemantikus restrikcióval (közönségesen: a mondat értelméből) kell az összetartozókat kikeresni. Példánkban pontozva van jelölve a hibás, és vastag vonallal a helyes vonatkozás. De jegyezzük meg, hogy a gép e mondatot lefordítja akkor is, ha nem keresi ki a bemenő szövegben nem jelzett vonatkoztatott mondatrészt és a bemenő határozatlanságot változatlanul adja tovább. A szakaszok megtalálása után e mondat a *146. ábrán* látható szerkezetet árulja el. A vonatkozásokat, amelyeket az elöljárók (prepozíciók) jelölnek meg, nyilakkal jelöltük, így például a „transit time" az „effect"-nek a jelzője, mert „of" van köztük szórend szerint, az „effect" és „loss" közül alany az, amelyik az ige előtt van és kiegészítő, amelyik az ige után áll. A nyelvtani próbálgatást akkor fejezi be a gép, ha minden mondatnak van már alanya, állítmánya és nincs olyan szó, ami kimaradna valamely mondatrész-szakaszból.

E végjelre kezdenek működésbe lépni a magyarra fordítási szabályokat foganatosító egységek. A „connecting" jelzősorának szórendje erősen meg fog változni több különálló szórendi szabály (a jelző-hierarchia szabá-


alany
birtokos jelző
párhuzamos jelzők
the
first
and
alsó
the
most
important
effect
of
transit
time
alanyi
mellékmondat
that
alany
is observed
(so)
állítmány
határozói
mellékmondat
as
alany
the
frequency
is increased
állítmány
állítmány
is
at
the
grid
a
power
loss
határozó
kiegészítő
kiegészítői mellékmondat
alany
állítmány
which
is
equivalent
kiegészítő
határozó
igenév
to
connecting
határozói jelző
tárgy
a
conductance
jelző
proportional
birtok és határozó
to
the
square
birtokos jelző
of
the
frequency
between
grid
and
cathode

146. ábra

lyai) folytán, melyeket a gép végrehajt. Mihelyt a mondatrészek meg vannak határozva, az egyes szabályok *autonóm* működnek, más oldalról való beleszólásra nincsen szükségük. Ilyen autonóm módon működnek az „utolsó simítások" is. A *147. ábrán* vázoltuk az emlékezőtár fülkéjében tárolt szavak átcserélését más rekeszbe, ahonnan már az új sorrend szerint vehetők ki. Amint sorjában páronként átdobálják egymást a jelzők, a magyar fordításban az egész szórend az angolnak tökéletes fordítottja lesz: e-d-c-b-a. A folyamat némileg hasonló az összeadási „javításhoz", amikor 9999-hez 1-et adunk hozzá. Megjegyzendő, hogy a példabeli b-c-d-csoportot helyesebb egységes relációként fogni fel, de az eredmény akkor is ugyanaz.



147. ábra

Példánkban az alany jelzőinek sorrendje megmaradhat, mert a birtokosjelző állhat a jelzett szó mögött is, ha közvetlen rávonatkozik, de beállítható a jelzők közé is, de itt legelőre kerül még akkor is, ha ott már van alárendelt birtokosjelző is; például „a háznak az ajtó küszöbén álló gazdája", vagy „az ajtó küszöbén álló gazdája a háznak".

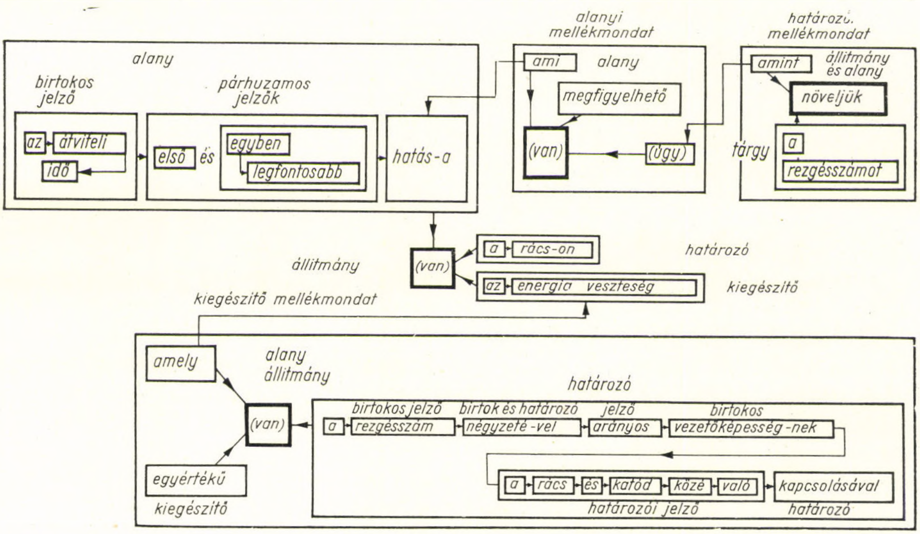
A fordításban szerepelt még néhány idiomatikus átalakítás is: „also" több lehetséges alakja közül itt az „egyben" felel meg: „is observed" helyett „megfigyelhető" a szokásos, tehát a szenvedő alak helyett személytelen alakot ad ki a szótár; az „is increased" lehetne „növeltetik", de ezt — bár ősi magyar nyelvi sajátság, — üldözni szokás és így „növeljük" kerül idiomatikusan helyébe. A szinonim mondatalak-csere folytán alanyból tárgy lesz. Vonzatátalakulások: „to connecting" = „kapcsolásával", „képességet"-ből lesz „képességének" és minthogy a „közé" határozó azonfelül itt a jelzősorba kerül, a „való" igenév is szükséges a szigorú hierarchia miatt. A „között" és „közé" közt a gépnek választania kell a „kikapcsolni" ige szemantikája szerint. „Blank" is előfordul a mondatban, a létige elhagyása. „Blankkitöltés" a birtokrag kitétele (például hatása) és a „való" igenév betoldása. Ez mind tárolás, tárolási kategóriajelzések és programozás dolga.

A lefordított mondat tehát lesz:

„Az átviteli idő első és egyben legfontosabb hatása, ami megfigyelhető, amint a rezgésszámot növeljük, az energiaveszteség a rácson, amely egyértékű valamely, a rezgésszám négyzetével arányos vezetőképességnek a rács és katód közé való kapcsolásával."

A magyarra fordított mondat szerkezetét a *148. ábra* mutatja. Látjuk, hogy a nyelvek nyelvtani alapstruktúrája invariáns, enélkül egyáltalán nem is lehetne fordítani.

Azt is észrevehettük az előbbiek során, hogy az *egész* mondatalakra külön szkémáról nem kellett gondoskodni. Csillagászati számokat kapnánk, ha az összes lehetséges körmondat-féleségeket fel akarnánk sorolni, s őt korlátlan számú ismétléseket megengedve, végtelen sok mondat-alak képezhető. A fordításhoz körmondat szkéma-tárra elvben sincs szükség, mert



148. ábra

behelyettesítésekre vihetők vissza a változatok, és a kevésszámú alapszkémát a behelyettesített komplexumok nem befolyásolják. A rendhagyó kivételes esetekre vonatkozó késleltetés-gátló eljárást pedig már ismerjük. A bemenő nyelv szövegének jó fogalmazásával a hosszas és hiányos szerkezetek elkerülhetők, azaz: egyszerű mondatokban kell már megírni is a tudományos szöveget. Vannak azonban bizonyos mondatalakok, melyek tovább már nem egyszerűsíthetők, például „Valami fennáll nemcsak akkor, amikor . . ., hanem akkor is, amikor". R. H. Richens—A. D. Booth példáiban* 20 nyelv között a magyar is szerepel és e példáját itt is közöljük:

Az apró$^+$ bogyó$^+$ jú fajták, mind termés$^+$- mennyiség$^+$ben, mind száraz$^+$ anyaghozam$^+$ban, felülmúl$^+$ják a nagy$^+$ bogyójú fajták$^+$at. *v* small berry *v* variety *m* so crop (fruit) quantity in as dry matter yield in surpass *m v* great berry *v* variety *m a*. The varieties with small berries surpass those with large berries both in fruit yield and dry matter content.

* Some methods of mechanized translation, M. T. L. p. 24

A jelzések: v = vacuous (kihagyandó) m = multiple (többes), a = accusativus. A rendszer, ha csak ennyi jelölése van, korántsem teljes, s így nem foglalkozunk vele tovább.

Az alábbiakban a szintaktikus relációk elméletét röviden vázoljuk L. és A. WUNDHEILER* után. Az új elnevezések a példák során fognak megvilágosodni.

Egy ítélet valamely viszonyt (relációt) állapít meg néhány részvevő (participant) közt és megadja szerepeiket (role). Példákkal világítjuk meg a mondottakat: A következő S_1 és S_2 mondat szinonim:

„*J*. adott egy könyvet *M*.-nek"
„*M*.-nek adatott egy könyv *J*. által"
Hasonló szinonim mondatpár:
„You give me clothes"
„You give clothes to me".

Az előbbi mondatpárban az adó *J*, az átvevő *M* és a tárgy (könyv) között ugyanaz a reláció van megállapítva. Az *I*, *M* és könyv a reláció részvevői. A részvevőknek határozott szerepeik vannak a relációban. Ugyanazon részvevők szerepei mások és mások egy más mondatban. Néha a részvevőknek bizonyos szemantikus kategóriába kell tartozniuk, ami a szerepükhöz tartozik. Például a „vásárlás" relációjában a vásárló csak személykategóriába tartozhat, a másik részvevő pedig, amit pénzért vesz, napjainkban csak tárgy lehet, személy nem. Nyelvtani kategóriák a következők: nyelvtani nem (gender), eset, infinitivus stb. Szemantikus kategóriák a következők: személy, állat, hím-, nőnemű, élő, élettelen stb. Szimbolumok: betűk, szók, mondatok. Szimbolumok közti relációk mindig „feliratok" (inskripciók) közti relációk. Szimbolumok közti reláció is lehet szimbolum, ezt *struktúrá*nak nevezzük, például szórend, szimbolumok relatív helyzete, hangsúly stb. Szimbolumok kombinációja akkor áll elő, ha a nyelv szigorú szabályai szerint vannak elrendezve. Szimbolum kombinációja is szimbolum. A *név* egy szimbolum egy reláció részvevője számára. Az *ige* egy szimbolum az *R* reláció számára, amely, kombinálva az *R* részvevőinek neveivel, mondatot képez, mely az *R* relációt állítja a részvevők közt. Például „adott" az ige, „könyv", *J*, *M* *neve* a részvevőknek. A részvevők *nevei* az ige *komplemens*ei. A szimbolumok bizonyos, alább kiderülő sajátságai a *típusok*. A nevek n típusúak, az ige v típusú, a mondat s típusú. Az a típusú beszédrészek például az „és" akkor, ha mondatokat kapcsol, ugyanígy a „de" és a mellérendelt mondatok kötőszói. A b típust képviseli az „és" akkor, ha neveket köt össze; például „Ákos és Aladár". Ugyanilyen a „között", például „A és B között". „Ákos és Aladár"-ban az „és" egy szimbolum, amelynek bemenője (x) két név és kimenője (y) is név, ennek típusa y/x.

* Machine translation of languages. 1956. (Some Logical concepts for syntax. p. 194.) A könyvből idézett cikk már eredetileg is igen kompendiózus, és amit itt közlünk belőle, legfeljebb repetitóriumnak járja meg. Részletes tárgyalása: K. AJDUKIEWICZ: Die syntaktische Konnexität, Studia Philosophica **1** (1935) p. 1—27, és BAR HILLEL: A quasiarithmetical notation for syntactic description. Language **29**, 1953, p. 47—58. CHOMSKY: Syntactic Structures. 1957.

Ha egy szimbolum nem név, nem mondat és ezenkívül típusa van, akkor *funktor*nak nevezzük. Például: ,,3^2''-ben a ,,3'' és ,,2'' közti viszony (reláció) egy funktor; ,,ego agricola''-ban az ,,ego'' és ,,agricola''-nak relatív helyzete egy funktor, amely szimbolizálható (de ez nem szükséges éppen) ,,sum''-mal. A fenti két példa funktorai egyben struktúrák is.

Az *a* típusú funktorok *mondati*ak (sentential), *b* típusú funktorok *névi*ek (nominal), x/x típusú funktorok *módosítók* (modifier). Például: a ,,bájos hölgy''-ben a ,,bájos''-nak a bemenője ,,hölgy'', amely *n* névtípusú, a kimenet ,,bájos hölgy'' szintén *n* típusú, a ,,bájos'' szimbolum, tehát egy n/n típusú funktor. Az ,,ő bájos''-ban a ,,bájos'' s/n típusú funktor. Az ,,ő valószínűleg jönni fog''-ban ,,valószínűleg'' egy funktor, amely s/s típusú (mert mondatból mondatot alakított). A funktorok szimbolizálhatók is, például az s/nn ige két névvel, mint komplemensekkel, például: szeretni stb.

Minden nyelvnek kell eszközének lenni arra, hogy megjelölje valamely funktor komplemenseit (,,kötelék''-mondattan, bond-syntax) és eszközeinek arra, hogy megjelölje ama részvevők szerepeit, amelyeket a komplement megnevez (,,szerep''-mondattan, role-syntax).

A frontális nyelv olyan műnyelv, amely lineáris rendű egyszerű eszközökkel jelöli a kötelékeket és szerepeket. A szótár valamennyi szimbolumot tartalmazza. Minden mondat e szimbolumok kombinációja, és ha ilyen szótári szimbolum már rögzítve van, a többi már nem lehet önkényes a mondattan szabályai folytán. A frontális nyelv szimbólumai nevek, mondatok, funktorok. A szótár megadja minden funktorra a komplemensek számát és mindegyik komplemens típusát, azonkívül a komplemens szórendjét a képezett kifejezés típusának megjelöléseivel, emellett még megadja a részvevők szerepeit, megnevezve a komplemensek által. A frontális nyelvben csak egyetlen mondattani szabály van: az ,,egymásrakövetkezés'', azaz: minden funktort nyomban követnek a komplemensei a szótárban jelzett sorrendben. Legyen például ,,kind'' n/n egy bemenő szó a szótárban: a szótár megadja, hogy ennek komplemense egy név. Tehát ,,kind man'' frázis helyes. Ugyanígy helyes a frontális nyelvben ,,love he she''. Ilyen esetben a kétértelműség teljesen ki van zárva. A szótár tehát egyedül is elég a fordításhoz.

Minden nyelv nyelvtani szabályainak meg kell adnia minden funktorra: 1. a komplemensek számát, 2. az egyes komplemensek típusát, 3. a megfelelő reszvevők szerepeit, 4. a mondattani szerkezeteket a komplemensek és szerepek számára, 5. a kifejezés típusát, amely keletkezik az 1.—4. szabályok teljesítése után, például: a ,,nagyon — idő'' kifejezés $n/\ n/n$ típusú, minthogy a nyelvtan megkívánja, hogy a kötőjellel jelzett üres helyen n/n típusú módosító álljon. A ,,give man'' szimbolum sorozatnak nincs típusa, mert a ,,man'' nevű részvevőnek szerepe nincs meghatározva és a komplemens típusát nem lehet egyértelműleg megállapitani. Mondattani szerkezeteknek (devices) nevezzük a szemantikus kategóriákat, nyelvtani kategóriákat és alaki relációkat a szók között. Önkényes nyelvtani kategóriák használata kötelék és szerep indikátorokul, az ,,alaki összhang'' szabályain alapszik. E szabályok alkotják a nyelvtan főépületét.

Egy S mondat fordítása az L nyelvből nem egyéb, mint transzformálása L' nyelvi S' mondattá.

A fordítógép kivitelezésének főbb műszaki elvei. A fordítógépeket háromféle típusba sorolhatjuk.

I. Közvetlen huzalozású rendszer, speciálisan csakis fordítások céljaira képezve. Ebben a működési szabályok készen vannak bekötve, a parancsokat nem kell külön kikeresni. A szótár pl. korongos optikai mikroglosszárium. A szavak szállítása és a mondatok összeállítása *busz*okon történik, ugyanolyan módon, mint a digitális számológépeken. E rendszer hátránya, hogy két nyelvnél kell maradni, nem lehet áttérni más nyelvekre. De ismerve, hogy mennyi kidolgozást kíván egyetlen nyelv is, talán előnynek tartható, hogy a már kidolgozott részletek kimozdithatatlanul rögzítve vannak. Ilyen tervezetekkel foglalkoztunk eddig hazailag.

II. *Hollerith*-rendszer. Ennek nagyobb kapacitása van, mint a mágnesdobos vagy higanyos digitális gépeknek, sőt tárkapacitása elvben végtelen. A külföldi számadatok szerint legyenek a kezdőadatok: a tárban 5000 szótőkártya és ugyanannyi rag-kártya; a lefordítandó szöveg álljon 1000 szóból átlag 10 betűvel. A kártyák haladási sebessége 450 kártya percenként, a kollátoron 240 kártya percenként. A szövegnyomtatás és lyukasztás sebessége 100 kártya percenként. A fordítási műveletre kilenc alművelet szükséges, azonban ha kollátorunk is van, hét alművelet is elégséges. Az első esetben a fordítást a gépcsoport 7 és ½ óra alatt, a második esetben 2 óra alatt végzi el. Tekintsünk át először az alműveleteken, amikor kollátorunk is van. A hét alművelet igen vázlatosan a következő:

1. Tőszótár csomag rendezése abc sorrendbe és ugyanez a ragokra nézve.
2. A szöveg szavai külön kártyákra írása sorszámozással.
3. Ennek abc sorrendbe rendezése.
4. A kollátor külön lapra írja és számozza a ragokat. A szöveg és tőszótár külön dobozba fajtázása. A tő fordítása külön kártyára kerül. Sorszámozás.
5. Ugyanez a ragokra. Megvan tehát a tövek és ragok fordítása és az eredeti szórend jelzése.
6. Ezek számsorrendbe rakása (szórendváltozásra a rendszer nem tér ki).
7. A kész szöveg lyukasztása és kinyomtatása.

Ha nincs kollátor, akkor kilenc alműveletre van szükség, melyeknek vázlata a következő:

1. és 2. mint fenn.
3. Tőszótár és a szöveg szavai együttes abc-sorrendbe szedendő.
4. Tabulátor lyukaszt, ha szöveg jön, s ekkor az előzőt (amelyen fordítás van) nyomja üres kártyára sorszámmal és eltolt (shift) raggal a szövegről.
5. Ugyanezt elvégzi a szótári ragcsomaggal és az előbbiből vett részlegcsomaggal.
6. és 7. mint fenn.
8. A 4. pontban említett szöveg és tőszótár kártyáit most sorszám szerint osztályozza. A tőszótár kártyáinak nincs száma, ezek a ,,rejex''-dobozba esnek, mindjárt abc-sorrend szerint.
9. Ugyanaz mint a 8., de a ragkártyákra vonatkozólag.

Pótlólag megemlítjük itt, hogy a normális *Hollerith*-kártyákon 1000 bit 23 négyzethüvelyket foglal el. A Hollerith-gép igen lassan fordít, szóba sem jöhet, ahol folytonos az üzem.

III. Digitális elektronikus számológép felhasználása fordításra. A teljes digitális elektronikus fordítógép hat részből áll: 1. adagoló (input): betűolvasó, vagy mágneses szalag, amely előnyös, mert törölhetősége folytán sokszor használható. 2. Csökevény aritmetikai egység, amely kivon, eltol (shift), feljegyez és dönt. 3. Kis kapacitású nagy sebességű tár; mágneses dob; matrix, mindez 64, átlag 12 betűs szó számára. 4. Főszótár és nyelvtani tár. Nagy mágneses dob vagy fényelektromos tár 10 000 szó, átlag 12 betűvel, számára. 5. 4—28 mágneses szalag, mint hosszú tár. 6. Egyszerű kimenő mágnesszalag.

A gép alapterülete 10—20 négyszögláb, csupán 500 csövet vagy tranzisztort igényel, az ára kb. 100 000 dollár.

Egy gépben általában négyféle tárra van szükség. 1. A törölhetetlen tár, ebben vannak a nyelvtani szabályok és egyéb műveleti szabályok is. 2. Múló (transient) feljegyzések tára. A szógyök közelítés, ragokkal való műveletek számára; ez rendszerint normális elektronikus számológéprekeszekből és regiszterekből áll. 3. és 4. Bejövő és kimenő regiszterek.

IRODALOM

1. K. Ajdukiewicz: Die syntaktische Konnexität. Studia Philosophica. 1935. 1—27.
2. Y. Bar-Hillel: On recursive definitions in empirical science. Proc. 11th Internat. Congress of Philosophy 5. 160—5. 1953. Brüsszel.
3. Y. Bar-Hillel: Machine translation. Computers and Automation. 1953. no. 5. 1—6.
4. Y. Bar-Hillel: A quasiarithmetical notation for syntactic description. Language. 1953. 47—58.
5. Y. Bar-Hillel: Logical syntax and semantics. Language. 1954. 230.
6. A. D. Booth: Progrès dans la traduction par machine. Automatisme. 1959. Mars. 96—100.
7. A. D. Booth—L. Brandwood—J. P. Cleave: Mechanical resolution of linguistic problems.
8. L. Brandwood: The translation of a foreign language by machine. Babel. 11. 1956. 111.
9. R. Carnap: Die logische Syntax der Sprache. Bécs. 1934.
10. N. Chomsky: Logical syntax and semantics. Language. 1955. 36.
11. N. Chomsky: Syntactic structures. 1957.
12. C. C. Fries: The structure of English (N. Y. 1952), an introduction to the construction of english sentences.
13. K. E. Harper: The mechanical translation of Russian, preliminary report. Mod. Language Forum. 38. 1953. 12—19.
14. Z. S. Harris: Methods in structural linguistics. Chicago. 1951.
15. Z. S. Harris: Co-occurrence and transformation in linguistic structure. Language. 1957. 283. Publications of the Georgetown University Institute of Languages and Linguistics. 1957.
16. A. Kaplan: An experimental study of ambiguity and context. Rand Corp. Santa Monica. Calif. 1950. Nov. 30. 187.
17. П. С. Кучсов—А. А. Ляпунов—А. А. Реформатский: Вопросы языкознания V/5. 1956. окт. 107.
18. W. N. Locke—A. D. Booth: Machine translation of languages. 1955 (Wiley). Ebben: Booth—Richens: Some methods of mechanised translation. 24—46.
   L. Dostert: The Georgetown — I. B. M. experiment. 124—135.
   V. H. Yngve: Syntex and the problem of multiple meaning 208—226.

E. Reifler: The mechanical determination of meaning. 136–164.
L. and A. Wundheiler: Some logical concepts for syntax. 194–207.
19. I. S. Mukhin: An experiment on the machine translation of languages. Acad. Sci. USSR. 1956.
20. I. S. Mukhin: Proceeding of the I. E. E. 103. (B) 1956. 463–472.
21. V. A. Oswald–R. H. Lawson: An ideoglossary for mechanical translation. Mod. Language Forum. 38. 1953. 1–11.
22. V. A. Oswald–S. L. Fletcher: Proposals for the mechanical resolution of German syntax patterns. Mod. Language Forum 36. 1951. 1–24.
23. E. Reifler: Mechanical Translation. 2. 1955. 3–14.
24. G. K. Zipf: Human behaviour and the principle of least effort. 1949.

TÁRGYMUTATÓ

N, Ny

O, Ö

P

R

S, Sz

A kiadásért felel:
BERNÁT GYÖRGY
az Akadémiai Kiadó igazgatója

*

Műszaki szerkesztő:
VIDOSA LÁSZLÓ

*

Kézirat beérkezett: 1961. VI. 30.
Példányszám: 1300
Terjedelem: 22,3 (A/5) ív

*

62.54756 Akadémiai Nyomda, Budapest
Felelős vezető: Bernát György

Ára: 65,— Ft