

# psychológia a kybernetika

michal stríženec

VSAV

# psychológia a

slovenská akadémia vied

ústav experimentálnej psychológie

vedecký redaktor

**dr. damian kováč csc.**

recenzenti

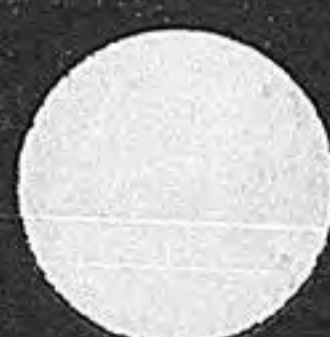
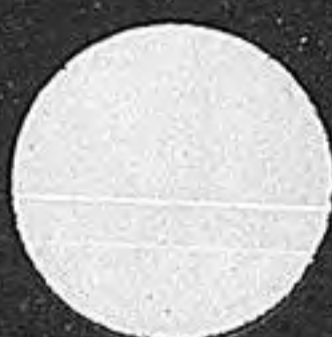
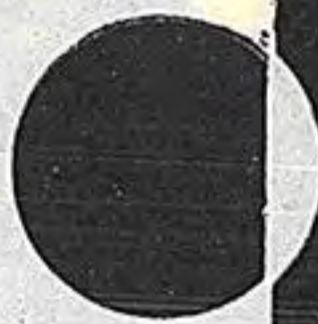
**univ. prof. dr. j. linhart**

**doc. dr. i. tondl csc.**

edícia

**psychologické výskumy**

zväzok 1

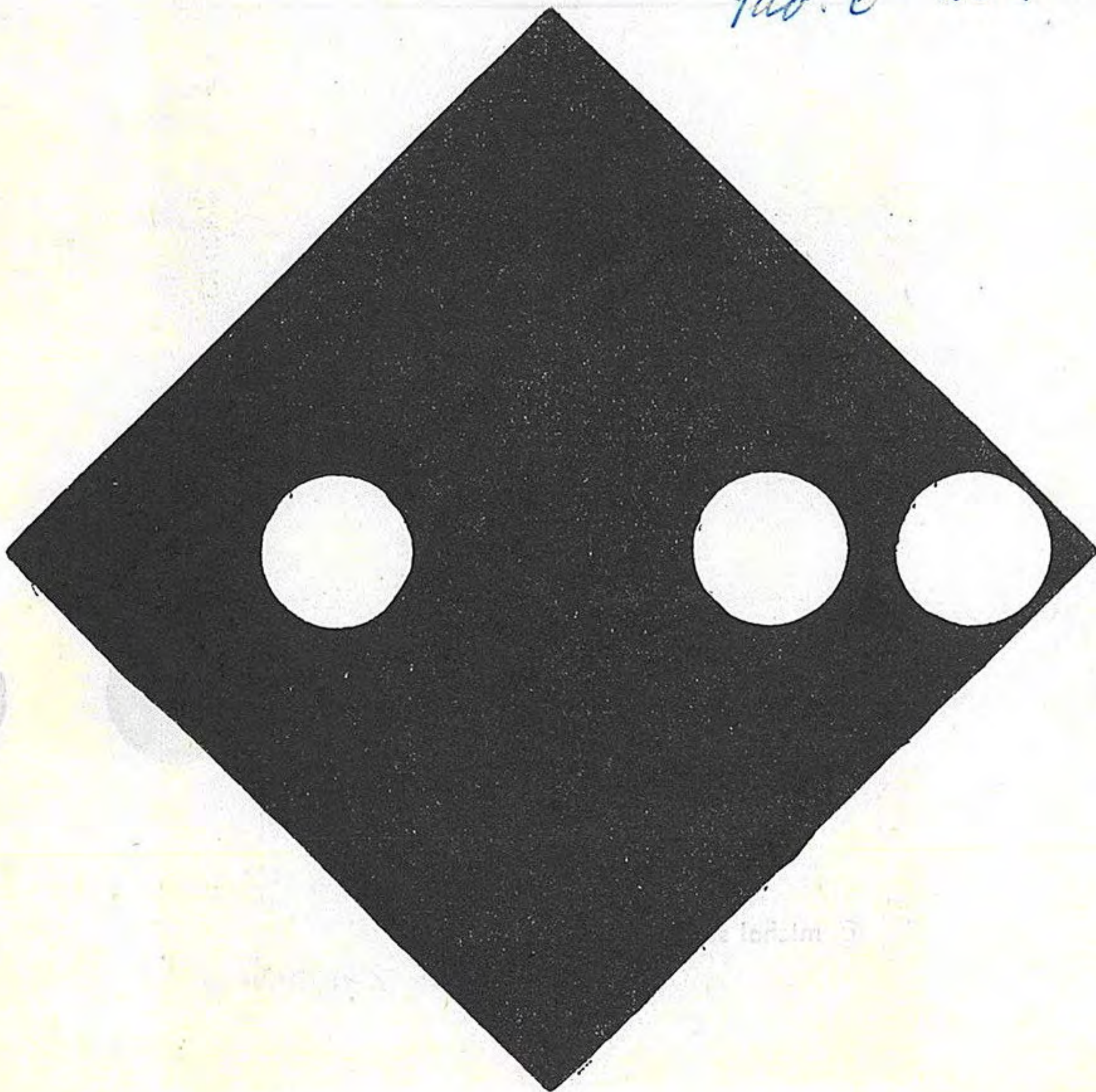


# kybernetika

michal stríženec

ČESKO-LOVENSKÁ AKADEMIE VĚD  
Pedagogický ústav J. A. Komenského  
oddělení vývojové psychologie  
Brno, Běhounská 4/6

no. e. 101.

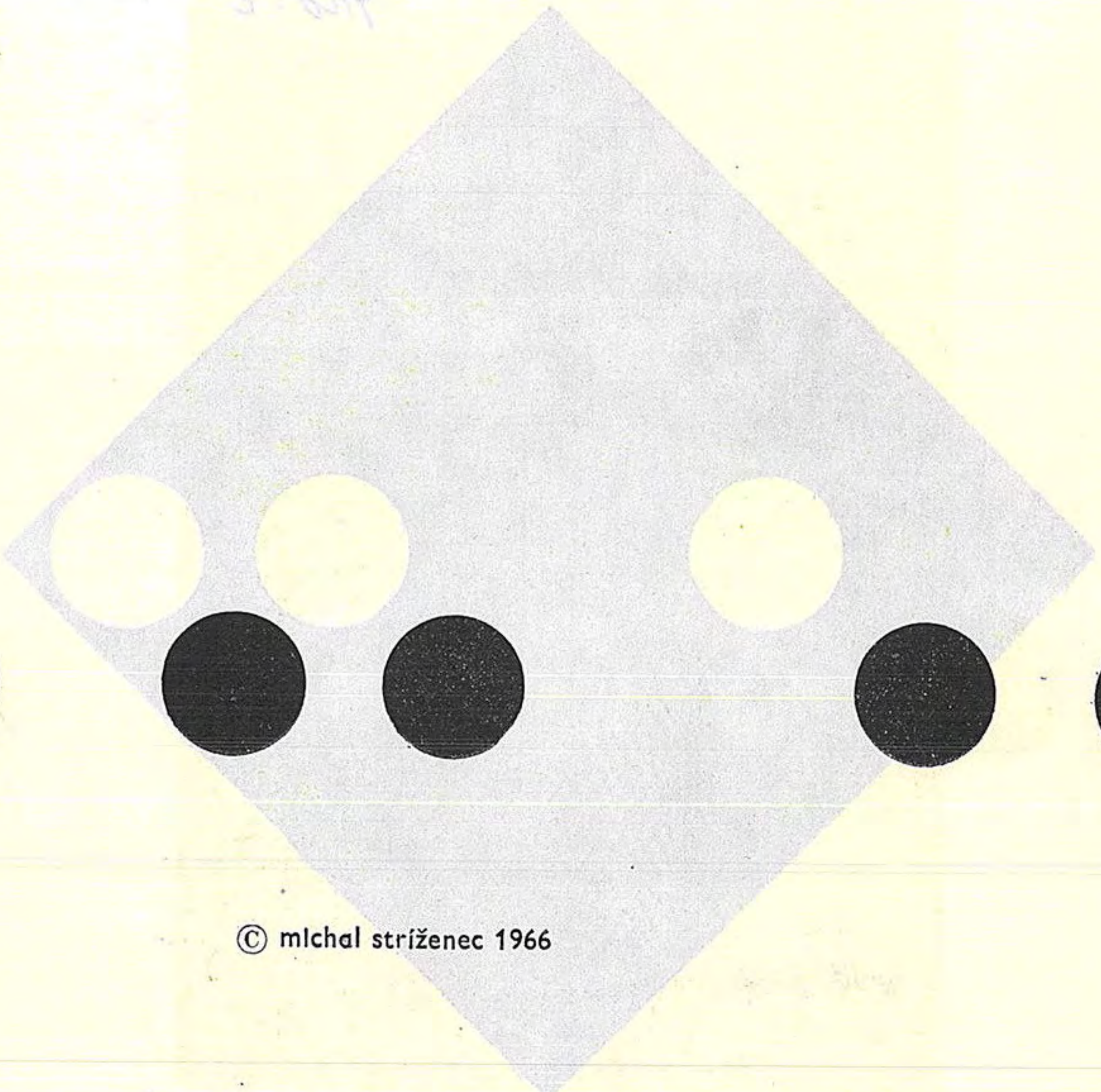


kybernetika

Michal Striženeč

Česká akademie věd  
Ústav pro teoretickou fyziku  
Jičínská 135  
225 06 Praha 2

1966



© Michal Striženeč 1966

predhovor



Niektoré psychologické vedy, najmä však ich aplikácia v každodennej praxi, dostávajú sa do sféry záujmu nielen širšej verejnosti, ale aj pracovníkov iných vedných disciplín. Pri tejto príležitosti si treba uvedomiť, že úspešné využívanie vedeckých poznatkov nie je možné bez ďalšieho rozvoja teórie v príslušnej oblasti. Hlbšie prenikanie do reality, ktorá nás obklopuje, vyžaduje stále užšiu spoluprácu viacerých vedných disciplín a vedie k vzniku všeobecných i hraničných oblastí výskumu. Jednou z takýchto všeobecných disciplín je i kybernetika, ktorej metódy sa začali využívať i v spoločenských vedách. Porovnávanie kybernetických strojov a človeka sa často objavuje v rôznych článkoch i publikáciách, pričom sa tu preplietajú vedecké názory s fantáziou autorov. Nemôžeme nikomu brániť v snení ani v predpovediach, avšak považujeme za dôležitejšie v stručnej forme predložiť čitateľom výsledky, ktoré dnešná veda dosiahla, pokiaľ ide o aplikáciu kybernetiky a najmä teórie informácie v psychológii (včítane niektorých našich vlastných výskumov).

Takáto syntetická práca je vždy spojená s rizikom precenenia jedných a podcenenia druhých výsledkov, avšak nazdávame sa, že táto forma je najúčinnějšía na podnietenie ďalšej práce v tejto oblasti. Zložitost' problematiky nás viedla k tomu, že sme v mnohých (najmä technických) otázkach nemohli ísť do podrobností. Okrem toho väčšina čitateľov je už oboznámená so základnými problémami kybernetiky, resp. viaceré vedecké i popularizačné práce z tejto oblasti sú u nás bežne dostupné. Avšak i napriek tomu považujeme za užitočné v úvodných kapitolách podať prehľad tých kybernetických disciplín, na ktoré sa budeme v ďalších častiach práce odvolávať. Takto menej informovaný čitateľ nemusí stále siahat' po iných publikáciách. Chceme zdôrazniť, že naša publikácia nepodáva systematické poznatky ani o kybernetických strojoch, ani o psychologických vedách, ale chce len poukázať na styčné miesta medzi všeobecnou psychológiou a kybernetikou, zhodnotiť doterajšie výsledky v tomto smere a tiež podnietiť ďalšie výskumy.

Ďakujem touto cestou recenzentom, univ. prof. dr. J. Linhartovi a doc. dr. I. Tondlovi CSc., ako aj vedeckému redaktorovi dr. D. Kováčovi CSc. za cenné pripomienky k práci.

autor

Bratislava 31. 3. 1965

Ukazuje psychologické vedy, najmä však aplikácia v každodennej  
praxi, ktorá sa do sféry nášho života vniká, ale aj pracov-  
ný iných vedných disciplín. Pri tejto príležitosti si treba uvedomiť, že  
počas vyvíjania vedeckých poznatkov nie je možné porovnať  
a teórie v príslušnej oblasti. Hlbšie prenikanie do reality, ktoré  
skopuje, vyžaduje stále väčšiu spoluprácu viacerých disciplín  
vedy a vďaka všeobecných i špeciálnych metód výskumu. Jednou z  
špecifických disciplín je i kybernetika, ktorej metódy sa začali  
uplatňovať i v spoločenských vedách. Porovnanie kybernetických  
metód sa často objavuje v rámci etnológie i prírodných ved, pričom sa  
psychologické vedecké metódy a štandardizované metódy, ktoré sa  
dajú v rámci oni v praxi uplatňovať, ktoré považujeme za ďalšie  
príklady forme prírodných disciplín, ktoré dávajú vzhľad  
akoby ide o aplikáciu kybernetiky a najmä teórie informácie v psychológii  
(čítame niektorých našich vlastných výskumov).

Takto systematickú prácu je vždy spojená s rizikom premenenia jedných  
poznatkov druhých výskumov, avšak nachádzame sa, že táto forma je  
výhodnejšia na podstatne ďalšej práci v tejto oblasti. Kľúčové problémy  
všetky nás viedla k tomu, že sme v mnohých (najmä technických) od-  
vetiach nemohli ísť do podstaty. Okrem toho väčšina čitateľov je už obe-  
dňovaná so zdlhávajúcimi problémami kybernetiky, resp. viaceré vedecké  
popularizačné práce z tejto oblasti sú u nás bohužiaľ dostupné. Avšak i na-  
prík tomu považujeme za užitočné v úvodných kapitolách podot prehod-  
iť kybernetických disciplín, na ktoré sa budeme v ďalších častiach práce  
zvolávať. Takto menej informovaný čitateľ nemusí stále stáť po iných  
publikáciách. Chceme zdôrazniť, že naša publikácia nepodáva systema-  
tické poznatky ani o kybernetických strojoch, ani o psychologických ve-  
dách, ale chce len poukázať na styčné miesta medzi všeobecnou psychol-  
ogiou a kybernetikou, zhrnúť doterajšie výsledky v tomto smere a tiež  
niektoré otázky.  
Pracovisko recenzantom,  
J. J. Tondl, doc., ako aj vedeckému  
na naše pripomienky k práci.

autor

**I. kybernetika,  
jej základné disciplíny  
a možnosti  
aplikácie**



V súčasnej vede prebieha jednak proces diferenciácie a jednak sa ukazuje, že rôzne oblasti skutočnosti sú spojené všeobecnými zákonmi, čo vedie k vzniku syntetických disciplín. Medzi dôležité objavy, významné pre celé komplexy poznania, patria i problémy, ktoré skúma kybernetika. Poukázala na vnútornú logickú súvislosť medzi vedeckými disciplínami, ktoré sa dlhé roky rozvíjali nezávisle. Vzhľadom na to, že ide o mladý vedný odbor a že zasahuje do mnohých oblastí života, nedospelo sa dosiaľ k jeho všeobecne prijatej definícii. Podľa zakladateľa kybernetiky Wienera ide o teóriu riadenia a komunikácie či už v stroji alebo v živých organizmoch [395, 15; 396, 31]. Ashby definuje kybernetiku ako skúmanie systémov, ktoré sú pre energiu otvorené, pre informáciu a riadenie [20, 22] sú však uzavreté. Poletajev do kybernetiky zahrňuje všetko, čo sa týka zákonov prenosu informácie, ich spracovania a využitia pre riadenie [288, 34]. Podľa Šaljutina kybernetiká skúma v abstraktnej forme vlastnosti a zákonitosti fungovania rôznych riadiacich sústav nezávisle od materiálneho substrátu týchto sústav [366, 34]. Ako vedu o riadení zložitých dynamických systémov definuje kybernetiku Berg [35, 161].

Podľa Tondla [375] ústrednými pojmami kybernetiky sú pojem riadenia a pojem informácie. Perez a Tondl [282], zhrňujúc rôzne názory na rozsah a kompetenciu kybernetiky, poukazujú na skutočnosť, že pri riadení okrem cieľa je potrebné rozhodovanie. Doteraz niet jednotného názoru v otázke, či je kybernetika viazaná len na situácie, kde je známa alebo v zásade možná rozhodovacia procedúra (algoritmus). V súvislosti s kybernetikou ide o rozhodovanie viazané na správanie zložitých dynamických systémov, ako aj ich cieľovosť. Rozhodovanie, ktoré vyžaduje značnú pamäť a kapacitu, obsahuje tendenciu optimalizovania a tendenciu ekonomizovania riešenia danej úlohy. Do kompetencie kybernetiky zapadajú systémy živej prírody, technické, spoločenské a abstraktné systémy. Podľa autorov hranice kybernetiky sa budú postupne rozširovať.

Z uvedených definícií vyplýva, že úlohou kybernetiky je vypracovať metódy umožňujúce skúmať zákonitosti riadenia a spojenia v strojoch, živých organizmoch a v ľudskej spoločnosti. Ostatnými vlastnosťami týchto systémov sa kybernetika nezaoberá, a preto ani nenahrádza automatiku, biológiu, psychológiu a sociológiu. Vychádza z poznatkov ostatných vedných disciplín, avšak hľadá len to, čo je im spoločné — princípy riadenia. Opiera sa najmä o poznatky matematic-

kej logiky, počtu pravdepodobnosti, fyziológie a psychológie, spojacej techniky, teórie matematických strojov a pod.

Do Wienerovej skupiny, ktorá stála pri zrode kybernetiky, boli v začiatkoch prizvaní psychológovia (napr. známy K. Lewin). Tak kybernetika svoju teoretickú základňu budovala aj na poznatkoch psychológie. Ako uvádza sám Wiener, úvahy o psychológii a nervovej sústave v súvislosti s teóriou informácie sú jednou z oblastí, ktorými ho priviedli k formulovaniu princípov kybernetiky. Zaujímal sa tiež o otázky ľudského činiteľa v procesoch riadenia a tvrdil, že keď sa skúma nervový systém, nemôže ignorovať vedomie. Wiener sa zaoberal najmä o vnímanie tvaru, zistil podobnosť synaptickej závislosti s Weberovým—Fechnerovým zákonom a pod. V dôsledku toho zastával stanovisko, že pri oboznamovaní sa s kybernetikou treba zvládnuť i psychologické poznatky [395, 20—30].

Všeobecné zákonitosti organizovaných systémov umožňujú spoluprácu kybernetiky a psychológie. Psychológia takto pristupuje z nových hľadísk k psychickým javom (aplikácia informačných modelov) a psychológia pomáha kybernetike pri riešení rôznych teoretických otázok. Rovnako kybernetický prístup umožňuje tiež zblížovanie psychológie a fyziológie.

Obvykle sa kybernetika delí na tri základné smery: teoretickú, technickú a na aplikovanú kybernetiku.

*Teoretická kybernetika* — a z tej budeme v našej práci vychádzať — zahrňuje najmä teóriu riadenia, informácie, logických automatov a logických sietí, teóriu algoritmov a konečne teóriu hier. Formálny aparát kybernetiky sa opiera o pravdepodobnostné a logické prostriedky.

*Technická kybernetika* zahrňuje teóriu elektronických počítačových strojov, kybernetických automatov, telemechaniku, všíma si teda technické prostriedky, ktoré tvoria riadiacu sústavu.

*Aplikovaná kybernetika* využíva teoretické a technické prostriedky kybernetiky na riešenie úloh riadenia v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. Dnes sa kybernetika aplikuje (okrem technickej sféry) najmä v biológii, lekárskejších vedách, psychológii, pedagogike, jazykovede, estetike, ekonómii, sociológii a vo vojenskej vede.

Možnosti využitia kybernetiky v biologických a spoločenských vedách vyplývajú zo všeobecného charakteru kybernetikou skúmaných zákonitostí riadenia a komunikácie. Skúmanie riadenia a prenosu informácie sú dôležité v biológii (napr. riadenie procesov na bunec)

nej úrovni, prenos genetickej informácie), v lekárstve (zložité funkcie organizmu, riadiaci vplyv nervovej sústavy), v psychológii (regulácia psychických procesov, kapacita vnímania, spätná informácia pri učení), v pedagogike (riadenie vyučovacieho procesu, programovanie učiva), v jazykovede (rečová komunikácia), v estetike (zvláštnosti prenosu informácie), v ekonómii (riadenie zložitých ekonomických sústav a optimálny prenos informácie), v sociológii (vplyv informácie na správanie sa rôznych skupín), vo vojenskej vede (optimalizácia taktických úloh). Všade tu ide o riadenie systému, ktorý smeruje k určitému cieľu. Tieto kybernetické systémy sú určitým spôsobom usporiadané, medzi časťami systému existuje signálne spojenie. Prenos informácií sa deje tiež medzi systémom a jeho prostredím. Niektoré systémy môžu svoju usporiadanosť aj zvyšovať. Nie je naším cieľom tieto všeobecné otázky aplikácie tu podrobne rozoberať, chceme len zdôrazniť, že kybernetika navrhuje jediný súbor pojmov pre charakterizovanie systémov rozličného typu. Tento spoločný jazyk umožňuje využívať poznatky z jednej oblasti v ostatných oblastiach. Okrem toho kybernetika poskytuje metódu skúmania veľmi zložitých systémov (čierna skrinka, modely, analógia a ich technická realizácia), čo je veľmi užitočné pre psychológiu.

Teória informácie umožňuje ďalej spresňovať vedecké postupy najmä v empirických a experimentálnych vedách. Významný príspevok k tejto problematike predstavuje práca Pereza a Tondla [284]. Podávajú rozhodovací model vedeckých postupov, ktorý lepšie vystihuje tendencie optimalizovania a ekonomizovania vedeckých postupov ako klasický model kauzálneho vyvodzovania. Teória informácie tu poskytuje pomerne jednoduché kritériá rozhodnutelnosti, napr. pri redukcii a konštitúcii údajov, parametrov atď. Okrem toho pojem informácie môže byť základom miery stochastickej závislosti a pritom nemá nevýhody napr. koeficientu korelácie.

## A. teória riadenia a automaty

Hoci podľa Wienera teória riadenia v technike je súčasťou teórie informácie [396, 31], považujeme za účelné z dôvodu prehľadnosti uvažovať najprv samostatne o systéme a jeho riadení.

System je celok s vymedzenými vzťahmi medzi jeho prvkami. Po kybernetickom systéme rozumieme dynamický systém, t. j. taký, ktorý sa mení v čase. Kybernetika sa sústreďuje na abstraktný systém, jeho správanie a procesy riadenia, ktoré prebiehajú vnútri systému alebo medzi viacerými systémami. Systém môže byť od prostredia len relatívne izolovaný. Prostredie pôsobí na systém prostredníctvom vstupu a prostredníctvom výstupu zase systém pôsobí na prostredie. Greniewski [160] rozlišuje informovaný systém (so vstupom), informujúci (s výstupom) a informačný systém (s vstupom i výstupom). Viac systémov môže byť spojených v jednom systéme. Okrem takého spojenia, že systém A pôsobí na systém B, existuje aj spojenie, pri ktorom systémy na seba vzájomne pôsobia. Toto spojenie je základom spätnej väzby.

Systémy rozlišujeme podľa toho, či ide o riadiaci alebo riadený systém. *Riadiaci systém* je taký relatívne izolovaný systém, od ktorého správania závisí správanie iného systému. *Riadený systém* je taký, na ktorý pôsobí prostredníctvom vstupu riadiaci systém. Ak má určitý systém schopnosť udržiavať stabilitu v rámci určitých hraníc, nazývame ho regulačným systémom. Riadiaci systém obsahuje regulačný systém a je schopný prijímať a spracovávať informácie tak, aby mohol zachovať stabilitu i napriek vonkajším a vnútorným rušivým vplyvom. Systém s mnohými prvkami, ich stavmi a zložitými formami správania nazývame zložitým systémom.

Kybernetiku zaujíma najmä organizujúci sa, resp. učiaci sa systém. *Organizujúci sa systém* nachádza v procese svojej práce najlepšie spôsoby riešenia nových úloh. Ide tu o realizáciu zložitého systému vzájomne podriadených algoritmov rôznej úrovne (algoritmus je sled aritmetických a logických činností pri pretvorení danej informácie na riešenie úloh daného typu). Základom takéhoto systému je východiskový riadiaci systém, ktorý zabezpečuje potrebné reakcie na vplyv vonkajšieho prostredia. Tento riadiaci systém je kontrolovaný riadiacim systémom druhého rádu, ktorý kontroluje účinok prvého systému, mení parametre jeho algoritmu. Z technických organizujúcich sa systémov je známy Ashbyho homeostat, ktorý napodobňuje ultrastabilitu živého organizmu [20, 112—113]. Na modelovaní organizujúcich sa systémov používajú sa samočinné počítače. Podľa Ivachnenka [180] samoorganizácia je vlastnosť systémov so štatistickým hľadaním a systémov s kladnou spätnou väzbou. Technické „učiace sa“ systémy môžu byť determinované, štatistické, podmie-

nenoppravdepodobnostné a univerzálne. Kým pod učením sa tu rozumie prepracovanie vstupnej informácie a cieľu primeraná organizácia pamäťových zariadení, samoorganizácia (samoučenie) vedie k vytváraniu novej informácie. Modelovanie učenia (neurónové siete, perceptrón, pandemónium) budeme rozoberať v ďalších kapitolách.

Kybernetické systémy si udržujú stabilitu vtedy, keď riadiaca zložka dostáva od riadenej tzv. *spätnoväzbové informácie*. Podľa Wienera spätná väzba je určitým spôsobom riadenia, pri ktorom sa do systému znovu vkladajú výsledky jeho predchádzajúcej činnosti. Riadenie stroja na základe jeho skutočného a nie očakávaného chodu sa nazýva riadením spätnou väzbou [396, 38, 69]. Kanálom spätnej väzby dostáva riadiaca zložka informácie o tom, ako riadená zložka plní príkazy. Keď nastane odchýlka, riadiaca zložka vyšle nové informácie, ktoré činnosť riadenej zložky privedú na správnu mieru. Spätná väzba, ktorej výsledkom je oslabenie vonkajšieho vplyvu na samoriadiacu sústavu, nazýva sa zápornou spätnou väzbou. Detektor odchýlky tu od vstupného signálu odpočíta signál spätnej väzby. Pri kladnej spätnej väzbe sa vstupné signály pripojujú k systému tak, aby sa dosiahla maximálna hodnota nejakého ukazovateľa systému (ide teda o zosilňovanie vonkajších vplyvov). Udržovanie stability systému je však ohrozené časovým rozdielom medzi vznikom signálu a korekciou. Takto pri systémoch s veľkým zosilnením a zotrvačnosťou dochádza k rozkmitaniu sústavy. Preto riadiaci signál musí prihliadať nielen na veľkosť odchýlky, ale aj na rýchlosť jej zmeny. Príkladom riadenia pomocou spätnej väzby v biologickej oblasti sú procesy homeostázy.

Základy teórie automatov vytvorili Neumann a Turing, pričom vychádzali z teórie algoritmov, z matematickej logiky, z teórie samočinných počítačov a pod. Vznikli stroje, ktoré riadia činnosť celého komplexu mechanizmov bez neustáleho zasahovania človeka. Okrem tejto funkcie riadenia (ktorej základom je regulačné zariadenie vo vnútri automatu) je to automatizácia počítania (samočinné počítače), ktorá veľmi uľahčila prácu technikom, konštruktérom, ekonómom a pod. S týmto sa však rozvoj automatov nezastavil, ale smeruje k automatizácii ľudského myslenia. Jej predpokladom je formalizácia myslenia, ako sa čiastočne už uskutočnila v teórii sylogizmu (prítom v automate sa pojmy nahrádzajú symbolmi, čo nijako neovplyvňuje pravdivosť záverov).

Pod konečným automatom sa v kybernetike rozumie systém, ktorý sa skladá z konečného počtu prvkov. Z nich každý sa v daný časový okamih nachádza v jednom určitom stave (počet možných stavov je konečný). Systém má vstup a výstup a ak sú určené konkrétne spojenia prvkov, každému vstupnému signálu zodpovedá určitý výstupný signál. Ak počet prvkov alebo ich stavov je nekonečný, máme nekonečný automat. Systém môže pozostávať z reálnych (technických alebo biologických) alebo z konštruktívnych prvkov. Poznáme napríklad tzv. stroje na papieri. Ide o matematické operácie, ktoré uskutočňuje človek pomocou ceruzky a papiera na základe určitého súboru pravidiel. Pretože tieto operácie sú podobné tým, ktoré robí stroj, môžeme takto bez skonštruovania automatu overovať určitú teóriu. Turing [144] dokázal, že existuje univerzálny stroj, ktorý je schopný robiť všetko to, čo iný stroj za podmienky, že existuje opis tohto druhého stroja vo forme symbolov na páse papiera. Všetky stroje v určitom zmysle možno redukovať na univerzálny stroj Turinga, ktorý sa skladá z nekonečného pásu rozdeleného na štvorčeky, v ktorých môžu byť vytlačené symboly. Riadiaci mechanizmus pohybuje pásonom pod čítacou hlavicou, a to podľa inštrukcií uložených v programe (môže pohybovať pásonom o jeden štvorček vpravo alebo vľavo, zotrie symbol a natlačiť nový symbol). Symbol odčítaný v daný okamih a ako aj vnútorný stav stroja určujú, aká bude nasledujúca operácia. Pomocou takéhoto teoretického stroja (nebol doteraz realizovaný) Turing dokázal vyčísliteľnosť veľkej triedy matematických funkcií. Zásadnou otázkou je tu určenie toho, čoho je principiálne schopný takýto stroj. Vytvorenie stroja, ktorý by vo všetkých prípadoch robil to čo človek, predpokladá adekvátny opis činnosti zobrazovaného systému.

Na opis konečného automatu sa používajú schémy zvané *logické (nervové) siete*. Kleene [188] podrobne rozoberá tieto otázky v súvislosti so základnou prácou McCullocha a Pittsa o logickej analýze nervovej činnosti. Za univerzálny prvok pri syntéze konečných automatov možno použiť abstrahované neuróny. Spomedzi autorov teoreticky významných prác tu treba spomenúť Culbertsona [84], ktorého neekonomické (v zmysle konštrukcie) automaty majú výhodu v svojej univerzálnosti, a Neumanna [266], ktorý ukázal, ako možno skonštruovať determinovaný automat z nespoľahlivých prvkov s využitím pravdepodobnostnej logiky. Reálne syntetizovaným konečným automatom je napr. Walterov analóg podmieneného

reflexu — CORA, ďalej zložitejšia „korytnačka“ (Machina Speculatrix), ktorá ide za svetlom, pričom obchádza prekážky; alebo Ashbyho [19] homeostat (4 bloky s pohyblivými magnetmi vzájomne pospájané — rôznosť spôsobov dosahovania ultrastabilnosti nazýva autor cieľuzameranosťou), Shannonova „myš“ hľadajúca cestu k cieľu v labyrinte, Uttleyho klasifikačný a podmieneneno-pravdepodobnostný model atď.

V poslednom čase sa značná pozornosť venuje samoorganizujúcim („rastúcim“) systémom. Štruktúra systému sa zlepšuje pri operovaní so skupinami prvkov a naučí sa ich klasifikovať. Chapmanov systém [144] sa zakladá na koloidnochemických prvkoch (zmenšovanie vodivosti bavlnených nití v roztoku, na ktorý pôsobí elektrický prúd) a z tohto nešpecifického prostredia s relatívne jednoduchou štruktúrou môže vyrásť vysokoorganizovaný špecifický systém, ktorý pri klasifikácii uprednostňuje často sa vyskytujúce prvky. Počet možných kombinácií prvkov nesmie prevyšovať určenú hranicu. Stroj v určitom zmysle rozpoznáva všeobecné vlastnosti prostredia. Otázkam samoorganizujúcich sa systémov bola venovaná špeciálna konferencia v USA roku 1959. Tu sa ukázalo, že modely zložitých biologických systémov umožňujú skúmať procesy samoorganizácie v živých organizmoch a naopak, zase technici môžu využiť v evolúcii organizmov vypracované princípy riadenia, samoorganizácie a adaptácie.

Pask [280] tu referoval o abstraktnom modeli samoorganizujúceho sa systému (stav prostredia vedie k zmene parametrov systému), ako aj o fyzikálnej realizácii. Niť vznikajúca medzi dvoma elektródami v železitej medenke existuje ako stabilná podstata len vtedy, keď prepúšťa prúd dostatočný pre svoje zachovanie. Ak jednu podskupinu elektród spojíme s výstupom senzoričkých zariadení a inú podskupinu so zariadením schopným pôsobiť na prostredie, vtedy sieť bude hľadať dynamickú rovnováhu s prostredím.

Podobne na kybernetickom kongrese roku 1964 Pask poukázal na evolučný proces (ako základný mechanizmus učenia) a teoreticky opísal činnosť skupín automatov „spolupracujúcich“ v záujme svojho vývinu. V súvislosti s experimentmi v oblasti učenia poukázal na dôležitosť hierarchicky organizovaného evolučného mechanizmu. Podobne pri riešení problémov je výhodnejšie použiť skupinu členov ako samoorganizujúci systém a nie prideliť im vopred určené úlohy.

Rozsah a zameranie našej publikácie i kompetentnosť autora nemožno umožňujú hlbšie sa púšťať do zložitých technických otázok, ktoré súvisia s realizáciou rôznych systémov a automatov. Kybernetický výskum najmä v tejto oblasti prináša neustále nové poznatky (z ktorých väčšina sa zo strategických dôvodov nepublikuje, alebo len s značným oneskorením), ktoré treba sledovať v príslušných technických publikáciách.

## B. teória informácie

Základná disciplína kybernetiky — teória informácie — priťahuje pozornosť nielen technikov, ale aj biológov, ekonómov, psychológov, jazykovedcov atď. Podobne ako zavedenie pojmu energie umožnilo pozeráť sa na všetky prírodné javy z jedného hľadiska, aj zavedenie pojmu informácie umožňuje pristúpiť k výskumu najrozličnejších procesov riadenia a komunikácie v prírode aj v spoločnosti z jedného všeobecného hľadiska.

Teória informácie vznikla čiastočne nezávisle od kybernetiky a vlastne odvetvím aplikovanej teórie pravdepodobnosti. Skúma optimálne spôsoby prenosu a pretvárania informácie. V dnešnej dobe ju formuloval *Shannon*, a to za účelom skúmania telegrafickej a telefonickej komunikácie. Prenos zpráv a pridružené problémy sú v anglickej literatúre zahrňujú pod pojem komunikácie. Svoje názory zhrnul spolu s *Weaverom* v knihe *The mathematical theory of communication* (1949).

Títo autori nadväzovali na štatistický výskum informácie, na teóriu pravdepodobnosti a na poznatky o kvantovaní signálov.

### 1. teória pravdepodobnosti

Základom určovania veľkosti (množstva) informácie je teória pravdepodobnosti. Teória pravdepodobnosti zobrazuje v matematickej forme tie zákonitosti v reálnom svete, ktorými sa riadia hromadné náhodné javy. Pod hromadnosťou rozumieme skutočnosť, že skúmaný jav alebo patrí k istej časti veľkého množstva predmetov toho istého druhu, alebo musí byť zásadne daná možnosť neobme-

dzene opakovať súbor podmienok, za ktorých určitý jav nastane alebo nenastane. Náhodnosť posudzujeme v závislosti od komplexu podmienok, za ktorých skúmaný jav prebieha. Javy, ktoré za určitého súboru podmienok nastanú vždy, sú isté; tie, ktoré nastať nemôžu, sú nemožné. Okrem toho sú javy, ktoré pri realizácii určitého súboru podmienok niekedy nastanú a niekedy nenastanú — javy náhodné. I pre náhodné javy platí zákonitosť, a to Bernoulliho zákon veľkých čísel, ktorý hovorí, že čím uskutočníme viac pokusov, tým je pravdepodobnejšie, že sa relatívny výskyt každého výsledku bude veľmi málo líšiť od pravdepodobnosti tohto výsledku. Keďže o jednotlivom výsledku nemôžeme absolútne tvrdiť, ako dopadne, hovoríme, že zákony náhodných procesov majú štatistický ráz. V pravdepodobnostných procesoch teda vždy zostáva istá neurčitosť výsledku. Neurčitosť výsledku je tým väčšia, čím väčší je možný počet výsledkov a závisí tiež od rozloženia pravdepodobnosti týchto výsledkov.

Vo všeobecnosti sa pravdepodobnosť určuje pomerom počtu priaznivých výskytov určitej udalosti k celkovému počtu možných výskytov (pri hádzaní mince pravdepodobnosť, že padne „hlava“, je jedna polovica). Pravdepodobnosť súčasného výskytu dvoch *nezávislých udalostí* sa rovná násobku pravdepodobnosti každej z udalostí (pravdepodobnosť toho, že pri hádzaní dvoch mincí padnú dve „hlavy“, rovná sa  $1/2 \cdot 1/2 = 1/4$ ). Keď sa udalosti *vzájomne vylučujú*, vtedy pravdepodobnosť toho, že nastane hociktorá z udalostí, rovná sa sume pravdepodobnosti každej z nich (pravdepodobnosť, toho, že pri hádzaní dvoch mincí padnú dve „hlavy“ alebo dve „písma“ — rovná sa  $1/4 + 1/4 = 1/2$ ).

*Podmienená pravdepodobnosť* znamená, že k vopred stanoveným podmienkam skúmania pripojíme dodatočne nejaké doplňujúce podmienky. Takto pravdepodobnosť náhodného výskytu javu A za podmienky, že už nastal druhý náhodný jav B, rovná sa súčinu pravdepodobnosti prvého javu a podmienenej pravdepodobnosti druhého javu za podmienky, že nastal prvý jav:  $P(AB) = P(A) \cdot P(B/A)$ .

*Prechodové pravdepodobnosti* vyjadrujú relatívne frekvencie, s akými daný jav nasleduje po inom jave alebo ho predchádza. Sledy, pri ktorých sa uvažuje len o pároch prílehlých javov, nazývajú sa pôvodnými Markovými reťazcami. Dnes sa pod Markovými reťazcami rozumia sledy, v ktorých je pre rôzne dlhé intervaly pravdepodobnosť každého prechodu rovnaká (A. A. Markov uverejnil roku 1913

štatistický rozbor úryvkov z Puškinovho Onegina, pričom vychádza z väzby dvoch susedných znakov).

Prechodové pravdepodobnosti si najlepšie osvetlíme na Ashbyho príklade. Určitý hmyz žije v troch prostrediach: vo vode ( $V$ ), pod kameňmi ( $K$ ), na brehu ( $B$ ). Pre každú časovú jednotku jestvuje konštantná pravdepodobnosť, že hmyz prejde na breh, ak bol pod kameňmi a pod. (tento prechod však nezávisí od toho, kde bol predtým kým prišiel pod kamene).

Protokol jeho polôh môže mať takýto tvar:  $V B V B V K B B V$ . Pravdepodobnosti prechodu sú udané tabuľkou:

	$B$	$V$	$K$
$B$	$1/4$	$3/4$	$1/8$
$V$	$3/4$	$0$	$3/4$
$K$	$0$	$1/4$	$1/8$

Tieto pravdepodobnosti môžeme zistiť, ak pozorujeme hmyz počas dlhého obdobia. (Relatívnu početnosť prechodu  $B \rightarrow V$  zistíme tak, že jeho absolútnu početnosť delíme početnosťou výskytu  $B$ .) Takáto matica pravdepodobnosti prechodov obsahuje informáciu o pravdepodobnom správaní ľubovoľného konkrétneho systému.

Podrobnejšie sa s teóriou štatistickej pravdepodobnosti v prístupnej forme možno oboznámiť v práci Jagloma [181] alebo Džepača [96].

Okrem tejto štatistickej (frekvenčnej) pravdepodobnosti jestvuje aj druhý prístup, a to logické teórie pravdepodobnosti. Tu je známa najmä Carnapova [175] teória *induktívnej pravdepodobnosti*. Autor svoj pojem pravdepodobnosti interpretuje ako „stupeň potvrdenia“ (confirmation). Induktívna pravdepodobnosť bola aplikovaná na umelý jazykový systém (presne definovaná syntax a pravidlá), a to na dvojicu výrokov: „hypotézu“ a „dôkaz“, ako aj na vzťah medzi nimi. Carnap sa zaoberal najmä otázkou merania apriórnej pravdepodobnosti výrokov. Na rozdiel od frekvenčnej teórie ide tu o odhad šancí jednej udalosti a tento sa zakladá obvykle na poznávaní minulého priebehu (napr. odborník lepšie odhadne výsledok košických dostihov ako laik). Takto indukívna pravdepodobnosť nie je fyzikálnou vlastnosťou veci alebo systému, ale vzťah medzi hypotézou a určitým dôkazom. Z Carnapovej teórie vychádzal potom Bar-Hillel pri skúmaní sémantickej informácie.

## 2. signál

Charakteristikou systémov, v ktorých prebiehajú procesy riadenia (stroj, organizmus, sociálny útvar), je také vzájomné spojenie jednotlivých častí systému, že si navzájom odovzdávajú zprávy o procesoch, ktoré v nich prebiehajú a toto odovzdávanie sa deje pomocou signálov. Zpravu považujeme za spojenie signálu a znaku. Zdroj vyberá zamýšľanú zpravu z celej skupiny možných zprav. Vysielač mení zpravu na signál, ktorý sa cez komunikačný kanál vedie ďalej do prijímača. Prijímač zmení došlý signál naspäť na zpravu a dodá ju na miesto určenia. Zpráva nemôže jestvovať ináč ako vo forme signálu udalosti, t. j. materiálneho objektu. Zpráva o udalosti je vždy chudobnejšia ako udalosť. Signál teda vzniká v dôsledku nejakej činnosti, má svoju samostatnú fyzikálnu podstatu, môže byť vyslaný na veľkú vzdialenosť a na konci svojho jestvovania sa môže premeniť na činnosť. Mimo organizovaného systému si signál môže podržať svoje fyzikálne vlastnosti, stráca však svoju informačnú vlastnosť. Signál je teda fyzikálny stav alebo proces, slúžiaci na časový alebo priestorový prenos zprav.

Súhrn signálov v kybernetickom systéme je izomorfným zobrazením niektorých stránok reálnej udalosti. Pri informačnom hodnotení signálu nezáleží na jeho fyzikálnej forme, ani na množstve energie, ale na izomorfnej zhode vonkajšej udalosti a signálu. [Izomorfizmus v matematike znamená obojstranne jednoznačný vzťah dvoch množín. Dve množiny sú izomorfné, keď ich prvky v pároch vzájomne jednoznačne odpovedajú jeden druhému a ich vzťah je zachovaný aj pri ich pretváraní — napr. technický model a jeho matematický vzorec: každému kvantitatívnemu stavu modelu odpovedá istý špeciálny výsledok vzorca a naopak, špeciálnym prípadom vzorca odpovedá stav v modeli.] Prenos signálu sa môže diať na veľké vzdialenosti (spoje) alebo v hraniciach jedného zariadenia (nerv). Na prenos signálu sa využívajú fyzikálne procesy, ktorých vlastnosťou je rozširovanie v priestore (vlnové procesy — rozhlas; mechanické premiestňovanie predmetov — pošta). Signál môže prenášať informáciu len vtedy, ak má možnosť nadobúdať rozličné významy alebo stavy.

Všetky komunikačné signály možno matematicky vyjadrovať ako funkcie troch nezávislých koordinát miesta (priestoru) a jednej časovej koordináty. Signály, pri ktorých nositeľom informácie sú len

koordináty miesta, nazývame konfiguráciami. Kde je nositeľom tie časová koordináta alebo len sama časová koordináta, hovoríme o procesoch. Sú to teda signály priestorové a časové. Ďalej sa signály líšia vo fyzikálnej dimenzii podľa toho, či nesú so sebou energiu („živé“ — elektromagnetické javy) alebo nie („mŕtve“ — povrch gramoplatne).

Meyer-Eppler [245] uvádza tieto príklady pre priestorové a časové signály:

#### a) konfigurácie

Jedna koordináta miesta: zárezy na palici, uzlové písmo, jednostopové svetelné a magnetické záznamy.

Dve koordináty miesta: písomné značky, obraz, nemenné dopravné značky.

Tri koordináty miesta: priestorove rozložené signály.

#### b) procesy

Časová koordináta: svetelné signály z bodového zdroja, telegraf, rozhlas.

Časová koordináta a jedna koordináta miesta: signály z jednodimenzionálneho zdroja.

Časová koordináta a dve koordináty miesta: semafor, signály so zastavou, film a televízny obraz.

Časová koordináta a tri koordináty miesta: ručná abeceda, pantomíma.

### 3. informácia a jej meranie

V bežnej reči používame tieto termíny: užitočná, hodnotná, faktická, spoľahlivá, presná, pravdivá informácia. Informácia sa často stotožňuje so správou. Informácia je niečo, čo získavame čítaním, počúvaním alebo priamym pozorovaním okolitého sveta. Stotožnenie informácie so správou uskutočnil i Metelka [243], keď za informáciu pokladal všetky možné údaje, ktoré môžu byť prijaté, spracované alebo ďalej odovzdané nejakým ústrojom, ako aj všetky možné vnútorné údaje, ktoré pramena zo samého ústroja, šíria sa v ňom alebo z neho vystupujú. Podľa Soboleva [332] informácia znamená znalosť

o výsledkoch nejakých udalostí, ktoré predtým neboli známe. Táto definícia je tiež neúplná, pretože neukazuje cestu k matematickému určeniu informácie.

Vyjdime z faktu, že informáciu môžeme získať len o veciach, ktoré nepoznáme, sú pre nás neurčité. *Informácia je teda to, čo odstraňuje alebo redukuje neurčitost'. Všetky procesy, o ktorých možno povedať, že nesú informáciu, sú v základe výberovými procesmi. Úplne determinovaný proces nemožno pokladať za zdroj informácie.*

Ashby [20, 22] ako ekvivalent informácie používa pojem *variety*. Informácia, ktorá je prenášaná správou, závisí od množiny, z ktorej je vybraná. Slovo *varieta* označuje počet rôznych prvkov v množine a súčasne i logaritmus tohto čísla pri základe 2. V prípade komunikácie ide teda o počet možných stavov zdroja, o počet možných správ a o informačnú kapacitu zdroja. Varieta môže byť obmedzená rôznymi podmienkami (napr. *varieta pohlavia = 1 bit* (dvojková jednotka); ak v nejakej škole sú len chlapci, bude sa *varieta pohlavia* v tejto škole rovnáť nule. Pretože nula je menšia ako jedna, ide tu o obmedzenie *variety*). Obmedzenie je teda vzťah medzi dvoma množinami, ktorý sa objavuje vtedy, ak *varieta* za jednej podmienky je menšia ako za druhej podmienky. Existencia invariety v množine javov zahrňuje v sebe nejaké obmedzenie *variety*. Veda hľadá zákonitosti, a preto sa zaujíma o zisťovanie rôznych obmedzení. Každý prírodný zákon je obmedzením *variety*. Svet bez obmedzenia *variety* by bol úplne chaotický. Ak hovoríme, že niečo sa dá predpovedať, potom to nevyhnutne vyžaduje prítomnosť obmedzenia *variety*. Keby sa lietadlo na oblohe mohlo v každej sekunde premiestniť z ľubovoľného bodu do ľubovoľného iného bodu, i ten najdokonalejší výpočet palby delostrelectva by bol márný. Pojem *variety* a informácie sa vždy vzťahuje na nejakú množinu a nie na nejaký jednotlivý jav.

Latinské slovo „*informare*“ znamená uvádzať do tvaru, dávať tvar alebo podobu, formovať, tvoriť, ale tiež zobrazovať, predstavovať, vytvárať predstavu alebo pojem. Informácia znamená uvedenie nejakých prvkov alebo súčastí do nejakého tvaru, poriadku. Informácia vyjadruje *usporiadanost'* nejakej sústavy, ktorá môže byť matematicky opísaná. Podľa Zemanovho názoru [412] informácia je nielen kvantitou, ale aj kvalitou, čiže je to *usporiadanost'* samotná. Je to vedľa priestoru, času a pohybu ďalšia základná forma existencie hmoty.

Takto sa vyhranili dve interpretácie informácie: *komunikačná* (stotožnenie informácie s jej množstvom) a *kybernetická* (informácia ako faktor riadenia). Vekker [387] v tejto súvislosti uvádza názory Ljapunova a Kolmogorova, ktorí zdôrazňujú význam kvalitatívnej svojráznosti informácie a informáciu chápe ako uchovanie a reprodukovanie stavov zdroja nositeľom informácie. Vzťah usporiadanosť signálu k usporiadanosť zdroja možno matematicky vyjadriť ako vzťah dvoch množín prvkov. Signál je kódom všetkých tých množín s ktorými je izomorfný.

Informácia je spojená s výberovým procesom. Taký proces je v zohľadnení štatistický, a to v tom zmysle, že zahrňuje pravdepodobnostné hľadisko. Základným východiskom teórie informácie je stochastický proces. Systém, ktorý vytvára sled symbolov podľa určitých pravdepodobností, nazýva sa *stochastickým procesom*. Pri úplne determinovanom zdroji nemožno hovoriť o informácii. Stochastickým procesom je hádzanie mince, sled hudobných nôt, ktoré napísal skladateľ, sled písmen a slov, ktoré vytvárajú nejaký jazyk. Podmienkou aplikácie informačných mier na sled symbolov je ergodicita. Stochastický proces je ergodický (stacionárny), ak pravdepodobnostné zákony, ktoré ho charakterizujú, zostávajú konštantné pre všetky časti sledu (relatívna frekvencia výskytu rozličných znakov nezávisí od toho v ktorom bode ju začneme pozorovať). Stochastický proces je charakterizovaný určitým stupňom *nadbytočnosti* medzi 0 a 100 %. Pri nulovej nadbytočnosti všetky vzniknuté symboly majú rovnakú pravdepodobnosť výskytu a žiadna znalosť minulosti sledu neľahčuje jeho predpovedanie. Pri 100 % nadbytočnosti symboly majú pravidelný sled, takže s úplnou určitosťou možno predpovedať nasledujúci symbol. Úplná nadbytočnosť môže byť rôzneho rádu. Pri nadbytočnosti prvého rádu jeden symbol má jednotkovú pravdepodobnosť a ostatné nulovú: A A A. Vyšší rád nadbytočnosti ako prvý naznačuje, že udalosti sú viac alebo menej schematizované, že jestvujú medzi nimi následné závislosti. Nadbytočnosť druhého rádu je vtedy, keď sa vyskytuje jednoduché striedanie A B A B A B (predpovedanie symbolu je možná len vtedy, ak poznáme jeden predchádzajúci). Nadbytočnosť tretieho rádu — dvojité striedanie A A B B A A B B (potrebujeme poznať dva predchádzajúce symboly). Zpráva o tom, že nastala udalosť, ktorá musí prísť takmer určite obsahuje málo informácie. Mnoho informácie obsahuje zpráva o tom, že nastala udalosť, ktorá bola neočakávaná. Vo všeobecnosti

mierou množstva informácie je veličina merajúca zmenu pravdepodobnosti udalosti pod účinkom zprávy.

Podľa Goldmanna [152] prijatá informácia sa rovná logaritmu podielu pravdepodobnosti udalostí po prijatí zprávy a pravdepodobnosti udalosti pred prijatím zprávy. Teória pravdepodobnosti dáva kľúč, ako nájsť cestu k určeniu veľkosti informácie. Najjednoduchším príkladom pre určenie veľkostí informácie je výber z dvoch nezávislých a rovnako pravdepodobných možností. Každý takýto výber predstavuje jednotku informácie, a to dvojkovú-binárnu (binary digit = bit = dvojková jednotka). Výsledná číselná veličina závisí od základu logaritmu. Základ logaritmu rovný dvom je najvhodnejší, pretože tu je situácia najjednoduchšia: ak sa totiž zpráva skladá z jedného prvku vybraného z dvoch možných prvkov, je charakterizovaná množstvom informácie, ktorá sa rovná jednej:

$$I = -\log 1/2 = \log 2, \\ \log_2 2 = 1^1.$$

Všeobecne  $I = \log_2 n$ , kde  $n$  je počet predmetov výberu. Zpráva sa však obvykle skladá z viacerých prvkov, ktoré sa vyskytujú s rôznou pravdepodobnosťou a potom

$$I = -\sum p_i \log_2 p_i .$$

Tento vzorec sa podobá vzorcu entropie.

#### 4. informácia a entropia

Pravá strana uvedenej rovnice, určujúca priemerné množstvo informácie na jeden prvok, zhoduje sa s dávno známym vzorcom entropie ( $H$ ) termodynamického systému. Tento má však kladné znamienko a vychádza z pojmu pravdepodobnosti.

Spomínaná formálna zhoda rovníc však vyvolala veľkú polemiku, či je tu aj obsahová zhoda. Túto zhodu potvrdzujú Louis de Broglie, Kolmogorov, Wiener. Signál je v podstate odrazom javov fyzikálneho sveta. Náhodný charakter javov, rozloženie pravdepodobností a fyzikálna entropia sa zrejme prenášajú na signál, ak je fyzikálny jav zdrojom zprávy. Entropia v štatistickej termodynamike je funkciou pravdepodobnosti stavu systému. V komunikačnej teórii informačná rýchlosť je podobnou funkciou pravdepodobnosti stavov zdroja. V oboch prípadoch máme súbor, ktorého stavy sa opisujú

pravdepodobnostnou funkciou. Tento dôležitý vzťah medzi dvoma vedeckými oblasťami možno vysvetliť matematicky alebo opisne. V opisnom zmysle entropia sa považuje za *mieru neusporiadanosti*. Podľa Brillouina [66] treba dávať do vzťahu *negatívnu entropiu* a informáciu, negatívna entropia totiž charakterizuje usporiadanosť. Entropia i informácia charakterizujú vzťah chaosu a usporiadanosti. Najnovšie sa zavádza nový pojem organizácie, ktorý je použiteľný pre široký okruh sústav (fyzikálne teleso, živá bunka, výrobný podnik) a poskytuje číselnú mieru štatistických závislostí medzi jednotlivými prvkami sústavy. Neprítomnosť organizácie spájame intuitívne s pojmom chaosu. Ak sú prvky vzájomne nezávislé, ide o sústavu krajne neorganizovanú. Proces zvyšovania stupňa organizácie akýchkoľvek sústav je v zosilňovaní spojov medzi určitými prvkami. Tento proces sa môže uskutočniť len zavedením riadenia pomocou signálov. V tejto súvislosti je závažné poznať, aké množstvo informácie potrebujeme na dosiahnutie istého stupňa organizovanosti nejakej sústavy. Entropia je mierou neurčitosti do okamihu prijatia pravdivej zprávy. Po prijatí informácie vzniká úplná určitosť a entropia sa rovná jednotke. Entropia je vtedy nulová, keď sa všetky pravdepodobnosti, okrem jednej, rovnajú nule a jedna zostávajúca sa rovná jednotke. V tomto prípade je situácia úplne určená. Entropia je vtedy maximálna, keď nejestvujú ohraničenia v slobode voľby zprávy. „Neurčitost“ pripomína budúce udalosti, „informácia“ minulé, štatistická miera je však rovnaká bez ohľadu na to, kedy sa udalosti vyskytnú.

Bonsack [54] usudzuje, že entropia nie je vhodná na meranie množstva informácie (napr. ak sa k zpráve pripojí šum, jej entropia sa zníži, čiže informácia sa zvýši — hoci v skutočnosti sa informácia znížila). Navrhuje preto informáciu odvodzovať od *špecifičnosti*. Špecifičnosť je rozdiel medzi dvoma variabilitami, medzi entropiou základného súboru zprávy, ktorým disponujeme pred výberom (čím je väčší, tým môže zpráva obsahovať viac informácie), a medzi entropiou súboru zprávy vybraných zo základného súboru (čím je tento druhý súbor väčší, tým je výber menej špecifický a množstvo informácie je menšie). Špecifičnosť je teda mierou originality určitej podtriedy. Táto špecifičnosť je tým väčšia, čím je podtrieda obmedzenejšia alebo prvý súbor rozsiahlejší. Pravdepodobnosť je relatívna (je vytváraná vzťahom medzi dvoma súbormi udalostí: priaznivé — možné). Výhodou špecifičnosti je to, že je tiež relatívna

(definuje sa ako rozdiel dvoch členov), kým entropia-variabilita obsahuje absolútnu škálu (od 0 do 1). Brillouin stotožnil množstvo informácie s negatívnou entropiou a v tejto súvislosti po zavedení pojmu špecifičnosti treba si uvedomiť, že ak sa variácia entropie týka základného súboru, nedochádza k zmene znamienka (zvyšovanie entropie zvyšuje špecifičnosť), ak sa variácia týka entropie podtriedy, znamienko je obrátené (ak sa entropia vybraného podsúboru zväčšuje, špecifičnosť klesá).

## 5. prenos a kódovanie informácie

Každé zariadenie, ktoré uskutočňuje prenos správ na vzdialenosť, všeobecne nazývame *komunikačným kanálom*. Kanál je systém, ktorým sa prenáša zakódovaný sled symbolov nejakou určitou rýchlosťou. Kvalita každého prenosového kanálu je určená predovšetkým jeho *pásmom priepustnosti*, dobou potrebnou na prenos signálu a pomerom výkonovej úrovne signálu k úrovni šumu. Forma zprávy, ktorá prechádza kanálom, býva obyčajne iná ako forma vstupnej alebo výstupnej zprávy (telegram, slová, ale kanálom sa prenáša prerušovaná vlna). Zpravu je teda potrebné previesť do reči kanálu, t. j. treba ju kódovať. Keď prevádzame signál z jednej abecedy do druhej, porovnávame symboly prvej abecedy, so symbolmi druhej abecedy. Toto porovnanie sa nazýva *kódovaním* signálu a pravidlo, podľa ktorého sa to robí, je kódom. V skutočnosti každé meranie je kódovaním. Pre každý kód je charakteristické, že je to sled symbolov (písomná a ústna reč, telegrafné značky, televízia). Kód je vtedy primeraný, ak umožňuje podávať hocakú informáciu vzniknutú v zdroji. Účelom kódovania však nie je len nahradzovať jednu fyzikálnu veličinu druhou, ale môže sa tiež zmeniť množina symbolov a rozloženie ich pravdepodobností. Pri kódovaní môže byť jednému symbolu prvej abecedy priradená kombinácia alebo skupina symbolov druhej abecedy a naopak. Napr. pri kódovaní bežného textu do Morseovej abecedy sa každému písmenu priraduje kombinácia dvoch až siedmich symbolov. Takto môžu byť k sebe priradené dve abecedy s rôznou informačnou kapacitou. Pri výbere rôznych kódov pre danú abecedu je možné nájsť taký kód, ktorý má najväčšiu entropiu na symbol čiže najmenší počet symbolov na dané množstvo informácie.<sup>2</sup>

a) nadbytočnosť, šum a rýchlosť prenosu

K optimálnemu kódu stačí stanoviť pomer hodnoty entropie daného kódu k jej maximálne možnej hodnote pre danú abecedu (t. j. k informačnej kapacite danej abecedy). Tento pomer sa nazýva *relatívnou entropiou*  $h^3$

Redundancia kódu je rovná nule len u optimálneho kódu, v ktorom je výskyt všetkých symbolov vzájomne nezávislý a rovnako pravdepodobný. Dokonalé kódovanie je možné len pri nekonečne dlhej skupine udalostí. Účinné kódovanie sledu v komunikačnom systéme možno dosiahnuť len za cenu určitej časovej straty — zoskupovanie totiž zahrňuje „uskladnenie“ udalostí na určité obdobie a až potom môžu byť zakódované. Skutočné nájdenie optimálneho kódu je ťažkým problémom a často sa rieši kompromisom.

Nadbytočnosť znižuje množstvo informácie pripadajúcej na jeden prvok zprávy, znižuje rýchlosť odovzdávania zprávy, avšak zväčšuje *spoľahlivosť* odovzdania informácie, t. j. odolnosť voči prekážkam. Prameňom nadbytočnosti okrem vzájomných spojov medzi symbolmi je aj úplné alebo čiastočné opakovanie zprávy. Úlohu nadbytočnosti si najlepšie osvetlíme v súvislosti so šumom.

Keď sa zpráva neprijme v takom stave, ako bola vyslaná, hovoríme o *šume* pri prenose. Pri prenose signálov rozoznávame dvojaké skreslenie: náhodné šumy a zákonité skreslenie.

Náhodný šum je idealizovaná predstava vzbury v spojovacích zariadeniach, podmienená atomistickou štruktúrou hmoty (náhodné termické pohyby elektrických nábojov). Je stochastickou (t. j. riadi sa zákonmi pravdepodobnosti) funkciou času a frekvencie. V danom okamihu objavenie sa šumu je náhodné, avšak pri dostatočne dlhom čase ho možno predvídať. Zákonité skreslenia sú spôsobené charakteristikami aparatury.

Šumy a prekážky ovplyvňujú rýchlosť prenosu, ktorá potom závisí od rozdelenia pravdepodobnosti tak zprávy, ako aj šumov. Ak sa pri prenose naloží na signál šum, treba na základe nazhromaždených poznatkov rozlíšiť, čo je signál a čo šum. Proces oddelenia signálu od šumu sa nazýva vyhladzovaním. Keď sa to robí automaticky, hovoríme o *filtrácii* a zariadenie, ktoré na to používame, nazývame filtrami. Potlačenie šumov pomocou nadbytočnosti spôsobí zvýšenie spoľahlivosti informácie. Spoľahlivosť spojovacieho kanála sa rovná pravdepodobnosti toho, že prenášaná zpráva sa prijme správne.

Množstvo informácie pri prenose sa nemôže zvyšovať, iba znižovať. Najmenej efektívnou metódou na zvýšenie spoľahlivosti je *opakovanie zprávy*. Efektívnejšie je kódovanie možných zprávy na dostatočne dlhé sledy symbolov. Toto však vyvoláva spomalenie pri prijímaní zprávy, pretože zprávu nemožno dekódovať, pokiaľ nie je prijatý celý sled symbolov. Pravdepodobnosť chýb vznikajúcich pri prenose signálov je možné znižovať účelným využitím nadbytočnosti pri kódovaní informácie. Čím vyššia je úroveň šumu v prenosovom kanáli, tým väčšia je pravdepodobnosť chyby pri prenose, a teda na ich odstránenie treba použiť tým väčší počet pomocných symbolov. Tieto kódy odolné voči poruchám sa nazývajú samoopravnými. Účinnú techniku kódovania zprávy v záujme potierania šumu navrhol Shannon. Napr. ak písmená zakódujeme dvojkovým kódom a dôjde k šumu (zámena 1 za 0 alebo opačne), vznikne omyl pri dekódovaní. Preto treba pridať jedno nadbytočné číslo:

Pôvodné kódovanie	Upravené kódovanie
A 111	A 1111
B 110	B 1100
C 101	C 1010
D 100	D 1001

Ak dôjde k zámene na jednom mieste, táto chyba je zistiteľná: napr. zo skupiny 1111 pre A môže vzniknúť 1110, 1101, 1011, 0111, ktoré sa v kóde nevyskytujú. Táto chyba nie je však opravitelná, pretože tieto sledy môžeme dostať i zámenou symbolu v kódoch B a C. Preto treba pridať ešte ďalšie číslo. Robí sa to napr. tak, že sa k štvorčlennej skupine informačných symbolov pridajú ešte tri kontrolné symboly tak, aby súčet všetkých symbolov bol, povedzme, párny. Na výstupnom konci kanála sa potom preveruje párnosť súčtu a zistí sa, v ktorej skupine došlo k zámene symbolov.

Ak sú šumy v kanáli už dané a menia sa množiny zprávy, menia sa i príslušné rýchlosti prenosov. Ak budeme na vstup určitého prenosového kanála pripájať postupne rozličné zdroje informácie, zistíme, že *rýchlosť prenosu* bude rozličná a niektorá z nich bude maximálna. Túto extrémnu hodnotu nazveme priepustnosťou kanála  $C = L \cdot H$ ,  $L =$  počet znakov kódu prejdejších za minútu;  $H =$  entropia znaku. Priepustnosť sa rovná najväčšej informácii, ktorá môže byť kanálom vyslaná za jednotku času. Význam tejto hodnoty je v tom, že nám hovorí, aké najväčšie množstvo informácie je možné kaná-

lom previesť za jednotku času pri správnom kódovaní a s ľubovoľnou malou pravdepodobnosťou chyby za prítomnosti ľubovoľných šumov. Najslabší signál, ktorý ešte možno pri danom počte pozorovaní rozlíšiť od pozadia šumu, nazýva sa *prahovým signálom*. Čím menší je jeho výkon, tým väčšia je citlivosť prijímača (t. j. má tým väčšiu schopnosť rozlišovať).

Shannonova veta [318, 67] umožňuje stanoviť hraničné množstvo informácie, ktoré možno previesť kanálom za jednotku času bez chýb za prítomnosti šumu. Priepustnosť je tu určená len pre gaussovské šumy, ktorých výkon je rovnomerne rozložený po celej šírke pásma priepustnosti kanála.<sup>4</sup> Priepustnosť kanála môžeme zachovávať, ak budeme pri znižovaní výkonu vysielača zároveň tiež príslušne zväčšovať pásma a naopak. Teda ak chceme zväčšiť veľkosť informácie prenášanej rušeným kanálom, buď zväčšíme priepustnosť, alebo znížime počet vysielaných znakov za minútu.

Novik [276] sa pokúsil hodnotiť problém informácie a šumu z hľadiska marxistickej teórie poznania. Informáciu môžeme považovať za usporiadaný *odraz* a šum za neusporiadaný odraz. Informácia a šum sú teda dve protikladné, avšak vzájomne sa prenikajúce možnosti difikácie odrazu. Obsahový charakter spojenia negatívnej entropie a informácie vedie k metodologickému záveru, že teória informácie zovšeobecňuje aj prvý zákon termodynamiky (zachovanie a premena energie). Východiskom tu môže byť téza, že celkové množstvo odrazu (sumárna hodnota informácie a šumu) v zatvorenej sústave je stále. Informácia súvisí s usporiadaním atribútu odrazu, ktorý je neoddeliteľný od hmoty.

### c. teória hier

Do základných disciplín kybernetiky zaraďujeme aj *teóriu strategických hier*, ktorá tesne súvisí s riadením a komunikáciou. Kybernetický systém sa pri svojej činnosti dostáva často do konfliktu s iným systémom a na modelovanie tohto boja záujmov je potrebná nová matematická disciplína.

Základy teórie hier položil J. von Neumann v rokoch 1928—1937 a ucelene zhrnul knižne spolu s O. Morgensternom [265]. Pôvodne bola určená na rozbor *ekonomických* problémov, avšak k jej rozvoju

najviac prispela aplikácia v armáde počas druhej svetovej vojny. Ako pri každej novej disciplíne, i tu nie je ešte celá oblasť presne vymedzená. Teória strategických hier je podľa Ljapunova [226] matematickou disciplínou, ktorá určuje pravidlá správania v *konflikto- vých situáciách*, zabezpečujúce dosiahnutie najlepších (v nejakom vopred určenom zmysle) výsledkov. Umožňuje vypracovať algoritmy pre vedenie boja proti nie úplne známej riadiacej sústave. Williams píše o abstraktnom modeli konfliktovej situácie [398] a Kinsey zdôrazňuje analýzu rozumového správania najmä v situácii, kde sa stretávajú záujmy jednotlivcov alebo skupín [187].

Poznatky teórie hier sa dnes využívajú okrem techniky v najrozličnejších disciplínach (ekonómia, sociológia, psychológia). Pokúsime sa tu podať len jej základné poznatky a záujemcov o presnú matematickú formuláciu odkazujeme na preklad Blackwellovej knihy [45] alebo na populárnu Williamsovú prácu [398].

## 1. základné pojmy

System pravidiel charakterizuje hru a určuje správanie jednotlivcov alebo skupín, nazývaných *hráčmi* alebo účastníkmi. Hra (resp. *partia*) sa skladá z konečného sledu *ťahov* (krokov) v určitom poriadku (napr. šach, bridž). Hráč v každej fáze hry sa *rozhoduje* pre určitý ťah na základe informácií o predchádzajúcom priebehu a stave hry. Hľadať riešenie hry znamená objasniť, akú stratégiu majú hráči používať v hre, ktorá je prístupná úplnej analýze, kde môžeme aspoň principiálne predvídať všetky možné situácie a tak určiť všetky možné stratégie (t. j. pravidlá, ktorými sa treba pri ťahoch riadiť).

Základnou charakteristikou hry je počet jednotlivcov (resp. záujmových skupín) a tak máme hry s jedným, dvoma alebo viac hráčmi. Hru s jedným hráčom možno považovať za zvláštny druh hier s dvoma hráčmi, kde jedným z hráčov je príroda. Najviac bola preskúmaná párna hra (dvaja reálni hráči) s nulovým súčtom (t. j. kde výška výhry jedného hráča sa rovná výške prehry druhého hráča).

Konfliktová situácia má niekoľko možných výsledkov, na ktoré má hráč aspoň čiastočný vplyv a tiež záujem (napr. preferuje prvý výsledok pred druhým). V danej množine výsledkov je potom účastník charakterizovaný svojou preferenčnou schémou. Množina výsledkov sa nazýva priestorom výsledkov v danej hre, konfliktová

situácia strategickou hrou. Výplatná funkcia je číselné vyjadrenie preferenčnej stupnice (nemusí tu vždy ísť len o peňažné výhry). Kritickým bodom teórie hier je *výplatná matica* (predpokladá sa, že výplaty možno s dostatočnou presnosťou merať). Na zvislých okraji tabuľky sú zapísané stratégie jedného hráča a na vodorovných okraji stratégie druhého hráča. V okienkach sú výplaty prislúchajúce jednotlivým dvojiciam stratégií. (Príklad takejto matice je na obr. 1). Hlavným cieľom hráča je získať čo najväčšiu výhru nad protivníkom, ktorý sleduje opačný cieľ. Jeden hráč pôsobí tak, aby najmenšia výhra, ktorú ešte bez ohľadu na činnosť druhého hráča dostane, bola čo najväčšia. Druhý hráč sa zase snaží urobiť čo najmenejšou tú najväčšiu sumu, ktorú musí odovzdať prvému hráčovi nezávisle od činnosti tohto hráča (tzv. *minimax a maximin*). Ak sa minimálne a maximálne výplaty (na obr. 1 označené hviezdičkou) obidvoch hráčov presne rovnajú, vtedy hra má tzv. *sedlový bod* a hráči sa musia pridržiavať tých stratégií, ktoré prislúchajú tomuto bodu. Ak sa niektorý odkloní od týchto stratégií, utrpí nepotrebnú stratu. Pri riešení hry sa postupuje tak, že sa vypíšu minimá všetkých riadkov a najväčšie číslo sa označí hviezdičkou. Ak sa obe nájdene čísla zhodujú, hra má sedlový bod. Cena hry sa tu rovná výplate v sedlovom bode.

		B		
		I	II	
A	I	6	5	5*
	II	5	4	4
		6	5*	

		B		
		I	II	
A	I	3	6	3
	II	5	4	4*
		5*	6	

Obr. 1

Obr. 2

tivníkom, ktorý sleduje opačný cieľ. Jeden hráč pôsobí tak, aby najmenšia výhra, ktorú ešte bez ohľadu na činnosť druhého hráča dostane, bola čo najväčšia. Druhý hráč sa zase snaží urobiť čo najmenejšou tú najväčšiu sumu, ktorú musí odovzdať prvému hráčovi nezávisle od činnosti tohto hráča (tzv. *minimax a maximin*). Ak sa minimálne a maximálne výplaty (na obr. 1 označené hviezdičkou) obidvoch hráčov presne rovnajú, vtedy hra má tzv. *sedlový bod* a hráči sa musia pridržiavať tých stratégií, ktoré prislúchajú tomuto bodu. Ak sa niektorý odkloní od týchto stratégií, utrpí nepotrebnú stratu. Pri riešení hry sa postupuje tak, že sa vypíšu minimá všetkých riadkov a najväčšie číslo sa označí hviezdičkou. Ak sa obe nájdene čísla zhodujú, hra má sedlový bod. Cena hry sa tu rovná výplate v sedlovom bode.

Hráč však nemusí používať tú istú čiže rýdzu stratégiu. Ak výplatná matica nemá sedlový bod, treba používať raz jednu, raz druhú stra

tégiu (obr. 2). Ich striedanie riadi zmiešaná stratégia. Podstatnou časťou dobrej zmiešanej stratégie je náhodný mechanizmus (žreb, tabuľka náhodných čísel). Ide o to, aby protivník nevedel, akú stratégiu v nasledujúcom ťahu použijeme. Náhodný mechanizmus sa môže použiť až vtedy, keď máme určené relatívne frekvencie výskytu jednotlivých stratégií. Správnosť určenia relatívnych frekvencií zistíme podľa toho, že priemerné výplaty sú rovnaké pri hocakej rýdzej stratégii protivníka. (Hráč A na obr. 2 musí používať stratégiu I a II v pomere 1:3 a pomocou týchto frekvencií sa vypočíta cena hry, ktorá leží medzi maximinom a minimaxom.)

Obvyklejšie sú však hry s väčším počtom stratégií ako  $2 \times 2$  a vtedy sa musíme tieto matice snažiť *redukovať* na typ  $2 \times 2$ . Dosahuje sa to pomocou tzv. dominovania (vylučovanie riadkov a stĺpcov), postupného hľadania výhodnej hry  $2 \times 2$  a pod. Hry možno riešiť tiež graficky. Pri hrách typu  $100 \times 100$  stratégií sa však musíme uspokojiť približným riešením.

Ak skupina hráčov predtým s rozdielnymi preferenčnými stupnicami sa dohodne na jednej preferenčnej stupnici, vytvorí *koalíciu*. Musí tu byť možnosť úplnej výmeny informácií a úplnej kooperácie (t. j. účastníci sa dohovorí a hrajú proti druhým účastníkom). Tieto hry sa nazývajú *kooperatívnymi*. Čiastočná kooperácia vzniká vtedy, ak záujmy dvoch účastníkov nie sú celkom protichodné, i keď nie sú totožné. Teória nekooperatívnych hier (hráči si nemôžu vymieňať informácie) je ešte len v začiatkoch. Von Neumann sa venoval kooperatívnym hrám a skúmal vytváranie rôznych možných koalícií a optimálne riešenie danej konfliktovej situácie.

## 2. predpoklady aplikácie

Použitie teórie hier na konfliktovú situáciu vyžaduje prebrať najprv všetky možnosti, ktoré sú prístupné obom hráčom. Jednotlivé možné výsledky musia byť od seba rozlíšiteľné. Špecialista v danej oblasti musí definovať, čo je výsledkom konkrétnej konfliktovej situácie. Treba brať do úvahy i náhodné udalosti (zásah prírody), ktoré majú podstatný vplyv na priebeh hry. Ťahy v hre môžu byť totiž osobné (ak hráč vyberá jeden z množstva variantov) alebo náhodné (pôsobí tu mechanizmus náhodného výberu — napr. rozdávanie kariet, nezachytené podmienky experimentu).

Potom treba vypočítať alebo oceniť výplaty spojené s každým párom stratégií. Niekedy sú výplaty určené pravidlami hry, inokedy sa počítajú pomocou teórie pravdepodobnosti. Otázka kvantifikácie preferenčnej stupnice môže byť veľmi zložitá. Pri finančných výplatách je to jednoduché, avšak ako treba postupovať napr. pri výbere medzi obrazmi, kde výplatou kupujúceho je estetický zážitok? Určité východisko je tu v usporiadaní, t. j. v rozložení výplat do poradí (predpokladá sa, že alternatívy sú porovnateľné a vzťahy uprednostnenia a rovnocennosti sú tranzitívne). Pri priradovaní čísel jednotlivým výsledkom môžeme vytvoriť úžitkovú funkciu, t. j. priradiť váhu všetkým možným výsledkom, pričom váhy nielen zodpovedajú systému preferencií, ale aj vážia diferencie.

Ak sú výplaty známe, možno zostaviť maticu a začať matematickú analýzu. Takto sa zistí, ako sa má daná hra hrať a aká je jej cena (t. j. najväčšia priemerná výhra, ktorú možno získať pri optimálnej stratégii).

Často sa však stretávame s konfliktovými situáciami, ktoré nie sú hrami s nulovým súčtom, hráči nesmú používať zmiešané stratégie a pod. Tu hovoríme o tzv. *pseudohrách*. Ide najmä o zvláštnosti výplatných funkcií (uspokojenie z výhry, smrť pri prehre), spočívajúce v ohraničenej možnosti prenosu ceny hry. V takejto situácii je kvantitatívna teória hier ťažko použiteľná, a preto treba využiť metódy výskumu operácií. Určujú kritériá na hodnotenie činnosti v kvalitatívne rozdielnych okolnostiach, kedy efektívnosť činnosti treba posudzovať na základe kvalitatívneho porovnávania výsledkov.

Aplikácia teórie hier v špeciálnych vedách vyžaduje teda *predbežnú výskumnú prácu* v príslušnej oblasti. Má zmysel len vtedy, ak ide o opakovanie toho istého typu konfliktovej situácie počas dlhého času. Veľa takýchto prípadov nachádzame aj v oblasti spoločenských vied.

Už Wiener poukázal na to, že napr. právny spor je hrou, kde žalobca a obžalovaný sa snažia pomocou metód, obmedzených právnym poriadkom, získať na svoju stranu sudcu a porotu. Podobne pri komunikácii prednášateľ a poslucháč hrajú spolu proti rušivým silám. Pri odhaľovaní prírodných tajomstiev ide tiež o hru vedca proti prírode, avšak s tým rozdielom, že príroda sa nebráni zmenou svojej taktiky. V ekonómii, pre ktorú bola pôvodne teória hier vypracovaná, ide tiež o analýzu konfliktovej situácie a jej riešenie z objektívneho hľadiska (rentabilita investícií, otázka kvalifikácie a za

mestnanosti žien a pod.). Množina stratégií sa tu však veľmi zvyšuje, a to v dôsledku toho, že treba pripojiť aj časovú zložku.

V sociológii teórie hier umožňuje postaviť teoretický model i krajne zložitých problémov a vzťahov medzi jednotlivými sociálnymi skupinami.

Rapoport [306] v svojom rozbere matematických modelov sociálnej interakcie ukazuje, že pôvodná formulácia teórie hier neprihliadala na psychologické faktory. Musí sa tu počítať s nedokonalosťou ľudskej pamäti, občasnou „neracionálnosťou“ ľudského rozhodovania atď. Autor sa zaoberá najmä otázkou kooperácie a rozoberá štruktúry veľkých populácií i malých skupín. Kládie dôraz na skupinovú dynamiku, kde za vhodný model považuje markovovský reťazec (konštantné prechodové pravdepodobnosti pri zmene konfigurácií dominancie).

Aj pri otázkach spoločenských a skupinových záujmov, pri vytváraní kooperácie či už v oblasti názorovej alebo pri praktickej činnosti treba prejsť od empirického procesu k vedeckej teórii, ktorá by umožnila predvídanie i v tejto oblasti. Sami matematici nám tu veľmi nepomôžu, ak nebudeme analyzovať príslušnú problematiku (množina možných výsledkov, meranie úžitku) z hľadiska aplikovateľnosti matematického modelu. Konkrétnou formuláciou požiadaviek však môžeme prispieť aj k rozvoju teórie hier.

#### Poznámky k I. kapitole

<sup>1</sup> Uvádžame tu pre orientáciu niekoľko hodnôt dvojkových logaritmov:

$\log_2 1 = 0$	$\log_2 4 = 2$	$\log_2 7 = 2,80$	$\log_2 10 = 3,32$
$\log_2 2 = 1$	$\log_2 5 = 2,32$	$\log_2 8 = 3$	$\log_2 100 = 6,64$
$\log_2 3 = 1,58$	$\log_2 6 = 2,58$	$\log_2 9 = 3,16$	$\log_2 1000 = 9,96$

<sup>2</sup> Napr. ak zdroj vysiela 4 vzájomne nezávislé symboly A, B, C, D s pravdepodobnosťami 1/2, 1/4, 1/8, 1/8, zdroj môžeme opísať konečnou schémou

A	B	C	D
1/2	1/4	1/8	1/8

Entropia zdroja  $H_0 = -\sum p \log p = -(1/2 \log 1/2 + 1/4 \log 1/4 + 2/8 \log 1/8) = 7/4$ .

Prevedme dané symboly do dvojkovej abecedy (0;1) pomocou dvoch rôznych kódov.

K ó d č. 1 A — 00, B — 01, C — 10, D — 11,  
K ó d č. 2 A — 0, B — 10, C — 110, D — 111.

Dostaneme:

A	A	A	A	B	B	C	D,
00	00	00	00	01	01	10	11,
0	0	0	0	10	10	110	111.

Vypočítajme pravdepodobnosti symbolov:

$$P(A) = 4/8 = 1/2 \quad P(B) = 2/8 = 1/4 \quad P(C) = 1/8 \quad P(D) = 1/8.$$

$$\text{K ó d č. 1 } P_1(0) = 11/16 \quad P_1(1) = 5/16,$$

$$\text{K ó d č. 2 } P_2(0) = 7/14 = 1/2 \quad P_2(1) = 7/14 = 1/2.$$

Máme teda konečnú schému:

K ó d č. 1	0	1	K ó d č. 2	0	1
	11/16	5/16		1/2	1/2

Vypočítajme množstvo informácie pripadajúcej na symbol:

Pre pôvodnú abecedu  $H = 7/4$  dvoj. jed.

Pre kód č. 1  $H_1 = (11/16 \log 11/16 + 5/16 \log 5/16) = 0,875$  dvoj. jed.

Pre kód č. 2  $H_2 = -(1/2 \log 1/2 + 1/2 \log 1/2) = 1$  bit.

Je teda zrejmé, že kód č. 2 je ekonomickejší ako kód č. 1, pretože každý symbol v kóde č. 2 nesie väčšie množstvo informácie. Každý kód možno hodnotiť z hľadiska jeho hospodárnosti t. j. jeho blízkosti k optimálnemu kódu.

Množstvo informácie prevedenej zo zdroja (x) do prijímača (y) sa určuje ako rozdiel medzi entropiou zdroja a podmienenou entropiou zdroja pri známom y (t. j. stratou pri prenose

$$T(x, y) = H(x) - H_y(x).$$

3

$$h = \frac{H}{H_{max}}$$

V uvedenom príklade je relatívna entropia zprávy v pôvodnej abecede

$$\frac{7}{4} = \frac{7}{8}$$

Ak odpočítame hodnotu relatívnej entropie od jej maximálnej hodnoty (t. j. od jednej), dostaneme číslo nazvané nadbytočnosťou čiže redundanciou kódu

$$r = 1 - h = \frac{H_{max} - H}{H_{max}}$$

V našom príklade pre pôvodnú zprávu  $r_0 = 1 - \frac{7}{8} = \frac{1}{8}$ ,

$$\text{pre kód č. 1 } r_1 = 1 - 0,875 = 0,125,$$

$$\text{pre kód č. 2 } r_2 = 1 - 1 = 0.$$

Priepustnosť šumového kanála

$$C = W \log_2 \frac{P + N}{N} \text{ dvoj. jed./sek.,}$$

kde  $P$  je stredný výkon signálu,  $N$  stredný výkon šumu a  $W$  šírka pásma priepustnosti kanála

## II. informačná psychológia



## A. nový prístup

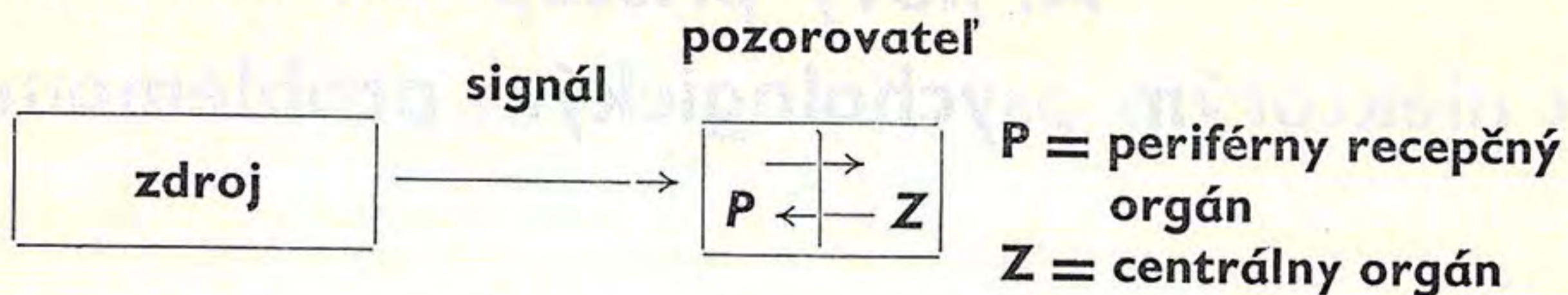
### k niektorým psychologickým problémom

Aplikáciu kybernetiky, najmä však teórie informácie v psychológii, umožňuje abstraktná úroveň prístupu k dynamickému systému v uvedených disciplínach. Avšak aj zo strany psychológie prejavuje sa snaha kvantifikovať zložitejšie formy psychickej činnosti a riešiť pomocou kybernetiky doteraz neobjasnené problémy. Ako ukazuje Klix [193], sú to najmä otázky priebehu učenia u významového materiálu (obťažnosť kvantitatívneho rozboru textu), nastavenie pri vnímaní (nepoznáme presne zákonitosti vytvárania tohto procesu), ontogenetické rečové štádiá (špecifická veková skladba fonetických, sémantických a syntaktických zložiek), konštantnosť vnímania, formy sociálnej komunikácie a pod. Prirodzene nestačí tu preklad termínov psychologických na kybernetické (ako sa to najmä spočiatku v populárnych prácach robilo), ale podstata prínosu kybernetiky pre biologické a spoločenské vedy je v novom metodickom prístupe k skúmaniu a vysvetľovaniu javov príslušnej oblasti.

Príjem a spracovanie informácie umožňuje organizmu vyrovnáť sa so svojim prostredím. Aktivita človeka sa vzťahuje na určitú stránku komunikácie s prostredím. Výpoveď o celom komunikačnom procese v systéme človek—prostredie môže podať len „vonkajší pozorovateľ“. Tento pozorovateľ formuluje svoje výpovede zväčša v „metajazyku“, kým účastník komunikácie používa na opis signálov „objektový jazyk“ (toto rozlíšenie pochádza od Cherryho a pôvodne vzniklo v inej súvislosti). Organizmus a prostredie tvoria jeden systém, ktorý sa vytvára plynule a v procese.

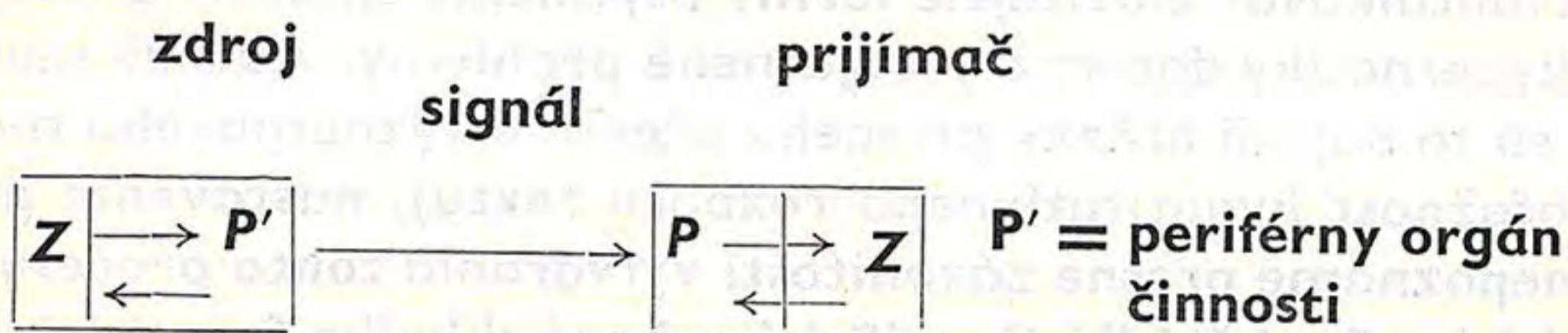
Komunikácia je v podstate sociálnou záležitosťou. Život v modernom svete je stále viac závislý od technických prostriedkov komunikácie. Najdôležitejším z komunikačných systémov je ľudská reč. Pod komunikáciou rozumieme prijatie a spracovanie fyzikálne, chemicky alebo biologicky sprostredkovaných signálov cez živé tvory. Na procese komunikácie zúčastnené živé a neživé členy vytvárajú komunikačnú reťaz. Typickými formami sú pozorovacia, diagnostická a rečová komunikačná reťaz [245].

### Pozorovacia reťaz



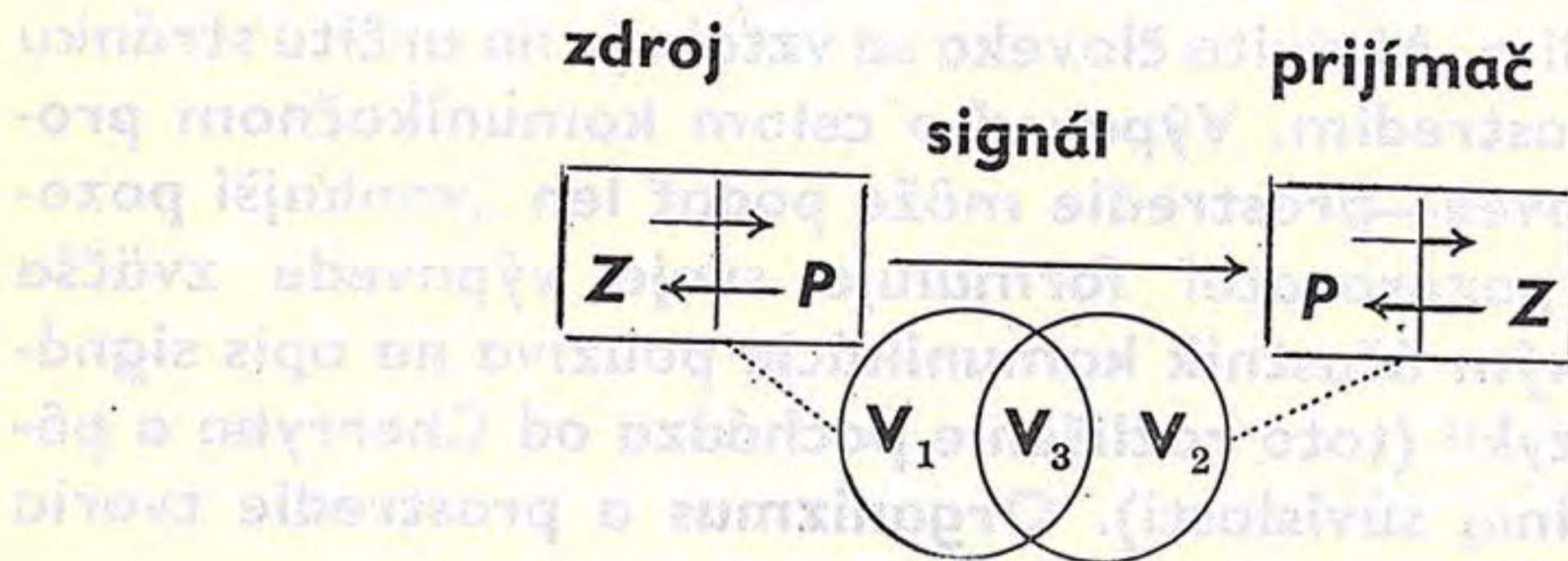
### Diagnostická komunikačná reťaz

Pozorovateľom prijatá interpretácia má charakter diagnózy. Vlastnosti signálu sa nazývajú symptómami.



### Rečová komunikačná reťaz

Je tu dvojité spojenie. Okrem fyzikálne sprostredkovaného signálu je tu tiež dohovor o funkcii znaku signálu. Aktívnej zásobe znakov v zdroji ( $V_1$ ) musí zodpovedať dostatočný počet spoločných prvkov ( $V_3$ ) v pasívnej zásobe znakov u prijímača ( $V_2$ ).



Pri komunikácii podľa Langer [214] dochádza aj k reprodukcií usporiadania udalostí z prostredia, ako aj k produktívne sa organizujúcemu štruktúrovaniu. Usporiadanie je tak súčasne charakteristikou signálnych štruktúr, ako aj procesu aktívneho spracovania informácie. Pritom podstatou každej komunikácie je, že je rušená. Šumy v ľudskom organizme sú dôsledkom napr. nesprávneho nastavenia, zlyhania receptorov alebo centrálného nervového systému, obmedzenej informačnej kapacity. Toto rušenie možno znížiť kó-

dovaním, avšak výdaje na kódovanie zprávy nemajú byť väčšie, ako je jej informačná hodnota.

Psychológov spočiatku zaujal Wienerov rozbor spätnej väzby a účelné správanie strojov a čoskoro G. A. Miller a F. C. Frick (roku 1949) poukázali na závažnosť teórie informácie pre psychológiu.

Dôležitosť kybernetického prístupu k riešeniu psychologických problémov ukázal Broadbent [67]. Pri vyjadrovaní vnútornej zložitosti nervového systému sa doteraz prejavili dva extrémny. Alebo sa zdôrazňovala komplexnosť vnútorných funkcií organizmu, čo viedlo k neoveriteľným teóriám, alebo sa udalosti v nervovom systéme overovali behavioristickými prostriedkami. Zarámovanie psychologickej teórie do pojmov toku informácie necháva na rozdiel od spomínaných prístupov otvorenú cestu pre doplnenie podrobností o určitom fyziologickom mechanizme. Ako centrálna premenná sa používal výskyt alebo schéma podnetov, neuvažovalo sa však o účinku podnetov, ktoré sa môžu vyskytnúť, ale sa nevyskytli. Teória informácie kladie dôraz na proces diskriminácie aktuálnej senzorickej udalosti od iných možných udalostí a prispieva tiež k riešeniu otázky interferencie dvoch aktivít poukazom na obmedzenú kapacitu človeka. Psychológia získala tu jednotnú mieru komplexnosti príkonov a výkonov [299].

Crossman [83] objasňuje novosť tohto prístupu na príklade podnet—signál. Pri výskume analyzátorov sa doteraz hodnotili energetické a časové parametre podnetu. Teória informácie poukázala na ďalšiu charakteristiku — množstvo informácie, ktoré prináša signál. Na rozdiel od klasického psychofyzického chápania podnetu signál zahrňuje v sebe alternatívy, musí vzniknúť určitým procesom, ktorý je z hľadiska subjektu nepravidelný a štatistické vlastnosti tohto procesu determinujú informačný obsah signálov. Sadu signálov možno kódovať do mnohých fyzikálnych foriem bez zmeny informačného obsahu. Spôsob zakódovania ovplyvňuje čas potrebný na odpovedanie. Samotný čas výskytu signálu treba považovať za signál nesúci informáciu v časovej dimenzii. Odpovede pri experimente sú dôležité potiaľ, kým majú v sebe informáciu. Chyba pri výkone znamená stratu informácie vo vypočítateľnom množstve. Pri psychologických experimentoch sa od subjektu často vyžaduje odpoveď vo forme výberu z viacerých alternatív. Púhe zaznamenanie výskytu chyby neumožňuje zistiť skutočnú neurčitosť subjektu.

Jemnejšiu mieru výkonu získame vtedy, keď ho necháme hádať, a dôjde k správnej odpovedi.

Pred aplikáciou technických pojmov v psychológii a stavaním primitívnych analógií medzi automatom a človekom varuje Lange [214]. Na druhej strane však ukazuje, že vedecky formulovať otázku porovnania stroja a organizmu umožnila až kybernetika. Dôležitejšie však je, že vznikla možnosť kvalitatívne a kvantitatívne opísať „usporiadanosť“ a prekonať fyzikálne myslenie v psychológii. Okrem toho možno v tej istej reči opísať metódy i výsledky neurofyziológie a psychológie. Na človeka sa pozeráme z hľadiska jeho komunikácie s prostredím, ktorá sa uskutočňuje vo vnímaní, reči, sociálnom styku principiálne rovnakým spôsobom, avšak na rozličných stupňoch komplexnosti.

Na rozdiel medzi inžinierskym komunikačným systémom a človekom upozornil Toda [374]. Ľudský prijímač nemá obvykle vopred dané pravidlá na dekódovanie, ale si ich musí sám vyvinúť pre každý odlišný zdroj informácie. Môže zo signálu vyťažiť viac ako jeden informačný obsah (napr. podtón v reči). Objektívnu pravdepodobnosť len odhaduje, a preto informačný obsah sa musí definovať vzhľadom na subjektívne pravdepodobnosti.

Cherry [174] zase zdôrazňuje u ľudského operátora integrovanosť vstupov, vplyv skúsenosti na prevod informácie a individuálne odlišnosti v systéme skúsenosti.

Závažný prínos k teórii správania a najmä k otázkam jeho regulácie predstavujú koncepcie Millera, Galanteru a Pribrama [250] o plánoch a štruktúre správania. Autori sa snažia zistiť súvislosť medzi kybernetickými a psychologickými koncepciami. To, čo je program pre matematický stroj, je i „plán“ pre organizmus. Plánom je každý hierarchicky vybudovaný proces v organizme, schopný kontrolovať poradie uskutočňovania sledu operácií. Organizmus môže uchovávať veľa plánov, súčasne však uskutočňuje len jeden, pričom okrem plánov pre činnosť má i plány pre zbieranie a prepracovanie informácie. S plánom úzko súvisí „obraz“, t. j. všetky nazhromaždené a organizované poznatky o sebe a svete. Za jednotku analýzy správania stanovili schému TOTE (Test — Operate — Test — Exit), kde základným prvkom je spätná väzba. Reflex považujú za jeden z možných prípadov realizácie tejto schémy. Kým v reflexnej teórii sa pod spätnou väzbou rozumie posilnenie, v tejto schéme spätná väzba uskutočňuje porovnávanie a môže mať informačnú alebo re-

gulačnú funkciu. Otázka koordinácie niekoľkých plánov v jediný tok správania je ešte málo preskúmaná.

Frank zaviedol pojem informačnej psychológie na označenie myšlienkového modelu vedomého procesu prepracovania informácie. V svojej knihe [128, 14] informačnú psychológiu definuje ako „kódovaco-teoretické skúmanie procesu podnet—odpoveď a invariantno-teoretický—zapojenie neurónov odrážajúci—opis geštaltpsychologických javov“. Táto používa modely technickej komunikácie, ktoré reprodukujú experimentálnopsychologicky zistené účinky a uľahčujú postavenie nových hypotéz. Úroveň exaktnosti, aká je napr. v teoretickej fyzike, dá sa dosiahnuť tým, že terminológia sa vzťahuje na modely a nie na človeka. Netreba však zabúdať, že pojmový model je len priblížením sa k skutočnosti. Rozdiel medzi psychologickými školami je aj v použití rôznych pojmových modelov. Najmladšie odvetvie kybernetiky — informačná psychológia podľa Franka nachádza použitie najmä v estetike a pedagogike a tvorí tak most, cez ktorý prírodovedné metódy zasahujú oblasť spoločenských vied. Najnovšie autor [129] pod informačnou (kybernetickou) psychológiou rozumie využitie pojmov a modelov kybernetiky a najmä teórie informácie pri vysvetľovaní a čiastočne tiež pri kvantitatívnom znázornení psychologických skutočností.

Prehľad o súčasných výskumoch a spolupráci kybernetiky a psychológie možno získať z materiálov sympózia v Berlíne roku 1964 [365a]. Z uvedeného je zrejmé, že kybernetika a najmä teória informácie vnáša do psychologického bádania nový pojmový aparát, metodický prístup, ako aj zameranie výskumu, takže je oprávnené oddiferencovať tento nový smer od doterajších teoretických koncepcií. Podľa nášho názoru nejde o nejakú novú vednú disciplínu, ba ani o náhradu celej doterajšej psychológie. Aplikácia teórie informácie v psychológii neumožňuje riešenie všetkých psychologických problémov, a preto predstavuje len jeden — ukazuje sa, že najvýznamnejší — zo súčasných psychologických smerov (škôl), resp. teoretických prístupov. Doteraz sa nevyhranil vzťah tohto teoretickometodologickeho prístupu k ostatným psychologickým smerom. Využíva sa v behavioristickej i marxistickej psychológii a jeho výsledky, najmä čo sa týka vnímania, sú blízke tvarovej psychológii.

Pokiaľ ide o názov tohto smeru, z hľadiska doteraz dosiahnutých výsledkov je vhodnejšie vzťahovať ho k teórii informácie a nie ku kybernetike. Či sa bude nazývať informačnou psychológiou (podľa

ČESKO-SLOVENSKÁ AKADEMIE VED

75 pedagogický ústav J. A. Komenského  
oddelení vývojovej psychológie

Brno, Běhounská 4/6

vzoru neurokybernetiky, ekonomickej kybernetiky atď.) alebo nejak inak, nepridá ani neuberie to na jeho význam a vedeckom prínose.

V ďalších kapitolách si rozoberieme najprv niektoré otázky neurokybernetiky a subjektívnej pravdepodobnosti, ktoré sa dotýkajú viacerých psychických procesov. Potom si rozoberieme vnímanie, pamäť a učenie, myslenie a reč a konečne rozhodovanie. Zaradíme sem aj rozbor perceptrónov a heuristického programovania, ktoré sú síce vecou technickej kybernetiky, resp. teórie programovania, avšak usudzujeme, že pre porovnanie s inými aplikáciami resp. aj pre modelovanie psychických procesov je vhodné zaradiť ich do príslušných kapitol informačnej psychológie.

## B. fyziologické základy — neurokybernetika

Vedecké vysvetľovanie psychických javov a procesov bez prihliadania na ich materiálny substrát — nervové procesy — nie je možné. Tým viac otázka spolupráce psychológie s neurofyziológiou vystupuje do popredia pri kybernetickom prístupe k psychológii. V rámci tejto práce nemôžeme vysvetľovať princípy činnosti nervovej sústavy, ani pavlovovskú koncepciu podmienenoreflexnej činnosti mozgu. O týchto otázkach jestvuje i u nás dosť odborných publikácií. Obmedzíme sa len na stručný rozbor nových poznatkov, ktoré vznikli pod vplyvom kybernetiky, resp. ktoré sú prínosom pre kybernetiku a ktoré sú nevyhnutne potrebné pre pochopenie ďalšieho nášho rozboru jednotlivých psychických procesov.

Poznatky neurofyziológie poslúžili už Wienerovi pri formulovaní teoretických princípov kybernetiky. Dnes sa fyziológia nervového systému zameriava najmä na výskum mozgu — integrovanej sústavy funkčných elementov. Spojením neurologického a kybernetického prístupu vznikla *neurokybernetika*. Podľa Brajnesa [62] je jedným z odvetví kybernetiky a skúma procesy riadenia a prepracovania informácie, ktoré uskutočňuje nervová sústava v živých organizmoch. Získavajú sa takto údaje potrebné pre konštrukciu kybernetických strojov a umožňuje sa riešenie zložitých a ťažkých neurofyziologických problémov. Neurokybernetika úzko spolupracuje

s teoretickou a technickou kybernetikou, fyziológiou, biofyzikou a psychológiou. Na rozdiel od neurofyziológie zameriava sa viac na vzájomnú činnosť dvoch sústav: mozog a vonkajšie prostredie — a to z hľadiska prenosu a prepracovania informácie vo vyššom dynamickom systéme, zahrňujúcom obe uvedené zložky.

Okrem neurokybernetiky objavila sa v posledných rokoch i ďalšia vedecká disciplína, ktorá sa s ňou do určitej miery prelína. Ide o *bioniku*. Podľa Weissa [392] sa zrodila zo spojenia neurofyziológie a kybernetiky. Vytvára technické systémy, ktoré využívajú biologické riadenie (informácia tu prichádza z organizmu — napr. protézy) a biologickú stimuláciu (informácia prichádza zvonka — napr. náhrada pľúc a srdca v priebehu operácie). Podobne Gaaze a Rapoport [133] označujú za jej cieľ využívanie biologických procesov a metód pri riešení technických problémov. V rámci bioniky vyčleňuje tieto relatívne samostatné problémové okruhy: modelovanie správania živých organizmov, výskum neurónových sietí a konštrukciu rozlišovacích systémov. Technikov zaujíma najmä rýchla prispôsobivosť organizmov, menenie algoritmu riadenia v súlade so zmenami vonkajších podmienok. Podľa nášho názoru bionika má viac charakter *aplikačný*, a to len v jednom smere, kým neurokybernetika pomáha budovať teoretické koncepcie tak neurofyziológie, ako aj kybernetiky a aplikácia poznatkov je obojstranná.

## 1. neurón a neurónové siete

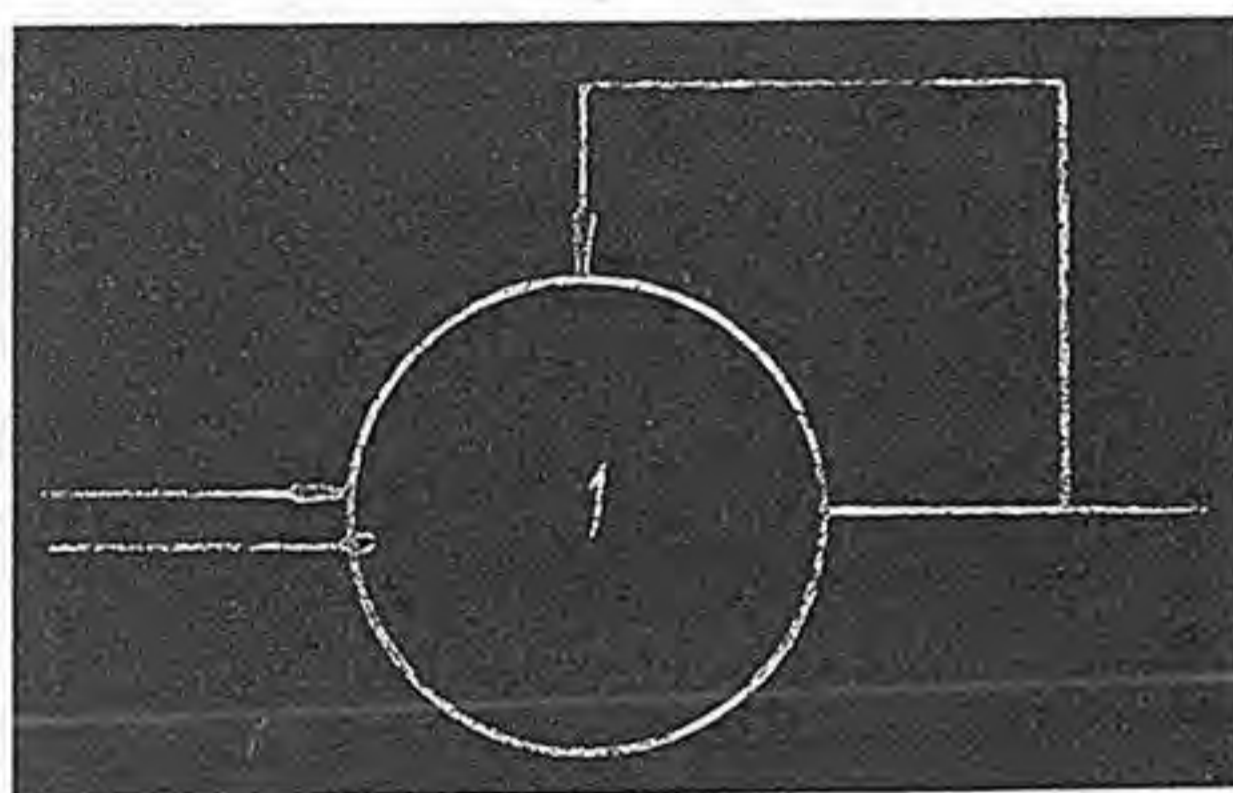
Wiener [395] sa tiež pridržal klasického názoru, že neuróny v bežných podmienkach fyziologickej činnosti sa správajú podľa princípu „všetko alebo nič“. Stav vstupujúcich impulzov v rozličných synapsiách, kombinovaný s predchádzajúcim stavom samého výstupného neurónu určuje, či neurón bude podráždený alebo nie. Zakladateľ kybernetiky si uvedomoval, že toto je zjednodušené chápanie, ale až novšie výskumy ukázali, že situácia je tu značne zložitejšia. Von Neumann [267] zdôraznil, že neurón má množstvo synaptických spojov, ktoré účinkujú podľa *priestorového kritéria*. Okrem súčasnej stimulácie treba prihliadať aj na *sumačný čas*. Najmä v receptoroch nie je len intenzitné prahové kritérium. Nestačí len určitý počet aktívnych dráždivých zakončení, ale nesmie pôsobiť ani jedno útlmové zakončenie. Hodnota prahu závisí od počtu útlmových vstu-

pov. Každému vstupu je priradená podľa Haškovca [164] istá hodnota, tzv. váha, ktorá vyjadruje násobok základného kvanta vzruchového alebo útlmového účinku, ktorým tento vstup na neurón pôsobí. Frank [128] ukazuje, že pri zmyslovej bunke možno hovoriť len o *kvázi binárnom kóde*. Nositeľom informácie je frekvencia impulzov, resp. čas medzi dvoma po sebe nasledujúcimi impulzmi (frekvencná modulácia). Vzdialenosť dvoch impulzov sa môže kontinuálne meniť. Prvky živých regulačných sústav na rozdiel od technických nemajú lineárnu charakteristiku. Podľa Bureša [392] čím silnejší je podnet, tým väčší počet vzručov za jednotku času sa objaví v nervovom vlákne (logaritmická závislosť). Nervový systém nie je čistě číslicového typu. Nosný signál má síce binárnu charakteristiku, avšak intenzita podnetu je zakódovaná *analógove* (plynulá zmena). So zvyšovaním intenzity sa v dôsledku súčasného pôsobenia podnetu na viac receptorov zvyšuje aj celkový počet aktivovaných vlákien. Rapoport [303] zisťoval informačnú kapacitu modelu neurónu s fixnou refraktérnou periódou, a to pri rozličnom spôsobe kódovania. Maximálny prevod 4000 dvoj. jed. za sekundu sa potvrdil i laboratórne na skutočnom nervovom vlákne.

Spojenie viacerých neurónov pomocou synapsií je *disjunktívne, konjunktívne a negačné*, čo zodpovedá výrokovým funkciám v logike. Z toho vychádza teória nervových sietí pri syntéze automatov z tzv. formálnych neurónov. Pod *nervovou sieťou* sa rozumie súhrn konečného počtu neurónov, pričom každé zakončenie neurónu sa dotýka len jedného neurónu. Neuróny, ku ktorým sa nepripájajú žiadne zakončenia, sú receptory. Spoľahlivá práca nervového systému je zabezpečená nadbytočnosťou neurónov. Táto sa uskutočňuje pomocou paralelného prenosu po viacerých dráhach a tiež tá istá zpráva sa opakuje v tom istom kanáli. Paralelné zapojenie viacerých prvkov je známe tiež v kybernetike, kde von Neumann ukázal, že z veľkého počtu relatívne *nespoľahlivých prvkov* možno zostrojiť veľmi spoľahlivo pracujúci systém, pravda, za podmienky, že rozloženie porúch má náhodný charakter. Opakovanie zprávy je umožnené trvalým obehom nervových vzručov v *uzavretých obvodoch* neurónov. Na tomto princípe možno vysvetliť i krátkodobú pamäť (obvod sa preruší zásahom zvonka, pozri obr. 3). Niektoré pamäťové javy súvisia zrejme so zmenou potenciálu nervovej bunky (zmena prahu čiže priepustnosti synapsie pre zprávy). Pri prenose informácie do mozgovej kôry sa postupne zapája nie-

koľko neurónov (podľa niektorých autorov u sluchu 3—5, u zraku 4, u hmatu 3 neuróny). Skreslenie informácie sa znižuje tým, že synapsa predstavuje spúšťový mechanizmus, t. j. neodovzdáva sa pôvodná zpráva, ale sa vytvára nová zpráva podľa určitého pravidla. Okrem toho sa paralelné zprávy vzájomne ovplyvňujú a dochádza k určitej syntéze a zjednodušeniu (najvýraznejšia redukcia je v oku). Bureš [392] uvádza tieto princípy vytvárania informácie vyššieho stupňa:

prednostná registrácia zmeny (väčšina reakcií je deriváciou priebehu podnetu v čase), prednostná registrácia rozhrania (napr. medzi bielou a čiernou plochou), prednostné zobrazenie pohybu (oko si pomáha drobnými pohybmi). Okrem neurónov, ktoré slúžia bodovej projekcii do mozgu, existujú aj syntetizujúce neuróny (priestorové rozloženie podnetov), extrapoláčne a koincidenčné neuróny (Sokolov nimi vysvetľuje vznik orientačnej reakcie). Uvedené vlastnosti receptorov, neurónov a synapsí umožňujú takto výstavbu *optimálnych kódov* v nervovom systéme. Treba brať do úvahy, že u človeka sa pri činnosti striedajú číslicové a analógové časti (nervový impulz — stiahnutie svalu).



O b r. 3. Prvok so slučkou. Kladný vstup je označený šípkou. Útlmový vstup (s krúžkom) umožňuje v prípade potreby ukončiť stav podráždenia. Číslo udáva veľkosť prahu (podľa 144; 164).

## 2. spätná väzba a podmienené reflexy

Mozog si vytvára nové programy svojej činnosti na základe získanej užitočnej informácie. Pri jej výbere účinkuje princíp posilnenia nepodmieneným podnetom (pri vytváraní podmieneného reflexu), ktorý stanovil I. P. Pavlov. Zákonitosti činnosti mozgu zistené Pavlovom však neumožňujú vysvetľovanie zložitých foriem správania. Reflexné procesy majú zložitú štruktúru vzájomne nadradených funkčných okruhov.

Dnes je už neudržateľná predstava fyziológov „klasického“ obdobia o otvorenej reflexnej dráhe a skúma sa *cyklická inervačná štruktúra*, včítane spätnej väzby od efektora a objektu činnosti cez receptory

do nervových centier. Spätná informácia umožňuje vytvárať mo-  
gový obraz o výsledku činnosti. Tento obraz zabezpečuje aktivitu  
organizmu pri organizovaní odpovede na prostredie.

S otázkou aparátu na porovnanie spätnej informácie uchovanej  
v mozgu, ktorá odráža predošlú skúsenosť, úzko súvisia výskumy  
„ustanovky“ (N. D. Uznadze a F. V. Bassin), akceptora činnosti  
(P. K. Anochin), fyziologickej štruktúry správania (I. S. Beritov),  
organizácie funkcií v mozgu (K. Pribram), nervového modelu po-  
netu (E. N. Sokolov) a fyziológie aktivity (N. A. Bernštejn).  
Všetky tieto koncepcie predpokladajú existenciu *aparátu predvídania*  
v mozgu. Tento aparát sa vytvára na základe predošlej skúsenosti  
a robí aj extrapolácie zákonitostí zistených pri niektorej skupine ja-  
vov na inú, príbuznú skupinu javov. Charakteristickou osobitosťou  
aparátu predvídania je jeho *pravdepodobnostný* charakter. Je to pr-  
rodzené, pretože i vonkajší svet — ktorý tento aparát odráža — má  
pravdepodobnostnú zákonitosť. Bez pravdepodobnostného predv-  
dania by konečný výsledok činnosti závisel od náhodných, nepredv-  
daných činiteľov.

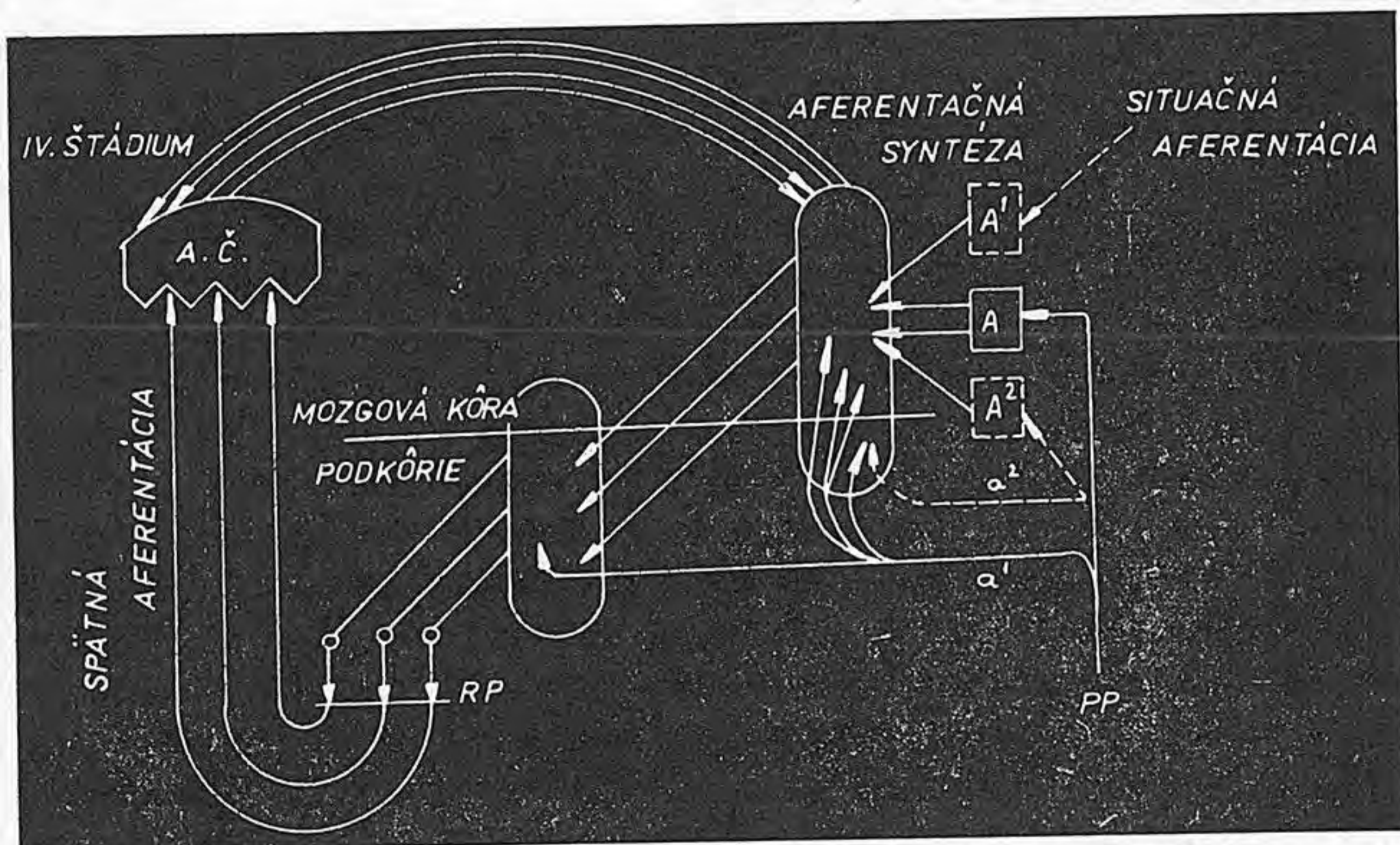
Ako ukazuje Bernštejn [40], dôležité otázky, ktoré rieši súčasne  
fyziológia, tesne súvisia s teoretickými otázkami kybernetiky. Po-  
znávací proces považuje za aktívne modelovanie. Na základe vní-  
mania terajšej situácie dochádza k pravdepodobnostnému predpo-  
vedaniu a súčasne sa uskutočňuje programovanie činnosti, ktorá má  
viesť k realizácii potrebného cieľa.

Významné koncepčné prínosy kybernetiky pre skúmanie štruktúr  
reflexnej činnosti objasňuje Graščenko [157].

Pre pochopenie mechanizmov regulácie v neurofyziológii majú zá-  
kladný význam najmä Anochinove zistenia.

Anochin [12] uprednostňuje svoj termín spätnej aferentácie (ktorú  
dokázal už roku 1935) pred spätnou väzbou. *Spätná aferentácia* u ži-  
vých tvorov je vyvolaná nevyhnutnosťou biologickej užitočnosti  
každého prispôbovacieho aktu (bez oceňovania užitočnosti by sa  
prispôbovanie zmenilo v chaos). Anochin to považuje za jeden  
z hlavných zákonov života a posilnenie podmieneného reflexu ne-  
podmieneným považuje za zvláštny prípad univerzálneho pravidla  
o spätnej aferentácii. Pri modelovaní podmieneného reflexu nemož-  
no zostávať len pri vonkajšej podobnosti, ale treba brať do úvahy  
najnovšie poznatky neurofyziológie. Pôvodná Pavlova reflexná  
teória nebrala do úvahy možnosť neustálej spätnej aferentácie

Autor preto rozvádza svoju dynamickú schému mechanizmu podmieneného reflexu, ktorého posledné štádium uvádzame na obr. 4. V kybernetike vznikajú ťažkosti najmä pri modelovaní organického spojenia spúšťacej a situačnej aferentácie. *Situačná aferentácia* predstavuje súbor podnetov z experimentu i zo skúsenosti, ktoré vytvárajú určitý dominantný stav a táto aferentácia pripravuje príslušnú činnosť. Pri spätnej aferentácii v motorickej oblasti rozlišujeme aferentáciu, ktorá riadi pohyb a aferentáciu o výsledku činnosti.



Obr. 4. Štvrté štádium vzniku podmieneného reflexu — vznik spätných aferentných vzruchov.  $A_1, A_2$  — situačné podnety rôznych analyzátorov,  $a_1, a_2$  — kolaterálne pôsobenie spúšťacích podnetov na retikulárnu formáciu, PP — podmienený podnet, RP — formovanie reagujúceho pôsobenia, vznikajúceho neskôr ako akceptor činnosti AČ — akceptor činnosti (podľa 122; 236).

Okrem toho modelovanie podmienených reflexov musí brať do úvahy proces aferentnej syntézy (syntéza všetkých podnetov, určujúca druh odpovede) a utvorenie akceptora činnosti (vzniká pri dovršovaní aferentnej syntézy a porovnáva jej výsledky s uskutočnenou činnosťou). Akceptor činnosti je neustálym riadiacim činiteľom, ktorý dáva do súladu vykonanú činnosť s pôvodným úmyslom (súvisí s anticipáciou a cieľovou predstavou).

V reflexnom oblúku záporná spätná väzba sa dosahuje pomocou tzv. vmedzereného neurónu, ktorý má útlmový účinok. Kladná spätná väzba účinkuje už v spomínaných uzavretých obvodoch, kde

cyklický proces po každom prechode vyvolá opäť sám seba. Dokazované boli spätnoväzebné okruhy pomocou dvoch neurónov a tento mechanizmus sa predpokladá i u jediného neurónu. Tiež vzájomný vzťah kôry a retikulárnej formácie sa vysvetľuje spätnými väzbami s kladným i záporným účinkom (retikulárna formácia aktivuje alebo tlmí kôru, avšak sama je ňou podnecovaná alebo tlmená). Spätnoväzebný charakter majú aj homeostatické pochody. Tieto zaisťujú stálosť vnútorného prostredia, udržanie vlastného systému v maximálne rozmanitých podmienkach.

### 3. modelovanie

Najmä v biologických vedách je skúmanie niektorých vlastností daného systému ťažké, možno ho však nahradiť skúmaním príslušných vlastností v izomorfnom systéme (i keď to nezaručuje získanie absolútne spoľahlivých výsledkov). Tento izomorfný systém predstavuje model skúmaného systému. Rozoznávame rôzne druhy modelov (matematický, symbolický, fyzikálny, biologický, logický atď.). Každý model však reprodukuje len niektoré stránky originálu. Metodologická stránka modelovania (napr. výber rozhodujúcich parametrov) nie je ešte dostatočne rozpracovaná. Na základe zisťovania rozdielov medzi modelom a reálnym objektom treba model neustále spresňovať.

I v neurofyziológii pri modelovaní treba prihliadať na doteraz zistené poznatky. Pri modelovaní na základe princípu „čiernej skrinky“ sa chcela pomocou merania prenosovej funkcie (medzi vstupom a výstupom, ktoré jediné sú prístupné pozorovaniu) zisťovať vnútorná štruktúra a vlastnosti jej prvkov. Základom tu bol predpoklad, že každej prenosovej funkcii zodpovedá jediný vnútorný mechanizmus, ktorý ju realizuje. Toto však v zložitých organizmoch nemusí platiť. Napriek tomu „čierna skrinka“ je užitočná v tom zmysle, že ak model nefunguje, potvrdila sa nesprávnosť príslušnej hypotézy o vnútornej štruktúre systému. Celkove modelovanie umožňuje širokú škálu experimentovania a vytváranie nových pojmov a kvantitatívnych charakteristík. Okrem toho modely sú veľmi užitočné pri výstavbe vedeckej teórie.

V rámci neurofyziológie vzniklo doteraz mnoho teórií a modelov nervového systému. Známa je najmä klasická teória podmienených

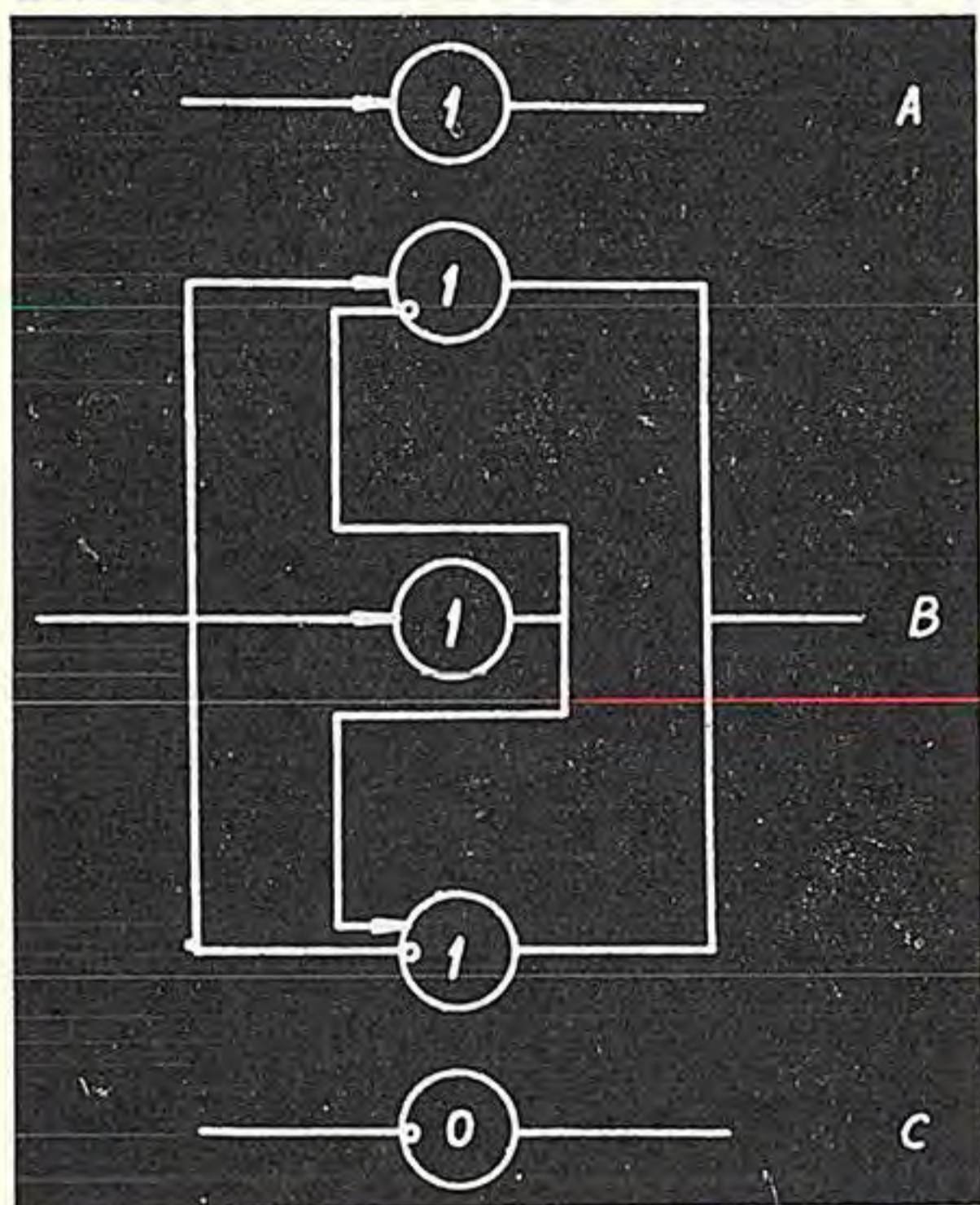
reflexov I. P. Pavlova, ktorá však v svojej pôvodnej forme už nepostačuje na vytvorenie teórie správania, resp. jeho kybernetický model. Z ďalších bádateľov treba uviesť Konorského (snažil sa spojiť Pavlova so Sherringtonom), Ecclesa (vytvoril model neurónovej siete, ukazujúci vzájomnú činnosť podmieneného a nepodmieneného podnetu), Lashleyho, Hebba (zmeny v modeli nervového systému v dôsledku učenia), Pribrama (zatvorený reflexný oblúk) a iných. Zložité psychické funkcie, ako aj príslušné neurofyziologické mechanizmy sú však doteraz málo preskúmané, čo je značnou prekážkou rozvoja kybernetiky. Preto je pochopiteľné, že technické (ale i matematické) modelovanie sa sústreďuje na základné funkčné jednotky. Model neurónu s fixným prahom zostavili Mc Culloch a Pitts, tiež von Neumann. Neurón sa podráždi vtedy, ak súčet dráždiacich zakončení sa rovná alebo je vyšší ako prah neurónu a ani jedno tlmiace zakončenie nie je aktívne.

Von Neumann v svojom modeli zahrnul i vplyv útlmových synapsí (postsynaptický vzruch vzniká vtedy, ak počet dráždiacich vstupov sa rovná alebo je väčší ako počet útlmových vstupov). Zovšeobecnením doterajších modelov (Kleeneho lineárny a nelineárny váhový model) vytvoril Gecsei [139a] dynamický váhový model, kde ku vzruchu na výstupe dochádza vtedy, ak suma súčinov vstupných stavov a ich váh sa rovná alebo je väčšia ako prah. Najnovšie Nádvorník [259] podal prehľad o štruktúre, zložení a funkcii neurónu. Vyzdvihol najmä Vvedenského teóriu. Vychádzajúc z tejto teórie Macků a Nádvorník [235] zhotovili elektronický model neurónu, ktorého tranzistorové prevedenie umožňuje konštruovať neurónovú sieť.

Lee [149] vyvinul neurotrón-učiaci sa prvok pre stavbu automatov. Má dva vstupy, jeden výstup a môže vytvárať 16 logických funkcií. V neurotróne dochádza k adaptívnym analógovým procesom. Náhodné hľadanie vo funkčnom priestore je riadené signálmi odmeny (resp. trestu) a tak dochádza k procesu učenia, ktorý prebieha v malých krokoch.

Pojem *neurónovej siete* zaviedli Mc Culloch a Pitts. Spojenia prvkov môžu byť vzruchové alebo útlmové (na schémach šípka alebo krúžok). Prvky rozlišujeme vstupné (ich vstup nie je spojený s inými prvkami), výstupné (výstup nie je spojený s inými bunkami) a vnútorné (všetky vstupy a výstupy sú spojené s inými prvkami). Každý prvok môže mať ľubovoľný počet vstupov, avšak len jeden výstup. Výstupy niektorých prvkov môžu byť vstupmi tých istých

prvkov (sú dôležité pri zapamätaní). Na výstupe prvku sa objaví impulz, ak počet vzruchových vstupov prevyšuje počet útlmových vstupov aspoň o prahovú hodnotu bunky. Pri procesoch v schéme čas má len diskkrétne hodnoty. Logické (neurónové) siete možno zobraziť ako elektrické schémy alebo pomocou logických



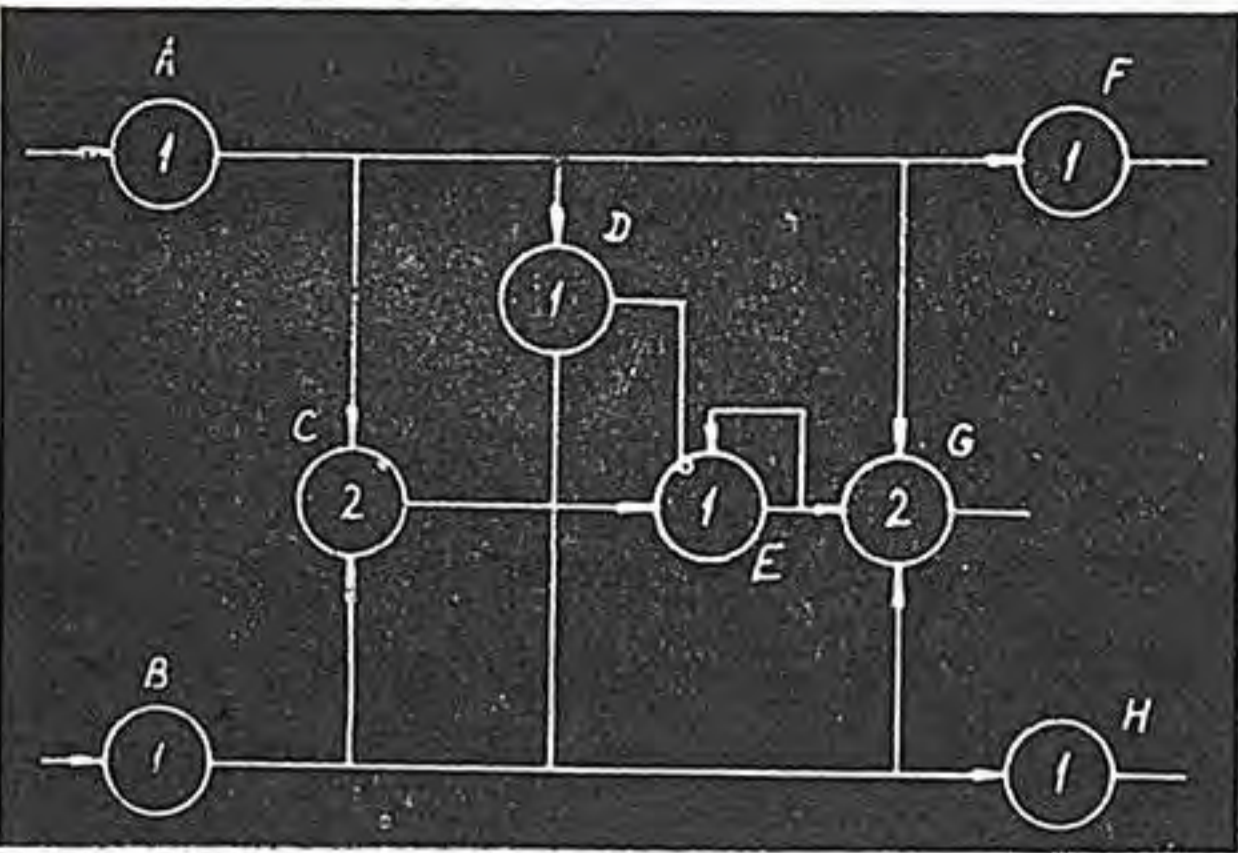
Obr. 5. Prvky siete Georgeho modelu vnímania. A — prvky reagujúce len na prítomnosť podnetu (on — prvky), B — prvky reagujúce len na zmenu podnetu (zapojenie alebo vypojenie: on — off prvky), C — prvky reagujúce len v neprítomnosti podnetu (off — prvky) (podľa [144; 65]).

ré modelujú podmienené reflexy, podal Uttley [380]. Princípy týchto strojov sa zakladajú na dvoch matematických vzťahoch, sú to: implikácia (z teórie množín) a podmienená pravdepodobnosť. Na základe prvého vzťahu sa zisťuje zhoda medzi skupinami vstupných údajov (klasifikačný stroj). Nepodmienený reflex možno opísať ako činnosť tohto stroja (napr. vôňa potravy, jej vzhľad a pod. tvorí nepodmienený podnet). Okrem zhody môže byť medzi údajmi aj druhý vzťah a to relatívna frekvencia ich súčasného výskytu (meria sa pomocou podmienenej pravdepodobnosti). Realizácia tohto princípu v stroji predpokladá, aby každý prvok stroja mal premenlivý stav (t. j. nepodmienený podnet) a prvky musia byť po

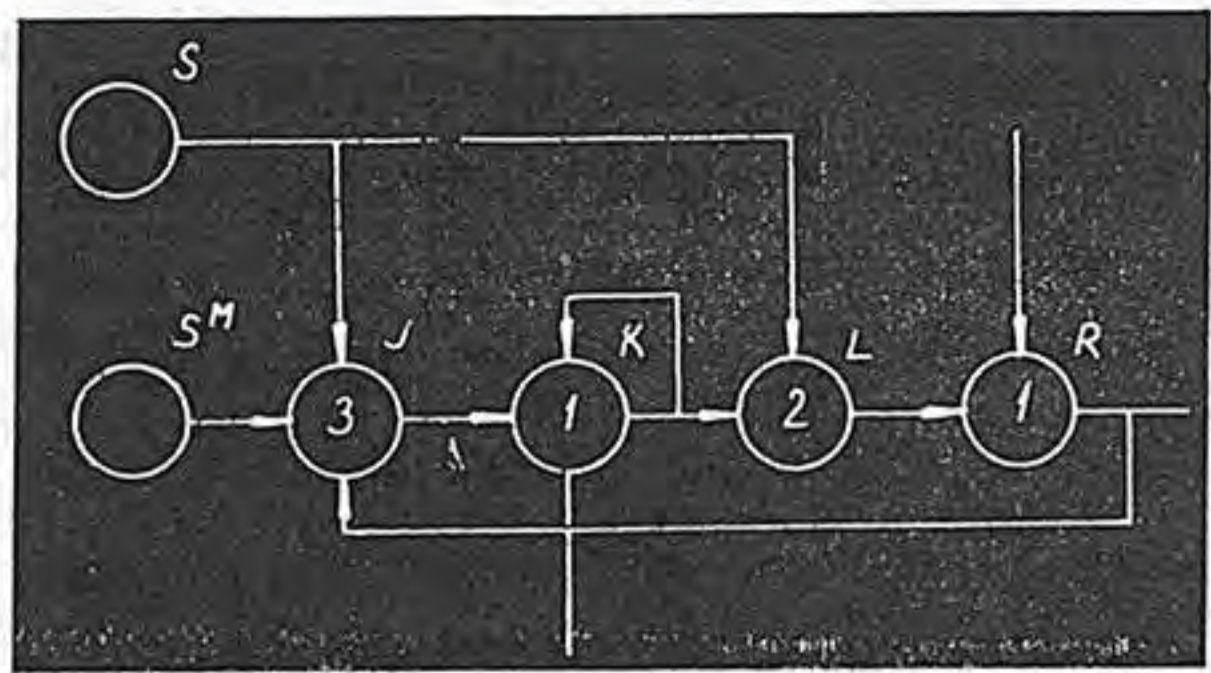
vzorcov. Tieto siete možno využívať napr. pri modelovaní siete. Typy prvkov siete vidieť na obr. 5.

Teória nervovej siete je podobná geometrii, ktorá pracuje s abstrakciami, jej závery sa všade využívajú v praxi. Jej poznatky sa uplatnili v teórii logických obvodov, kde sa kombinačné a sekvenčné funkcie využívajú pri automatizácii riadenia. Správnosť automatizácie, ktorý chceme syntetizovať za základných prvkov (neurónov), treba najprv opísať pomocou matematickej logiky (zápor, konjunkcia, disjunkcia). Umelý neurón stačí potom na realizáciu tejto logickej schémy. Príklad logickej siete je na obr. 6.

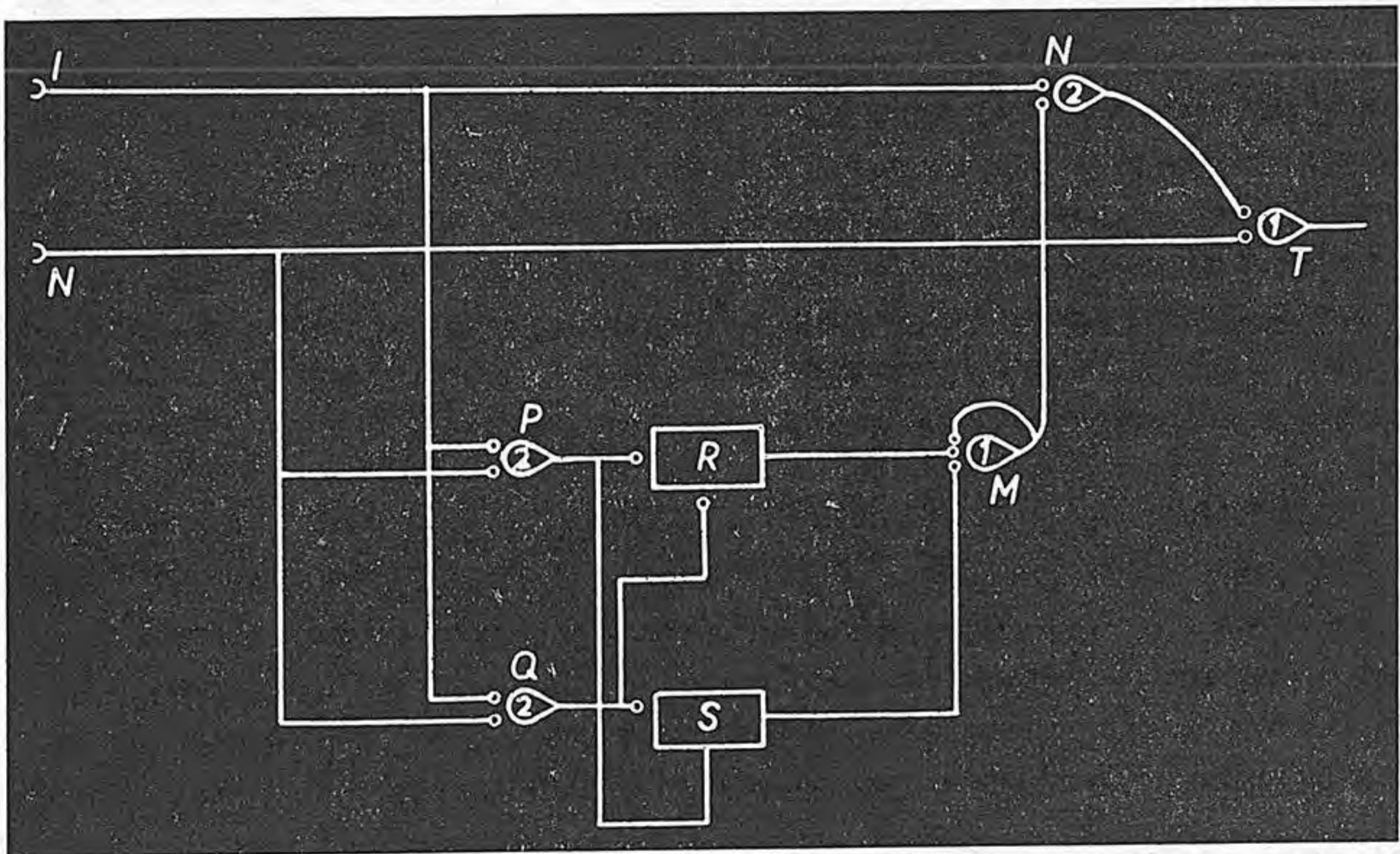
Teoretický rozbor strojov s podmienenou pravdepodobnosťou, ktorými



O b r. 6. Logická sieť. Ak A a B sú súčasne podráždené, toto sa „zapamätá“ pomocou prvku E so slučkou. Ak sa potom podráždi len A, vznikne impulz na výstupe G (podľa 144; 165).



O b r. 8. Sieť ilustrujúca najjednoduchší typ posilnenia, S — vstupný prvok,  $S^M$  — motivačný podnet, R — výstupný prvok. Pri súčasnom podráždení S a R a vplyve vonkajšieho prostredia cez  $S^M$  podráždi sa J a slučka spätnej väzby bude aktívna až do zapojenia útlmových vstupov (podľa 144; 195).



O b r. 7. Štruktúra nervovej siete, modelujúcej podmienený reflex — navrhol J. Neumann. I — vstup od podmieneného podnetu, N — vstup od nepodmieneného podnetu, a — výstup, P, N, — neuróny s prahom  $h = 2$ , Q, M, T, — neuróny s prahom  $h = 1$ , R, S — kondenzátor vzruchov (podľa 63; 33).

spájané. Premennivý stav uchováva nepodmienenú pravdepodobnosť príslušnej skupiny vlastností. Podmienená pravdepodobnosť je daná pomerom dvoch nepodmienených pravdepodobností, avšak z dôvodu ľahšej technickej realizácie sa nepodmienené pravdepodobnosti vyjadrujú v logaritmickú stupnici. Spojenia medzi prvkami stroja

umožňujú vypočítavať rozdiel medzi ich stavmi, t. j. logaritmy podmienených pravdepodobností. Aktivita jedného vstupu mení aktivitu všetkých ostatných vstupov. Ak predpokladáme, že nervový systém účinkuje podľa týchto princípov, objasňuje nám to vplyv podmieneného podnetu na zvyšovanie pravdepodobnosti nepodmieneného podnetu a teda nepodmienennej reakcie. Na základe spojenia prvku — ktorý uchováva túto pravdepodobnosť — s efektorom prostredníctvom prahu, dochádza k reakcii. Výpočet podmienenej pravdepodobnosti možno technicky realizovať napr. pomocou hydraulického zariadenia [383].

Modely s vopred daným programom napodobňujú nepodmienené reflexy, pretože majú determinovaný program, ktorý sa nemení v dôsledku skúsenosti. Pri modelovaní *podmieneného reflexu* treba vychádzať z algoritmu vyššieho stupňa, ktorý mení algoritmus práca riadiacej sústavy. Štruktúru nervovej siete, ktorá modeluje podmienený reflex, navrhol von Neumann (obr. 7). Schéma posilnenia podľa Georga je na obr. 8. Automat, ktorý modeluje vypracovanie podmienených reflexov, bol vystavený v Moskve roku 1959.

Skúmanie zákonitostí prepracovania informácie v mozgu sa uskuotočňuje jednak pomocou štruktúry nervovej siete a jednak pomocou rozboru na primitívne informačné procesy. Keďže však tieto posledné otázky patria do tzv. heuristického programovania, budeme s nimi zaoberať v kapitole o myslení.

\* \* \*

Záverom treba zdôrazniť, že je to práve kybernetické modelovanie ktoré umožňuje rozvoj neurofyziológie, resp. kladie jej otázky v danom smere. Kybernetici však v svojich koncepciách často vychádzajú zo *zjednodušených* predstáv o funkcii nielen nervovej činnosti, ale a neurónu. Rešpektovanie zistených poznatkov je tu predpokladom plodnej spolupráce. Psychológia vzhľadom na zložitost' predmetu svojho skúmania potrebuje od neurokybernetiky nepomerne viac a komplexnejšie poznatky, ako jej táto dnes môže poskytnúť.

# C. aplikácia na psychické procesy

## 1. základné pojmy

Ako je vo fyzike merateľnou veličinou energia, v komunikačnej teórii je to *informácia*, pomocou ktorej možno hodnotiť odovzdané zprávy, nezávisle od ich formy. Informačná hodnota udalosti závisí od očakávania (pravdepodobnosti). V dôsledku vzájomnej súvislosti a podmienenosti javov vytvárajú sa u nás „vzorky očakávania“. Pri rovnakej pravdepodobnosti udalostí naša neurčitosť je tým väčšia, s čím viacerými možnosťami počítame. Avšak čím je väčšia neurčitosť, tým väčšia je informačná hodnota signálu, ktorý túto neurčitosť odstraňuje. Signál, ktorý je málo pravdepodobný, môže mať i nízku informačnú hodnotu, ak naše očakávanie bolo tak silne zamerané na inú udalosť, že sme tento signál nespozorovali, vynechali a pod. Ak sa signál líši od vzorky očakávania a súčasne ju modifikuje v dôsledku porovnávania so skutočnou štruktúrou udalosti, prináša mnoho informácie. Zisk informácie teda znamená korekciu v subjektívnej pravdepodobnosti vyjadreného „poriadku“.

Langer [214] rozlišuje pri informácii *hodnotu, obsah a štruktúru*. Pri ekonomickom hľadisku sa porovnáva zisk informácie s príslušnými „výdavkami“ (námaha alebo čas potrebný napr. na identifikáciu alebo diskrimináciu). Ukazuje sa, že človek obvykle používa stratégiu minimalizácie „výdavkov“ pri maximalizácii „ziskov“. Odchýlky od optimálneho rozhodovania sú spôsobené tým, že nepoznáme presne pravdepodobnosť očakávanej udalosti. Okrem toho treba brať do úvahy aj riziko a subjektívnu užitočnosť jednotlivých udalostí. V tomto smere dochádza k spolupráci teórie informácie s teóriou hier a rozhodovania.

*Obsahová stránka* informácie sa zachytáva štatisticky. Napr. ak sa zvyšuje počet možných udalostí, treba urobiť viac krokov pri identifikácii jednej z nich. Pri otázkach typu áno—nie môžeme patričnú udalosť vyjadriť pomocou binárneho kódovania. Pri rovnako pravdepodobných udalostiach sa priemerné „výdavky“ potom rovnajú dvojkovému logaritmu počtu udalostí. Pri vysoko pravdepodobných udalostiach sú „výdavky“ menšie a pri málo pravdepodobných väčšie. Počet binárnych krokov, potrebných na identifikáciu znaku, nazýva Frank [128, 24] „subjektívnou efektívnou informáciou“. Subjektívna

efektívna informácia pri použití optimálneho kódu sa nazýva objektívnou efektívnou informáciou. Optimálny kód pre nemecký a francúzsky jazyk opísal D. A. Huffman. Znak, ktorý má v tomto kóde subjektívnu informáciu  $I_i$  dvoj. jed., má subjektívnu pravdepodobnosť  $p_i = 2^{-I_i}$  čiže

$$I_{\text{sub}} = N \cdot H_{\text{sub}},$$

kde  $N$  je frekvencia výskytu znaku.

Štruktúrny aspekt informácie opísal Mac Kay [232]. Maximálny štruktúrny obsah udáva počet nevyhnutných a dostatočných údajov, počtu dimenzií alebo koordinát, pomocou ktorých sa signál špecifikuje a v rámci ktorých sa môže meniť (napr. štruktúrny obsah obrazu v novinách je väčší pri jemnejšom rastrovaní; nepravidelný tvar má väčší štruktúrny obsah ako pravidelný tvar). Štruktúrny obsah signálov sa meria v informačných kvantách alebo *logonoch*. Počet logonov udáva štruktúrnu jemnosť signálu (napr. textúra obrazu). V logonoch možno ešte rozlíšiť určitý počet hodnôt (stupňov) a  $\log_2$  počtu týchto hodnôt sa nazýva *metrickým informačným obsahom*. V štruktúrnom zmysle má teda signál časovú alebo priestorovú rozľahlosť, časovú alebo priestorovú štruktúrnu jemnosť a metrický informačný obsah. Počet možných kombinácií týchto troch parametrov udáva maximálnu zprávu, ktorú možno získať zo signálu.

Cherry [174] pri experimente rozlišuje dva doplnkové aspekty informácie: *apriórny* (štruktúra experimentu umožňuje len určité najmenšie kvantá, čo zodpovedá pojmu logonu u Gábora) a *aposteriórny* (metrická informácia ako bezdimenzionálna miera presnosti získaných údajov).

Pri skúmaní *druhu* informácie možno napr. rozlišovať množstvo informácie obsiahnuté v danom súbore signálov, zameranie jej toku a výsledok jej činnosti. Podľa týchto kritérií (ktoré sú len časťou možných triedení) dostávame tri druhy informácie: (pozri [418])

1. *Propozičný* — informácia ide zo zdroja k prijímateľovi. Prijatá propozícia nemusí vyvolať žiadnu činnosť, prijímateľ iba hromadí informáciu.

2. *Problémový* (opytovací) — informácia môže byť zameraná od zdroja, ktorý má v danej oblasti menšiu informáciu, k prijímateľovi, ktorý jej má viac. Sama odpoveď je propozíciou a vo chvíli odpovede sa bývalý zdroj stáva prijímateľom a prijímateľ zdrojom. Kvantita informácie je v tomto prípade zložitejším problémom. Ak sa pýta-

me, koľko je hodín, a prijímateľ to vie, vtedy zdanlivo neprijal nijakú informáciu. Ak to nevie, z položenej otázky tak isto nezískal nijakú informáciu. Pretože otázky sa v styku ľudí používajú, musia mať nejaký informačný význam. Obráťme preto opytovací druh na ekvivalentnú propozíciu: Ja, opytujúci sa, neviem, koľko je hodín. U prijímateľa boli pred zistením tejto zprávy dve rovnako pravdepodobné možnosti o znalostiach zdroja: alebo ten vie, koľko je hodín, alebo nevie. Vo chvíli prijatia zprávy bola určená jedna z týchto možností a preto získal informáciu  $\log_2 2 = 1$ . Z toho vyplýva, že:

a) informácia je obsiahnutá len v propozíciách,

b) jestvujú propozície priame a zámenné.

Úlohou zámennej propozície je vyvolať priamu propozíciu, obsahujúcu plnú informáciu. Odpoveď môže byť slovná alebo vo forme nejakej činnosti.

3. *Komandový* druh informácie — taký, ktorý má zmysel iba vtedy, ak po ňom nasleduje určitá činnosť alebo sa činnosť zakazuje. Pri počutí rozkazu je u prijímateľa nulová informácia. Rozkaz: „Ukážte mi hodinky“; treba zameniť za propozíciu: „Nevidím na hodinky, dajte mi ich sem.“ Pretože táto propozícia je pre prijímateľa jednou z viac možných, množstvo komandovej informácie sa určuje pomocou vzorca —  $\log_2 p$ , kde  $p$  je množstvo očakávaných rozkazov.

Teraz poukážeme na niektoré otázky spracovania informácie a komunikácie.

Z hľadiska kybernetiky psychické procesy možno považovať za *procesy spracovania informácie*. Výsledkom vzájomného pôsobenia medzi organizmom a prostredím je podľa Klixu [193] zmena entropie pri psychických procesoch (v dôsledku zmien v počte možných stavov). Ak toto vzájomné pôsobenie potlačíme alebo obmedzíme, dochádza k zvyšovaniu entropie (napr. zabúdanie, progresívna demencia). Konštantnosť vnímania, zvyky, životný štýl svedčia o nemennosti entropie. Pri znižovaní entropie psychické procesy prechádzajú do vyšších stupňov diferencovanosti (napr. kontrast vo vnímaní, učenie, vývoj jazyka a myslenia, tvorivá činnosť).

Treba si však uvedomiť, že komunikácia má *technickú úroveň* (presnosť prenosu symbolov), *sémantickú* (interpretácia významu prijímačom v zhode s predpokladaným významom u vysielača) a *pragmatickú úroveň* (efektívnosť — vplyv významu na správanie, vzťah symbolu k používateľovi). Toto rozdelenie (zaviedol ho Morris a prevzal i Carnap) uvádza Weaver [318]. Pri jazykovej komunikácii miesto

technickej uvažujeme syntaktickú úroveň (znaky a vzťahy medzi nimi). Najširšie hľadisko je pragmatické, zahrňuje všetky psychologické faktory (účel, hodnota). Pragmatické vlastnosti zprávy závisia od minulej skúsenosti zdroja a prijímača, ako aj od súčasnej situácie. Pre pragmatickú informáciu dosiaľ nebola vypracovaná matematická teória, hoci vlastne na tejto úrovni prebieha skutočný proces ľudskej komunikácie a tu sa uplatňuje subjektívna pravdepodobnosť. V schéme komunikácie predpokladáme ešte sémantického prijímača (vložený medzi technický a konečný prijímač), ktorý uskutočňuje druhé dekódovanie zprávy — prispôsobenie štatistických sémantických vlastností zdroja k sémantickej kapacite prijímača. V súčasnosti sa prejavujú snahy o rozpracovanie tzv. *sémantickej teórie informácie*, avšak bez výraznejšieho úspechu. Bar-Hillel tu vychádzal z Carnapovej teórie *induktívnej pravdepodobnosti*, ktorá sa však vzťahuje na jednoduchý výrok bez ohľadu na proces komunikácie. Carnapova teória sa vzťahuje len na sémantické a syntaktické aspekty jazykových systémov a abstrahuje od sémanticky relevantných mimologických závislostí.

Tondl [376] navrhol iný spôsob zavedenia postulátov významu.

Quastler [299] pri vymedzovaní oblasti aplikácie teórie informácie upozorňuje na jej kvantitatívnosť (odhad miery pravdepodobnosti pre dostatočne známe kategórie) a prístup zvonku k predmetu skúmania (jej miery sa vzťahujú na výsledok informačného procesu a nie na jeho mechanizmy).

V poslednom čase sa však psychické procesy interpretujú ako určitý spôsob organizácie informácie vo vnútri individua (Ljapunov), a dôraz sa kladie na *kvalitatívnu svojráznosť* rozličných druhov informácie a v tejto súvislosti kvantitatívne charakteristiky ľudských informačných procesov sa dostávajú do pozadia (Kolmogorov). Matematicky tento nový prístup však ešte nie je primerane zvládnutý. Okrem toho je uvedený výklad príliš všeobecný a neprihliada na sociálnu podmienenosť.

\* \* \*

Z uvedeného vyplýva, že určovanie množstva informácie, obsiahnutej vo výskyte znaku, udalosti nie je také jednoduché a pôvodné snahy vyjadriť celú zložitosť psychických procesov a stavov shannonovskými vzorcami alebo jednoduchým logaritmom počtu udalostí sú hrubou *schématicizáciou*. V poslednom čase na to poukázali Fatkin [178]

a Gubinskij [292]. Na určujúcu úlohu subjektívnej pravdepodobnosti pri meraní informácie u človeka poukážeme preto v nasledujúcej kapitole.

## 2. subjektívna pravdepodobnosť

Zistilo sa, že pri stanovení informačnej hodnoty nejakej udalosti pre človeka je určujúca subjektívna pravdepodobnosť tejto udalosti. Táto subjektívna pravdepodobnosť sa v mnohých prípadoch líši od objektívnej, matematickej pravdepodobnosti. Je preto odôvodnené venovať pozornosť skúmaniu duševných procesov, na ktorých sa zakladá subjektívna pravdepodobnosť, skúmať jej vznik a súvislosti s objektívnou pravdepodobnosťou, ako aj základné operácie, ktoré sa používajú na jej výpočet.

### a) doterajšie výskumy

Experimentálna psychológia sa v posledných rokoch začína zaoberať už uvedenými problémami. Vykonali sa viaceré experimenty, ktoré sa pokúsili prispieť k ich objasneniu. Najprv stručne poukážeme na výsledky niektorých týchto výskumov a potom uvedieme naše experimentálne poznatky z tejto oblasti.

Prvý tu začal experimentálne pracovať J. Piaget [1] a skúmal najmä vytváranie idey (predstavy) *náhody*. Podľa neho táto vzniká z idey zmesi a vzrastá konštantne a ireverzibilne. Autor však neriešil mnohé s tým súvisiace problémy, napr. otázku nezávislosti.

Gemelli a Alberoni [141] skúmali podmienky, za ktorých sa vytvára u pokusných osôb pojem *náhody*. Išlo tu o perceptuálne podmienky, ktoré uprednostňujú „kauzálnu“ alebo „náhodnú“ interpretáciu. Pokusné osoby hodnotili predlohu alebo sami kreslili bodky na papier, a to „náhodným“ a „nenáhodným“ spôsobom. Zistilo sa, že „kauzálna“ interpretácia sa vyskytovala pri nehomogénnej distribúcii a výraznej štruktúre.

Alberoni [1, 2] skúmal *prah prijatia a odmietnutia náhody* takým spôsobom, že pokusným osobám ukázal urnu s červenými a modrými guľami. Potom urnu tajne vymenil za inú len s modrými guľami, vyťahoval po jednej a pýtal sa na farbu pri nasledujúcom ťahu. Pri 6.—8. ťahu sa pôvodné očakávanie rovnakého pomeru zmenilo a pokusné osoby predpokladali nejaký zásah, príčinu. Ďalej autor skúmal

charakteristiky najlepšej „vzorky“ (táto je kritériom zhody medzi skutočným výskytom a systémom očakávaní), priame a nepriame odhady pravdepodobnosti pri malých vzorkách. Zistil, že pri malých vzorkách hodnoty subjektívnej pravdepodobnosti sa blížia k matematickej hodnote výsledku. To znamená, že štruktúra sledu tu má malý význam a subjekt je zameraný na perceptuálnu skladbu. Pri pokusoch so vzorkami, obsahujúcimi dve farby s rovnakou a rozdielnou frekvenciou sa ukázalo, že *probabilistické predpovedanie* je ovplyvnené cykličnosťou vzorky, tendenciou zlepšiť percentuálnu skladbu vzorky a jej formálnu štruktúru, ako aj aposteriórnu pravdepodobnosťou (na základe doterajšieho priebehu). V systéme očakávaní ( $S$ ) percento prevažujúcej farby ( $f$ ) môže byť menšie, rovné alebo väčšie ako percento prítomné vo vzorke. Výskumy ukázali, že ak  $f - S > 0$  alebo  $f - S < 0$ , predpoveď je založená najmä na kvantitatívnom momente najlepšej vzorky (formálny moment môže pôsobiť v tom istom smere alebo opačne). Ak  $f - S = 0$ , potom je dominantným faktorom aposteriórna pravdepodobnosť. V ďalších experimentoch autor žiadal pokusné osoby aby pokračovali v exponovanom slede a tak sa snažil objasniť princíp nezávislosti. Keď pokusné osoby nemohli zistiť schému sledu, riadili svoje predpovede na základe doterajšieho výskytu alternatív. Ide tu o „otvorený“ systém, ktorý je modifikovaný nasledujúcim výskytom. Po určitej dobe však pokusná osoba už neupravuje svoj systém očakávania a ten sa stane „zatvoreným“. Toto je jeden zo subjektívnych koreňov zákona veľkých čísel. Cohen [78] od pokusných osôb žiadal, aby uhádli, koľkokrát budú úspešné, resp. neúspešné v úlohe pozostávajúcej z viac pokusov. Zistil, že subjektívna pravdepodobnosť úspechu klesá, ak sa zväčšuje počet *hypotetických pokusov*. Tento výsledok platí najmä pre 9–10-ročné deti a u dospelých sa predpokladá lineárny vzťah. Odhad neúspechu však zostáva konštantný vo veku 9–14 rokov. Axióma sčítania subjektívnej pravdepodobnosti úspechu a neúspechu na jednotku platí pri rozsahu 0–5 pokusov. Pri rozsahu 0–1 súčet prevyšuje jednotku a pri rozsahu vyše 5 pokusov je súčet menší ako jednotka. Autor na označenie *subjektívnej pravdepodobnosti* používa symbol  $\Psi$  a vzťahuje ju nielen na výskyt udalostí, ale aj na správnosť našich domienok a úsudkov. Za určitých okolností sa subjektívna pravdepodobnosť blížila matematickej, inokedy sa zase riadi vlastnými pravidlami (tzv. subjektívna pseudozávislosť).

Galanter [134] skúmal, či jednotlivá udalosť môže mať stálu subjektívnu pravdepodobnosť a či túto pravdepodobnosť možno hodnotiť pomocou škál. Pokusné osoby dostali všetky kombinácie jednotlivých dvojíc zo zoznamu 10 neurčitých udalostí s tým, aby posúdili, ktorý z dvoch členov je pravdepodobnejší. Zoznam sa tiež predložil iným pokusným osobám, ktoré mali všetkým udalostiam priradiť pravdepodobnosti, použijúc čísla od 1 do 100. Ďalšia skupina pokusných osôb mohla použiť pri priradovaní hocaké čísla, avšak tak, aby boli proporcionálne k pravdepodobnostiam. Zistilo sa, že použité tri škály (párová, 100-bodová, veľkostná) ukazujú dobrú zhodu a tak sa vypočítal z nich priemer. Pri používaní metódy priameho odhadu veľkosti netreba predpokladať fyzikálne kontinuum. Autor sa zaoberal aj meraním užitočnosti a zistil, že subjektívne očakávaná užitočnosť je hlavným determinantom pravdepodobnosti výberu alternatív.

Howard [171] dal pokusným osobám posudzovať 33 pravdepodobnostných problémov a odhadnúť ich matematickú pravdepodobnosť. Jasne sa objavila známa tendencia *preceňovať nízke pravdepodobnosti a podceňovať vysoké*. Indiferentný bod sa pohyboval okolo 0,45.

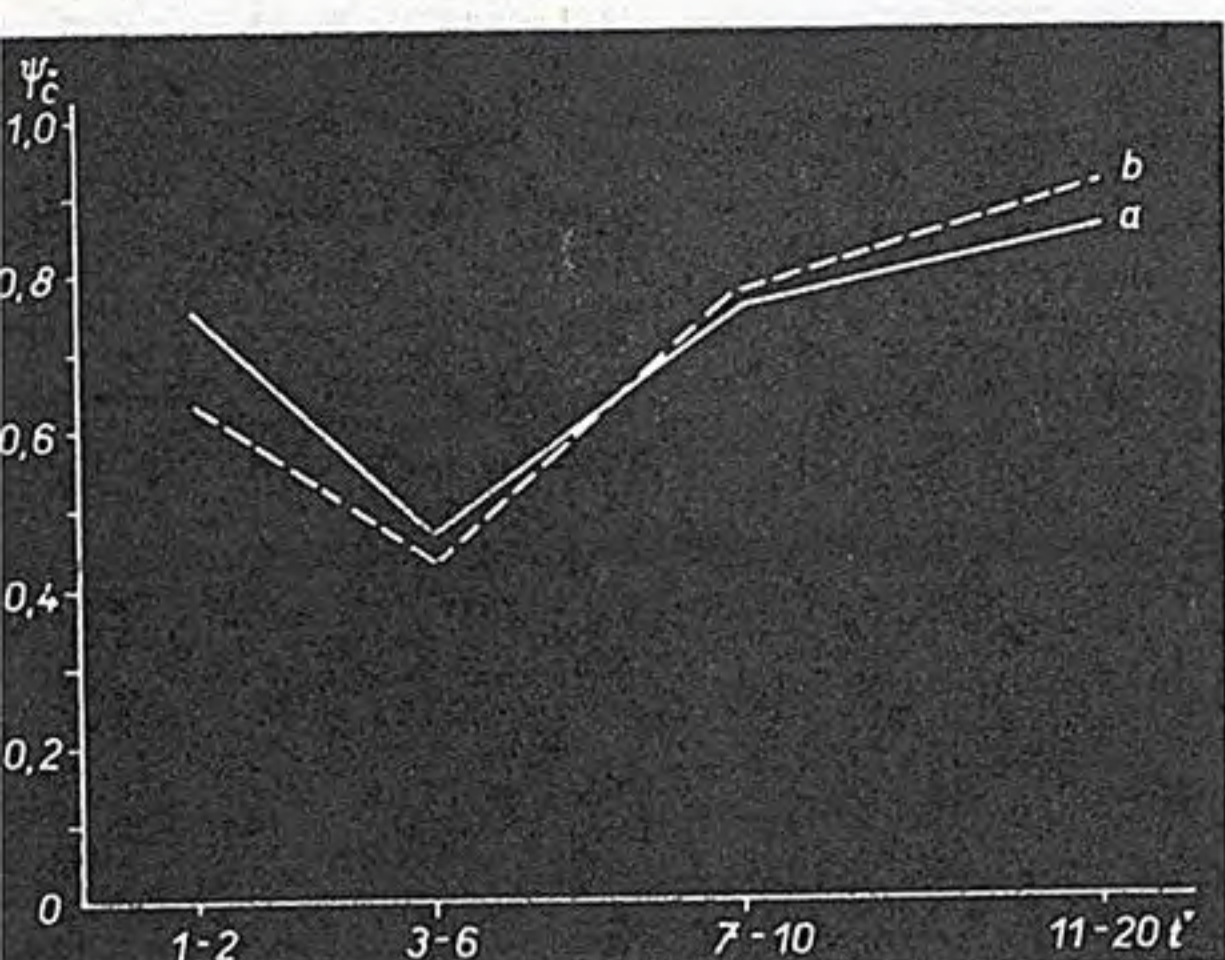
Edwards [97—100] skúmal vzťah medzi subjektívnou a objektívnou pravdepodobnosťou a pri stávkach, kde pokusné osoby mohli vyhrať alebo prehrať, zistil, že subjektívna pravdepodobnosť prevyšuje objektívnu pravdepodobnosť vo všetkých bodoch medzi 0 a 1. Pri stávkach, kde mohli len stratiť (prehrať), pravdepodobnosti sa rovnajú. Autor kombinoval subjektívnu pravdepodobnosť a užitočnosť a ukázalo sa, že pri očakávaných hodnotách kladných bolo 90 % predpovedí správnych a pri záporných 73 % správnych (náhoda je 50 %). Bol tu silný vzťah medzi znamienkom výplaty a tvarom funkcie subjektívnej pravdepodobnosti (takúto interakciu neumožňuje model SEU-subjective expected utility — *subjektívne očakávanej užitočnosti*). V dôsledku tejto interakcie ťažko zhodnotiť experimenty, v ktorých sa zistilo, že nízke pravdepodobnosti sa preceňujú a vysoké podceňujú, pretože tu sa zahrnuli obe znamienka v tej istej stávke. Edwards robil tiež experiment podobný Shufordovmu (použil 400-prvkovú maticu horizontálnych a vertikálnych čiar, ktorú krátko exponoval) a zistil, že pri priamom posudzovaní je subjektívna pravdepodobnosť v lineárnom vzťahu k pozorovanému pomeru výskytu dvoch podnetov. Aj Stewens a Galanter zistili, že posudky pomeru modrých a zelených bodov sú adekvátne, s výnimkou výchyliek na koncoch škál. Metodiku hazardnej hry tu použili tiež Toda a Shuford.

V niektorých prípadoch sa zistili lineárne výsledky, inokedy nie. Podľa Edwardsa je nepresvedčivé zistenie Shuforda, že pravdepodobnosť získania priaznivých výsledkov v dvoch opakovaníach tej istej udalosti je štvorcovým pravdepodobnosti jedného priaznivého výsledku. Schmidt [322] dal pokusným osobám hádzať loptou do otvorov, kde objektívna pravdepodobnosť zásahu bola 0 až 1, potom žiadal o odhadnúť subjektívnu pravdepodobnosť zásahu do týchto otvorov (v náhodnom poradí). Zistil preceňovanie sa pri ťažkej situácii. V inom experimente [323] skúmal vzťah subjektívnej a objektívnej pravdepodobnosti (hod loptou na terč, poznanie cudzích slov) a viedol ho z trvania rozhodovania. Najdlhší čas zistil pri  $p = 0,5$ , a smerom k 0 alebo k 1 sa čas takmer rovnomerne znižoval. Čas rozhodovania je teda úmerný subjektívnej entropii. Toto platí pre pokusné osoby, ktoré pred odhadom hádzali na terč. V skupine bez skúsenosti bol maximálny čas pri  $p = 0,32$ .

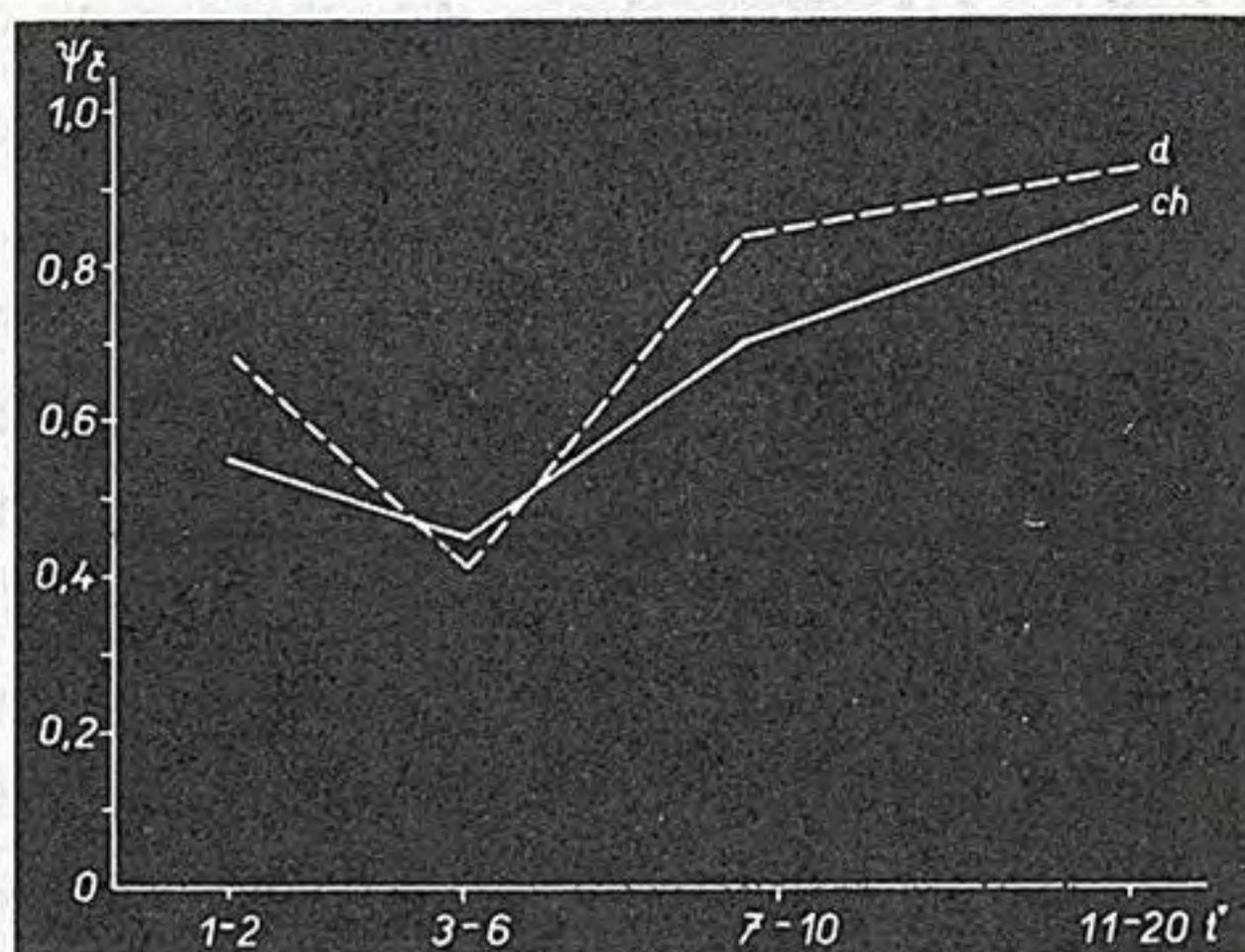
#### b) výsledky vlastných experimentov

Detailnejší pohľad na tieto otázky umožňujú i výsledky nášho výskumu (definície subjektívnej pravdepodobnosti uvádzame až v ďalšej časti).

V prvom experimente sme skúmali *prah odmietnutia náhody*, a to uvedenou Alberoniho metodikou. Pokusným osobám (34 žiakov vo veku 14 rokov a 60 žiakov vo veku 18 rokov) sme ukázali krabicu, v ktorej boli pomiešané červené a zlaté guľôčky (v rovnakom pomere). Súčasne sme im oznámili, že budeme náhodne (t. j. bez pozretia do krabice) vyťahovať guľôčky. Pred každým ťahom však majú hádať, akej farby bude vytiahnutá guľôčka a toto zapísať na papier. Tesne pred experimentom sme však guľôčky v zatvorenej krabici potriasali a potom nenápadne otvorili druhý koniec krabice, kde boli len červené guľôčky. Takto sme potom pri experimente vyťahovali len červené guľôčky. Výsledky subjektívnych odhadov sledu guľôčok sú uvedené v tab. 1 a 2 a na obr. 9, 10. V tab. 1 (14-roč.) a tab. 2 (18-roč.) je uvedený celkový počet odhadov pre jednotlivé farby, a to pre skupiny ťahov, ktoré sme určili na základe rozboru výsledkov. Jednotlivé riadky nemožno medzi sebou porovnávať, pretože vychádzajú z rozličného počtu ťahov a podobne i tabuľky medzi sebou, pretože tu bol rôzny počet pokusných osôb, a preto sme údaje vyjadrili pomocou subjektívnej pravdepodobnosti výskytu



Obr. 9. Zmena subjektívnej pravdepodobnosti vytiahnutia červenej guľôčky ( $\Psi_c$ ) počas jednotlivých ťahov (t) v závislosti od veku (a — 14-roč., b — 18-roč.).



Obr. 10. Zmena subjektívnej pravdepodobnosti vytiahnutia červenej guľôčky ( $\Psi_c$ ) počas jednotlivých ťahov (t) v závislosti od pohlavia (ch — chlapci, d — dievčatá).

Tab. 1

Ťahy	Očakávaná		Významovosť
	zlatá	červená	
1—2	17	51	0,01
3—6	72	64	—
7—10	33	103	0,01
11—20	48	292	0,01

Tab. 2

Ťahy	Očakávaná		Významovosť
	zlatá	červená	
1—2	45	75	0,05
3—6	137	103	—
7—10	54	186	0,01
11—20	53	547	0,01

červenej guľôčky ( $\Psi_c$ ). Na obr. 9 sú uvedené obe vekové skupiny. V skupine 18-ročných sme zvlášť vyčlenili chlapcov a dievčatá, aby sme mohli zistiť prípadné rozdiely medzi pohlaviami (obr. 10).

Naše výsledky ukazujú, že prah (presnejšie interval neistoty) zmiznutia náhody sa u oboch vekových skupín a pohlaví pohybuje v rámci tretieho až šiesteho ťahu. V porovnaní s Alberoniho výsledkom je tento prah, ktorý sme zistili, nižší a môže to byť spôsobené vekom a skúsenosťou jeho pokusných osôb (vysokoškoláci). Naznačujú to i naše zistenia, že v druhej polovici pokusu je u 18-ročných väčšia pravdepodobnosť výskytu červenej farby ako u 14-ročných. Okrem toho v našom výskume sa ukázala preferencia červenej guľôčky už pri predpovedaní prvého ťahu (najmä u 14-ročných a u 18-ročných dievčat — tu zvlášť po prekročení prahu). Zvýšené očakávanie červenej guľôčky pri prvom ťahu môže súvisieť s preferenciou farieb.

Pri treťom až šiestom ťahu pokusné osoby sa snažili dať do súladu svoj systém očakávania so skutočnosťou; očakávali, že vzájomný pomer červených a zlatých sa vyrovná, a preto predpovedali v porovnaní s prvým až druhým ťahom vyšší výskyt zlatých guľôčiek. V tomto pásme však prekročili prah zmiznutia náhody, predpokladali zásah nejakej príčiny a tak sa od siedmeho ťahu vysoko zvýšila subjektívna pravdepodobnosť objavenia sa červenej guľôčky. Niektoré pokusné osoby si neboli celkom isté vo svojom predpoklade a preto sa až do konca pokusu občas objavovali predpovede zlatých guľôčiek. V druhej polovici pokusu sa objavili predpovede zlatej guľôčky až u 53 % pokusných osôb zo skupiny 14-ročných a u 33 % pokusných osôb zo skupiny 18-ročných (rozdiel medzi chlapcami a dievčatami sme nezistili). Mladšie pokusné osoby sú teda pri odmietaní náhody menej dôsledné.

Pokiaľ ide o výpovede pokusných osôb (požiadali sme ich, aby písomne vyjadrili o pokuse, najmä o slede guľôčiek, jeho náhodnosti atď.), v každej experimentálnej skupine niekoľko žiakov vysvetlilo celú situáciu približne správne (dvojité dno krabice, dva otvory a ostatní predpokladali iné kauzálne vysvetlenia (červené guľôčky sú ľahšie alebo majú drsnejší povrch a pod.), resp. bez bližšieho odôvodnenia tvrdili, že ide o trik — švindiel. V skupine 18-ročných považovalo sled za náhodný 13 % osôb. U 14-ročných sme zistili 14 % takýchto pokusných osôb, avšak okrem toho bolo tu veľa protirečivých odpovedí (bola to náhoda, avšak bol v tom trik, resp. krabica mala dvojité dno a pod.), ktoré svedčia o tom, že v tomto veku ešte nie je celkom jasný pojem náhody.

V ďalšom experimente sme zisťovali, či možno stanoviť subjektívny

pravdepodobnosť jednotlivých neurčitej udalosti pomocou škálovej procedúry a tiež, ako tu vplýva vek pokusných osôb. Použili sme nasledujúci zoznam 10 udalostí (v poradí so stúpajúcou objektívnou pravdepodobnosťou, u ktorých je však veľmi ťažko apriórne poznať jej presnú hodnotu):

1. V Bratislave nebude pršať cez celý mesiac apríl.
2. Je možné bicyklom cestovať bez prestávky z Bratislavy do Prahy.
3. Najbližšia osoba, ktorú stretnete, bude mať zápal slepého čreva.
4. Prežijete zrútenie lietadla.
5. Prvá osoba, ktorú uvidíte cez oblok, bude mať svetlé vlasy.
6. Mužstvo Maďarska vyhrá futbalový zápas s Talianskom.
7. Zlomíte si kosť, keď vypadnete z okna z druhého poschodia.
8. 4. júla bude v Bratislave horúci deň.
9. Najbližšie auto, ktoré uvidíte, bude mať bratislavskú značku.
10. Je možné rozbiť surové vajce kladivom.

Ide tu o upravený zoznam z Galanterových pokusov [134]. Pri otázkach č. 1, 8, 9 bol zmenený názov mesta (klimatické podmienky nie sú veľmi rozdielne), pri č. 6 bol zmenený druh športu a mužstvá a pri č. 2 okrem zmeny miest išlo aj o zmenu vzdialenosti (v našom prípade je táto omnoho väčšia ako v origináli).

Udalosti rozpísané na kartičkách sme v prvom variante pokusu predložili pokusným osobám s inštrukciou, aby ich usporiadali do poradia od najmenej pravdepodobných po najviac pravdepodobné. Pokusu sa podrobili tri vekové skupiny (10-roční, 14-roční a dospelí), spolu 30 osôb. Výsledky ukázali, že s pôvodným vzorom sa viac zhodujú 10-roční a dospelí (koeficient korelácie  $\rho = 0,98$ ; významovosť 0,01), ako 14-roční ( $\rho = 0,88$ ). Pokiaľ ide o vzťah medzi jednotlivými vekovými skupinami, korelujú dospelí so 14-ročnými ( $\rho = 0,91$ ) a 10-ročnými ( $\rho = 0,92$ ) tesnejšie ako 10-roční a 14-roční medzi sebou ( $\rho = 0,86$ ). Všetky tieto korelácie sú však vysoko významové a tak možno povedať, že bez ohľadu na vekové rozdiely a odlišnosti životného prostredia (zoznam bol zostavený v USA) jestvuje tu približne rovnaké hodnotenie, rovnaká subjektívna pravdepodobnosť príslušných udalostí.

Metodiku porovnávania sme použili v druhom variante pokusu. Pokusné osoby tu dostali uvedené udalosti v pároch a mali posúdiť, ktorá z nich je pravdepodobnejšia. Pri vyhodnocovaní sme priradili

jednotlivým udalostiam číslo od 0 do 1 podľa toho, koľkokrát sa táto udalosť posúdila ako pravdepodobnejšia vzhľadom na ostatné udalosti. Výsledky ukázali (tu sme použili len 14-ročné pokusné osoby) značnú zhodu s pôvodným vzorcom ( $\rho = 0,86$ ; významovosť 0,01) resp. s metodikou usporiadania ( $\rho = 0,75$ ; významovosť 0,1).

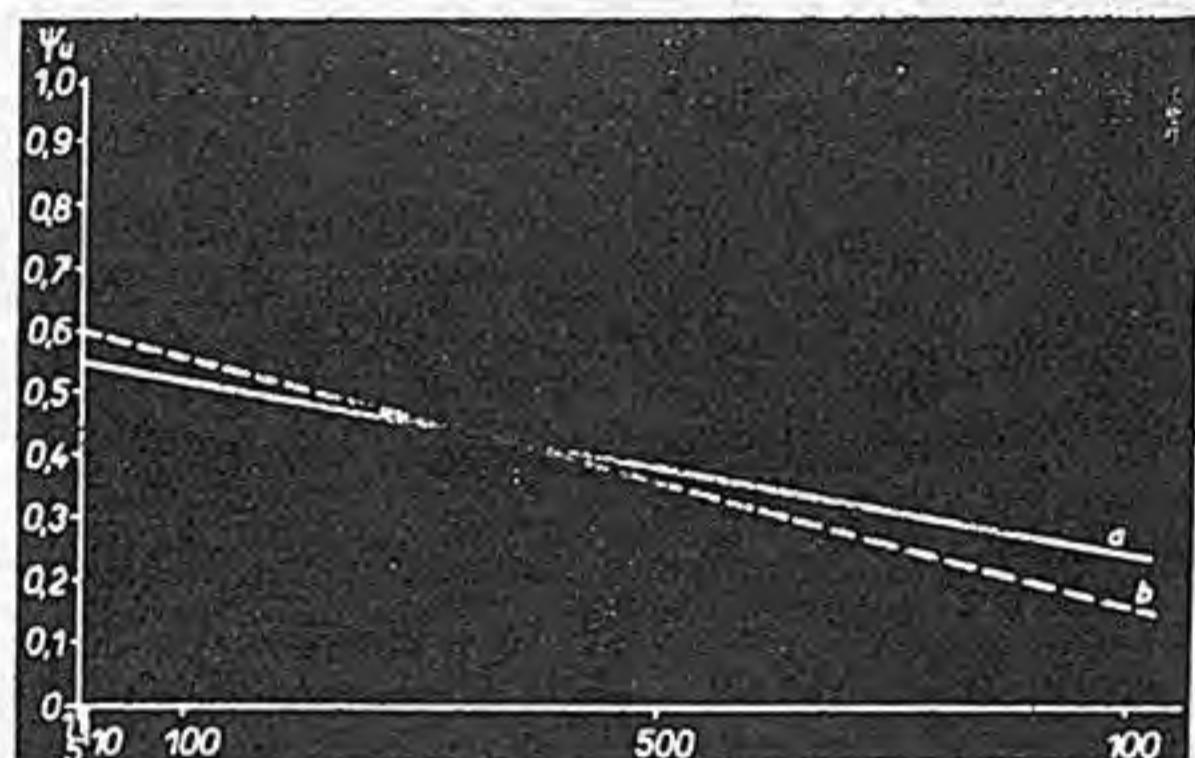
Použitelnosť rôznych druhov škál sme si overili i pri treťom variante experimentu, kedy sme použili 100-bodovú stupnicu. Pokusné osoby dostali inštrukciu, aby označili udalosti číslom od 0 do 100, pričom 0 znamená absolútnu istotu, že udalosť nemôže nastať a 100 znamená, že určité nastane. Výsledky ukazujú vysokú zhodu medzi 14-ročnými a dospelými (0,92), ako aj s pôvodnou vzorkou 14-roč. (dospelí  $\rho = 0,89$ ; dosp.  $\rho = 0,94$ ).

Porovnávali sme tiež výsledky v uvedených troch variantoch pokusu a tu sa ukázalo, že prvý a tretí variant vysoko korelujú u dospelých ( $\rho = 0,97$ ; významovosť 0,01), avšak u 14-ročných je korelácia prvého variantu s druhým i tretím len na hranici významovosti ( $\rho = 0,60$ ). Celkové hodnotenie vekových skupín ukazuje, že najmenej tesný vzťah k iným skupinám, ale aj k pôvodnému vzoru má skupina 14-ročných. Preto je potrebné všimnúť si bližšie, či túto odlišnosť ne spôsobila niektorá udalosť. Analýza odpovedí ukázala, že udalosť č. 2 (cestovanie bicyklom) sa v tejto skupine dostala priemerne až na štvrté miesto (pri 100-bodovej stupnici dostala 43,9 bodov, pri párovom porovnávaní  $p = 0,40$  a pri usporiadaní sa táto udalosť vyskytla v 30 % prípadov až na siedmom mieste v poradí). Súvisí to s preceňovaním telesných a športových výkonov v tomto vekovom období (v našom zozname ide o vzdialenosť, ktorá je vyše dvojnásobkom vzdialenosti v origináli). U dospelých sa vyskytli oproti vzoru len malé zmeny (č. 1 = 0,28; č. 2 = 0,38; č. 3 = 0,27).

Naše výsledky sa teda zhodujú s Galanterovými údajmi, že metodiky priameho odhadu subjektívnej pravdepodobnosti, založené na psychofyzických stupniciach, sú dostačujúce, i keď tu nemáme fyzikálne kontinuum. Sme si však vedomí, že ani počet skúmaných osôb, ani reprezentatívnosť vzorky neumožňujú robiť nejaké všeobecnejšie závery o jave subjektívnej pravdepodobnosti.

V treťom experimente sme overovali vzťah medzi subjektívnou pravdepodobnosťou úspechu (hod loptou) a počtom hypotetických pokusov (1, 10, 100 a 1000). Použili sme tu 114 pokusných osôb vo dvoch vekových skupinách. Zistený vzťah vidieť na obr. 11. Podobne ako u Cohena, ak sa zväčšuje počet hypotetických pokusov, subjektívna

pravdepodobnosť úspechu klesá. Určité výnimky môžu byť spôsobené rozdielnou skúsenosťou patričných skupín pokusných osôb. Okrem už uvedeného sme u 10-ročných (52 pokusných osôb) zisťovali tiež subjektívnu pravdepodobnosť neúspechu, avšak táto neprejavila nijakú výraznú tendenciu. Pokiaľ ide o axiómu sčítania subjektívnej pravdepodobnosti úspechu a neúspechu na jednotku, pri rozsahu 5 bodov bol súčet 1, 2. Pri ostatných rozsahoch boli výsledky rôznorodé. V skupine 14-ročných sme tiež porovnali odhad úspechu so skutočným výkonom a zistili sme všeobecné preceňovanie sa. Výkon však tiež klesal so zvyšovaním počtu pokusov.



Obr. 11. Vplyv počtu hypotetických pokusov (os x) na subjektívnu pravdepodobnosť úspechu (os y); a — 10-roč., b — 14-roč.

### c) diskusia

Doteraz nebol presne vymedzený pojem subjektívnej pravdepodobnosti. Niektorí autori si preto všimajú v tejto súvislosti najprv elementárne zložky tohto javu.

**Náhoda.** Podľa Gemelliho a Alberoniho [141] pojem náhody sa vytvára u subjektu vtedy, keď nie je schopný odhaliť pravidelnosť v slede udalostí alebo nemôže priradiť daný sled jednej alebo viacerým príčinám. Toto je len negatívne vymedzenie, avšak podľa autorov je možné skúmať tento jav aj ako pozitívny intelektuálny proces. V niektorých situáciách sú to *perceptuálne podmienky*, ktoré väčšinu osôb nútia interpretovať jav pomocou pojmu náhody. V tejto súvislosti možno hovoriť aj o prahoch [1]. Bezprostredný postoj subjektu k nejakej udalosti je totiž nepravdepodobnostný. V dôsledku neúspešných pokusov spojiť udalosť s príčinou alebo považovať ju za časť pravidelnej schémy dochádza v určitom bode experimentu k tzv. *prahu prijatia náhody*. Súčasne si subjekt formuluje systém očakávaní o konkrétnych modalitách budúcich udalostí a porovnáva ho so skutočným výskytom udalostí. Ak udalosti splňajú jeho očakávania, považuje ich naďalej za náhodné. Systém očakávaní sa opúšťa len vtedy, keď rozdiel medzi ním a realitou dosahuje určitý stupeň.

Subjekt v určitom bode experimentu predpokladá nejaký zásadný príčinu a vtedy hovoríme o tzv. *prahu zmiznutia (odmietnutia) náhody*.

**Predpovedanie.** S otázkou náhody tesne súvisí i skúmanie nezávislosti a proces predpovedania. V dôsledku nedostatku logického súvisu s inými udalosťami každý náhodný výskyt sa považuje za nezávislý. Subjekt považuje za nesúvisiace a nezávislé také udalosti, ktoré nemožno vysvetliť známymi príčinami a ktoré nie sú spojené v zreteľnú schému.

Pri predpovedaní binárnej udalosti, ktorá sa v minulosti vyskytovala menej často, dochádza k tzv. *subjektívnej pseudozávislosti* [76]. Napríklad ak padla ideálna minca 10-krát na „líce“, matematická pravdepodobnosť jej padnutia na „rub“ sa nezmenila, ale subjektívna pravdepodobnosť sa zvýšila. Toto je dôkazom toho, že subjektívna pravdepodobnosť sa riadi svojimi vlastnými pravidlami.

Subjekt pri predpovedaní výsledku nasledujúceho ťahu môže odpovedať náhodne (čo ho napadne), alebo sa pokúša nájsť pravidelnú schému v slede, alebo sa rozhoduje na základe pravdepodobnostného uvažovania. I keď sa zdá, že ľudské správanie je nepredvídateľné, je tu vždy možné zistiť typický spôsob myslenia.

Na základe určitého počtu náhodných (alebo i pravidelných) udalostí dôjde k vytvoreniu *systemu očakávaní*. Výsledky (vzorky) konkrétnej situácie sa potom môžu v rozličnej miere zhodovať s týmto systémom očakávania.

System očakávaní môže mať dvojaký pôvod [1]. Ak sú náhodné udalosti chronologicky rozložené (napr. pri vyťahovaní guľôčok), subjekt spočíta alternatívne výskyty a vypracuje si vzťah medzi týmito číslami. Tu sa subjektívna pravdepodobnosť mení podľa toho, čo sa stalo predtým (nestály systém). Ak nie sú udalosti časovo rozložené a subjekt vopred pozná pomerné zastúpenie jednotlivých alternatív, uskutočňuje priame delenie pomocou numerickej schémy (stály systém, ktorý sa nemôže zmeniť bez opustenia pojmu náhody). Prvý prípad zodpovedá v matematike relatívnej frekvencii ( $f$ ) a druhý pravdepodobnosti ( $p$ ). Matematici predpokladali, že kritériom náhodnej podstaty výskytu alternatív je stochastická konvergencia k  $p$ . Toto je oprávnené pri tzv. najlepšej vzorke. Na jej základe sa porovnáva systém očakávaní so skutočnosťou. Najlepšia je tá vzorka (časť skutočného sledu), ktorá bez podania cyklickej štruktúry (poradia) opakuje percentuálnu skladbu v celku i v každej svojej časti.

Má tu dôležitú vlastnosť, že systém očakávaní, vypracovaný na jej základe, veľmi rýchlo sa priblíži k hodnote pravdepodobnosti a pri stúpaní jej počtu výberov sa nemení.

Princíp najlepšej vzorky je užší ako matematický princíp konvergenencie, pretože vyžaduje nielen konvergenciu, ale táto musí mať určitú rýchlosť a v slede nesmie byť poznateľná schéma alebo cyklická vzorka. K pravdepodobnostnému postoju dochádza len vtedy, ak je cyklická vzorka malá a pod prahom zmiznutia náhody.

Numerická hodnota pravdepodobnosti sa zo subjektívneho hľadiska modifikuje podľa toho, ako sa počiatočný systém očakávaní zhoduje s tým, čo sa v skutočnosti deje. Kým matematici pravdepodobnosť každej alternatívy považujú za konštantnú a variácia je len v súhrne všetkých sledov, v ktorých sa alternatívy objavujú v tom istom pomere, zo subjektívneho hľadiska idea nezávislosti platí len pre jednotlivú operáciu a nie pre takú, ktorá sa vyskytuje v strede série. Za najpravdepodobnejší sa považuje ten výsledok, ktorý je najbližší k systému očakávania. Správnosť predošlých odpovedí ovplyvňuje očakávanie budúcich udalostí. Pri dlhých sériách pokusov očakávame udalosti asi tak často, ako sa tieto objektívne vyskytujú. Podľa niektorých autorov [171] sa však udalosti s nízkym výskytom podceňujú a udalosti s vysokým výskytom preceňujú.

*Definície a miery subjektívnej pravdepodobnosti.* Samotné definície subjektívnej pravdepodobnosti sú dosiaľ neuspokojivé. Podľa Rapoportu [302] ide tu o stupeň subjektívnej domnienky. Klix [193] zase hovorí o subjektívnej nádeji realizácie, pričom pri určitých situáciách je možná transformácia subjektívnej pravdepodobnosti na objektívnu a potom využitie Kolmogorových axiém na opis ľudského správania a rozhodovania.

Z doterajších pokusov o jej vymedzenie treba uviesť Cohenov názor [76, 78], ktorý pod subjektívnou pravdepodobnosťou rozumie mieru psychických stavov neurčitostí, ktorá siaha na jednej strane od úplnej neurčitosti po úplnú určitosť na druhej strane. Tieto stavy sú obsiahnuté v každom ľudskom správaní a nadobúdajú zvláštny význam pri usudzovaní o výsledkoch budúcich udalostí. Cieľom skúmania subjektívnej pravdepodobnosti je objasniť tieto implicitné stavy tak, aby sa mohli merať.

Witte [401] poukazuje na to, že počiatočná fáza vysvetľovania matematickej pravdepodobnosti obsahovala subjektívne prvky (Bernoulli — stupeň očakávania, Laplace — neistota). Podľa autora

motivačná báza pre našu subjektívnu pravdepodobnosť nie je v očakávaní, ktoré je podmienené skúsenosťou alebo stupňom neistoty, ale účinkuje tu aj *viera v šťastie*, vo vyrovnávajúcu spravodlivosť. Howard [171] zase tvrdí, že „psychologickú“ pravdepodobnosť možno definovať ako *vnímanú matematickú pravdepodobnosť*. Je však kritickejší voči pokusom merať ju pomocou modelu očakávanej hodnoty. Coombs a Beardslee [80] rozlišujú pri psychologickej pravdepodobnosti (vmedzerená premenná medzi matematickú pravdepodobnosť a rozhodnutia) osobnú pravdepodobnosť (týka sa opakovateľných udalostí) a subjektívnu pravdepodobnosť (týka sa jednotlivých udalostí).

Podľa Franka [129] subjektívna pravdepodobnosť sa vzťahuje na určitého pozorovateľa udalostí, resp. prijímač znakov a nie na udalosti a znaky samotné. Autor uvádza tri rôzne prístupy k definovaniu subjektívnej pravdepodobnosti, pričom ukazuje, že všetky sú v zhode s teóriou informačnej psychológie.

Galanter [134] vychádza zo situácie výberu, kde objektívne pravdepodobnosti výsledkov sú neznáme, a tak stupeň domnienky o výsledku je subjektívnym javom, ktorý sa musí merať psychologicky. Tú mieru nazýva „škálou subjektívnej pravdepodobnosti“. Autor tiež ukazuje na to, že pojem subjektívnej pravdepodobnosti v teórii výberu slúži rovnakému účelu ako pojem čiastočného posilnenia v teórii učenia. Podstatný rozdiel je však v tom, že výberové experimenty okrem pravdepodobnosti obsahujú aj ďalšiu nezávislú premennú — užitočnosť. Pri meraní však treba tieto premenné izolovať. Meranie subjektívnej pravdepodobnosti je obťažné najmä vtedy, keď sa týka udalostí, pre ktoré je nemožné alebo veľmi ťažké apriórnu úvahou určiť objektívnu pravdepodobnosť.

Savage [316] podáva teóriu základov štatistiky, ktorá sa zakladá na *personalistickom* chápaní pravdepodobnosti, odvodenom najmä z prác Bruna de Finettiho. Personalistický prístup k pravdepodobnosti vychádza z toho, že pravdepodobnosť meria dôveru, ktorú má určité individuum v pravdivosť jednotlivého tvrdenia. Autor interpretuje „osobnú“ (termín navrhol T. C. Fry, iné názvy sú subjektívna, psychologická pravdepodobnosť, stupeň presvedčenia) pravdepodobnosť pomocou teórie dôsledného rozhodovania pri neurčitosti. Metóda priamej otázky pri jej meraní je nevyhovujúca a je ľahšie pýtať sa osoby, čo by robila v určitej situácii. Navodenie určitej situácie je totiž náročné na čas, námahu a finančné náklady.

a je tu tiež ťažkosť pri výbere z troch alternatív, a to v tom, že po výbere jednej nemáme možnosť zistiť preferenciu u ostatných dvoch. Podľa autora môžeme rozlišovať *kvalitatívnu* a *kvantitatívnu* pravdepodobnosť. Pri kvalitatívnej pravdepodobnosti ide o vzťah medzi dvoma udalosťami. Kvantitatívnu pravdepodobnosť chápe ako mieru súboru  $S$ , (s udalosťami  $B, C$ ), ktorá je funkciou  $P(B)$ , priradujúcu ku každému  $B \subset S$  reálne číslo tak, že

1.  $P(B) \geq 0$  pre každé  $B$ ,
2. ak  $B \cap C = \emptyset$ ,  $P(B \cup C) = P(B) + P(C)$ ,
3.  $P(S) = 1$ .

Savage pri objasnení subjektívnej pravdepodobnosti vychádza z dvoch predpokladov:

1. všetko, čo sa deje, možno zoradiť,
2. princíp *spolahlivej veci* (sure-thing).

Tento princíp hlása, že ak výsledok činnosti  $A$  je aspoň taký dobrý ako výsledok činnosti  $B$  vo všetkých možných budúcich stavoch a je určite lepší v jednom alebo viacerých, potom  $B$  nemá byť nikdy uprednostnené pred  $A$ .

Z týchto predpokladov vyvinul mieru subjektívnej (osobnej) pravdepodobnosti, ktorá má podľa neho tie isté matematické vlastnosti ako objektívna pravdepodobnosť. Na druhej strane však autor priznáva, že teória subjektívnej pravdepodobnosti nie je ešte kompletne vypracovaná. Úlohou matematickej pravdepodobnosti je umožniť subjektu, aby na jej základe zisťoval nedôslednosti vo svojom vlastnom reálnom alebo predvídanom správaní.

Objektivistický prístup k pravdepodobnosti je v rovnosti pravdepodobnosti, ktorá je vytvorená tzv. princípom nedostatočného dôvodu. Použitie tohto princípu však je ovplyvnené individuálnou skúsenosťou a okrem toho k preferencii jednej udalosti môže dôjsť i bez toho, aby osoba mala nejaký argument.

Edwards [100] na základe experimentálnych údajov ukazuje, že empirické základy Savageho subjektívnej pravdepodobnostnej miery sú *neprijateľné*. Táto totiž vyžaduje, aby súčet vzájomne sa vylučujúcich pravdepodobností bol rovný jednej, avšak ľudia sa nesprávajú vždy týmto spôsobom (súčet pravdepodobností výskytu a nevýskytu udalostí býva aj väčší ako jedna). Edwards frekvenčnému chápaniu neurčitosti tiež vytýka, že neumožňuje merať pravdepodobnosť jednotlivkej udalosti (ako napr. či bezváhový stav znižuje zrakovú ostrosť). Podľa autora subjektívna pravdepodobnosť udalosti  $A$  je

cena, ktorú by sme boli ochotní platiť výmenou za hodnotovú jednotku, ktorú by sme dostali v prípade, ak  $A$  je pravdivé (isté). Systém osobných pravdepodobností alebo cien náhodných úžitkov musí všade byť dôsledný, t. j. nepristúpiť na stávkú, ktorá v každom prípade prináša stratu. Pod „osobnou“ pravdepodobnosťou sa teda rozumie určitá idealizácia na rozdiel od nedôsledných subjektívnych pravdepodobností, ktoré možno vyvodiť zo skutočných ľudských výberov. Na inom mieste [294] autor chápe subjektívnu pravdepodobnosť ako číslo vyvodené z výberov medzi stávkami alebo inými pravdepodobnostnými situáciami a osobnú pravdepodobnosť ako mienku o tom, aká je pravdepodobná daná udalosť.

Rozličné množstvo závažnej informácie o patričnej veci u dvoch ľudí nie je jediným zdrojom rozdielu v mienke. Po výskyte udalosti sa zmena subjektívnej pravdepodobnosti ako výsledok skúsenosti riadi Bayesovou teorémou. Takto možno pôvodne odlišné názory dvoch ľudí o výskyte budúcej udalosti (pri dlhom slede) transformovať, takže ich mienky sa stanú nerozlíšiteľnými. Probalistickým vyjadrením učenia zo skúseností sú podmienené pravdepodobnosti. Podmienená pravdepodobnosť  $P(D | H)$  — udalosti  $D$ , ak je dané iné  $H$  — je cena, ktorú by sme chceli zaplatiť výmenou za hodnotu získanú v prípade, ak  $D$  je pravdivé, pravda, s výhradou, že všetky výpočty sú nepravdivé, ak je nepravdivé  $H$ . Po naučení, že  $H$  je pravdivé, miesto starého systému  $P(D)$  nastúpi nový systém  $P(D | H)$ . Autor usudzuje, že Bayesova koncepcia umožňuje praktické aplikácie.

Subjektívnu pravdepodobnosť možno (podľa Edwardsa) merať pomocou priameho psychofyzického posudzovania alebo na základe modelu SEU. Pri priamych psychofyzických metódach má osoba uhádnuť, v akom pomere sa objaví jeden z dvoch podnetov. Autor tiež poukazuje na to, ako sa vynárala potreba nahradiť objektívnu pravdepodobnosť subjektívnou (v modeloch SEU), avšak doteraz sa nedospelo k jej adekvátnej miere. V tejto súvislosti uvádza Cohenov názor, že vzťah medzi subjektívnou a objektívnou pravdepodobnosťou je komplexný a nemožno ho redukovat' na jednoduchý vzorec. Za určitých okolností sa tieto dva typy pravdepodobnosti zhodujú, inokedy je tu rozdiel, ktorý má systematický charakter. Subjektívne pravdepodobnosti sú vo všeobecnosti veľmi ovplyvnené vekom, skúsenosťou, počtom a hodnotou poskytovaných alternatív. Viacerí autori tvrdia, že pre subjektívnu pravdepodobnosť neplatí teoréma sčítania a násobenia.

V súvislosti s týmito teorémami treba uviesť formálne logický systém *racionálnej „viery“* (belief) Kyburga [210] a aplikáciu týchto problémov na vedeckú metodológiu, ktorú podal Braithwaite [60]. Racionálnosť viery vo vedeckú hypotézu závisí od validnosti indukčívneho vyvodzovania. Podľa personalistickej teórie pravdepodobnosti sa pravdepodobnostné výroky týkajú aktuálnych stupňov viery. Toto súvisí s Carnapovým chápaním prvého typu pravdepodobnosti ako *„stupňa potvrdenia“* (confirmation). Kyburgova teória pravdepodobnosti umožňuje zhodnotiť racionalitu určitej viery, týkajúcej sa určitého dôkazu. Tieto filozofické a logické otázky však neboli rozpracované z psychologického hľadiska, resp. neboli aplikované v pragmatickej rovine.

#### d) záver

Prehľad doterajších experimentov a názorov na subjektívnu pravdepodobnosť ukazuje, že tento duševný proces treba jednak skúmať v tesnej súvislosti s matematickou pravdepodobnosťou a jednak snažiť sa nájsť jeho podstatné zložky. Objasnenie javov, ako sú náhoda a príčina, nezávislosť, predpovedanie, najlepšia vzorka, priamy a nepriamy odhad, umožní nám zistiť *štruktúru pravdepodobnostného predpovedania* a typické formy jeho priebehu v jednotlivých životných situáciách. Ak sa pokúsime zhrnúť už uvedené názory, vidíme, že vyčerpávajúce definície nie sú ešte zatiaľ — vzhľadom na doterajšie konkrétne výskumy — oprávnené. Ide tu totiž o oblasť psychických stavov, ktorých obsahom sú postoje, hodnotenia, očakávania, ako aj psychické procesy, najmä vnímanie a myslenie. Vzájomná súvislosť týchto dvoch zložiek duševného života sa v psychológii skúma pod záhlavím zamerania, nastavenie (ustanovka, set). Doteraz však neboli známe metódy kvantitatívneho zvládnutia tohto problému a skúmali sa len podmienky, ktoré viedli k tomu, že vnímanie, usudzovanie sa uberalo v konkrétnom prípade určitým smerom. Pri situáciách s dostatočnou skúsenosťou (pokiaľ ide o frekvenčné hodnotenie) možno súhlasiť s tým, že *subjektívna pravdepodobnosť je vnímanou objektívnou pravdepodobnosťou*. Vnímanie ako subjektívny odraz skutočnosti má za dôsledok príslušné nepresnosti a skreslenia. Týmto sa však rieši len vzťah objektívna—subjektívna pravdepodobnosť a aj to zúžene, pretože nie je tu zahrnutá situácia s apriórny subjektívnym hodnotením pravdepodobnosti izolovanej

udalosti. V tomto prípade však nie je jednotnosť ani medzi matematikmi, pokiaľ ide o možnosť určovania objektívnej pravdepodobnosti.

Skúmanie subjektívnej pravdepodobnosti má značný teoretický i praktický význam. Modely ľudského vnímania a myslenia — k rozvoju ktorých značne prispela kybernetika — musia vychádzať z skutočného priebehu príslušných procesov. Súčasná neurofyziológia tiež predpokladá existenciu aparátu predpovedania v mozgu, pretože len tak je možné vysvetliť prispôsobovanie sa k menlivým vonkajším podmienkam. Anatomicko-fyziologické skúmanie tohto aparátu je zatiaľ ešte obťažné, avšak prehĺbenie psychologických výskumov ľudského správania (najmä v situáciách, kde treba predpovedať ďalší priebeh na základe doterajšieho a na tomto základe sa správne rozhodnúť) je možné i bez zložitých aparatúr a musí sa opierať o poznatky teórie pravdepodobnosti. Takéto *pravdepodobnostné chápanie vzťahu podnetu a odpovede* vedie k objektívnejšiemu formulovaniu zákonitostí psychiky. V praktickom živote tieto poznatky prispievajú k adekvátnejšiemu správaniu človeka, resp. správne priebehu jeho myšlienkovej činnosti či už v poznávaní okolitého sveta alebo v riadení zložitých automatizovaných prevádzok (operátor, dispečer). Človek je často postavený voči neurčitosti, musí rozhodovať o budúcnosti, pričom má k dispozícii len neisté alebo *neúplné poznatky*. Má predpovedať, čo sa stane, avšak to, čo sa stalo v minulosti neposkytuje vždy jasnú schému alebo súvislosť príčiny a účinku. A v takejto situácii rozhodovanie nie je len impulzívne, ale vychádza z rozumových procesov, ktoré majú svoje zákonitosti. Ich poznávanie prispeje k možnosti ľudí správne usmerňovať, naučiť ich hodnotiť situáciu a rozhodovať sa i pri neúplnej informácii.

### 3. vnímanie

Vzhľadom na teoretické a praktické hľadiská sú otázky vnímania v strede pozornosti súčasnej psychológie. Spolu so zavedením informačných mier do psychológie značne sa rozšíril aj štatistický prístup k výskumu podstaty procesov vnímania. Vnímanie sa začalo považovať za relatívne samostatný proces, ktorý má svoju reguláciu a špecifický produkt vo forme celostného obrazu podnetu. V rámci tejto kapitoly rozoberieme si najprv otázku zisťovania kapacity

senzorického kanála, reakčný čas, ďalej pravdepodobnostný prístup k vnímaniu a konečne otázky modelovania vnímania v automatoch.

#### a) kapacita senzorických kanálov

Teória informácie nám umožňuje hodnotiť i teoretickú informačnú kapacitu jednotlivých zmyslových orgánov, a tak zisťovať ich relatívne výhody a nevýhody pri komunikácii.

Kapacitu ľudských zmyslov možno hodnotiť nepriamo, a to na základe počtu impulzov v prenosových nervových dráhach. Podľa Barlowa [32] jednotlivé nervové vlákno môže niesť informáciu 1000 dvoj. jed. za sekundu (informácia je obsiahnutá v intervaloch medzi impulzmi). Synapsa prenáša najmenej 100 dvoj. jed. za sekundu. Toto je však príliš zjednodušený prístup, a preto treba analyzovať informačné vlastnosti jednotlivých receptorov.

#### Maximálna teoretická kapacita

Pokiaľ ide o zrak, vychádzame z toho, že v oku je približne  $10^7$  čapíkov a  $10^8$  tyčiniek a môže teda rozlišovať na obraze  $4 \cdot 10^5$  bodov. Počet stupňov jasnosti odhadujeme na 250 čiže asi 8 dvoj. jed. (pretože  $\log_2 250 \doteq 8$ ) a pri značnej jasnosti kapacita splývania obrazov je 60 za sekundu. Potom maximálny informačný obsah podľa Steinbucha [343] je  $4 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 60 = 200$  miliónov dvoj. jed. za sekundu. Toto však platí len pre vonkajšiu vrstvu receptora, a tak v dôsledku redukcie (kódovania) sa táto kapacita znižuje na tri milióny čiže  $3 \cdot 10^6$  dvoj. jed. za sekundu. Frank [128] uvádza hodnotu až  $3 \cdot 10^7$ . Pri výpočte sa nebrala do úvahy farebná diskriminácia, tá však nemôže podstatne ovplyvniť zistenú hodnotu (podľa Halseya totiž kapacita rozlišovania farieb je pri 11—15 farbách 3,5 dvoj. jed.). Pri počte 800 tisíc až milión vlákien zrakového nervu pripadá takto na jedno vlákno 3—5 dvoj. jed. za sekundu.

Pri sluchu Frank [128] uvádza hodnotu až  $1,5 \cdot 10^6$  dvoj. jed. za sekundu, kým podľa Steinbucha [343] sa táto pohybuje medzi  $2 \cdot 10^4$  až  $5 \cdot 10^4$  dvoj. jed. za sekundu. Tieto odlišné hodnoty vychádzajú z toho, že podľa prvého autora máme 1450 a podľa druhého autora 850 rozlíšiteľných výšok tónu, pri každej 230, resp. 30 intenzít a trvanie musí byť aspoň 0,25 sekúnd. Kapacita sa v dôsledku maskovania znižuje a tak dostávame 8000 dvoj. jed. za sekundu. Pri 3000 nervových vlák-

nach pripadá na jedno vlákno asi 0,3 dvoj. jed. za sekundu. Kapacita sluchu je omnoho nižšia ako kapacita zraku — vyplýva to z väčšieho počtu dimenzií. Z hľadiska prahov má oko podľa Schobera [326] 166-krát väčšiu kapacitu ako ucho.

Taktilný analyzátor má podľa Franka [128] kapacitu  $0,2 \cdot 10^6$  dvoj. jed. za sekundu. Steinbuch [343] tu rozlišuje tlak a dotyk —  $2 \cdot 10^5$  (počet receptorov  $5 \cdot 10^5$  a nervových dráh  $10^4$ ) a tepelné body —  $2 \cdot 10^3$  dvoj. jed. za sekundu ( $10^4$  receptorov tepla a  $10^5$  receptorov chladu).

Pri čuchu sa udáva kapacita v rozmedzí 15—46 dvoj. jed. za sekundu [128] alebo až 100 dvoj. jed. za sekundu, pričom je tu  $10^7$  receptorov a  $2 \cdot 10^3$  nervových dráh.

Chuťový analyzátor má najmenšiu kapacitu, a to 10—13 dvoj. jed. a počet receptorov a dráh ako u čuchu. Napr. pri slanosti sa zistila kapacita 1,9 dvoj. jed. za sekundu.

### J e d n o d i m e n z i o n á l n e p o d n e t y

Priame meranie skutočného množstva prenesenej informácie sa uskutočňuje pomocou súboru podnetov v experimentálnych podmienkach, ako aj analýzou ľudského výkonu v prirodzených podmienkach. Kapacita komunikačného kanála súvisí s množstvom dvoj. jed. pripadajúcich na symbol, prenášaných týmto kanálom. Skutočná kapacita je nižšia ako teoretická, a to v dôsledku strát v senzorických mechanizmoch, efektívneho kódovania, ako aj toho, že mozog nevyužíva všetku prichádzajúcu informáciu. Takto na vnímanie napr. zrkových obrazov stačí omnoho menšia kapacita, ako sme už uviedli a podľa Glezera [150] priepustná schopnosť zrkového analyzátoru je niekoľko desiatok dvoj. jed. za sekundu. Množstvo prepustené sietnicou sa cestou do mozgu primeraným zakódovaním znižuje.

Všimnime si najprv jednodimenziálne podnety. V zrkovej oblasti Newman [273] cituje výsledky viacerých autorov, ktorí zistili pri interpolácii polôh ručičky medzi znakmi na stupnici prenos 3,25 dvoj. jed. za sekundu; pri hodnotení veľkosti štvorcov — 2,2; pri ploche — 2,7 a pri dĺžke čiar 2,6—3 dvoj. jed. za sekundu.

V sluchovej oblasti viaceré výskumy uskutočnil najmä Pollack [285, 286]. Množstvo informácie prenesenej pri identifikácii výšky čistého tónu bolo približne 2,3 dvoj. jed. za sekundu, čo znamená presnú identifikáciu len piatich tónov. Tento údaj je omnoho nižší ako

výkon pri prahových pokusoch a vyplýva zo základného rozdielu medzi identifikáciou a diskrimináciou. Za účelom zvýšenia informačného prevodu autor zväčšil rozsah frekvencie podávaných tónov, avšak toto malo len malý vplyv. Výraznejší zisk (0,48 dvoj. jed.) predstavujú objektívne referenčné tóny, podané s neznámym tónom. Podobné výsledky (2,3 dvoj. jed.) získal Pollack i iní autori pri hlasitosti (v rozsahu 15—110 db).

Okrem údajov z interpolácie na stupnici aj iné údaje ukazujú, že zraková a sluchová kapacita sa pohybuje pri jednodimenzionálnom podnete medzi 2—3 dvoj. jed., pričom zvyšovanie počtu alternatív nad určitým minimom neovplyvňuje výkon. Zvýšený výkon pri interpolácii a stupnici možno vysvetliť podaním vzťažných bodov na konci stupnice, ako aj tým, že pri jednej situácii ručička ukazovala priamo na značku. Potvrdzujú to i výsledky Mc Gilla [26], ktorý neudal koncové polohy a získal výkon 2,97 dvoj. jednotiek.

### V i a c d i m e n z i o n á l n e p o d n e t y

Reálne predmety a udalosti sa však menia vo viacerých parametroch, resp. dimenziách. Problém je, či nezávislé menenie napr. dvoch dimenzií zvyšuje kapacitu prenosu informácie dvojnásobne.

Známy je experiment Klemmera a Fricka [26, 245], ktorí krátko premietali štvorec s jedným alebo viacerými bodmi a od pokusných osôb žiadali, aby ich polohu naznačili do štvorca v odpovedovom papieri. Pri jednom bode (ktorý menil svoju polohu) zistili prevod 4,4 dvoj. jed., pri štyroch bodoch 7,8 dvoj. jednotiek. Príčina iba malého zvýšenia prevodu je v tom, že v prvom prípade sa použilo 6 alternatívnych polôh a v druhom prípade len tri alternatívne polohy. Tí istí autori žiadali od pokusných osôb reprodukovať schému pozostávajúcu z bodov v obdĺžniku a zistili, že informačný prevod sa zvyšuje úmerne k logaritmu počtu koordinát (zdvojnásobenie koordinát tak z 1 na 2, ako aj z 2 na 4 zvyšuje prevod asi o 1,7 dvoj. jed.).

Newman [273] v tejto súvislosti upozorňuje na nejednoznačnosť výpočtu množstva podanej informácie. Napr. Klemmer a Frick použili štyri body, z ktorých každý mal dve koordináty (os  $x$  a  $y$ ) a mohol byť v troch polohách. Potom podnetová informácia =  $4 \cdot 2 \cdot 1,6$  (čiže  $\log_2 3$ ) = 12,8 dvoj. jed. Možno však postupovať nasledovne:  $4 + 2 + 3 = 9$  dimenzií, každá v dvoch stavoch (je alebo nie je tam bod), čiže potom máme  $2^9$  možných schém, čo dáva 9 dvoj.

jednotiek. Takto odlišným výpočtom možno považovať kapacitu prevodu za nízku alebo vysokú.

Brown [70] porovnával zrakový oznamovač, ktorý sa skladal z množstva zdrojov s odlišnými významami s oznamovačom, pozostávajúcim z malého počtu zdrojov, ktoré sa rôzne kombinovali, aby sa vytvorili tie isté významy ako v prvom prípade. Napr. zistil, že ak treba použiť viac ako tri farby, je výhodnejšie kombinovať tieto farby a nie pridávať ďalšie. Nevýhodou je však menšia zhodnosť. Pri porovnaní 3, 7 a 15 významov podaných pomocou oddelených, ako aj kombinovaných svetelných podnetov sa ukázalo, že do 7 alternatív niet signifikantného rozdielu a pri 15 alternatívach je výhodnejšie oddelené podávanie významov. Až do limitu 3,9 dvoj. jed. na podnet rýchlosť informačného prevodu bola 6,3 dvoj. jed. za sekundu.

Podobne aj pri sluchových podnetoch sa prenos informácie zvyšuje so vzrastom počtu dimenzií. Pollack a Ficks [287] dali pokusným osobám posudzovať prerušovaný tón, pri ktorom menili 6 dimenzií, každú v 5 stupňoch. Informačný prevod sa pohyboval od 6,2 do 7,9 dvoj. jednotiek. Na zvýšenie informačného prevodu sa môže použiť malé množstvo parametrov podnetu s relatívne veľkou informačnou náložou alebo veľké množstvo parametrov s malou informačnou náložou. Výhodnejšie sa ukazuje použiť *mnohodimenzionálny oznamovač*.

Eriksen [109] zistil informačný prevod 2,7 dvoj. jed. pri izolovanej variácii podnetov vo veľkosti, jemnosti a sýtosti. Tento prevod sa zvýšil na 4,1 dvoj. jed., ak sa tieto tri dimenzie na podnete menili súčasne (pri úplnej vzájomnej korelácii). Z toho vyplýva, že množstvo prenesenej informácie nezávisí priamo od fyzikálnych dimenzií predmetu, ale od pozorovateľných dimenzií. Ľudské tváre, reč preto dobre rozoznávame, že sa líšia vo veľkom množstve dimenzií.

Takto *počet dimenzií* je dôležitou psychologickou premennou. V tejto súvislosti treba pripomenúť rozlíšenie štrukturálnej a metrickej informácie, ktoré sme uvádzali v kapitole o základných pojmoch. Logon sa vzťahuje na dimenzie a metron na počet rozlíšiteľných kategórií na každej dimenzii. Avšak bez ohľadu na počet dimenzií Newman uvádza ako horný limit kapacity kanála 15—20 dvoj. jed. na jedno podanie podnetu. Súhlasí to aj s fixačnými pohybmi očí — na riadku so 60 písmenami je 8 fixácií a ak na písmeno pripadajú 2 dvoj. jedn., dostávame 15 dvoj. jed. na jednu fixáciu. Cituje tiež výsledky Klemmera a Loftusa, ktorí po dlhom nácviku na schéme čísel

dosiahli 22 dvoj. jednotiek. K týmto údajom sú blízke zistenia Wenzela [394], že pri hre na klavír je prevod 11—17 dvoj. jed.<sup>5</sup> a pri vyslovovaní písmen 15 dvoj. jed. za sekundu. Všeobecne sa uvádza, že maximálny informačný tok pri čítaní je 18—49 dvoj. jed. za sek., pri písaní na stroji 16, pri hre na klavíri 33 a pri počítaní 12 dvoj. jed. za sekundu.

Podľa Steinbucha [343] človek má  $10^8$  receptorov a môže prijať do vedomia  $10^2$  dvoj. jed. za sek., kým do nevedomia vstupuje až  $10^9$  dvoj. jed. za sekundu.

Z uvedeného vyplýva, že na rozdiely medzi jednotlivými zmyslovými orgánmi treba prihliadať pri zisťovaní limitu výkonnosti človeka, v ktorej je zahrnuté senzorické spracovanie informácie, ako aj pri konštrukcii strojov a prístrojov, s ktorými prichádza človek do styku najmä vo výrobnom procese. Dôležitý je najmä rozdiel medzi zrakovým a sluchovým analyzátorom, ktorý Mc Cormick [229] zhrnul takto:

1. Sluchové podnety sú časovej povahy, kým zrakové sú priestorové.

2. Sluchové podnety prichádzajú za sebou a zrakové môžu ísť za sebou alebo súčasne.

3. Sluchové podnety nemožno nechať trvale pôsobiť, avšak zrakové podnety možno „uskladniť“.

4. Sluchové podnety majú menej dimenzií na kódovanie ako zrakové.

5. Informáciu možno podať rýchlejšie prostredníctvom zraku, avšak tento vyžaduje väčšie kódovanie ako slovná zpráva.

6. Sluchové podnety sú vtieravejšie a odolnejšie voči vynechaniu v dôsledku únavy.

Na rozdiel od automatu dochádza u človeka k veľkým výkonom v dôsledku „nastavenia“, prestavania funkcií, zvýšenia citlivosti, spätných väzieb. Zameranie sa na časť podnetovej situácie umožňuje zvládnuť informáciu i pri nízkej kapacite. Snahy kvantifikovať kapacitu komunikačného kanála pre všetky experimentálne alebo reálne situácie sú teoreticky neoprávnené. Informačná miera sa týka pravdepodobnosti podnetov a odpovedí a neprihliada na ostatné senzorické podmienky a formy odpovedania. Tak isto neprihliada — ako to ukazuje Hake [163] a Lomov [292] — na rozličné typy operácií človeka pri vnímaní (absolútny posudok, identifikácia, pomenovanie). Najnáročnejšie je absolútne posúdenie (napr. výšky, jasnosti) podnetu, kedy pokusná osoba musí mu priradiť číslo, ktoré zaraďuje

tento podnet do určitého vzťahu s ostatnými podnetmi. Ľahšia je identifikácia, kedy sa podnetu priradí názov, čím sa odliší od ostatných podnetov, avšak nedáva sa s nimi do vzťahu. „Názov“ je použitý len v tejto situácii a neznamena skutočné pomenovanie. Limitom v tejto situácii je diskriminatívna schopnosť pokusnej osoby. Pri pomenovaní ide o priradovanie skutočných „názvov“ podnetov. V tejto situácii vzniká problém, ku ktorej z týchto operácií treba vzťahovať kapacitu kanála. Je zrejmé, že limity tu nebudú rovnaké (pre niektoré podnety niet reálnych pomenovaní, ako napr. pre stupne hlasitosti) a za základ treba vziať absolútne posudzovanie.

\* \* \*

Na záver treba zdôrazniť, že miera prenosu informácie má len vtedy zmysel, ak opíšeme experimentálne podmienky, za ktorých sme ju zistili. Najlepšie to vidieť na problematike reakčného času.

#### b) množstvo informácie a reakčný čas

Často používanou metodikou pre zisťovanie rýchlosti prenosu informácie cez ľudského operátora je *disjunktívny reakčný čas*. Podľa Brickera [64] meranie reakčného času môže byť užitočné i pri analýze rozhodovania a pri skúmaní subjektívnej pravdepodobnosti.

Problematika reakčného času je v psychológii známa už veľmi dávno, avšak závislosť reakčného času od množstva podanej informácie prvý skúmal Hick [167]. Ukázal, že údaje Merkela, ktorý prvý zistil fixný vzťah medzi počtom rozlišovaných prvkov a zvyšovaním reakčného času, vyhovujú rovnici  $R\check{C} = 0,626 \log_{10}/n_e + 1/$ , kde  $n_e$  je počet rovnako pravdepodobných prvkov. Pri vlastnom výskume Hick použil kruhové usporiadanie podnetov (10 lampa) i tlačidiel a zistil, že *disjunktívny reakčný čas stúpa ako logaritmus počtu lampa* (s určitou korekciou pri nízkom počte). V prvom experimente vyžadoval bezchybný výkon a zistil, že  $R\check{C} = 0,518 \log_{10} (n_e + 1)$ . Pri druhom experimente kládol dôraz na rýchlosť a pripúšťal chyby. Dostal vzťah  $R\check{C} = -0,042 + 0,519 \log_{10} (n_e + 1)$ . Vplyv učenia zisťoval v treťom experimente, avšak sa ukázalo, že toto v daných výsledkoch nehrá veľkú úlohu. Hick stanovil, že reakčný čas je úmerný  $\log (n + 1)$ . Ak totiž použijeme na rýchlosť prenosu informácie Shannonov vzorec  $R = H(x) - H_y(x)$  a predpokladáme, že niet šu-

nu, potom  $H_y(x) = 0$  a  $R = H(x) = \log_n$ . Jednotka vo vzorci je potrebná preto, aby sme pri  $n = 1$  (jednoduchý reakčný čas) nedostali nulu. Podľa Hicka totiž  $\log_n$  nezahrňuje celú entropiu zdroja signálov a treba tu počítať s časovou neurčitostou výskytu jedného signálu (i pri jednoduchom reakčnom čase ide o rozlišovanie, a to signálu od pozadia). Hickov vzorec má teda formu  $R\check{C} = b \cdot \log(n_e + 1)$ , kde konštanta  $b$  závisí od experimentálnej situácie. Množstvo získanej informácie je takto úmerné času, potrebnému na jej získanie. Hyman [172] používal osem podnetov z matice 8.8 svetiel, pričom odpoveďou bolo slovné označenie svetla. Priemerné množstvo informácie, pripadajúcej na jeden podnet, menil tým, že menil počet alternatív, pravdepodobnosť ich výskytu a zaviedol závislosť medzi sukcesívnymi výbermi z alternatív. So zvyšovaním množstva informácie sa lineárne zvyšoval reakčný čas, a to pri každom z troch spôsobov menenia množstva informácie v podnete (korelácia vyše 0,9). Svoje výsledky však spracoval podľa vzorca  $R\check{C} = a + b \log_2 n_e$ , kde  $a$  a  $b$  sú konštanty. Odlišnosť tohto vzorca od Hickovho názorne vidieť na vyhodnotení údajov Merkela. Kým Hick zistil rýchlosť prenosu informácie  $T = 5,2$  dvoj. jed. za sekundu, Hyman vypočítal z tých istých údajov  $T = 7,5$  dvoj. jed. za sekundu. Konštanta  $a$  u Hymana vyjadruje určitú odpovedovú situáciu a je ekvivalentná jednoduchému reakčnému času.

Ako ukazuje Bricker [64], vkladanie 1 do Hickovho vzorca nie je v iných experimentoch oprávnené, pretože tieto obsahujú skutočný jednoduchý reakčný čas. Z doterajších výskumov vyvodzuje oprávnenosť vzorca  $R\check{C} = a + bT$ , kde  $T$  je priemerné množstvo prenesenej informácie. Prevrátenú hodnotu  $b$  možno chápať ako rýchlosť informačného prenosu, ktorá je konštantná v mnohých situáciách. Autor však upozorňuje na to, že na reakčný čas vplýva rozlíšiteľnosť podnetov, obťažnosť odpovedí, zhoda podnetu a odpovede, preto treba v konkrétnej situácii zisťovať tieto obmedzujúce činitele. Tento vzťah  $R\check{C}$  a  $T$  bude pre nás užitočnejší, ak budeme hlbšie poznať funkcionálnu organizáciu centrálného spracovania informácie. Možno ho však použiť ako pracovný model.

Po týchto prvých experimentoch nasledoval celý rad ďalších, z ktorých uvedieme len najzávažnejšie. Tak Faverge [115] použil tri farebné lampy a tiež zistil, že prírastky zisku informácie sú konštantné. Informácia, ktorú získa človek, závisí od prostredia a minulosti individua. Pri experimentovaní s množstvom informácie treba vždy brať

do úvahy oboznámenosť pokusnej osoby s experimentálnym materiálom. Knowles a Newlin [194] v experimente podobnom Hymanovmu (5.5 lúčiek a rovnako usporiadané tlačidlá) zistili, že reakčný čas bol ovplyvnený počtom signálov a nie rýchlosťou ich podávania. Autori však použili sledy 2—4 podnetov.

Garwey [139] použil zariadenie pozostávajúce z 10.10 lúčiek a rovnakej série tlačidiel a potvrdil názor, že „prevodové vlastnosti“ ľudského operačného kanála nie sú fixné, ale sa *menia nácvikom*. Ľudský operačný kanál sa určitým spôsobom prispôbil frekvenciám individuálnych podnetových prvkov v priebehu nácviku. Signály v strede tabule sa prevádzali cez ľudský operačný kanál s menšou účinnosťou ako periférne signály. Reakčný čas na podnety v strede bol trikrát väčší ako na okrajové podnety.

Eriksen [109] ukázal, že čas preskúmania vizuálneho poľa sa zvyšuje, keď stúpala jeho *rôznorodosť*. Práve tak vplýva i zvyšovanie saturácie (nasýtenie — počet signálov na tabuli) a členitosti poľa v dôsledku zvýšeného počtu vizuálnych fixácií potrebných na uskutočnenie úlohy.

Účinok komplexnosti podnetu na diskriminatívne odpovede skúmal Gregg [159]. Menil vertikálnu i horizontálnu vzdialenosť podnetov, ich jasnosť a veľkosť. Odpoveďou bol pohyb pákou doprava alebo doľava. Zistil, že reakčný čas sa zvyšoval v podstate lineárne, keď stúpala *komplexnosť podnetu* (vyjadrená v dvoj. jed., pričom 1 dvojnásobok jed. znamená zmenu v jednej dimenzii, napr. vpravo alebo vľavo).

Brainard [59] použil číselné a svetelné schémy, ako aj hlasové a prstové odpovede a zistil, že reakčný čas sa zvyšuje lineárne s množstvom prenesenej informácie. Výnimkou bolo odpovedanie hlasom na arabské čísla, kde bola len malá závislosť od počtu alternatív. Crossmanove výskumy [83] ukázali, že množstvo informácie je jediným determinantom výkonu. I keď ide o nadprahovú diskrimináciu, menšie množstvo informácie možno spracovať menej efektívnejšie ako množstvo väčšie, ak v prvom prípade sú podnety ťažšie *rozlíšiteľné* ako v druhom prípade (použil metodiku triedenia kariet).

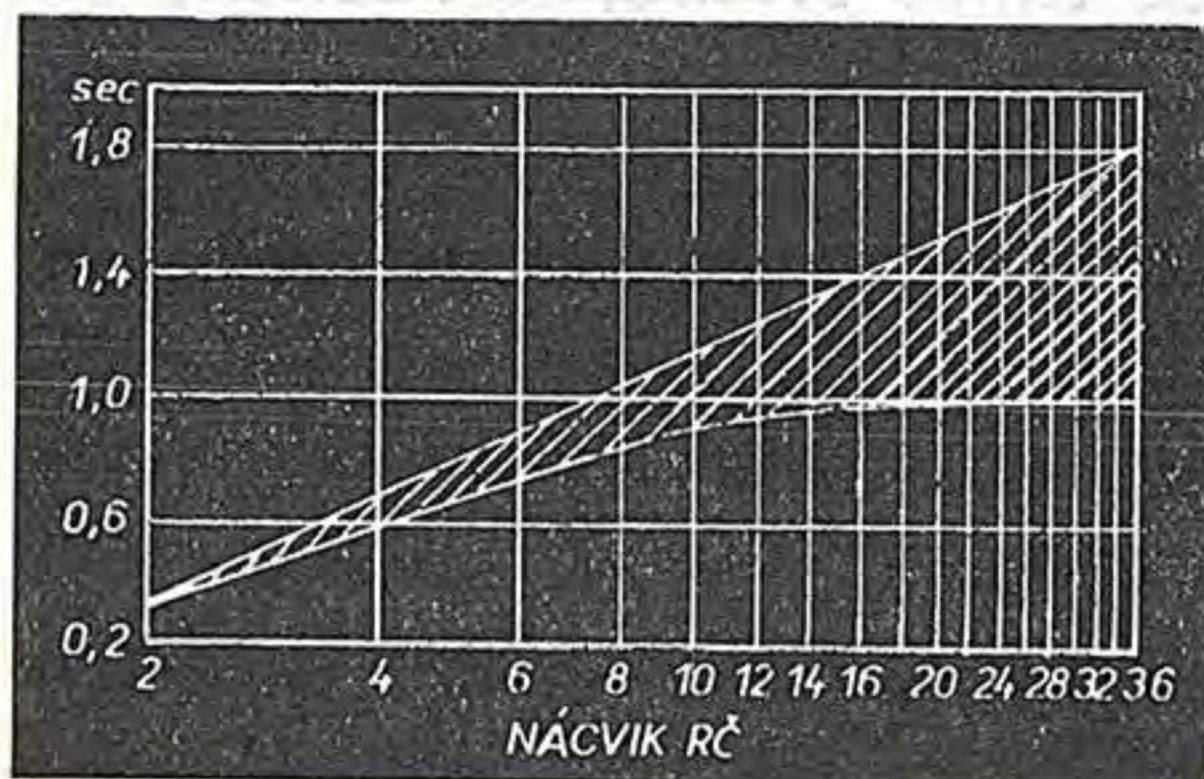
Časové parametre si všimol Klemmer [189] a zistil lineárny vzťah medzi jednoduchým reakčným časom a *časovou neurčitostou* výskytu podnetu. Časová neurčitosť ( $S_T$ ) je funkciou trvania prípravnej doby ako aj intervalov medzi prípravnými signálmi ( $R\check{C} = 0,018 \log S_T + 0,235$ ).

Proti Hickom zistenej závislosti sa postavili viacerí autori. Mowbray a Rhoades [256] použili podobnú aparatúru a zistili, že po 15 pokusoch (každý pozostával z 3000 reakcií) s jednou pokusnou osobou sa rozdiel medzi dvojvýberovou a štvorvýberovou situáciou znížil z pôvodných 10 msec na nulu. Pritom *nácvik* v dvojvýberovej situácii postupoval rýchlejšie. Autori na základe tohto tvrdia, že reakčný čas nevrastá so zvyšovaním počtu alternatív. Možno im však vyčítať, že použili len jedinú pokusnú osobu, ktorá už bola predtým v mnohonásobne zložitejších situáciách. Okrem toho ich výsledky sú nejednoznačné, napr. rozdiel medzi situáciami, ktorý bol na začiatku minimálny, do tretieho pokusu sa dokonca zväčšuje, výsledky ďalších 10 pokusov autori neuvádzajú a ku koncu pokusov vidieť nepravidelné zmeny. Percento chýb na začiatku bolo menšie v zložitejšej situácii a na konci nácviku menšie v jednoduchšej situácii.

Leonard [217] pri použití hmatovej stimulácie zistil, že pri vhodnom „zakódovaní“ podnetov množstvo podanej informácie nevlýva na reakčný čas. Uvažuje však, že môže ísť o rôzne artefakty. Medzi ným spomína aj vplyv skúsenosti v zložitých situáciách, čo sa podľa nášho názoru môže vzťahovať tiež na výsledky Mowbraya a Rhoadesa. Leonard [216] v inom výskume zistil, že pri vizuálno-motorickej úlohe aj po niekoľkých mesiacoch nácviku zostal rozdiel — i keď malý — medzi trojvýberovou až šesťvýberovou situáciou. Upozornil tiež [215] na vplyv spôsobu kódovania a zhodnosti. Deininger a Fitts [89] ukázali, že priemerný reakčný čas i počet chýb stúpa, ak klesá zhodnosť podnetu a odpovede, ktorá je dôležitá najmä v senzomotorických úlohách. Rýchlosť zisku informácie zisťovali tak, že množstvo prenesenej informácie (v dvoj. jed.) delili reakčným časom.

Najnovšie Schmidtke [324, 325] na základe experimentovania s 2 až 36 alternatívami (písmená a čísla na podnetovej i odpovedovej matici). Zistil, že pri vysokom *nácviku* stráca sa proporcionalita medzi log počtu alternatív a reakčným časom (pozri obr. 12). U necvičených osôb  $R\check{C} = 0,0205 + 0,3191 \log_2 n$ . U zacvičených osôb do 10 alternatív,  $R\check{C} = 0,0461 + 0,2705 \log_2 n$  a od 10 do 36 alternatív,  $R\check{C} = 0,845 + 0,0312 \log_2 n$  (rýchlosť prenosu informácie 33 dvoj. jed. za sekundu). Toto zníženie závislosti reakčného času od počtu alternatív je významnejšie v priebehu únavy (najmä vtedy, ak je viac ako 12 alternatív). Podľa Schmidtkeho Hickova rovnica platí u nezacvičených osôb, a to až do 10 alternatív. Po únavnej duševnej práci

má krivka takú formu ako u nezacvičených osôb. Uvádza hypotézu Seibela, podľa ktorej reakčný čas závisí od prietoku informácie do troch dvoj. jed. a potom zostáva konštantný. Teda vysoký štruktúrny nácvik (únava, malý nácvik) spôsobuje, že vzťah je lineárny. Schmid preto nabáda k opatrnosti pri výpočtoch kapacity kanála pre prenos informácie u človeka na základe výsledkov disjunktívnych reakcií a navrhuje, aby sa nemalo obmedziť všeobecnú platnosť Hickovej rovnice.



Obr. 12. Vplyv nácviku na disjunktívny RČ. Horná krivka — pred nácvikom, dolná krivka — po nácviku, os x — počet výberov, os y — RČ (podľa 324; 167).

informácie. Ak nie je nadbytočná (napr. neobvyklý tvar semafora), prenos závažnej informácie sa zníži. Množstvo závažnej a nezávažnej informácie v podnete sa môže meniť nezávisle od seba, pričom komplexnosť úlohy je funkciou jedného alebo oboch typov informácie. Autor zistil, že čas potrebný na zvládnutie informácie vzrastá ako lineárna funkcia množstva závažnej informácie v rozsahu do štyroch dvoj. jed., a to podľa vzorca  $RČ = 1,925 + 0,372 \cdot I$  (v dvoj. jed.). Množstvo nezávažnej informácie do dvoch dvoj. jed. nevplyva na reakčný čas.

Lineárne klesanie výkonu so vzrastom nezávažnej informácie zistili Bourne [55] pri identifikácii pojmov. Tiež Bourne a Haygood [57] zistili, že nadbytočná závažná informácia uľahčuje identifikáciu pojmov, ak nie je v pozadí šum (nezávažná informácia). Podobne i Kováč [201] zistil vysoko významové zníženie reakčného času v dôsledku nadbytočnej závažnej informácie. Pri zisťovaní pohotovosti koordinovaných reakcií prstov pripojil totiž k proprioceptívnej i zrakovú signalizáciu. Okrem toho zistil zvýšenie výkonu o 22% (v dvoj. jed.) vplyvom nácviku.

Tiež Morin [255] skúmal účinok nezávažnej podnetovej informácie na disjunktívny reakčný čas a zistil, že táto nemá významový vplyv, ak ide o pokročilú úroveň výkonnosti.

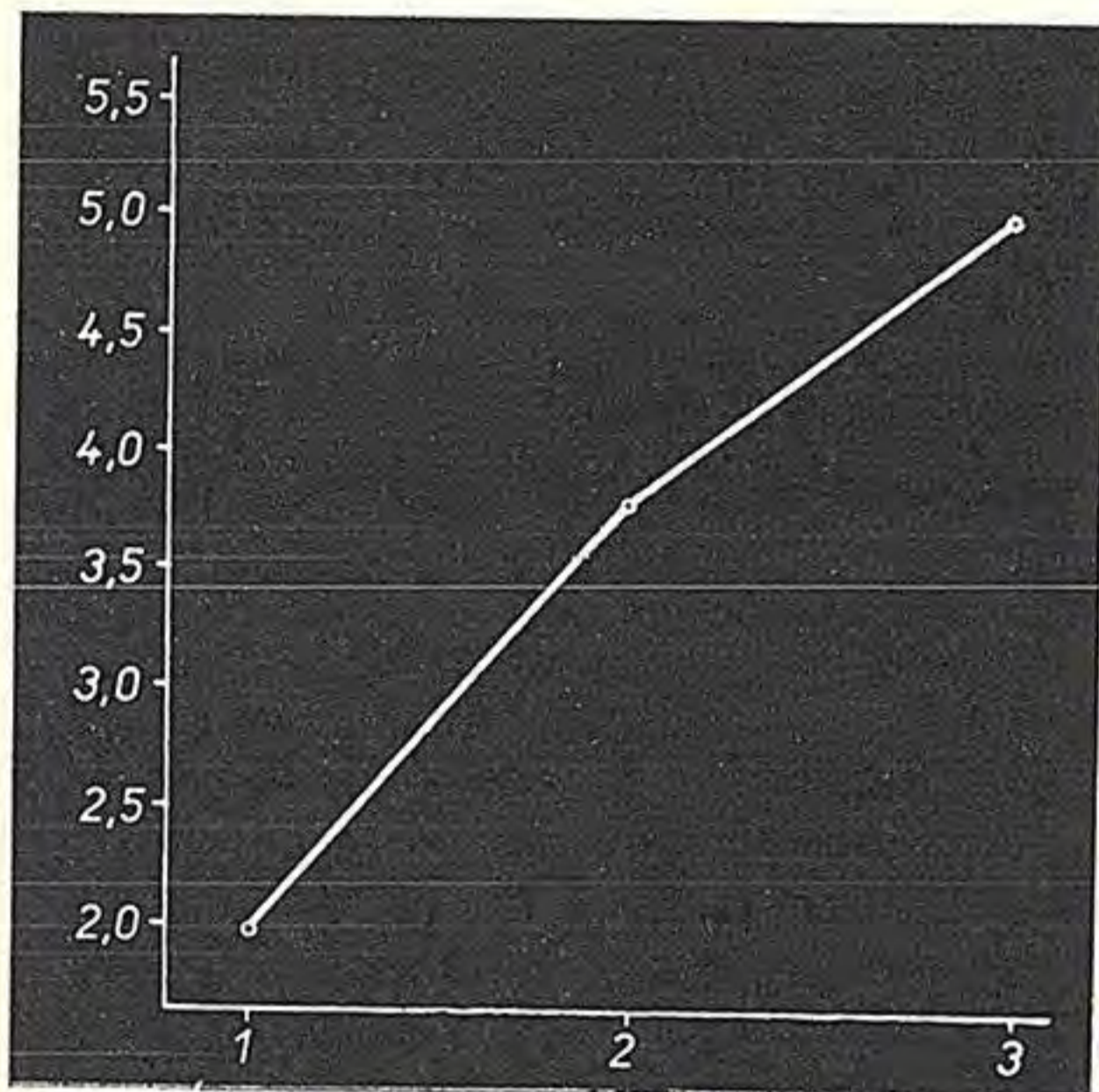
Vplyv pravdepodobnosti signálu na priebeh odpovede zistovala Ušaková [378]. Použila zvuky rôznej intenzity a menila očakávanie pokusných osôb. Ukázalo sa, že oboznámenosť s druhom podnetu skraca reakčný čas. Vplyv pravdepodobnosti sa rovnal vplyvu, aký mal rozdiel 10 db v hlasitosti.

V našom výskume [348, 349] sme skúmali vplyv množstva podanej nezávažnej informácie, priestorového rozloženia podnetov, poradia ich podávania, ako aj spätnej informácie na disjunktívny reakčný čas. Podnetové zariadenie pozostávalo v I. skupine z 2, v II. skupine zo 4, v III. skupine z 8 svetiel (vedľa seba), čo pri nezávislých a rovnako pravdepodobných možnostiach ich výskytu znamená podanie 1, 2 a 3 dvoj. jed. informácie. Išlo tu o zvýšenie nezávažnej informácie, pretože pokusná osoba mala k dispozícii len dva telegrafné kľúče a odpovedala vždy alebo ľavou rukou na hociktoré svetlo v ľavej polovici radu svetiel, alebo pravou rukou na hociktoré svetlo vpravo (stred oddelujúci ľavú a pravú polovicu svetiel nebol vyznačený). Množstvo závažnej informácie bolo vo všetkých skupinách rovnaké a predstavovalo jednu dvoj. jed. (výber z dvoch možností: vpravo alebo vľavo). Podnety boli podávané v rovnakých intervaloch, čím sa odstránila časová neistota. Množstvo prenesenej informácie sme zisťovali podľa Hickovho postupu, a to tak, že sme množstvo podanej informácie delili podielom reakčného času v stotínach sekundy a presnosti v percentách.

Priemerný reakčný čas v I. skupine = 498 ms, v II. skupine = 513 ms a v III. skupine = 561 ms. Rozdiel medzi II. a III. skupinou je významový a medzi I. a III. skupinou vysoko významový (medzi  $P = 1\%$  a  $P = 0,1\%$ ). Ak tieto hodnoty reakčného času vyjadríme spolu s chybovosťou v množstve prevedenej informácie, dostávame 1,96; 3,70 a 5,30 dvoj. jed. za sekundu. Zo zvyšovania množstva prevedenej informácie vyplýva, že sme pracovali s informáciou menšou, ako je kapacita kanála. K výraznému nácviku pri našom experimente nedošlo (použili sme 15 sád po 16 podnetoch — rozdiely medzi sadami sú nevýznamové). Príčinou môže byť motorická jednoduchosť odpovedovej situácie (2 telegrafné kľúče) alebo tiež tá skutočnosť, že celý pokus prebehol v priebehu jedného sedenia. Naše údaje sa teda zhodujú so závermi Hicka a vidieť ich názorne na obr. 13.

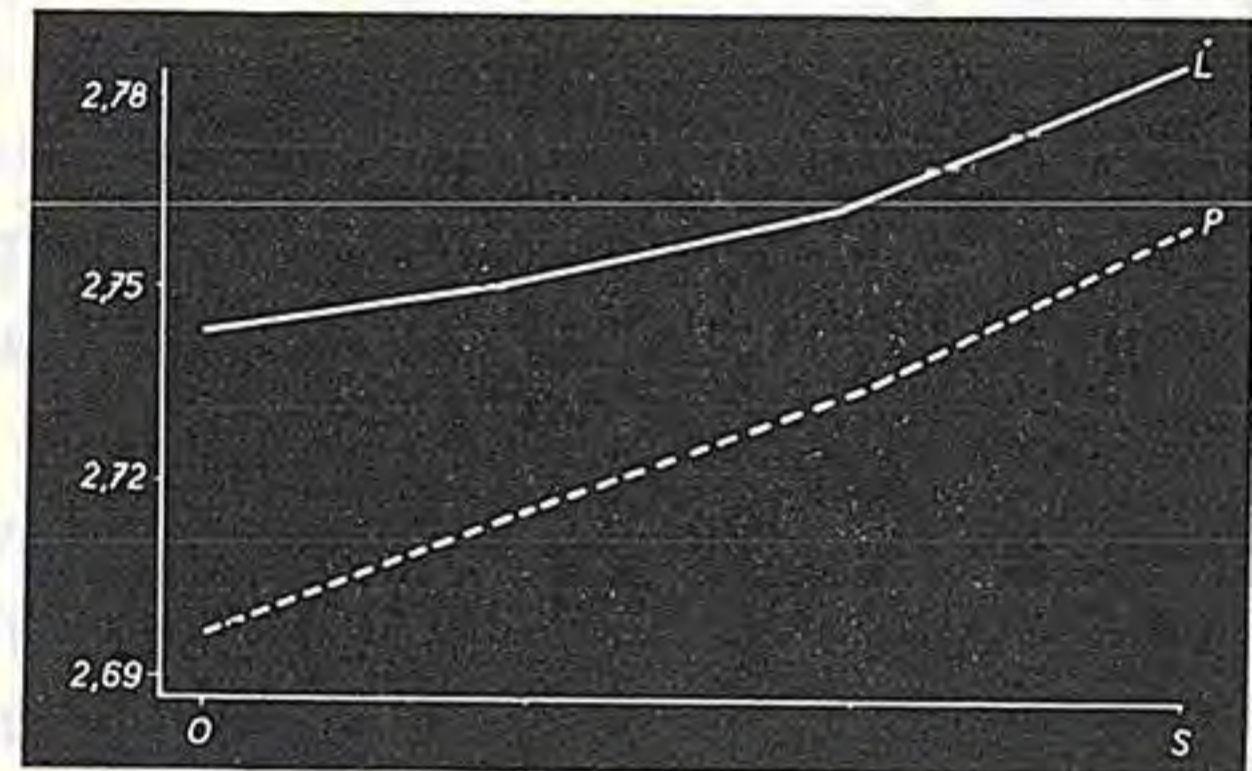
Ovplyvnenie informačného prevodu priestorovými charakteristikami podnetu sme zisťovali najmä v III. skupine. Množstvo prenesenej informácie pri postupe od kraja do stredu radu svetiel sa znižovalo

takto: 5,37; 5,09; 4,86; 4,53 dvoj. jed. Najväčšie zhoršenie výkonu nastalo medzi podnetom, ktorý bol najbližší k stredovému, a stredovým podnetom. V danej experimentálnej situácii je tu totiž najťažšia diskriminácia (vedľa stredového podnetu pre pravú ruku je podnet pre ľavú ruku). Graficky sú tieto údaje zachytené na obr. 14. Vplyv poradia podnetov sme sledovali v I. skupine, kde je väčší počet podnetov toho istého typu. Ak nasledovali po sebe dva podnety na



Obr. 13. Vplyv množstva podanej nezávažnej informácie (os x) na informačný prevod v dvoj. jed. za sek. (os y).

tej istej strane, výkon na druhý podnet sa znížil (vľavo 1,90—1,71 dvoj. jed.; vpravo 2,17—2,02 dvoj. jed.), a to v dôsledku očakávania pravidelného striedania pravých



Obr. 14. Vplyv priestorových charakteristík (os x: O — okraj, S — stred radu svetiel) na informačný prevod (os y — v dvoj. jed. za sek.).

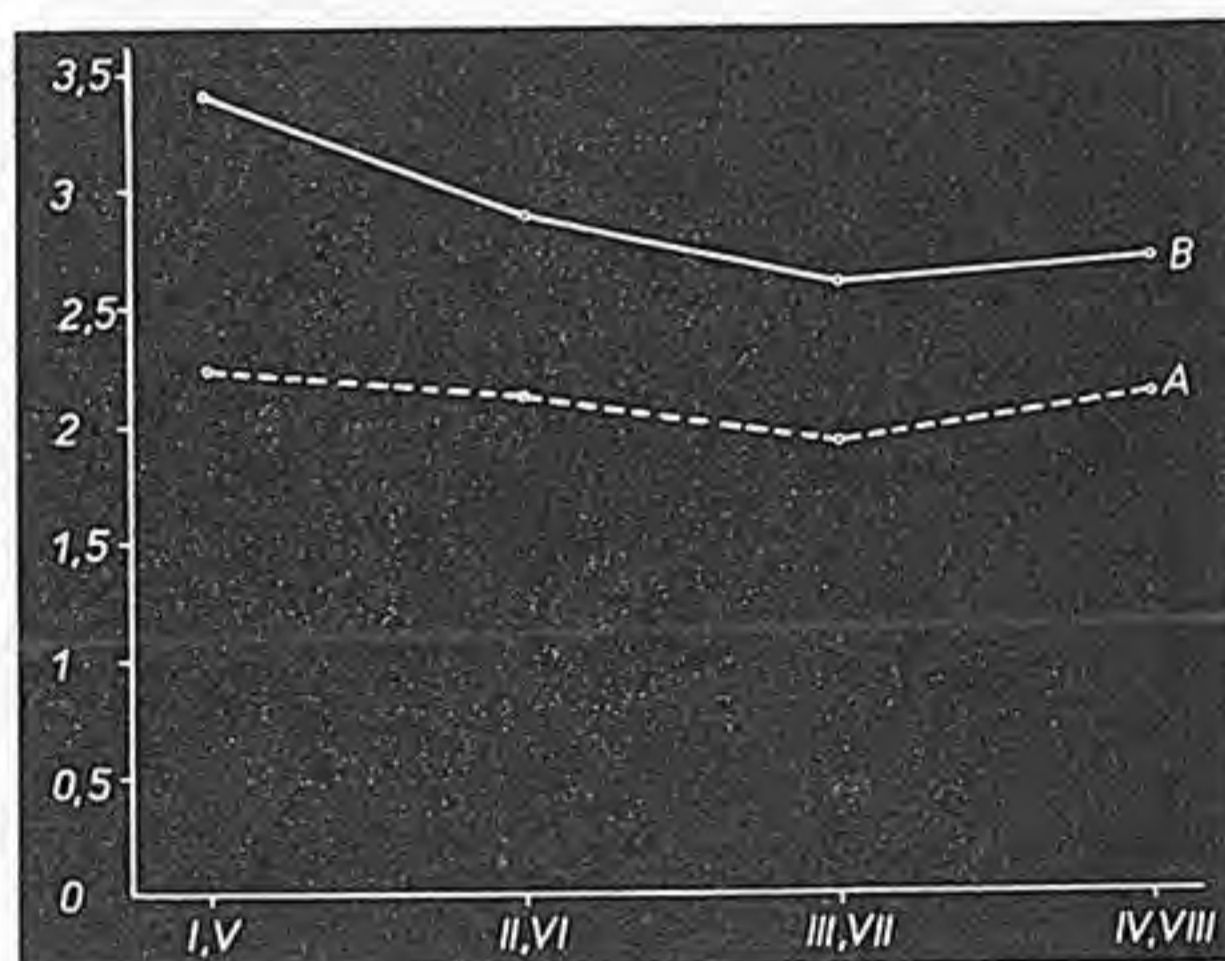
a ľavých podnetov (hoci v inštrukcii bolo oznámené, že sa budú striedať nepravidelne). Podobne, ak podnet vpravo nasledoval po ľavom podnete, výkon bol 2,18 dvoj. jed., avšak sa znížil na 2,02 dvoj. jed., ak nasledoval po pravom podnete; resp. podnet vľavo po pravom podnete — 1,96 dvoj. jed. a po ľavom podnete — 1,71 dvoj. jed.

Spätná informácia sa podávala tým spôsobom, že po každej sade podnetov sa rozsvietila v skupine I. b červená žiarovka (slabý výkon) a v skupine I. c zelená žiarovka (dobrý výkon). Výsledky sa oznamovali bez ohľadu na skutočný výkon, avšak ku konfliktu vonkajšej a vnútornej informačnej spätnej väzby nemohlo dôjsť, pretože pokusná osoba nevedela, aké kritérium máme na rýchlosť odpovede a mohla konštatovať len svoju chybovosť. Ukázalo sa, že zavedenie oznamovania výsledkov spôsobuje skracovanie reakčného času a je-

ho koncentráciu okolo strednej hodnoty. Výkon v skupine I. a (bez oznamovania výsledkov) bol 1,96 dvoj. jed., pri oznámení dobrého výkonu 2,12 dvoj. jed. a pri oznámení slabého výkonu 2,07 dvoj. jed. Vidieť, že výkon zlepšuje najmä povzbudivá signalizácia. Celkove naše výsledky sú v zhode s výsledkami Hicka a Hymana, i keď v našom výskume bolo zvyšovanie reakčného času pomalšie. Prejavil sa tu vplyv usporiadania experimentu — znížili sme zásto motorického činiteľa na minimum. Oznamovanie výsledkov v labo-

Tab. 3

Skupina	Súbor	
	A	B
I a V	2,23	3,39
II a VI	2,14	2,89
III a VII	1,91	2,59
IV a VIII	2,13	2,69



Obr. 15. Vplyv zhodnosti na množstvo získanej informácie v oboch súboroch (os x-experimentálne skupiny, os y-informácia v dvoj. jed.)

ratórnych podmienkach nemá taký dosah ako v skutočnom živote. Okrem toho nemala táto spätná informácia smerové účinky, t. j. neudávala bližšie charakteristiky slabého výkonu.

Vplyv nasýtenosti podnetového zariadenia ako aj zhodnosti podnetového a odpovedového zariadenia na prenos informácie sme skúmali v ďalšom experimente [353]. Použili sme panel s 24 svetlami (súbor A) a s 96 svetlami (súbor B), ktorý bol rozdelený na dve polovice (pravú a ľavú, resp. hornú a dolnú), pričom v každom súbore sme menili zhodnosť takto: v I., resp. V. skupine pokusné osoby odpovedali pravou rukou na podnet vpravo, v II. (VI) skupine ľavou rukou na podnet vpravo, v III. (VII) skupine ľavou rukou na horný podnet, v IV. (VIII) skupine pravou rukou na horný podnet. Druhou rukou sa odpovedalo na podnet vľavo, resp. dolu. Tie isté pokusné osoby prešli v znáhodnenom poradí všetkými experimentálnymi skupinami. V tab. 3 uvádzame výsledky týkajúce sa zhodnosti i nasýtenosti (v dvoj. jed.). Graficky sú tie isté výsledky znázornené na

obr. 15, kde vidieť, že zvýšenie nasýtenosti ovplyvnilo i výsledok v zhodnosti. Najhorší výkon je pri odpovedaní ľavou rukou na podnety v hornej polovici poľa a pravou rukou v dolnej polovici poľa. Najlepší výkon je pri maximálnej zhodnosti (pravou rukou na podnet). Zvýšenie nasýtenosti predĺžilo reakčný čas len o 6 %, pričom chybovosť sa nezmenila. Treba si uvedomiť, že ide tu o zvýšenie podanie nezávažnej informácie, pretože počet odpovedových kategórií sa nezvýšil, ani sa nevyžadovalo nejaké kombinovanie svetelných podnetov do jedného celku pri odpovedaní.

Křivohlavý [206] skúmal zrakový prenos informácie pomocou Laidlovho panela (49 prstencov prerušovaných v rôznych polohách). Zistil maximum 8,5 dvoj. jed. za sekundu, pričom zníženie intenzity osvetlenia silne ovplyvňuje kapacitu prevodu. Autor tu analyzoval tiež problém výpočtu straty informácie. V inom výskume [207] zisťoval zrakovú prevodovú kapacitu u kuričov elektrárenských kotlárskych pomocou už uvedenej metodiky. Zistil hodnotu 8,78 dvoj. jed. za sekundu. Uvádza, že v praxi sa nedarí zistiť skutočné množstvo prijímanej informácie, pretože nemáme zachytenú skúsenosť človeka. Z výsledkov pokusov vyplýva, že ak je informačný tok väčší ako kapacita operátora, so zvyšovaním toku (v rozsahu 3,07—29,4 dvoj. jed. za sek.) rastie i množstvo stratených informácií.

Leontjev a Krinčiková [218] uvádzajú, že pravdepodobnosť objavenia sa podnetu súvisí s jeho *neočakávanosťou*. Pri rôznej pravdepodobnosti podnetoch prejavuje sa totiž špecifická orientačná činnosť, ktorá je vyvolaná nie novosťou podnetu, ale jeho neočakávanosťou. Krinčiková [204] zisťovala závislosť disjunktívneho reakčného času od veľkosti individuálnej informácie. Podľa autorky treba rozlišovať „frekvenčnú charakteristiku“ a „konkrétne štruktúru“, pričom prvá udáva rozloženie relatívnych frekvencií a druhá architektúru sledu signálov (napr. pravidelné opakovanie, periodické sledy, náhodné poradie). Individuálna informácia je ovplyvnená rozložením pravdepodobností a priemerná zase počtom rovnako pravdepodobných signálov. Experimenty uskutočňovala pomocou svetelných podnetov a slovných odpovedí. Vplyv množstva individuálnej informácie skúmala totiž pri rovnakej zložitosti výberu a rozličnej pravdepodobnosti signálov, vplyv priemernej informácie pri rozličnej zložitosti a rovnakej pravdepodobnosti signálov. Ukázalo sa, že závislosť reakčného času od priemernej informácie je lineárna a od individuálnej informácie je logaritmická. Teda rovnaká zmena množstva

stva informácie vedie k rozličnej zmene reakčného času. Určovanie množstva priemernej informácie obsahuje dve vzájomne späté premenné: pravdepodobnosť signálu a počet alternatívnych signálov. Ich psychologickými korelátmi sú *stupeň neočakávanosti* signálu a *stupeň zložitosti* výberu. Individuálna informácia sa vzťahuje na jeden signál a je určovaná len pravdepodobnosťou. Za informáciou sa teda skrývajú dve neurčitosti: časová neurčitosť, t. j. kedy sa objaví signál, a alternatívna neurčitosť, t. j. ktorý zo signálov sa objaví v daný moment. Výskum ukázal, že človek sa ľahšie vypoaria da s časovou neurčitosťou ako s alternatívou. Okrem toho autorka zistila, že tzv. havarijné posilnenie (napr.: Ak prekročíte reakčný čas, pokazí sa aparátúra!) znižuje reakčný čas.

V poslednom čase sa otázkami rýchlosti spracovania informácie (resp. reakčného času) zaoberá v značnej šírke *sovietska inžinierska psychológia*. Súhrnný prehľad tu podávajú materiály z leningradskej konferencie roku 1964 [292]. Výskumy aplikujúce teóriu informácie sú zamerané na rozlíšiteľnosť signálov (M. A. Dmitrijeva), motorickú činnosť letcov (A. S. Jegorov), vplyv podmienenej pravdepodobnosti signálov (I. N. Krylov), nejednoznačnú rečovú informáciu (G. V. Ejger), optimálnosť kódovania (B. F. Lomov), binárne sériové reagovanie (V. A. Bodrov, A. A. Genkin, G. M. Zarakovskij) a pod.

Zo súhrnných prehľadov o problematike reakčného času treba uviesť aspoň Welforda, Lomova, Bojku a Kováča.

Napriek niektorým sporným výsledkom sú tu podľa Welforda [393] určité fakty, ktoré potvrdzujú *oprávnenosť* informačného prístupu k reakčnému času. Predovšetkým množstvo informácie obsiahnuté v signáloch sa pri disjunktívnom reakčnom čase znižuje, ak signály nemajú rovnakú frekvenciu. Zníženie sa vyskytuje tiež vtedy, keď signály nasledujú po sebe v zistiteľných sledoch a tiež vtedy, keď subjekt robí chyby. Pri uskutočňovaní výberu možno predpokladať rozličný postup. Napr. Hick vychádzal z postupnej dichotomnej klasifikácie (subjekt identifikuje podnet a odpoveď najprv v polovici zo všetkých možností, potom v polovici z tejto polovice atď.). Tento model sa však nehodí na situáciu s odlišnými frekvenciami signálov. V takejto situácii sa používa už uvedená klasifikácia s kontrolou presnosti. Pri malom počte podnetov je výhodné postupné preskúmanie všetkých podnetov, pri veľkom počte najprv dichotomná klasifikácia a keď sa počet zmenší — postupné preskúmanie.

Lomov [223] v súvislosti s rozdielnymi výsledkami pri meraní infor-

mačného prenosu človeka tvrdí, že príčinou nesúhlasných výsledkov sú rozdielne úlohy, a teda i rozdielne spôsoby činnosti pokusných osôb. Zdôrazňuje nevyhnutnosť skúmať *podstatu* tých procesov, pomocou ktorých sa uskutočňuje prenos informácie a dokladá to výsledkami viacerých sovietskych výskumov. Napr. M. A. Dmitrijeová zistila, že počet nadviazaných spojení dispečera s letcami rastie len po určitú hranicu rýchlosti vstupnej informácie. Lomov overoval výsledky Sziklaia (tento zistil kapacitu 30—40 dvoj. jed. pri spoznávaní predmetov), pričom použil písmená a číslice. Zistená priepustná schopnosť bola okolo 50 dvoj. jed. za sekundu. Autor však súčasne poukazuje na to, že pri použití týchto výsledkov v praxi (operátor vo výrobe) treba prihliadať na to, že tieto zistenia sa vzťahujú na okamžitú priepustnú schopnosť a že v priebehu práce dôjde tu k zmenám. Treba tiež rozlišovať príjem a prenos informácie. Pri prenose totiž výsledky ovplyvňuje aj spôsob odpovedania. Toto všetko kladie značné obmedzenia na formálny prístup k skúmaniu rýchlosti príjmu a prenosu informácie človekom.

Bojko [53] podrobne rozoberá doterajšie hlavné výskumy, ktoré sa týkajú aplikácie teórie informácie na reakčný čas. Kritizuje Hymanovu metódu vysvetľovania, opierajúcu sa o údaje sebaoporovnávaní a Berlynovu koncepciu o konflikte pri výbere pokladá za príliš abstraktnú a odtrhnutú od fyziologických mechanizmov. Uvádza najmä názory tých autorov, ktorí zdôrazňujú centrálny mechanizmy spracovania informácie a tézu o lineárnom vzťahu množstva informácie a reakčného času považujú len za pracovnú hypotézu. Celkove Bojko celú problematiku posudzuje výlučne z hľadiska potreby skúmania príslušných *mozgových* mechanizmov (najmä systémových procesov).

Kováč [202] rozlišuje tri skupiny autorov, čo sa týka ich prístupu k aplikácii teórie informácie na senzomotorickú reakciu. Prvá skupina si všíma podnetovú schému, druhá odpovedovú a tretia centrálny mechanizmy. Pri hodnotení všetkých týchto prístupov Kováč poukazuje na ich metodický a teoretický dopad. V tejto súvislosti navrhuje používať miesto reakčného času termín „pohotovosť“.

\* \* \*

Ak máme záverom hodnotiť doterajšie snahy o zistenie závislosti reakčného času od množstva podanej informácie, treba v prvom rade chápať tento prístup v *historickom* priereze. Od Hickovho pred-

pokladu, že podaná informácia sa dá striktne matematicky určiť (jeho lampy boli sémanticky neutrálne), cez postupné zapájanie aj iných parametrov experimentálnej situácie až po dnešné konštatovania, že takáto jednoduchá závislosť je v praxi nepoužiteľná, pretože nezachytáva diskriminatívne podmienky, motorickú obťažnosť, resp. slovnú pohotovosť, zhodnosť, stupeň nácviku, významnosť, neočakávanosť a pod. Nie je teda doteraz objasnená — ako uvádza Krinčiková — psychologická podstata závislosti reakčného času od podanej informácie. Súčasne však táto situácia je aj výrazom postupného prechodu od mechanického aplikovania poznatkov technickej komunikácie na človeka k zhodnocovaniu úlohy jeho *subjektívnych vplyvov* pri prenose informácie. Ukázalo sa, že množstvo podanej informácie treba hodnotiť na pozadí subjektívnej pravdepodobnosti výskytu signálov, ktorá je zase ovplyvnená skúsenosťou, ako aj myšlienkovými úvahami. Znova sa potvrdilo, že človek je integrovaný komunikačný kanál a periférne procesy nemožno oddeľovať od centrálnych. Kybernetické zvládnutie problémov učenia i myslenia spätne ovplyvní i takú zdanlivo jednoduchú problematiku, akou je závislosť reakčného času od množstva informácie.

### c) pravdepodobnostný prístup

Psychický odraz vonkajšieho sveta je podmienený jeho štruktúrou, preto nás nesmie prekvapovať, že i psychológia sa snaží zachytiť primeranými prostriedkami tie stránky procesu vnímania (popri sociálnych), ktoré odrážajú pravdepodobnostnú štruktúru fyzikálnej reality. Podľa Allporta [3] pojem pravdepodobnosti zdá sa byť užitočným prostriedkom i pri skúmaní vnímania.

Brunswik [3] v svojom probabilistickom funkcionalizme kladie dôraz na zhodnocovanie výkonu organizmu pri prispôsobovaní sa prostrediu, ktorého pravidelnosti sú skôr pravdepodobnostné ako stroho deterministické. *Neurčitost' je vnútornou vlastnosťou prostredia* a percentuálne diskriminácie možno považovať za odpovede na schémy pravdepodobnostných kľúčov. V dôsledku toho vzťahy podnet—odpoveď majú nevyhnutne probabilistickú podstatu.

Kritici [290] tomuto systému vytýkajú, že sa nezaobrá vysvetľovaním (napr. konfigurácie, nastavenia), ale len opisom vnímania a zdôrazňuje intuitívnu podstatu procesu vnímania.

Konštruovanie definitívnych koncepcií v tejto oblasti je ešte pred-

časné, pretože nie je tu dostatok experimentálneho materiálu. Pokážeme však na niektoré konkrétne výskumy v tejto oblasti.

Proces vnímania z hľadiska pravdepodobnostnej sumácie skúmal Dember [90], a to pri vnímaní (detekcii) *splývania prerušovaného svetla*. Ak pravdepodobnosť vnímania pri rôznom trvaní záblesku  $A$ ,  $B$  a  $C$  je rovnaká, a to  $0,5$  a ak citlivosť zrakového systému sa mení náhodne v čase, pravdepodobnosť vnemu splývania pri záblesku s trvaním  $A + B + C$  zistíme podľa vzorca

$$P_{A+B+C} = P_A + P_B + P_C - (P_A \cdot P_B + P_A \cdot P_C + P_B \cdot P_C - P_A \cdot P_B \cdot P_C) = 0,875.$$

Problémom je tu i zostavenie primeraných podnetov.

Metódu kvantitatívnej kontroly pravdepodobnostných charakteristík podnetov, ako aj vytvárania *štatisticky definovateľných podnetov* opísal Fitts [125]. Vychádza z toho, že pravdepodobnostný prístup k skúmaniu perceptuálneho procesu poskytuje nové metódy skúmania vzťahov medzi časťami vizuálnych schém, účinkov vizuálneho poľa, časového sledu a priestorových závislostí medzi časťami tvaru. Odpoveď pokusnej osoby na určitú vizuálnu schému je funkciou tak špecifických charakteristík, triedy tvarov ako aj pravdepodobností spojených s tou triedou, do ktorej táto schéma patrí. Kvantifikáciu obrysu — ktorý je najcharakteristickejšou vlastnosťou každého vizuálneho tvaru — autor dosiahol pomocou konštrukcie kompaktných bielo-čiernych tvarov v dvojdimenzionálnej matici. Pomocou náhodných čísel stanovil, aká veľká plocha v určitom riadku, resp. stĺpci bude tmavej farby. Ak sa každý detail určuje nezávisle náhodným postupom, je možné vytvoriť  $N = r^s$  rozličných tvarov v matici s  $r$ -riadkami a  $s$ -stĺpcami. Pri použití nenáhodného postupu vzniká menšie množstvo figúr, ktoré majú určitý stupeň relatívnej nadbytočnosti.

Arana a Sokolov [14, 15, 334] na príklade *hmatového vnímania* ukázali, že štatistický prístup k hodnoteniu vplyvu minulej skúsenosti na vnímanie umožňuje opísať dynamiku vnímania ako proces zmeny apriórnych pravdepodobnostných hypotéz v dôsledku oboznámenia sa s jednotlivými vlastnosťami vnímaného objektu. Hmatové vnímanie má tú výhodu, že uľahčuje objektívnu registráciu celého procesu vnímania. Ak sa zobrazenie podá vo forme oddelených bodov, dostaneme diskretný ráz jednotlivých pohybov, čím je uľahčená analýza procesu vytvárania hmatového vnemu. Autori použili ma-

ticu 5.5 štvorčekov, kde vložené kocky vytvárali príslušné zobrazenia. Pokusná osoba prstom, bez účasti zraku, zisťovala, o aké zobrazenie ide. V prvých etapách vytvárania hmatového vnemu schéma hľadania zahrňuje všetky možné hypotézy danej sústavy. Postupne vplyvom častejšieho objavovania sa jedných tvarov schéma hľadania nadobúda cieľuprimeraný ráz. Vnímanie má formu pravdepodobnostného procesu, t. j. vplyvom oboznámenia sa s jednotlivými prvkami vnímaného zobrazenia dochádza k zmene pravdepodobnosti hypotéz. Rozlíšenie hypotéz je sprevádzané skrátením a schematizáciou vnímania — nepreverujú sa všetky prvky, ale len kritické. Výskum ukázal, že trvanie hľadania je maximálne pri rovnakej pravdepodobnosti objavenia sa všetkých zobrazení a skraca sa pri zvyšovaní pravdepodobnosti objavenia sa jedného zo zobrazení. Vnímanie zložitej figúry sa môže skrátiť nielen vylúčením z hľadania tých štvorčekov, v ktorých pravdepodobnosť objavenia sa kociek je malá, ale aj opustením tých štvorčekov, kde pravdepodobnosť objavenia sa kociek je blízka jednotke.

Pri sluchovom vnímaní, kde sa spravidla podnety objavujú v časovom slede, je vylúčený aktívny výber kritických bodov a orientačná reakcia je v udržaní určitej aktivity, až kým nedôjde k stotožneniu nového podnetu s niektorým zobrazením, ktoré je zachované v pamäti. Táto aktivita sa bude zvyšovať pri približovaní sa časových momentov, ktoré obsahujú informáciu, umožňujúcu efektívne diferencovať zobrazenia v danej sústave hypotéz.

Proces spoznávania zložitých zobrazení skúmal tiež Tichomirov [371, 372], a to v situácii, keď sa pokusnej osobe oznámili príslušné hypotézy a vyžadoval sa *minimálny počet krokov*. Činnosť subjektu môžeme hodnotiť podľa stupňa priblíženia sa k optimálnej hľadacej činnosti. Objektívnym ukazovateľom stupňa využitia prichádzajúcej informácie je porovnanie počtu krokov a počtu kritických bodov podávaného zobrazenia. Takto môžeme zistiť, do akej miery subjekt *využíva informáciu* zo svojej činnosti. Autor zistil, že pri overovaní dvoch hypotéz dochádza k plnému využitiu informácie. Pri väčšom počte hypotéz k optimálnemu sledu dochádza len vtedy, keď experimentátor ohraničí počet krokov. Ak sa hypotézy podajú naraz v náhodnom poradí, nedochádza k plnému využitiu informácie. Pri postupnom pridávaní nových hypotéz sa najprv vypracuje minimálny počet krokov pre staré hypotézy. Autor podával 4 zobrazenia (písmená), a to s rovnakou a rozdielnou apriórnu pravdepodobnosťou

výskytu. Ak sú hypotézy rovnako pravdepodobné, optimálnym spôsobom hľadania je dichotomné delenie hypotéz. Ak hypotézy nie sú rovnako pravdepodobné, najlepšie výsledky dáva výber takých prvkov na overenie, kde pri prvom kroku sa overuje jedna, a to najpravdepodobnejšia hypotéza. V poslednom čase štatistický model pozorovateľa analyzoval Sokolov a geometrický model vnímania Feikin [178].

Náš vlastný výskum [357, 359] efektívnosti procesu spoznávania zobrazení sme uskutočnili pomocou vlastnej modifikácie metodiky Arnavea a Arnoulta [26].

Na podanie zobrazenia slúžila drevená podložka o rozmeroch 30 × 25 cm. V podložke bolo 96 otvorov (priemer 15 mm, vzdialenosť 22 mm), ktoré tvorili 12 stĺpcov a 8 radov. Otvory bolo možné zaplniť pomocou krúžkov príslušnej veľkosti a tak sa dalo vytvoriť a pohotovo meniť značné množstvo zobrazení. Na podložku bol zvrchno pripevnený papier s nakreslenými kružnicami, takže pokusná osoba nevedela, o aké zobrazenie ide. Vedela však, že v priemere sa každé písmeno bude vyskytovať rovnako často.

Úlohou pokusnej osoby bolo identifikovať podané zobrazenia tak, že hrotom prepicháva tieto kružnice (zodpovedajúce otvorom). Ak hrot vnikne do podložky (t. j. do otvoru pod kružnicou), pokusná osoba získava informáciu, že ide o prvok príslušného zobrazenia. Pritom zrakom sleduje zobrazenie, ktoré sa vytvára v dôsledku postupných vpichov. V inštrukcii bola zdôraznená požiadavka identifikovať zobrazenie pomocou *najmenšieho počtu krokov* (vpichov). Pokusná osoba mala potom oznámiť, o aké zobrazenie ide. V prípade, že už oznámila zobrazenie, hoci počet krokov nebol dostatočný na rozlíšenie príslušných hypotéz, experimentátor žiadal pokračovať vo vpichovaní s odôvodnením, že počet krokov je ešte nedostatočný na identifikáciu zobrazenia.

Ako podnetovú schému sme použili zobrazenia 6 písmen: C, M, O, Z, L, U. Apriórna pravdepodobnosť objavenia sa písmen bola rovnaká ( $p = 1/6$ ). Podali sme 5 sád po 12 písmen čiže spolu 60 zobrazení. Sled písmen bol znáhodnený. Jedno písmeno zaberá plochu 16 kružníc, t. j. na podložke bolo zostavené naraz všetkých 6 písmen. Príslušné zobrazenie sa podalo cez výrez papierovej masky, aby plocha zobrazenia nemohla byť kľúčom pre pokusnú osobu.

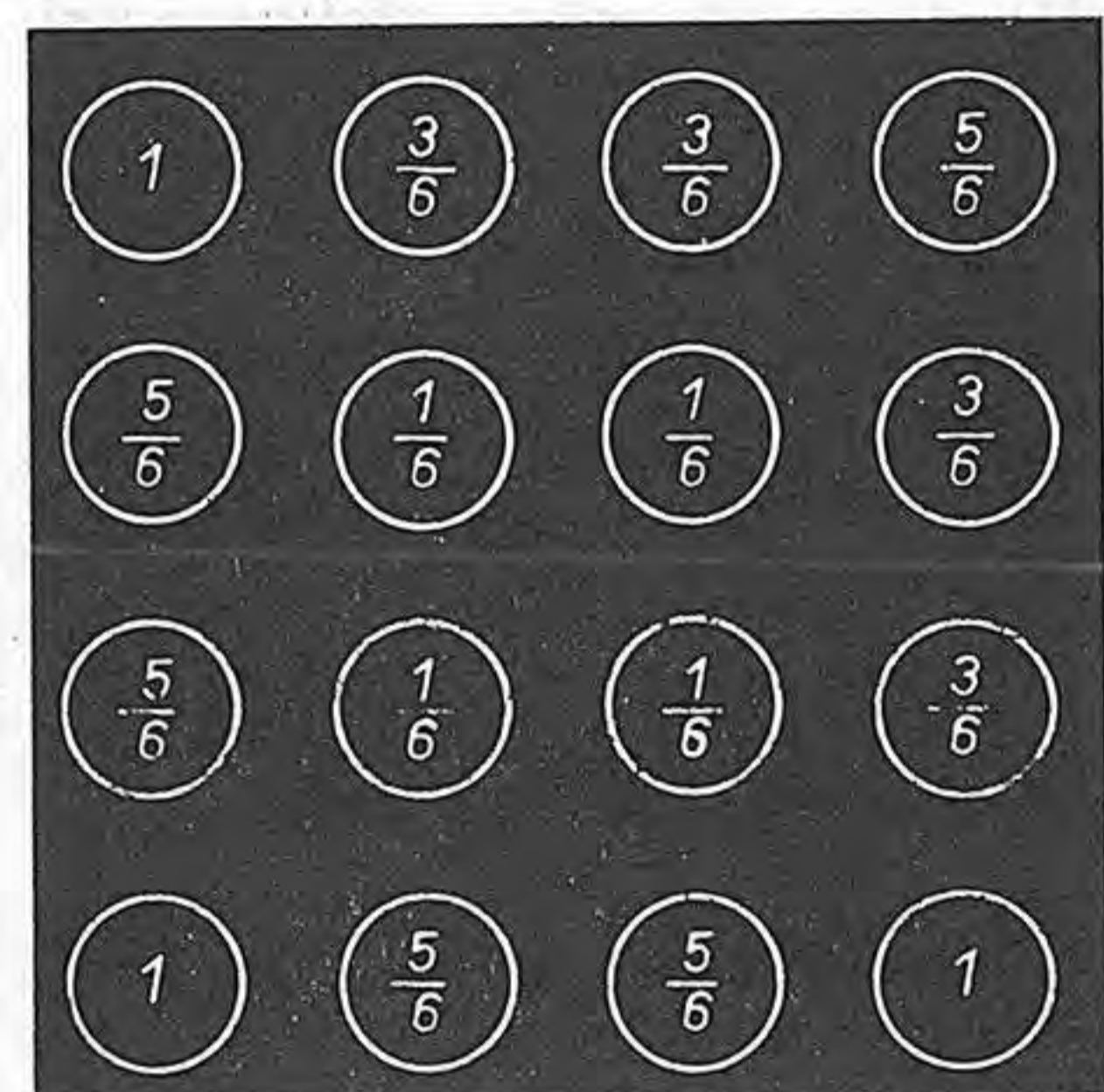
Pokusnými osobami boli desiaty žiaci vo veku 15 rokov.

Na obr. 16 je znázornená apriórna pravdepodobnosť výskytu prvkov

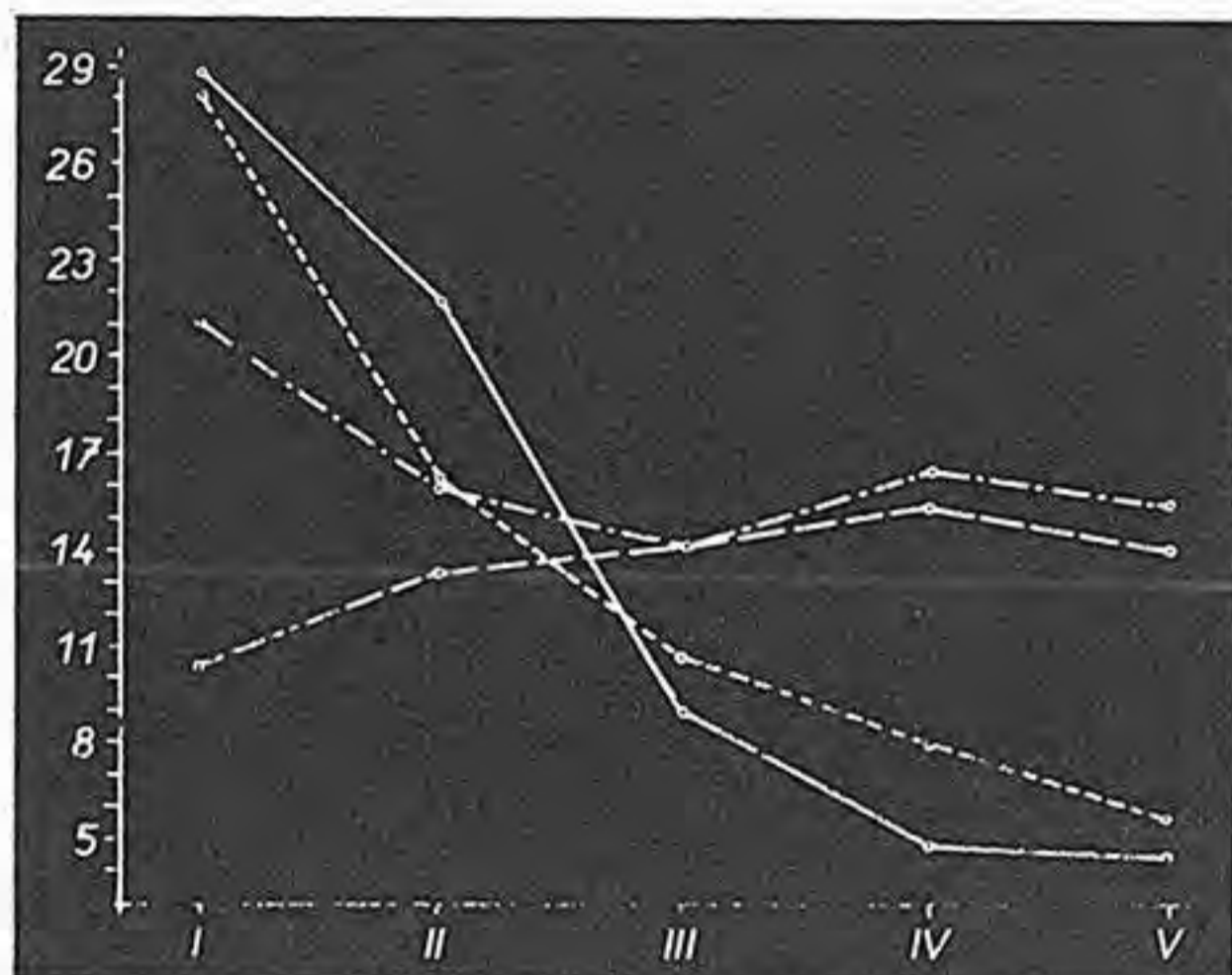
zobrazenia v jednotlivých kružniciach. Keďže vo viacerých miestach zobrazenia je rovnaká pravdepodobnosť výskytu prvku, budeme ďalej uvažovať len o 4 pravdepodobnostných situáciách:  $1/2$ ;  $1/6$ ;  $5/6$ ;  $1$ .

Priemerný počet vpichov v jednotlivých situáciách a sadách pokusu vidieť na obr. 17.

Ďalej sme sledovali zmenu apriórnych pravdepodobností jednotlivých hypotéz v priebehu pokusu. Postupným overením jednotlivých prv-



Obr. 16



Obr. 17. Priemerný počet vpichov (os y) v jednotlivých sadách pokusu (os x). Plná čiara  $p = 1$ , krátke čiary  $p = 5/6$ , dlhé čiary  $p = 1/6$ , bodky a čiarky  $p = 1/2$ .

kov zobrazenia sa pravdepodobnosť jednej hypotézy (písmena) znižuje a druhej zvyšuje.

Subjektívnu pravdepodobnosť výskytu určitého zobrazenia (písmena) sme zisťovali pomocou Bayesovej teóremy [181, 334]. Ak v  $r$ -tom prvku zistíme prítomnosť znaku  $D$  (t. j. element písmena) vtedy apriórne pravdepodobnosti hypotéz sa menia podľa vzorca.

$$P(A_n | D_r) = \frac{P(A_n) \cdot P(D_r | A_n)}{P(D_r)},$$

kde  $P(A_n | D_r)$  je pravdepodobnosť  $n$ -tej hypotézy po zistení prítomnosti znaku v  $r$ -tom prvku,

$P(A_n)$  je apriórna pravdepodobnosť  $n$ -tej hypotézy;

$P(D_r | A_n)$  je pravdepodobnosť výskytu v  $r$ -tom prvku za podmienky správnosti hypotézy  $A_n$ ,

$P(D_r)$  je nepodmienená pravdepodobnosť výskytu  $D$  v  $r$ -tom prvku.

Z priebehu zmien pravdepodobnosti sme zistili, že postup pokusnej osoby nie je vždy rovnako efektívny. Efektívnosť vnímania možno číselne určovať podľa vzorca

$$K = \frac{I}{M},$$

kde  $I$  je všetka informácia získaná v pokuse a  $M$  je počet krokov potrebných na spoznanie zobrazenia.  $I$  sa rovná súčtu informácií získaných pri jednotlivých krokoch. Množstvo informácie získanej pri jednotlivých krokoch zistíme podľa vzorca

$$I_m = H_A | D_{m-1} - H_A | D_m,$$

kde  $H_A | D_m$  je podmienená entropia nového aposteriórneho rozdelenia pravdepodobností za podmienky, že na  $m$ -tom kroku je v overovanom prvku prítomný znak  $D$ .

Minimálny počet krokov, potrebných na zistenie zobrazenia, je 3 a potom maximálna efektívnosť v našom experimente  $K = 0,86$ . Zistili sme, že efektívnosť vnímania podaných písmen bola takáto:

$$C = 0,47; O = 46; N = 0,58; Z = 0,69; L = 0,66; U = 0,48$$

Priemerné množstvo informácie získanej v priebehu prvých troch krokov uvádzame na obr. 18. Z údajov vidieť, že najefektívnejší je druhý krok, potom nasleduje tretí a prvý. Nízke hodnoty pre prvý krok naznačujú, že pokusné osoby ho považovali za menej dôležitý, hoci z teoretickej analýzy je nám jasné, že pri prvom kroku možno vylúčiť polovicu hypotéz. Podrobnejšie údaje o priemernom množstve získanej informácie uvádzame v tab. 4.

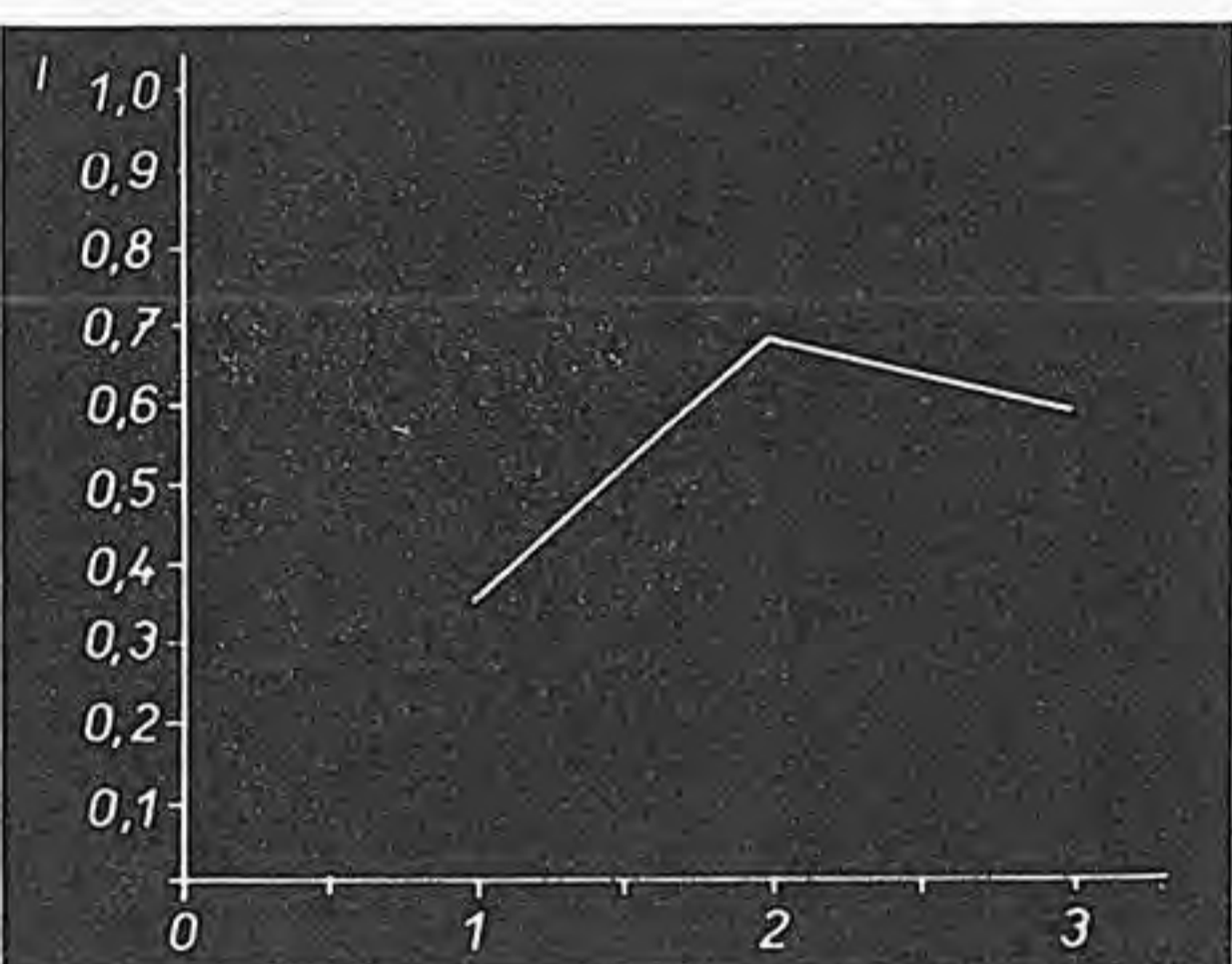
Tab.

Kroky	Sady					Priemer
	I	II	III	IV	V	
1	0,05	0,18	0,48	0,51	0,62	0,37
2	0,62	0,45	0,70	0,77	0,83	0,67
3	0,29	0,36	0,67	0,72	0,89	0,59
Priemer	0,32	0,33	0,62	0,66	0,78	

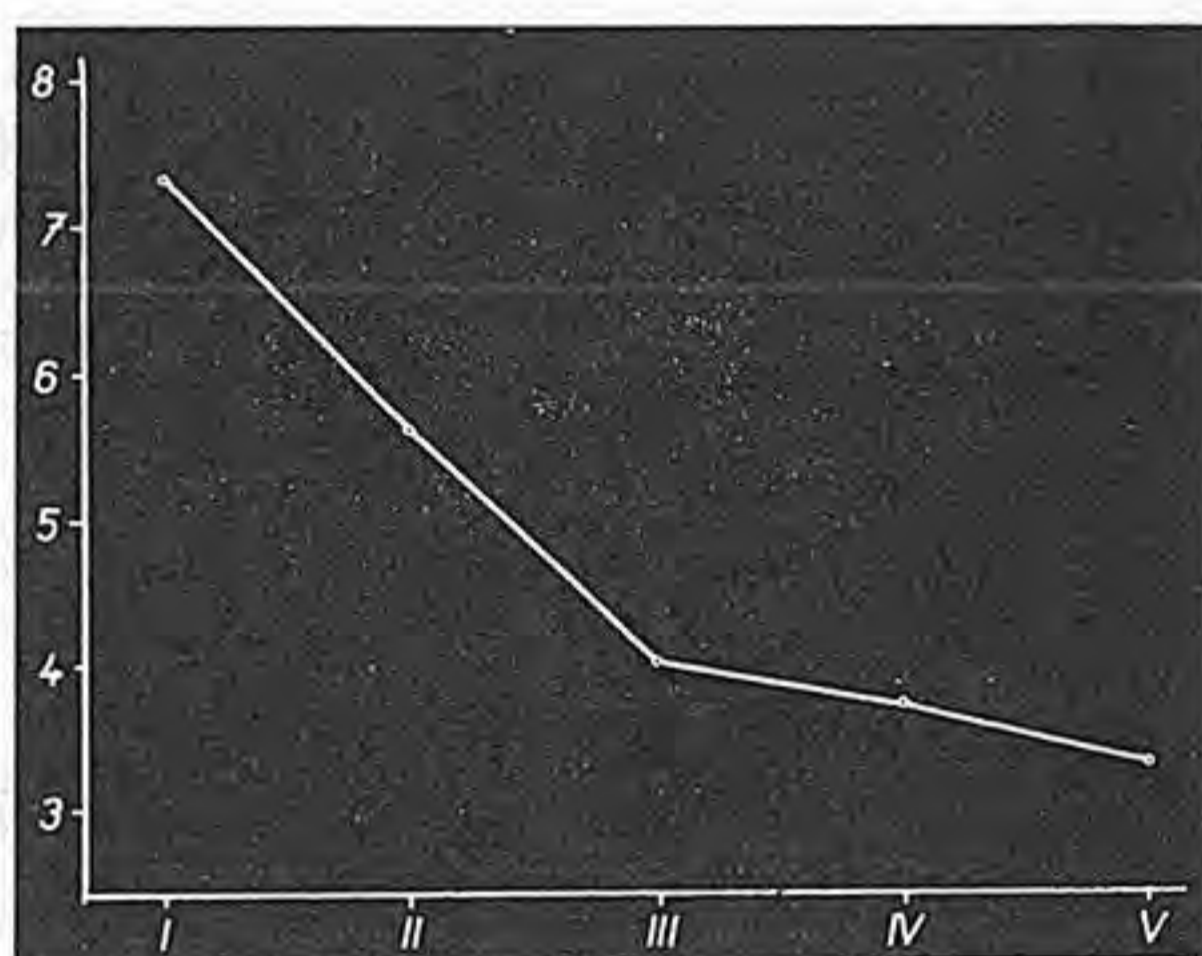
Z obr. 19 vidieť, že v priebehu pokusu sa počet vpichov znižuje (analýza variancie ukázala významový rozdiel medzi sadami pr

$P = 0,001$ ). Toto zmenšovanie nie je rovnaké pri všetkých pravdepodobnostných situáciách. Na obr. 17 vidíme, že najprudšie klesá počet neúčinných zásahov, t. j. kde  $p = 1$ , ako aj zásahy do kružnice, kde je výskyt prvku vysoko pravdepodobný ( $p = 5/6$ ). Zásahy do kružníc, kde  $p = 1/2$ , najprv klesajú a potom stúpajú. Pokles je zapríčinený celkovým poklesom počtu zásahov. Trvalý vzostup majú zásahy do miesta, kde je veľmi malá pravdepodobnosť zásahu ( $p = 1/6$ ) — pokusné osoby sa tu pokúšali jediným zásahom určiť zobrazenie.

V našom výskume sme pokusným osobám oznámili apriórnu pravdepodobnosť výskytu zobrazenia (a to inštrukciou, že písmená sa



Obr. 18. Priemerné množstvo informácie (os y — v dvojj. jed.) získanej počas prvých troch krokov (os x).



Obr. 19. Zmenšovanie počtu vpichov (os y) v priebehu pokusu (os x — jednotlivé sady).

budú vyskytovať rovnako často). Z toho však nemožno určiť, kedy sa aké písmeno objaví (podávanie v znáhodnenom poradí). Pokusná osoba si preto vytvára určitú hypotézu o výskyte zobrazenia, resp. o ich dlhšom slede. Táto hypotéza je zväčša implicitná a celý proces treba objektívne registrovať, aby sme zistili spôsob prístupov k overovaniu hypotéz. Ak postavíme požiadavku čo najmenšieho počtu krokov, môžeme činnosť subjektu hodnotiť z hľadiska *optimálnej hľadacej činnosti* (jednotlivé prvky zobrazenia prinášajú totiž rozdielne množstvo informácie). Ak sa zobrazenia opakujú viackrát, dá sa tu registrovať i proces učenia, v dôsledku ktorého sa vyčlenia kritické body príslušnej sústavy hypotéz.

Výsledky nášho výskumu ukázali, že počet krokov potrebných na identifikáciu zobrazenia sa v priebehu pokusu významne znižuje.

Najväčší pokles je v prvej polovici experimentu, teda medzi I. a II. resp. II. a III. sadou zobrazení. Pri zisťovaní stupňa priblíženia subjektu k optimálnej hľadacej činnosti toto však nepostačuje a treba odlišne hodnotiť prvky, ktoré prinášajú mnoho informácie a o iné „neužitočné“ miesta.

Záznamy z pokusov ukazujú, že proces vyčleňovania kritických bodov nie je vždy priamočiary. Aj na konci pokusu sa sporadicky vyskytujú zásahy do prvkov, kde pravdepodobnosť výskytu znaku rovná jednotke, čiže kde nedochádza k vylúčeniu ani k potvrdeniu žiadnej hypotézy. U niektorých osôb sa vyskytlo dlhé pretrvávanie nesprávneho postupu, u iných sa zase vyskytovala riziková stratégia, ktorá bola v snahe uprednostňovať tie písmená, na identifikáciu ktorých stačí jeden zásah.

Veličiny efektívnosti vnímania (prirodzene aj so zložkou myslenia) na začiatku a na konci pokusu dostatočne jasne svedčia o skúsenosti, ktorú pokusná osoba nadobudla v priebehu pokusu. Počet podaných zobrazení (60) však nebol ešte dostatočný na vypracovanie optimálnej stratégie u všetkých pokusných osôb. Počet podaní sme nemohli zvýšiť, pretože pokus trval 1 hodinu, ba u niektorých osôb ešte viac. Rozdelenie pokusov na viac dní zase skrývalo v sebe nebezpečie, pokiaľ pokusné osoby (žiaci) sa medzi sebou dohovoria alebo budú sarkasticky hľadať optimálne riešenia, a tak by sme túto fázu nemali objektívne zachytenú.

Efektívnosť urobených zásahov sa líši tiež podľa toho, aké zobrazenie bolo podané. Zistené hodnoty pre Z, L, N sa zhodujú so skutočnosťou, že na ich identifikáciu treba najmenší počet krokov (pokiaľ uhádnutí zobrazenia stačí jeden). Efektívnosť zásahu 0 sa len má líši od U, C, hoci na jeho identifikáciu stačia dva kroky.

Teoreticky je možné, že subjekt uhádne sled písmen v pokuse. V tomto prípade by na ich identifikáciu potreboval priemerne 1 krok. Na konci našich pokusov však bol priemerný výsledok 3 kroky, čiže vo všeobecnosti k uhádnutiam sledu neprichádzalo. U jednotlivých osôb sa občas vyskytlo uhádnutie N, Z, L na jednom zásahu, avšak väčšinou tu išlo o zameranie na tieto hypotézy v priebehu celej sady, čo sa zase prejavilo zvýšením celkového počtu krokov v dôsledku neoptimálneho postupu.

Optimálny postup overovania jednotlivých prvkov má dva varianty

1. krok — č. 2 (alebo 3),
2. krok — č. 8 (alebo 12),

3. krok — závisí od prvého. Ak sa tam znak *D* nevyskytol, nasleduje č. 6 (alebo 11, 14, 15); ak sa znak *D* vyskytol, nasleduje č. 5 (alebo 7, 9, 10).

II. 1. krok — č. 8 (alebo 12),

2. krok — č. 2 (alebo 3),

3. krok — závisí od prvého kroku, a to postup je opačný ako v už uvedenom variante.

Tento optimálny postup sme zistili v našom materiáli veľmi zriedka (u troch osôb raz, u 2 osôb 5 a 6krát a u jednej osoby 10krát). Toto ukazuje, že počet krokov a optimálny postup neznamenaajú to isté, pretože i keď sa teoreticky zistený minimálny počet krokov neprekročí, nemusí ísť o kritické prvky, alebo nie sú overené v správnom poradí.

Celkove náš výskum ukázal, že ako si pokusná osoba vytvára hypotézy o výskyte zobrazenia, *subjektívna pravdepodobnosť sa postupne približuje k objektívnej*. V priebehu pokusu sa zreteľne zvyšuje tendencia vyhnúť sa prvkom, ktoré neprinášajú žiadnu informáciu a nadobúda prevahu najoptimálnejší postup (t. j. overovanie prvkov, kde sa vylúči polovica hypotéz). Približovanie subjektívnej pravdepodobnosti k objektívnej je teda zreteľne ovplyvnené skúsenosťou a ďalšie výskumy v tomto smere môžu odhryť jednotlivé etapy tohto procesu.

\* \* \*

Na záver možno povedať, že zložitost' a trvanie procesu vnímania nezávisia ani tak od zložitosti zobrazenia, ako od zložitosti systému hypotéz, v rámci ktorého človek rozlišuje dané zobrazenia. Proces vnímania sa skracaie tým, že sa postupne vyčleňujú kritické body a optimalizuje sa postup ich preskúmania. Teória pravdepodobnosti nielen pomáha lepšie preniknúť do štruktúry vnímania, ale tiež umožňuje využiť kvantitatívne metódy pri analýze rozlišovania zobrazení za účelom programovania vnímania v počítačoch. Problematika optimálneho postupu pri spoznávaní zobrazenia má však bližšie k procesom myslenia a rozhodovania.

#### d) vnímanie tvaru a modelovanie

V oblasti vnímania sa pozornosť kybernetiky sústredila najmä na konštrukciu rozlišovacích systémov. Tu sa vynorila otázka predovšetkým tvaru, resp. jeho vnímania človekom. Poznatky psychológie

v tejto oblasti v závažnej miere podala najmä tvarová psychológia. Nebudeme sa tu však zaoberať prínosom tohto smeru, ani jeho hodnotením, ale poukážeme na niektoré príspevky psychológie, podnetené najmä teóriou informácie (napr. otázka nadbytočnosti) a tu načrtujeme základné problémy modelovania vnímania v počítačoch (perceptróne sa budeme zaoberať až v kapitole o učení). Tie isté otázky sme stručne rozobrali v našom referáte [362 a].

V prvom rade však treba uviesť závažné poznatky Glezera a Calkermanna [150] o funkcionálnej organizácii zrakového analyzátoru. Zrakový analyzátor kvantuje pôvodne nepretržité zobrazenia a prináša ich diskretnými signálmi do mozgu. Prvou etapou kódovania je prevod svetla na vzruchy elementov sietnice. Počas prenosu v zrakovom kanáli sa uskutočňuje štatistické kódovanie, ktoré odstraňuje nadbytočnosť zobrazení. Dochádza k zmenšeniu pravdepodobnostných väzieb medzi prvkami, t. j. k *dekorelácii zobrazení*. Využíva sa tu metóda predpovedania. Porovnávaním susedného, resp. časovo predchádzajúceho prvku s daným prvkom zobrazenia získava sa diskorelovaný (rozdielový) signál. Význam dekorelácie je v tom, *odstraňuje štatistickú nadbytočnosť pri prenose*. Vyčleňovanie obrysov sa uskutočňuje v dôsledku očného tremoru. Hranica medzi svetlým a tmavším polom sa neustále sem a tam posunuje a v tejto oblasti vznikajú impulzy, kým v ostatných oblastiach tieto v dôsledku adaptácie nevznikajú. Význam obrysu pri vnímaní je daný tým, že nesie základnú informáciu o predmete (obrysový prvok je menej pravdepodobný, a preto prináša viac informácie). Takto prenos zobrazenia je v zrakovej sústave druhoradý, jej podstatnou úlohou je vyťažiť informáciu zo zobrazenia. Ak by zrak prenášal celé zobrazenie, kapacita mozgu by bola za niekoľko minút vyčerpaná. Dosiahnutie optimálneho toku informácie v zrakovom analyzátore opisuje tiež Kohler [195]. Pri vysokých pravdepodobnostiach prechodu v sledovaní podnetov pôsobí celý komplex ako jediná informácia. Zložité signály a ich sledy tým viac tvoria jednotu, čím tesnejšie korelujú, predpokladu, že vnímame dostatočné množstvo opakovaní takých kontextov. Autor tiež prináša nový pohľad na zrakovú ostrosť a vysvetľuje na základe účinku dvoch rastrov skutočnosť, že minimálna hodnota zrakovéj ostrosti nie je obmedzená veľkosťou jednotlivých receptorov.

Významným prínosom k otázke zrakového vnímania sú Glezerove výskumy [42, 164—173] zamerané na prahový vzťah signál—šum.

vyčleňovanie užitočných znakov, ako aj na porovnávanie jednoduchých čiar a zložitejších tvarov, zostavených z týchto čiar. Zistilo sa, že pri prenose zložitých obrazov sa zrkový systém približuje k ideálnemu komunikačnému kanálu. Ajzerman [42, 174—183] pri učení stroja rozoznávať číslice zisťoval výhodnosť rôzneho programovania. Optimálnym sa ukázalo využitie hypotézy *kompaktnosti* (rozčleňovanie kompletých oblastí v priestore receptorov). Bongard [42, 184—191] vytvoril program pozostávajúci z niekoľkých etáp transformácie informácie. Tento program umožňuje vypracovať dokonalejšie *zovšeobecnenia* ako perceptrón. Pomalosť procesu spoznávania obrazov v počítači v porovnaní s človekom poukazuje na potrebu modelovať tento proces v analógovom počítači.

Loebner [222] sa zamerával na otázky štruktúry a funkcie sieťnice (topologicky tu možno rozlíšiť priečnu a laterálnu neurónovú sieť). Opisuje schému syntetickej sieťnice s použitým opticko-elektronických mozaikových panelov. Uvádza Minského názor, ktorý proces čítania schémy považuje za operáciu rozhodovania (priradenie tvaru k jeho prototypu alebo triede). Kritérium klasifikácie vzniká štatistickým vyvodením zo súboru funkcií obrazu alebo schémy.

Informačné miery (napr. nadbytočnosť, neurčitosť) značne prispeli k oživeniu psychologického výskumu vnímania tvaru. Alluisi [7] v svojom prehľade výskumov v tejto oblasti rozlišuje tvar objektu (*shape*) a vnímanie tvaru (*form*). „*Jednoduchosť*“ tvaru je nepriamo úmerná „*neurčitosti*“ podnetu čiže informačnému obsahu figúry. Čím je v podnete menej informácie, tým rýchlejšie a presnejšie sa vníma. Podobne i geštaltistický zákon *pregnantnosti* (organizovanie zrkového poľa na „*figúru*“ a „*pozadie*“) má blízky vzťah k nadbytočnosti („*dobrý*“ tvar — čiže homogénny, symetrický má vysokú vnútornú nadbytočnosť). Vnímanie tvaru je proces redukcie informácie. Kým Attneave [25] použil vybrané tvary a potom meral ich informačný obsah, Fitts [125] určil najprv informačné aspekty súboru tvarov a potom z nich vybral niektoré ako podnety. Výhodou tohto druhého postupu je, že experimentátor môže ľubovoľne meniť priemerné množstvo informácie, ktorá pripadá na tvar. Fittsov postup pri konštrukcii tvarov sme stručne opísali v predošlej kapitole. Neurčitosť figúry tu možno definovať na základe celkového počtu možných figúr danej triedy. Vzhľadom na spôsob konštrukcie sa nazývajú „*metrickými*“ figúrami. Podmienkou však je, aby boli kompaktnými (obrysovými) a potom je možné kontrolované meniť

obrys, symetriu, recipročnosť a používať rôzne porušené figúry. Výsledky Fittsa a iných autorov ukazujú, že výkon pri identifikácii je horší, keď sa zavedie obmedzenie, že výšky stĺpcov v jednej figúre nesmú byť rovnaké.

Ďalej tu má vplyv komplexnosť i podobnosť. Čím vyššia je komplexnosť, tým je pomalšie triedenie a teda je horší výkon. Podobne čím je vzorka vybraná z menšej sady (zavedenie obmedzenia — teda určitá nadbytočnosť), tým je horší výkon. Pri symetrických figúrach bol výkon o niečo lepší ako pri nesymetrických figúrach tej istej komplexnosti. O niečo lepší bol výkon pri figúrach symetrických podľa vertikálnej osi v porovnaní s horizontálne symetrickými figúrami.

Attneave [25] ukazuje, že len čo začneme vnímanie považovať za proces zvládnutia informácie, vidíme, že z informácie prijatej človekom je veľa *nadbytočného*. Senzorické javy majú veľkú vzájomnú časovú i priestorovú závislosť; ak v určitom momente poznáme stavy ohraničeného počtu receptorov, môžeme uzatvárať na predošlé, terajšie a budúce stavy iných receptorov. Nadbytočnosť v vizuálnej stimulácii je v tom, že časti poľa sú vysoko *predpovedateľné* z iných častí. Autor uvádza variant Shannovej techniky „hra hádaj“ podobnej procesu riadkovania (scanning) v televízii, kde ide o transformovanie dvoch dimenzií priestoru do jednoduchého časového sledu. Miesta najvyššieho výskytu chýb poukazujú na to, že práve v nich je *informácia* najviac skoncentrovaná. Ak ide o kresbu, geometrickú schému, informácia sa koncentruje pozdĺž obrysov (t. j. kde sa prudko mení farba) a tam, kde sa mení smer obrysu (t. j. v uhloch alebo vo vrcholoch krivky). Niektoré uhly nesú menšiu informáciu ako iné, pretože zapadajú do schémy, ktorá sa opakuje (napr. schody). Len čo osoba vníma ich pravidelnosť, znižuje počet chýb, pretože osoba koná extrapoláciu. Tieto extrapolácie majú však platnosť len v ohraničenom rozsahu a v ďalších oblastiach vedú k chybám. Zrejmovou formou nadbytočnosti je *symetrickosť*. Pokusná osoba rýchlo zbadá, že pravá strana kresby je predpovedateľná z ľavej strany pomocou jednoduchého obrátenia. Podľa Mursattiho princíp homogenity nahrádza všetky geštaltické princípy. Dobrá figúra je tvar s vysokým stupňom vnútornej nadbytočnosti. Skupinové zákony podobnosti, dobrej línie a spoločného osudu sa vzťahujú na podmienky, ktoré znižujú neurčitnosť. Hocaký druh fyzikálnej *invariance* vytvára zdroj nadbytočnosti pre organizmus.

ktorý je schopný abstrahovať invarianciu a primerane ju používať. Attneave vidí vo vnímaní hospodárny opis skutočnosti. Podľa jeho názoru hlavnou funkciou perceptuálneho aparátu je odstrániť časť nadbytočnosti stimulácie, opísať alebo zakódovať prichádzajúcu informáciu v hospodárnejšej forme, než je tá, v ktorej informácia dopadá na receptory. Z 10 hypotetických princípov redukovania nadbytočnosti stanovených autorom uvádzame aspoň tieto:

1. plochu homogénnej farby možno opísať špecifikovaním farby a hraníc plochy, v rámci ktorých je homogénna,

2. plochu homogénneho „tkaniva“ (texture) možno opísať špecifikovaním štatistických parametrov, ktoré charakterizujú tkanivo, a hraníc plochy, v rámci ktorých sú tieto parametre relatívne nemenné,

3. plochu, v ktorej sa mení farba alebo „tkanivo“ podľa určitej pravidelnej funkcie, možno opísať špecifikovaním funkcie a hraníc, v rámci ktorých platí.

Ďalšie princípy sa zaoberajú časťami plochy, identickými a podobnými plochami, chumáčmi bodov a transformáciou plôch. Priestorová a priestorovo-časová nadbytočnosť sa ťažko dajú empiricky oddeliť, avšak z koncepčného hľadiska je vhodné ich rozlišovať.

Berlyne [37, 38] zisťoval nadbytočnosť vo vizuálnych figúrach. Pri pravidelnej geometrickej schéme, súrodnom materiáli, pravidelných obrysoch a symetrii vzniká väčšia nadbytočnosť. Obraz známeho zvieratá je vysoko nadbytočný, kým zviera s neznámymi časťami tela má vysoký informačný obsah, pretože pravdepodobnosť jeho objavenia spolu s ostatnými tvarmi je veľmi nízka. Človek je komunikačným kanálom s ohraničenou kapacitou a na absorbovanie väčšej informácie (komplexnejších schém, konfliktovnejších podnetov) potrebuje viac času.

Frank [128] dáva tvary (geštalt) do súvislosti so superznakmi. Nepercipujeme totiž prvky vnímania, ale ich kombinácie. Superznaky nemožno jednoznačne odvodiť z príslušných znakov. Sú tvarmi len vtedy, keď ich možno spoznať na základe absolútneho posudzovania a nie ako pri prvkoch vnímania — porovnávaním. Tvary si môžeme predstaviť ako ostrovčeky v „oceáne neusporiadanosti“ a možno ich matematicky definovať ako „invarianty“. Modelovanie je tu možné pomocou neurónovej siete. Toto vytváranie „invariantov“ uskutočňuje napr. zrakový systém. Na sietnici dochádza k podstatnému zníženiu informačného toku a možno sa domnievať, že už tu pôsobí funkcia spoznávania tvarov.

Metzelaar [244] rozlišuje spoznávanie schémy (*recognition*) a poznanie (*cognition*). Pri spoznávaní ide o klasifikáciu udalostí do vopred určených tried a v atomatoch sa najprv uskutočňuje predbežná transformácia obrazu. Poznávanie (hľadanie schémy, ktorá je spoločná pre súbor udalostí) má viac fáz (pozorovanie, klasifikácia, analýza a rozhodnutie) a doteraz bolo málo skúmané.

O kvantitatívne hodnotenie zložitých obrysov sa pokúsili Varsava a Guzeva [386]. Entropiu obrysu hodnotia pomocou *polárnej sústavy* koordinát, pričom ich začiatok sa umiestňuje do ťažiska figúry. Na určitosť obrysu sa hodnotí podľa stupňa odlišnosti od kružnice. Autori skúmali vnímanie rôznych plošných tvarov a zistili štyri prahy vnímania obrysu, ako aj lineárnu závislosť medzi hodnotami priestorových prahov a entropiou figúr. Ako však správne uvádza Lomov [223], pri tomto postupe sa nezachytáva sled bodov a teda môžeme mať dve figúry rôzneho tvaru, avšak vypočítaná informácia je rovnaká.

Konštantnosť zrakového vnímania závisí od konkrétnych podmienok a možno ho objasniť viacerými modelmi. Paračov [292] rozlišuje model výpočtový (v zrakovom centre dochádza k prepočtu parametrov situácie), korelačný (štatistické vývody o skutočnom význame iných parametrov), geštaltistický (výpočet parametrov neznámeho objektu na základe známeho objektu) a model nastavenia — ustanovky (určovanie parametrov podľa rozloženia ich pravdepodobností).

Kossov [292] rozlišuje objektívnu ( $R_{ob}$ ) a subjektívnu nadbytočnosť ( $R_{sub}$ ) informácie pri vnímaní. Subjektívna nadbytočnosť sa vypočítava podľa vzorca pre objektívnu nadbytočnosť 
$$R_{ob} = 1 - \frac{H}{H_{max}}$$

avšak  $H_{max}$  prihliada na počet podmienených spojení s dominantnými znakmi (t. j. takými, ktoré určujú kvalitu činnosti človeka) a  $H$  vychádza z minimálneho počtu všetkých rozlíšiteľných znakov. Nadbytočná informácia zvyšuje spoľahlivosť činnosti človeka a pri určitých podmienkach sa môže stať užitočnou (v zmysle nevyhnutnej podmienky pre úspešnú činnosť). Autor experimentálne skúma úlohu *subjektívnej nadbytočnosti* pri rozlišovaní dvoch objektov ( $R_{ob}$  bola konštantná,  $R_{sub}$  sa menila na základe vytvárania nových kombinácií tých istých znakov). Zvyšovanie dominantnosti znakov (zväčšovanie rozdielov medzi objektmi v jednom znaku) vedie k narastaniu  $R_{sub}$ . Tieto výsledky sú v zhode so zisteniami o deko-

relácii zobrazení. Na  $R$  sub výrazne vplýva stupeň konkrétnosti inštrukcie.

Teoretický model systému, spoznávajúceho objekty podľa vonkajšieho obrysu, zostavili Granovská a Ganzen [155]. Tento model pozostáva zo sledovacieho systému, analyzátora charakteristík, pamäťového bloku a bloku indexov. Vychádzajú z toho, že podstatou procesu spoznávania je opis objektu, porovnanie opisu s etalónom, ktorý je uchovaný v pamäti a výdaj nejakého kódu na výstupe systému. Vyčlenenie obrysu umožňujú mikropohyby očí (zmena osvetlenia prvkov sietnice, kde sa premieta hranica čierneho a bieleho poľa). V období učenia je nevyhnutný sledovací pohyb po celom obryse. Neskôr dochádza k redukcii, takže na základe informácie o malej časti obrysu sa vytvára hypotéza, ktorá sa overuje len na niekoľkých charakteristických bodoch v rozličných častiach obrysu. V analyzátore charakteristík sa čas potrebný na jednorazové obídenie obrysu rozkladá na rad intervalov, počas ktorých sa nemenia určité charakteristiky zakrivenia. Autori opisujú spôsoby kódovania charakteristík obrysu, ako aj výpočet množstva informácie, obsiahnutej v opise obrysu. Pri overovaní modelu (reprodukcia nevýznamových figúr) sa ukázalo, že tento dostatočne objasňuje zvláštnosti vnímania obrysu (ako napr. prvotné vyčlenenie ohybov, posun detailov obrysu v smere pohybu) a je v zhode s názormi o základnej funkcii tzv. deliacich bodov (označujúcich zmenu smeru čiary obrysu) pri spoznávaní tvaru.

Významným príspevkom v otázke modelovania vnímania je aj Vekkerova práca [387]. Modely vnímania musia brať do úvahy mechanizmus všetkých špecifických zvláštností štruktúry zmyslového obrazu ako psychického procesu. Charakteristiky zmyslového obrazu musia byť opísané v takom jazyku, ktorý zahrňuje zákonitosti modelujúceho i modelovaného procesu. Autor ukazuje, že zmyslový obraz predstavuje zvláštnu formu signálov, odlišnú od nervového kódu. Ide tu o *zobrazenie*, ktoré uchováva modálne charakteristiky prvkov množiny zdroja a formy jeho priestorovo-časovej usporiadania. Zmyslový obraz zachováva invariantnými metrické vlastnosti vnímaného objektu (výnimkou však je napr. vnímanie farebného tónu, kde ide o kódový vzťah k fyzikálnemu procesu). Z organizovanosti signálov vo forme zobrazení vyplývajú aj zvláštnosti psychickej regulácie činnosti (predmetnosť, celostne spojený charakter, variatívnosť, univerzálnosť, spoľahlivosť atď.). Objektívne ove-

renie vlastností zmyslového obrazu je možné práve pri regulácii činnosti týmto obrazom. Špecifičnosťou zmyslového obrazu je *nepretržitosť, predmetnosť a subjektívnosť*. Za fyziologický základ prvku psychického zobrazenia považuje autor stacionárne podráždenie. Psychický obraz ako reflexný informačný efekt sa vytvára v priebehu vzájomnej činnosti analyzátora s objektom a v dynamike medzi analyzátorových spojení.

Doterajšie perceptróny podľa autora nemodelujú zmyslový obraz ale konečný výsledok — akt spoznania. Pracujú na základe otvoreného okruhu a efektorný aparát realizuje len výdaj signálu spoznania. Vopred naprogramované perceptróny pracujú na základe rozvinutia alebo riadkovania, avšak i tu ide len o porovnanie s kódom-etalónom. V samoorganizujúcich perceptrónoch signály sú síce zobrazeniami objektov, avšak svoju spúšťaciu funkciu voči efektoru realizujú pomocou kódov spoznávaného objektu. V psychologickom zobrazení odpadá nevyhnutnosť fixovať dekodujúcu funkciu (prevod z nervového impulzu na senzorické kvantum) v konštrukcii pracovných orgánov, pretože táto je realizovaná v aparáte formovania samotného signálu. Kódová forma organizácie signálov vedie k nevyhnutnosti čiastočne fixovať program operácií v konštrukcii sústavy, resp. v samoorganizujúcich sa sústavách ide o automatické hľadanie na základe pokusu a omylu (v súčasnosti sa skúma optimalizácia tohto hľadania). Vekker preto podáva blokové schémy perceptívneho zariadenia, ktoré by malo rovnakú regulatívnu funkciu ako psychické zobrazenie.

Otázkami tvaru všeobecne i z hľadiska estetického vnímania sa zaoberal Moles [254]. Informácia neprihliada na význam, ale na originalnosť zprávy. Teória informácie umožňuje zjednotenie celostných i psychofyziologických teórií vnímania (ak zpráva obsahuje nadlimitný počet prvkov informácie, receptor ich vynecháva alebo dochádza k skúmaniu poľa). Pri vymedzení tvaru treba uvažovať aj o pozadí, ktoré má odlišný stupeň koherentnosti. Človek priamo vníma autokoreláciu signálov, a tým dochádza k vnímaniu tvarov. Receptor predstavuje evolučný systém — každá zpráva modifikuje jeho kapacitu prijímania ďalších správ. Autor sa podrobne zaoberá *zvukovými štruktúrami* a hudbou a ukazuje, že sémantická informácia je viazaná na moduláciu trvania a jeho kvantifikáciu na mikrorytmy. Opakovanie zvukového javu znižuje jeho originalitu (pokles možno vyjadriť ako dvojkový logaritmus opakovaní).

Rozoberá tiež zrozumiteľnosť jednoduchých i zložitých umeleckých správ, ako aj ich estetickú štruktúru.

Konečne si všimneme niektoré príklady technického modelovania vnímania.

Vnímanie toho istého tvaru i pri zmene kombinácie signálov je umožnené nastavením ľudského zrakového systému na príslušnú správu a má podstatnú úlohu pri prijímaní a spracovaní správ človekom. Steinbuch [343] sa domnieva, že nervový systém tu používa ten istý mechanizmus ako pri abstrakcii. Tieto dva procesy (vnímanie tvarov a abstrakcia) sú podľa jeho názoru výnimkou zo všeobecného pravidla o riešiteľnosti rozumových úloh počítačmi. Takéto výkony sa nepodarilo zatiaľ dosiahnuť u technických systémov, pretože nepoznáme zapojovací mechanizmus, ktorý používa príroda. Zvlášť intenzívne sa však tieto problémy skúmajú najmä v súvislosti s automatickým spoznávaním tlačенých alebo písaných znakov.

Analýza procesu vnímania zrakových tvarov má veľký význam pri konštrukcii čítacieho zariadenia pre slepcov. Wiener [395] ukazuje, že technika tu najprv musí riešiť otázky centrovania riadkov, orientácie strán textu a pod. Tieto procesy uskutočňuje náš zrakový systém pomocou svalových spätných väzieb, konvergencie očí atď. Potom vzniká otázka ako technicky realizovať určovanie obrysov jednotlivých písmen. Snímanie čiernej farby pomocou fotoniek, napr. uložených v rade nad sebou a prevod na tóny rozličnej výšky a trvania sa dá ľahko realizovať. Slepici by sa museli naučiť rozoznávať tieto kombinácie tónov (v SSSR skonštruovali automat „Lúč“, ktorý číta 50—500 slov za minútu). Skutočný problém však vzniká v dôsledku rozličnej veľkosti písmen a ich tvarovej variability. Človek totiž vníma dotyčný tvar bez ohľadu na jeho veľkosť a smer.

Podstatný prínos k riešeniu tejto problematiky predstavuje teória Mc Cullocha a Pittsa (z roku 1947) o grupovom vnímaní pomocou množiny transformácií. Schéma prístroja na selektívne čítanie je podľa von Bonina podobná diagramu štvrtej vrstvy zrakovej oblasti v mozgovej kôre. Títo autori už roku 1943 opísali *hypotetickú nervovú sieť*, ktorej výkony možno vyjadriť logickými výrokmi [230]. Na realizáciu siete sa používa tzv. formálny neurón, ktorý je univerzálnym prvkom používaným pri syntéze automatov. Aktivita neurónu sa riadi princípom „všetko alebo nič“ a zahrňuje v svojej činnosti latentnú dobu, synaptické zdržanie a pod.

Autori navrhli modely pre riešenie troch problémov, týkajúcich sa

invariantov vnímania. V prvom prípade ide o vnímanie konštantnosti tvaru napriek rozdielom v lokalizácii podnetovej schémy na sietnici s očným pohybom. Invariantnosť tu vzniká spriemernením všetkých členov množiny transformácií. Druhý problém je v spoznaní konštantného akordu, hraného po rozličných výškach. Autormi navrhnutá neurónová sieť vysvetľuje konštantnosť intervalov a geometricky sa zhoduje s primárnou sluchovou oblasťou v mozgovej kôre. Rozličné kombinácie excitácie sú spriemerňované a tak výsledný vnem závisí len od akordu. Pri treťom probléme (spoznanie tvaru pri zmene veľkosti) dochádza tiež k transformáciám, avšak v dvoch smeroch.

Táto koncepcia však vysvetľuje iba stabilné vzťahy v rámci zmeny podnetovej schémy, avšak pre psychológiu je závažnejší problém konštantnosti farby alebo veľkosti pri zmene vzdialenosti a sietnicového obrazu. Podstatnou otázkou je konštantnosť tvaru i napriek zmene tvaru na sietnici.

Snímanie zrkavých signálov sa uskutočňuje pomocou fotoniek, televíznej kamery a pod. Po spracovaní vzniknutého elektrického signálu (t. j. rozhodnutí, ku ktorej schéme obraz patrí) sa tento premení na výstupný signál (napr. zvuk) alebo sa stane vstupným signálom vlastného počítača (automatické kódovanie). Ako uvádza Nedoma [264] tu sú dva možné postupy: alebo k vybraným symbolom skonštruujeme primerané zariadenie, alebo zhotovíme zariadenie, ktoré potom naučíme „čítať“ potrebné symboly.

Steinbuch [343] opisuje rôzne metódy snímania obrazov (napr. číslic). Rozoberme si najprv snímanie bez ohľadu na znaky. Pri úplne *paralelnom* snímaní výhodou je rýchlosť, avšak treba mnoho fotoniek (čím je mozaika sady buniek jemnejšia, tým sa obraz presnejšie zachytí). Čiastočne paralelné snímanie (cez štrbinu masky), je výhodné pri kontinuitnom pohybe znakov. *Sériové* snímanie po bodoch (resp. po riadkoch) sa uskutočňuje pomocou elektrónkovej kamery. Snímanie však môže byť riadené aj samotným znakom (spätná väzba k vychyľovaciemu zariadeniu). Okrem toho snímanie môže byť prispôbené k znakom, a to zvláštnym usporiadaním „sond“, ktoré zabezpečuje odlíšenie daných znakov vzhľadom na ich tvarové usporiadanie. Porovnanie podaného znaku so znakmi v „sklade“ automatu sa môže uskutočniť opticko-geometricky (masky) alebo pomocou elektrických zapojení. Steinbuch navrhol systém, pri ktorom sú skúšobné sondy z polovodičov, usporiadané

na platni. Podľa toho, koľko sond je „zasiahnutých“ písmenom, vzniká rozdielne elektrické napätie, ktoré sa identifikuje v priradovacom zapojení.

Svoje matice učenia využil Steinbuch pri navrhovaní „Perceptora“ [342]. Tento musí vytvárať jednak invarianty a jednak musí mať schopnosť učiť sa, čiže súvislosť medzi kritériami tvarov a ich významami sa musí vytvoriť bez zásahu do zapojenia. Obraz sa cez optiku premieta na fotobunky, ktoré vydávajú prúd v závislosti od jasnosti plošných elementov. Tento ide do siete (jej štruktúru sa doteraz nepodarilo zostaviť), ktorá z jasných a tmavých bodov odvodí kritériá tvaru. Kritériá tvaru slúžia ako „sada vlastností“ v matici učenia. Pomocou elektrických impulzov sa vytvorí (zásahom zvonku) podmienené spojenie medzi správou o tvare a sumárnym tvarom, pričom najbližší význam sa signalizuje z určovateľa extrémnych hodnôt.

Zo systémov zachytávajúcich reč je známy aparát „Audrey“ (USA), ktorý spoznáva 10 vyslovených číslic a podľa toho nastavuje automat. Jeho výsledky sú však neuspokojivé, pretože bez individuálneho nastavovania spozná reč len malého počtu hlásateľov. Aparát „Shoebox“ je určený na zachytávanie slovných rozkazov, ktoré potom v kódovanej forme vovádza do počítača. Pomôckou pre hluchých môže byť „Visible Speech“ (t. j. viditeľná reč). Tu sa reč rozkladá frekvenčnými filtrami a prevádza sa na skupiny tónov rôznej výšky a pomocou elektrických lúčových papiera zvýrazňuje vo viditeľnej forme (ako nepravidelné svetlejšie a tmavšie plochy). Podľa správ z Japonska podarilo sa tu realizovať automat, ktorý prevádza ústnu reč na písomnú (t. j. japonské znaky).

Ďalším známym modelom je perceptrón, avšak vzhľadom na to, že sa v ňom modeluje vlastne percepčné učenie, zaradili sme ho už do nasledujúcej kapitoly o učení.

#### e) záver

Pokiaľ ide o vnímanie, kybernetika a teória informácie čiastočne uplatňujú poznatky tvarovej psychológie, resp. prinášajú kvantitatívne overenie jej koncepcií. Celkove však modelovanie procesov vnímania vychádza z konkrétnych technických potrieb, kybernetici nevyužívajú dostatočne psychologické poznatky a obmedzujú sa len na neurofyziologické údaje (tieto prispeli najmä k objasneniu vní-

mania obrysu). Môže to byť spôsobené aj tým, že psychologické poznatky sa často podávajú difúzne a bez primeranej kvantifikácie. Na druhej strane je chybou psychológov, že nevyužívajú v širšom rozsahu kybernetické modely a automaty na prehĺbenie a obohatenie svojich experimentálnych postupov. Vzájomná spolupráca v tejto oblasti je veľmi užitočná. Konštrukcia rozlišovacích zariadení, ktoré sú schopné prijímať informáciu v takej forme, ako ju človek vydáva, prispeje k zrýchleniu činnosti počítačov (doteraz bola pri vkladaní údajov potrebná činnosť človeka) a tiež umožní previesť niektoré z vnútorných funkcií počítača do senzorických vstupných zariadení.

\* \* \*

Ak máme hodnotiť doterajšie výsledky v oblasti modelovania procesov vnímania, treba predovšetkým zdôrazniť, že dosiahnuté úspechy sa vzťahujú prevažne na jednoduchšie zložky tohto procesu. Umeranie kapacity senzorických orgánov (ktoré je vlastne doméno neurofyziológie alebo psychofyziológie zmyslových orgánov) ukazuje, že zovšeobecňovanie poznatkov získaných určitým experimentálno-metodickým postupom nie je vždy možné. Najmä pri skúmaní reakčného času sa ukázalo, ako je neplodný mechanický prístup k aplikácii teórie informácie, resp. sa potvrdila nutnosť vypracovania aj sémantickej teórie informácie. Napriek tomu doterajšie výskumy vzhľadom na svoj široký záber objasnili rad vplyvov, s ktorými treba počítať pri kvantitatívnom vyjadrení výkonu v senzomotorickej reakcii. Z hľadiska prínosu pre psychologickú teóriu považujeme za najvýznamnejší pravdepodobnostný princíp, zistený v procesoch vnímania (uplatňuje sa napr. pri detekcii, vigilancii, spoznávaní schém). Pokiaľ ide o vnímanie tvaru a jeho modelovanie, dosiahli sa tu pozoruhodné výsledky najmä skúmaním funkcionálnej organizácie zrakového analyzátora a informačným hodnotením rôznych charakteristík obrysov a tvarov (nadbytočnosť, miesta koncentrácie informácie). Pri analýze technických modelov vnímania sa ukazuje, že na rozdiel od človeka ide tu len o jednoduché procesy rozlišovania alebo spoznania, obmedzené len na jednu zmyslovú modalitu, čo je zrejmé pri percepčnom učení týchto automatov. V zmyslovom obraze je zachovaná priestorovo-časová usporiadanosť a predmetnosť pozorovanej situácie (nehovoriac už o široko zasahujúcom vplyve minulej skúsenosti a sociálnej podmienenosti). Kybernetika sa doteraz venovala najmä modelovaniu receptorov,

vytváraníu invariantov, porovnávaníu znaku s etalónom. Pre ľudské vnímanie je však charakteristický aktívny a výberový postoj k skutočnosti. Náznaky možností adekvátnejšieho modelovania vnímania možno vidieť v rozvoji samoorganizujúcich sa systémov a teórie rozhodovania.

Celkove možno povedať, že čím komplexnejší bude prístup ku kvantifikácii a modelovaniu vnímania, tým adekvátnejšie budú sa postupne zachytávať podstatné stránky tejto základnej formy ľudského poznávania skutočnosti.

#### 4. pamäť a učenie

Inou psychickou funkciou, ktorá sa často porovnáva čo do kapacity s výkonmi automatu, je pamäť. Vplyv teórie informácie sa tu prejavil najmä v novom *kvantitatívnom* prístupe k hodnoteniu množstva zapamätaného, resp. vybaveného. Kybernetické modelovanie sa v súčasnosti zase zameriava najmä na procesy učenia a samoučenia, prostredníctvom ktorých automaty môžu dosiahnuť „rozumovú“ úroveň blízku človeku.

Rozoberieme si najprv výsledky doterajších výskumov, ktoré sa týkajú podstaty, ako aj kapacity ľudskej pamäti, ďalej poukážeme na tesnú súvislosť učenia a spätnej väzby a konečne naznačíme hlavné princípy učiacich sa automatov.

##### a) ľudská pamäť

Ashby [20] vo svojej koncepcii „čiernej skrinky“ ide až tak ďaleko, že pochybuje o tom, či „pamäť“ je celkom objektívnou vlastnosťou systému. Podľa neho „je to len pojem, ktorý zavádza pozorovateľ, aby vyplnil medzeru v svojich poznatkoch, ktorá vzniká tým, že sa nejaká časť systému nedá pozorovať“ (str. 150). Ak by pozorovateľ mal možnosť poznať všetky premenné systému, nemusel by sa odvolávať na „pamäť“.

Podľa nášho názoru ide tu o spor medzi starou koncepciou, ktorá predpokladala, že pamäť „sídli“ v niektorej časti mozgu, a novým prístupom, ktorý pamäťové procesy pokladá za súčasť prenosu informácie, a to už na úrovni synapsí. Burešová [392] uvádza, že zmena môže byť lokalizovaná v presynaptickom vlákne, v synaptickej štrbine aj v postsynaptickej membráne. Pri takomto neurofyziologic-

kom vysvetľovaní je možné i naďalej pojem pamäti zachovať, pretože aj pri úplnej pozorovateľnosti systému musíme predpokladať, že informácia sa nejakým spôsobom uskladní a v potrebnom čase sa vybaví. Ashbyho názor je oprávnený do tej miery, do akej sa vzťahuje na snahy vysvetľovať všetky neznáme súčasné stavy systému odvolávaním sa na pôsobenie pamäti.

O kapacite ľudskej pamäti jestvujú dosť odlišné údaje. Tak Steinhilber [343] udáva, že táto sa pohybuje asi od  $10^9$  do  $10^{13}$  dvoj. jed. je pri čom trvanie vybavenia má rozsah od stotiny sekundy do 10 sekúnd. Frank [128] uvádza rozpätie  $10^5$  až  $10^7$  dvoj. jed. a hodnoty  $10^{13}$ — $10^{15}$ , ktorú udávajú fyziológovia, považuje za príliš veľkú. Vychádzajúc z informačného príkonu 0,5 dvoj. jed. za sekundu vypočítal, že storočný človek by potreboval kapacitu  $1,6 \cdot 10^9$  dvoj. jed., čo by predvedomá pamäť všetko uchovávala. Predvedomá pamäť však dostane stokrát až tisíckrát viac informácie, ako môže natrvalo uchovať. Vedomie dostáva až 30 tisíc násobne viac, ako je jeho kapacita. Príkon do projekčných centier prevyšuje ich možnosti o desiatky miliárd a zmyslové orgány počas života zachytia 300 biliónkrát viac informácie, ako môže predvedomá pamäť natrvalo uchovať. Frank rozpracoval pozoruhodnú koncepciu o *subjektívnom časovom kvante* [128]. Vychádza z poznatkov elektroencefalografie, že pri dýchacej ševnej činnosti majú prevahu  $\beta$ -vlny (priemer 16 cyklov za sekundu). Binárne signály, ktoré sú pravdepodobne ich základom, pôsobia na rozložení subjektívneho času na „časové kvantá“. Subjektívna časová rozlišovacia schopnosť leží v oblasti 1/16 sek. (napr. splývanie formových obrazov, splývanie akustických podnetov v tón). Keďže informácia je prenášaná binárnym kódom neurónových signálov, môžeme odhadnúť, že do vedomia priteká za sekundu asi 16 dvoj. jed. informácie. (Podobne aj White určuje psychologickú jednotku trvania na základe faktu, že vnímame 10—30 zábleskov za sekundu). To, čo prichádza do vedomia, v nasledujúcom okamihu odtiaľ zmizne, ale tu zotrváva asi 10 sekúnd. Túto dobu  $T$  nazval Mole [254] „trvaním prítomnosti“. Okrem predvedomej pamäti máme i druhé zariadenie, ktoré nazývame niekedy „fluorescentnou pamäťou“ alebo „súčasnosťou“. Kapacita tohto krátkodobého uskladnenia je potom 160 dvoj. jed. (16 · 10 sek.). Kapacitu predvedomej pamäti možno vypočítať z pokusov učenia sa bezsmyslovému materiálu. Tu sa ukazuje zisk informácie asi 0,6—0,7 dvoj. jed. za sekundu. Ak pripustíme, že v dôsledku únavy schopnosť učenia sa klesá a

o tretinu, môžeme kapacitu prítoku informácie ( $C_v$ ) považovať za rovnú 0,5 dvoj. jed. za sekundu čiže  $2^{-5}$  dvoj. jed. za subjektívne časové kvantum. Avšak doba uchovania informácie v predvedomej pamäti nie je jednotná. Za určitý malý časový interval poklesne obsah pamäti o určité percento. Teda po čase  $t$  zostane z pôvodného množstva ( $I_0$ ) ešte  $I(t) = I_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ . Z toho rýchlosť zabúdania  $= -k \cdot I(t)$ . Ak predpokladáme, že pamäť dospelého človeka je stále naplnená, musí sa úbytok vyrovnávať príjmom novej informácie.

Prírastok obsahu pamäti za časovú jednotku  $\left(\frac{dI}{dt}\right)$  dostaneme, ak od rýchlosti príjmu informácie ( $C_v$ ) odpočítame rýchlosť zabúdania  $[k \cdot I(t)]$ . Po dosadení a použití diferenciálneho počtu dostaneme

vzorec  $I(t) = \frac{C_v}{k} (1 - e^{-k \cdot t})$ , kde  $k$  je konštanta a  $e$  základ prirodzených logaritmov.

Nezávisle od tohto vzorec rýchlosti zanikania pamäťovej stopy odvodil tiež u nás Valter [385] roku 1961. Vychádzal z hypotézy, že pokles rýchlosti  $V$  zanikania pamäťovej stopy  $D$  podnetu je úmerný tejto rýchlosti v každom okamihu  $t$ , čiže  $D =$

$= \frac{V_0}{K} (1 - e^{-k \cdot t})$ , kde  $V_0$  je počiatočná rýchlosť zanikania pamäťovej stopy,  $K$  je konštanta udávajúca rýchlosť zmeny tejto rýchlosti.

Veličiny musia byť udané v rovnako intervalových subjektívnych jednotkách. Autor odvodil z toho závislosť veľkosti rozdielového prahu od rýchlosti zmeny hladiny podnetu.

Podľa Franka teda kapacitu uskladnenia môžeme definovať ako neustálym zabúdaním narušované pamätanie si toho najmenšieho kvanta informácie, ktoré v žiadnom časovom bode nemôže byť prevýšené okamžitým časovým obsahom. Kapacita uskladnenia v predvedomej pamäti je asi  $10^6$  dvoj. jed.

Psychologická terminológia v oblasti pamäti je dosť nevyhranená. Rozlišuje sa bezprostredná, resp. krátkodobá a trvalá pamäť, niektorí autori hovoria aj o operatívnej pamäti, avšak vymedzenie ich časového trvania je nejednotné. Frank, ako sme uviedli, rozlišuje *krátkodobé uskladnenie*, ktoré sa týka aktuálnej informácie (napr. medzivýsledky pri počítaní) a *predvedomú pamäť*, do ktorej sa uskladňujú informácie dôležité na dlhý čas (naučené dovednosti, ako je písanie, čítanie a pod.). Zinčenko [417, 292] *operatívnu pamäť* zaraďuje medzi bezprostrednú a dlhodobú. Od bezprostrednej sa odlišuje tým, že je organickou súčasťou nejakej činnosti, ktorej podmienky

ohraničujú čas reprodukcie. Jej objem závisí od charakteru úlohy a zväčša slúži na podržanie materiálu, potrebného na riešenie niektorej druhej operácie. Jednotkami sú tu „kúsky“ objektívneho materiálu a trvanie sa pohybuje od niekoľkých sekúnd po minúty. Naproti tomu Burešová [392] uvádza pri krátkodobej pamäti sekundy až hodiny.

Z novších výskumov *bezprostrednej pamäti* treba uviesť Sperlinga [337; 338]. Pokusným osobám predložil tri rady písmen a čísiel a pomocou zvukového kľúča určil, ktorý z nich majú reprodukovať. Ako sa inštrukčný signál oddaloval, presnosť reprodukcie klesala. Pri oddialení 1 sekundy presnosť takejto čiastočnej výpovede sa blížila k presnosti celkovej reprodukcie. Ide tu o pretrvávanie vizuálneho obrazu podnetu, pretože ak sa po expozícii dalo tmavé pole miesto bieleho, presnosť oboch výpovedí sa znížila. Presnosť čiastočnej výpovede závisí teda od schopnosti pozorovateľa „čítať“ vizuálny obraz, ktorý pretrváva zlomok sekundy po vypnutí podnetu. Niekoľko desiatín sekundy má osoba dva-trikrát viac použiteľnej informácie v porovnaní s tým, čo môže neskôr vypovedať. Použitelnosť tejto informácie prudko klesá a jednu sekundu po expozícii použiteľná informácia neprevyšuje rozsah pamäti. Pamäť teda predstavuje obmedzenie perceptuálneho procesu, ktorý je bohatý na použiteľnú informáciu. Množstvo zrakovej informácie, získanej pri krátkej expozícii, je trojnásobkom kapacity bezprostrednej pamäti.

Miller [247] ukazuje, že obmedzenú kapacitu bezprostrednej pamäti možno prekonať pomocou organizovania podnetového príkonu do sledu „chumáčov“. Objem bezprostrednej pamäti nezávisí o množstva informácie v jednotlivom symbole, ale sa určuje dĺžkou radu exponovaných jednotiek alebo „kúskov“, ktoré môžu obsahovať málo alebo mnoho informácie. Adekvátnou mierou je teda počet „chumáčov“ a nie dvojkových jednotiek. Tieto zoskupenia sa vytvárajú v procese učenia. Význam tohto kódovania dokazuje experiment Millera, v ktorom zoskupoval dvojčiferné čísla do „chumáčov“ s rôznym informačným obsahom a priradil im nový symbol z osmičkovej a desiatkovej sústavy. Po naučení sa kódu mohli pokusné osoby reprodukovať pomocou 12 „chumáčov“ až 40 dvojčiferných čísiel. Podobne Miller a Smith [417] nechali pokusné osoby učiť sa dva zoznamy prvkov (jeden mal rovnaké množstvo informácie a rôzny počet symbolov, druhý rôzne množstvo informácie

As Vekker puts it, the specificity of a sensory image consists in continuity, concrete object character and subjectivity. The modelling of processes of perception, that has been existing hitherto, has covered only the processes of distinguishing or recognition in simple situations. On the other hand, however, the construction of distinguishing arrangements does not contribute to the acceleration of the activity of computers only, but the enrichment of experimental procedures of psychology of perception as well.

#### 4. Memory and Learning

##### a) Human memory

Nowadays, the processes of memory have been thought of also on the level of synapses. As far as the capacity of human memory is concerned, individual authors mention the values from  $10^5$  to  $10^{13}$  bits. Frank in his conception of subjective time quantum starts from the fact that the subjective distinguishing ability is about 1/16 sec., and therefore about 16 bits of information flow to consciousness per second. Moles speaks of the „duration of presence“ in the interval of 10 seconds. The capacity of ante-conscious memory may be computed on the basis of learning a non-sense material (it is about  $10^6$  bits). While information necessary for longer time is stored therein, the short-term storage concerns topic information only. In the classification of memory which lacks unanimity, the distinguishing of immediate, operative and long-term memory seems to be quite acceptable (Zinčenko). Sperling showed that the amount of visual information obtained in short-term exposure was three times as big as the capacity of immediate memory. The limited capacity of immediate memory may be overcome by means of organizing the stimulus input into a sequence of „chunks“. Several experimental data confirm the limit of the capacity of immediate memory set up by Miller (the so-called magic number seven). Some authors, however, point out that in this case, the influence is exerted by material used and choice of the Ss. It is not necessary to define memory in bits but in psychological units. The decay of memory trace depends upon the original redundancy, coding and relevant information in other traces.

In our common research with Dornič we found that the accuracy of total reproduction of the positions of optical signals was 20 %, whereas in reproduction of one part of the field only the accuracy was 35 %. Partial localization evoked also reduction of the space mistake. The distribution of localization is to be found in Fig. 20, p. 119. In contradistinction of Sperling we assume that in this situation it is not a case of the „limit given by memory“, but the process of reproduction proper exerts a destructive influence upon successively recalled stimuli. In further common research we ascertained whether the repetition of a task lasting several days (immediate reproduction) would influence the span of immediate memory, with the S getting feedback information concerning the result of each individual part of the experiment. The device used, similarly like in the previous research, consisted of an oblong panel containing 96 lights which was divided into four quadrants. The S identified stimuli by making marks on the tickets placed under the respective lights. The length of exposure was 1 sec. The increase of the amount of information transmitted (the ordinate) in individual days of training (the abscissa) is to be found in Fig. 21, p. 120. The number of mistakes decreased by 20 %, the accuracy of localization increased as much as by 50 %. As it was not possible to learn individual patterns, we suppose that there occurred changes of organization of attention as well

as the perceptual learning. Thus, even in immediate memory the limits of effective are very elastic and may be influenced already by a relatively short-term training.

#### b) Learning and feedback

Several psychological trends tried to explain the process of learning, as e. g. associationism, behaviorism, Gestalt psychology. Marxian psychology emphasizes the activity of human consciousness. The work of Linhart represents a theoretical approach to problems of learning as an autoregulating process with the emphasis laid on semantic relations. When adapting to environment, feedback enables to learn whether the given has been reached. In psychology it is more adequate to refer to feedback information, as the effect of this signal depends upon subjective state of the receiver. In sphere several experiments were oriented to the distinguishing of action feedback feedback in learning, directional and motivational information, its specificity and mediacy (Annet, Smode, Payne). Hlavsa suggests to use graphical modelling in feedback signalization.

#### c) Learning automata

The storage of information in the machine may be dynamic and static, or structural energetic and feedback. In the automata the „addressing“ principle is applied, where in man information is recalled mainly according to the semantic contents. According to Steinbuch learning consists in the improvement of inner model of the external world. In self-learning — i. e. self-organization — there occurs the creation of new information. Ivachnenko divides cybernetic learning systems into determined, probabilistic and universal. The latter ones include systems of biological type, namely with positive, negative and combined feedbacks. For a self-organizing system it is sufficient to determine the basic aim, and then the way of solution depends upon the system of mutually subordinate algorithms of various levels.

Rosenblatt's perceptron (it learns to recognize and distinguish stimuli) classifies input signals according to the signs which have not been defined in advance (it starts from the theory of statistical discriminability). Therein the basic element is represented by the continuous conductive neuron. If we teach perceptron to distinguish e. g. A from B we must increase the „weight“ of one group of neurons and decrease the „weight“ of the others. In self-learning the classification is acquired by means of positive feedback. The basic parts of perceptron are receptors, association system and output elements. The changes of „weights“ are caused by the activity of association cells. (Fig. 1, p. 132). In contrast to perceptron, in the brain there is an expressive adaptation.

Selfridge gave the name Pandemonium to the system with adaptive improvement when recognizing some patterns. Therein the elements of data, computation, cognition and decision are embodied. Learning consists in optimum setting of elements.

Steibuch's matrices of learning — Fig. 25, p. 140 start from the conception of conditioned reflexes. In the phase of learning, sets of properties and corresponding meanings are presented to the matrix. In the phase of recognition either a set of properties is presented, and these connect the corresponding meaning by means of the determinant extreme value, or a meaning is presented and a set of corresponding properties is signalized. The matrices of learning may be connected mutually in various ways and utilized particularly in automatic recognition of signs.

Perceptual learning is also investigated by means of selforganizing systems (Farley). In them sets of properties are created by means of grouping on the basis of frequency of repetition, space compatibility, time sequence, and presence of decisive properties.

Here a new approach is represented by Braverman's hypothesis concerning compactness of an image.

Cybernetic modelling of learning led also to the revival of interest of psychologists in this process. Quantification of memory, conception of feedback and modelling of learning have contributed to a more detailed explanation of human learning, though hitherto in its simpler manifestations only.

## 5. Thinking and Speech

### a) Psychological experiments

The measure of information created by man may exceed the measure of information received. According to Zeman the analysis of semantic field may explain the structure and dynamic aspect of the processes of thinking. Tichomirov found, on the basis of investigating the classification of geometric patterns, that at the beginning when there was a great subjective uncertainty, the heuristic procedure was used, and the solution according to algorithm set in only after the stable conditions of activity were ascertained. The process of solution of a task consists in an active choice of information which comes as the result of the S's activity proper. Puškin illustrates practical utilization of algorithms of thinking activity on the example of a train dispatcher. The author also investigated operative thinking by means of the „game in 5“ (the arrangement of cubers in a sequence). When solving a task, the connection between the elements of situation in their dynamics was ascertained.

### b) Heuristic programming

As the theory of automata does not make further development of „thinking“ machines possible, heuristic procedures began to be used (they were based on estimate, suggestion). In heuristic programming one constantly proceeds from the experiment with man to verification of programme in the automata and back again to the human brain. Gluškov and Newell maintain that in modern computers it is possible to reproduce even the most complicated forms of the work of the brain, if we explain their basis — information processes.

Minsky considers recognition and classification of events into useful categories to be the main question.

Newell presupposes the existence of a great number of primitive information processes which combine into whole programmes of a procedure. The author worked out the programme *LT* in order to prove the theorems of elementary symbolic logic. He did not proceed incidently but in dependence upon the „structure“ of the problem (the net of subproblems was not fixedly given in advance). Newell avows himself to belong to the Gestalt theory of solving a problem. His further programme *GSP* — transforms objects by means of various operators, ascertains the differences among objects, and organizes information concerning the task into aims. With each new difficulty the new subaim is formed, serving to overcome it. When comparing the protocol of solving an equation by man and by machine, it was shown that some steps were not compatible.

### c) Other models of thinking

There were worked out the programmes of chess game, answering questions, formation of concepts as well as the practical application of models (Feigenbaum and Feldman). Further authors dealt with modelling of induction, proving geometric theorems (Min-

sky, Gelenter). MacKay mentions the successful processing of information in dependence on its value, „jump over the gap“ among data and the search on the basis of feeling of proximity of solution to be a characteristic of intellect. Uttley, who proposed a logical classification machine and the machine computing conditioned probabilities, summarized the cybernetic approach toward thinking, existing hitherto, into one model with three inputs (data from the environment, feedback information, the aim of the system). The modelling of thinking, existing hitherto, covers its simpler forms only. The modelling of the whole content of man's thinking must start from all processes and abilities of man.

#### d) Speech

Language is the so-called primary code as it has a direct relation to thinking. It is necessary to distinguish selective and semantic amounts of information. Shannon investigated redundancy in printed texts by means of guessing and demonstrated probabilistic laws in language by means of gradual approximations of a chance sequence toward the English language. Further methods, too, were developed to ascertain redundancy. The average „chunk“ of information in a sentence has the length of 2,5—3 words. The relationship of significant and insignificant information in the speech is also influenced by its speed. Žinkin proposed to ascertain semantic system of an individual vocabulary by means of the conditioned reflex method. Speech communication is a circular process, the stability of which consists in various feedbacks. In automatic recognition of the speech it is necessary to start from those symptoms and hypotheses which man works with.

### 6. Decision

The research carried out hitherto has been oriented mainly to the creation of an abstract model of a conflict situation. The application of the theory of games and decision-making functions to psychic processes is connected with the whole range of difficulties.

Edwards distinguishes static and dynamic theories of decision. In static decision the result is specified for each situation in the matrix of payment. In his model (SEV, SEU) the author combines the probability of occurrence of an event and its utility, and verifies their effects upon the resulting behaviour. Dynamic decision occurs in changing situations of the environment, and therein it is possible to distinguish 6 types of situations. Here the processing of information may be evaluated by Bayesian statistics.

The theory of utility presupposes the possibility of creating a scale of utilities (on the basis of preference). Luce applied his probabilistic theory of utility to psychophysical problems. Galanter carried out the direct measurement of utility and found that the psychological value of money was rather a logarithmic than a linear function of money. Feather gave the survey of the existing approaches to decision and ascertained experimentally the importance of success as well as the influence of situation context. From among the other authors dealing with the models of decision we may mention Coombs, Atkinson, Mehl, Broadbent and Audley. Cohen and Hansel dealt with risking in detail. Schmidt carried out extensive experiments verifying the applicability of the model of decision in various situations. In addition thereto, he investigated decision from developmental and psychological aspects (approximation to the strategy of adults).

In human decision emotional influences, imitation, and the like take part. The arro

gement of a preference scale is also difficult. In spite thereof these models enable to unite the existing results in the sphere of voluntary behaviour.

\* \* \*

The third part is oriented to the analysis of perspectives and shortcomings of cybernetic approach.

In agreement with many authors we may say that consciousness cannot be investigated with the methods of cybernetics. Thus the question arises whether in the automata it is a case of at least real perception, learning and thinking. We must, however, understand thereby the same thing as the contemporary psychological theory does.

Man's perception is objective and it is noted for its active attitude toward reality. When modelling it, cybernetists meet great difficulties, namely even if they use probabilistic learning systems (obtaining of invariants, regulative function of perception and transfer).

Human memory is noted for its conscious attitude toward the reproduced material. Though the matrices of learning create an inner model of the external world, still there does not occur recall according to the meaning and the aim of activity. Steinbuch's conception starts from Pavlovian physiology. On the whole, however, the development of learning automata enables also to psychology to isolate, by means of a model, individual components of the process of learning.

Without solving the questions of semantic information, it is impossible to overcome the dead point in the development of the translating computers. The close connection of language and cognitive processes represents a considerable obstacle for quantification endeavours.

Thinking is closely connected with activity, voluntary efforts, and reflects phenomena in their connections. Cybernetic modelling rests on the level of logical processes, with only those properties being classified which have been given at the beginning. Although we cannot speak of thinking machines, nevertheless technical modelling permits man to get rid of monotonous rational operations, and thus to devote himself to creative activity. Heuristic programming, in particular, enables to analyse the structure of the process of thinking.

The application of the theory of games and decision does not cover the abundance of necessities and instinct powers, and does not show either the transmission of decision into activity. In spite thereof, these models contribute to the explanation of some aspects of voluntary decision.

Cybernetic modelling of psychic activity may be evaluated (or its further development may be predicted) in an optimistic and pessimistic way. Turing, Minsky and Kolmogorov are of the opinion, that there has begun the era of thinking machines, the possibility of cybernetic analysis of human consciousness. In contrast thereto Taube writes, in this connection, about myths which are consequent to the generalization of cybernetic understanding of individual psychic processes. Both standpoints have weaknesses in their argumentation (identification of psychology and neurophysiology, taking into consideration of the results of rational process only, and even that in a narrowed sphere only, mistaken interpretation of Godel's theorem, and the like), but we are not going to start the judging of their justification.

We may, however, say that cybernetics brings to psychology a very valuable methodological help as well as the possibility of verifying psychological theories on cybernetic

models (learning and self-organizing systems). Cybernetics, on the other hand, proved to itself on the example of heuristic programming that it was worth-while to make use of the knowledge of psychology.

In the question of relationship between psychology and cybernetics, instead of drawing a conclusion, it is more useful to appeal to the discussion and further research.

obsah



Predhovor . . . . .	9
<b>I. KYBERNETIKA, JEJ ZÁKLADNÉ DISCIPLÍNY A MOŽNOSTI APLIKÁCIE</b>	<b>11</b>
<b>A. Teória riadenia a automaty</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>B. Teória informácie</b> . . . . .	<b>20</b>
1. Teória pravdepodobnosti . . . . .	20
2. Signál . . . . .	23
3. Informácia a jej meranie . . . . .	24
4. Informácia a entropia . . . . .	27
5. Prenos a kódovanie informácie . . . . .	29
<b>C. Teória hier</b> . . . . .	<b>32</b>
1. Základné pojmy . . . . .	33
2. Predpoklady aplikácie . . . . .	35
<b>II. INFORMAČNÁ PSYCHOLÓGIA</b>	<b>39</b>
<b>A. Nový prístup k niektorým psychologickým problémom</b> . . . . .	<b>41</b>
<b>B. Fyziologické základy — neurokybernetika</b> . . . . .	<b>46</b>
1. Neurón a neurónové siete . . . . .	47
2. Spätná väzba a podmienené reflexy . . . . .	49
3. Modelovanie . . . . .	51
<b>C. Aplikácia na psychické procesy</b> . . . . .	<b>57</b>
1. Základné pojmy . . . . .	57
2. Subjektívna pravdepodobnosť . . . . .	61
a) Doterajšie výskumy . . . . .	61
b) Výsledky vlastných experimentov . . . . .	64
c) Diskusia . . . . .	69
d) Záver . . . . .	75
3. Vnímanie . . . . .	76
a) Kapacita senzorických kanálov . . . . .	77
b) Množstvo informácie a reakčný čas . . . . .	82
c) Pravdepodobnostný prístup . . . . .	93
d) Vnímanie tvaru a modelovanie . . . . .	101
e) Záver . . . . .	111
4. Pamäť a učenie . . . . .	113
a) Ľudská pamäť . . . . .	113
b) Učenie a spätná väzba . . . . .	121
c) Učiace sa automaty . . . . .	126
d) Záver . . . . .	141
5. Myslenie a reč . . . . .	142
a) Psychologické výskumy . . . . .	143
b) Heuristické programovanie . . . . .	150
c) Ostatné modely myslenia . . . . .	155
d) Reč . . . . .	159
e) Záver . . . . .	165

6. Rozhodovanie . . . . .	16
a) Statické rozhodovanie . . . . .	16
b) Dynamické rozhodovanie . . . . .	17
c) Užitočnosť . . . . .	17
d) Záver . . . . .	18

**III. PERSPEKTÍVY A NEDOSTATKY KYBERNETICKÉHO PRÍSTUPU . . . . . 18**

Literatúra . . . . .	19
Vecný zoznam . . . . .	21
Menný zoznam . . . . .	21
Anglické resumé . . . . .	22

## contents

Preface . . . . .	
-------------------	--

**I. CYBERNETICS, ITS BASIC BRANCHES AND POSSIBILITIES OF APPLICATION . . . . . 11**

A. Theory of control and automata . . . . .	15
B. Information theory . . . . .	20
1. theory of probability . . . . .	20
2. signal . . . . .	23
3. information and its measurement . . . . .	24
4. information and entropy . . . . .	27
5. transmission and coding of information . . . . .	29
C. Theory of games . . . . .	32
1. basic concepts . . . . .	33
2. preconditions of application . . . . .	35

**II. INFORMATION THEORY . . . . . 39**

A. New approach to some psychological problems . . . . .	41
B. Physiological bases — neurocybernetics . . . . .	46
1. neuron and neuron nets . . . . .	47
2. feedback and conditioned reflexes . . . . .	49
3. modelling . . . . .	51
C. Application to psychic processes . . . . .	57
1. Basic concepts . . . . .	57
2. Subjective probability . . . . .	61
a) existing experiments . . . . .	61
b) results of own experiments . . . . .	64
c) discussion . . . . .	69
d) conclusion . . . . .	75
3. Perception . . . . .	76
a) capacity of sensory channels . . . . .	77

b) amount of information and reaction time . . . . .	82
c) probabilistic approach . . . . .	93
d) perception of form and modelling . . . . .	101
e) conclusion . . . . .	111
4. Memory and learning . . . . .	113
a) human memory . . . . .	113
b) learning and feedback . . . . .	121
c) learning automata . . . . .	126
d) conclusion . . . . .	141
5. Thinking and Speech . . . . .	142
a) psychological experiments . . . . .	143
b) heuristic programming . . . . .	150
c) other models of thinking . . . . .	155
d) speech . . . . .	159
e) conclusion . . . . .	165
6. Decision . . . . .	166
a) static decision . . . . .	167
b) dynamic decision . . . . .	170
c) utility . . . . .	171
d) conclusion . . . . .	180

**III. PERSPECTIVES AND SHORTCOMINGS OF THE CYBERNETIC APPROACH . . . . .**

<b>APPROACH . . . . .</b>	<b>183</b>
References . . . . .	193
Subject index . . . . .	215
Name index. . . . .	218
Summary (in English) . . . . .	223



**Michal Stríženec CSc.**

# **psychológia a kybernetika**

*Obálku navrhol Alojz Riškovič  
Redaktorka publikácie Brigita Váhovská  
Technická redaktorka Tatjana Madárová  
Korektorky Mária Lacová a Viera Reifová*

Prvé vydanie. Vydalo Vydavateľstvo  
Slovenskej akadémie vied v Bratislave  
1966 ako svoju 1097. publikáciu,  
strán 244, obr. 30

Vytlačila Pravda, vydavateľstvo ÚV KSS, Bratislava  
AH 15,11, (text 14,31, obr. 0,80), VH 15,56  
K-09\*61102. Náklad 4000 výtlačkov.  
1268/I.-1965

71 — 052 — 66  
02/9 509 29

Kčs 23.—

