

21. BERNARD, C.: Ob opytnom rassuždeniji. In: Chrestomatija po obščej psihologii. Psihologija myšlenija. MGU 1981.
22. PIAGET, J.: Múdrosť a ilúzie filozofie. Bratislava 1977.
23. OPPENHEIMER, R.: Letajuščaja trapecija. Tri krizisa v fizike. Moskva 1967.
24. OSIATYŇSKI, W.: Labyrint světa. Rozhovory se sovětskými a americkými vědci. Praha 1984.
25. WIENER, N.: Můj život. Praha 1970.
26. BRECHT, B.: Teatr. Zv. 5, č. 1, Moskva 1965.
27. Nauka i npravstvennosť. Moskva 1971.
28. KAGARLICKIJ, J.: Fantastika. Utopie. Antiutopie. Praha 1982.
29. BILENKIN, D.: Paradoxy fantazii. In: Bratia po razumu. Moskva 1977.
30. STRUGACKI, A. a B.: Fantastickú literatúru máme radi od detstva. In: Revue svetovej literatúry 1981, č. 7.
31. Literaturnaja gazeta 1982, č. 28.
32. DYSON, F.: Späť...do kozmu! In: Dialógy: Spoločnosť—človek—zem a vesmír. Bratislava 1981.
33. BRADBURY, R.: Pamjať čelovečstva. Moskva 1981.

VÝPOČET A SKUTOČNOSŤ

(Poznámka k téme „výpočtové modelovanie“)

JOZEF KELEMEN, Bratislava, Katedra teoretickej kybernetiky Matematicko-fyzikálnej fakulty UK

Cieľom tejto poznámky je predstaviť vo voľnej náväznosti na (9) jeden relatívne nový druh modelov a s ním spojený nový spôsob modelovania, ktorý sme v súvislosti s problematikou umelej inteligencie načrtli v (9, s. 478—485). Bude reč o *výpočtových modeloch* a o *výpočtovom modelovaní*. Nekladíme si za cieľ gnozeologickú či metodologickú charakterizáciu týchto modelov, ale skôr ich charakterizáciu z pozícií špeciálnovedných oblastí výskumu počítačov a výpočtov, ktorú sa však pokúsime viesť na takej úrovni všeobecnosti, aby množstvo detailov neprekážalo čitateľovi s filozoficky orientovaným záujmom vidieť pre neho zaujímavú podstatu vecí.

Všeobecné poznámky o modelovaní

Modely ako konceptuálne aproximácie reality vznikajú v dôsledku vzájomnej interakcie poznávacieho subjektu a poznávanej reality. Charakter interakcie je určený okrem iných faktorov v rozhodujúcej miere aj tým, aké *prostriedky modelovania* volí modelujúci subjekt, a akým spôsobom skreslený obraz mu tieto prostriedky o realite poskytuje. Identita modelu a originálu sa zákonite narúša, a hoci pri konceptuálnom modelovaní iba ťažko možno hovoriť o akejsi izomorfnej zhode, je užitočné mať čím presnejšiu predstavu o miere homomorfizmu. Je dobré vedieť, aké zvolené prostriedky umožňujú modelovanie a aké nie. Vzhľadom na kľúčovú úlohu prostriedku modelovania a v poslednom rade aj na charakter našich ďalších úvah urobíme o ňom niekoľko nasledujúcich poznámok.

V jeho štruktúre rozlíšime predovšetkým nasledujúce štyri aspekty tak, ako je to uvedené aj v [17, s. 140 a n.): Lingvisticko-semiotické prostriedky, formalizovaný jazyk, konceptuálny aparát a logická štruktúra.

Lingvisticko-semiotické prostriedky slúžia na fixovanie konceptálneho modelu a umožňujú jeho komunikovateľnosť.

Konceptuálny aparát zaisťuje „prepojenie“ vznikajúceho modelu s už existujúcim konceptuálnym obrazom reality vo vedomí modelujúceho subjektu. Ak subjekt vyžaduje istú formalistickú disciplínu v rámci konceptuálneho aparátu, ktorý používa, má možnosť označovať používané koncepty prvkami (slovami) syntakticky jednoznačne definovateľného *formalizovaného jazyka*. Ak o disciplínu takéhoto druhu nestojí, stačí chápať požiadavku existencie formalizovaného jazyka ako požiadavku existencie istých všeobecne prijatých, avšak neformalizovaných noriem syntaktickej výstavby a morfolologickej štruktúry používaného jazyka, ktorý býva v takýchto prípadoch identický s niektorým prirodzeným jazykom.

Logická štruktúra prostriedku modelovania predurčuje to, vľahy akého charakteru bude schopný modelujúci subjekt o modelovanej časti reality postupovať, a teda vyjadriť v modeli. Rozhoduje tiež o tom, aké modality bude môcť využívať pri opise reality, v akom zmysle bude chápať „pravdivosť“ propozícií obsiahnutých v modeli vo vzťahu k realite atď. Je užitočné si uvedomiť, že ako prostriedok modelovania môže byť vyčlenená v zásade každá zo širokej triedy rozličných logík. Každá z nich apriórne predurčuje isté typy výpovedí o skutočnosti. Je teda úlohou modelujúceho subjektu, aby zvážil, ktoré aspekty skutočností sú pre neho (vzhľadom na ciele, ktoré ho prinútili model vytvárať) najzaujímavejšie a aby na základe výsledkov takýchto úvah volil logický aparát modelovacieho prostriedku.

Počítače a výpočty

Pre hypotetických mimozemšťanov, do postavenia ktorých sa pri niektorých svojich úvahách o mieste počítačov v našej civilizácii vžíva J. Weizenbaum [20, 5. kapitola], by boli tieto stroje pravdepodobne jedným z najzáhadnejších zariadení na našej planéte. Na jednej strane by videli vcelku bežný typ mechanizmu, meniaci jeden typ energie na iný. Čo by ich pravdepodobne prekvapovalo, by bola zdanlivá zbytočnosť tejto premeny. Príčinu veľkého rozšírenia počítačov totiž nemožno hľadať v tom, čo počítače *robia v skutočnosti*, ale v tom, ako *človek* interpretuje ich činnosť a jej výsledky. Používateľov výpočtovej techniky totiž v skutočnosti nikdy nezaujímajú rôzne fyzikálne a elektrické deje prebiehajúce v počítačoch, ale vždy iba vzťahy medzi významami, ktoré pripisujú niektorým kombináciám elektrických impulzov.

Spočiatku vládla predstava, že rôzne kombinácie elektrických impulzov možno interpretovať výlučne v numerickom zmysle, ako zápisy čísel v príslušných číselných sústavách. Počítač sa následkom toho považoval za stroj na prevádzanie operácií s číslami. Z toho vyplývala predstava, že použitie počítača na riešenie nejakého reálneho problému nevyhnutne predpokladá „preklad“ tohto problému do tvaru, ktorého riešenie vedie k *numerickému výpočtu*.

V priebehu päťdesiatych rokov sa ukázalo, že kódy, ktoré sú počítače schopné spracúvať, nie je nevyhnutné interpretovať výlučne ako čísla. Ako realistické sa ukázalo aj ich chápanie v podobe slov nejakého jazyka. V tejto

podobe mohli už okrem čísel symbolizovať rovnako dobre aj iné pojmy, napr. slová prirodzeného jazyka atď. Takto sa počítač stal univerzálnym zariadením na *spracúvanie symbolov* a symbolových štruktúr.

Nové chápanie funkcie počítačov iniciovalo úvahy, ktoré vyústili v druhej polovici sedemdesiatych rokov do formulácie pojmu *fyzikálneho symbolového systému*. Pojem zaviedli Newell a Simon [15, s. 113—126] a pokladajú ho za najfundamentálnejšie vyústenie dovtedajších výskumov v oblasti informatiky a umelej inteligencie. Základom k jeho vymedzeniu boli predovšetkým narastajúce skúsenosti a hlboké analýzy týkajúce sa práce počítačov a toho, ako ich programovať tak, aby boli schopné účinne vykonávať isté intelektuálne a perceptuálne aktivity. Koncept sám zahrnuje širokú triedu systémov schopných viazať symboly a ich štruktúry a manipulovať nimi, ktoré sú realizovateľné v našom fyzickom univerze¹.

Ku koncu sedemdesiatych rokov sa funkcia počítačov zdvojila. Naďalej plnili svoju základnú funkciu realizátorov procesov spracúvania symbolovej informácie. V priebehu ich výskumu však postupne vznikali pojmy, ktoré umožnili buď presnejšie, alebo aj úplne nové formulácie výpovedí o realite, ktorá nemusela mať s počítačmi či výpoveďami o nich na prvý pohľad nič spoločné.

V prvom prípade hrajú úlohu *programovacie jazyky*, umožňujúce symbolizáciu procesov spracúvania informácie. Poskytujú však iba ohraničené možnosti zápisu reálnych procesov, následkom čoho je každý proces, ktorý je realizovaný počítačom, iba viac či menej presnou aproximáciou reálneho procesu, slúžiaceho ako vzor vytvorenia príslušného programu činnosti počítača. Podstatnou otázkou pri tomto spôsobe používania výpočtovej techniky obyčajne ani nie je, či nastáva akási štruktúrna zhoda reálneho a počítačom realizovaného procesu, ale iba vznik funkčnej zhody. Výstižne charakterizoval J. von Neumann tento spôsob používania počítačov ešte v spojitosti s analógovými počítačmi [13]: „Pri analógovom výpočte pozorujete, približne povedané, nejaký fyzikálny proces, opísaný presne tými istými matematickými rovnicami, ako proces, ktorý vás zaujíma. Fyzikálny proces skúmate pritom fyzikálnymi metódami. Neuvažujete však o ňom, ale o procese, ktorý vás zaujíma a ktorý vás prinútil robiť výpočty. Hľadáte vždy čosi, čo je fyzikálnemu procesu podobné, čo sa s ním však presne nezhoduje.“

V druhom prípade majú kľúčový význam pojmy, ktoré vznikli v priebehu výskumu počítačov a ich činnosti, teda *konceptuálny aparát (matematickej) informatiky*. Tento, keďže je úzko spätý s procesmi manipulácie so symbolmi a s vytváraním symbolových štruktúr, umožňuje formulovať výpovede aj o takých výpočtových procesoch, ktoré nie sú realizované (v podobe programov) výpočtovou technikou. Umožňuje dokonca v niektorých prípadoch robiť predikcie o *počítačovej nerealizovateľnosti* niektorých procesov [z dôvodov

¹ Na okraj povahy symbolov, s ktorými fyzikálne symbolové systémy pracujú, poznamenávame, že Newell a Simon iba v hypotetickej rovine tvrdia, že tieto symboly a tie, s ktorými manipulujú ľudia vo svojom vedomí, sú rovnakej povahy. Inými slovami, ostáva hypotézou, že človek je inštanciou fyzikálneho symbolového systému. Potvrdiť alebo vyvrátiť túto hypotézu je úlohou oblasti nazývanej *umelá inteligencia*, ak ju chápeme ako poznávaciu vednú disciplínu. Takéto chápanie je predstavené na príklad v [9].

extrémne veľkej, formálne však presne skúmateľnej a stanoviteľnej zložitosti), alebo o *algoritmickej neriešiteľnosti* niektorých problémov (vďaka formalizácii pojmu algoritmus napr. v podobe Turingovho stroja). Súborom takto formulovaných výpovedí o istých fragmentoch skutočnosti sa zvykne hovoriť výpočtové modely. Toto ich vymedzenie budeme však pokladať iba za prvú aproximáciu tohto pojmu, ktorý sa chystáme naplniť trocha presnejšie vymedzeným obsahom.

Predhádzať úvahy nás oprávňujú k nasledovným uzáverom. V prvom rade sa nám zdá, že podstatu „počítačovej revolúcie“² nie je nevyhnutné hľadať výlučne v obrovskej pomoci, ktorú počítače poskytujú pri zdolávaní mimoriadne rozsiahlych výpočtov alebo bánk údajov (čím vlastne, a to je jedno z „kacírstiev“, ktorých sa dopúšťa Weizenbaum, pomáhajú „konzervovať“ napr. bez nich už nezvládnuiteľný byrokratizmus, namiesto aby spolupôsobili pri jeho zmene). Podstatnejším (a v tomto prípade skutočne revolučným) sa ukazuje byť vplyv počítačov a nimi vyvolaných ideí na oblasť ľudského poznávania. To, že počítače a informatika poskytujú kvalitatívne novú „optiku“ nazerania na skutočnosť, ktorú možno používať v zásade dvoma spôsobmi.

V prvom prípade ide o použitie špeciálnych programovacích jazykov na vyjadrenie niektorých našich predstáv o procesuálnej povahe niektorých výsekov reality. Na základe takto vzniknutých programov však nevieme o realite, ktorou bol motivovaný ich vznik, povedať nič nové bez toho, aby sme nepozorovali programami predpísanú činnosť výpočtovej techniky. Až na základe posúdenia výsledkov práce počítača sa otvára priestor pre kritické zhodnotenie našich predstáv, ktoré sme programami vyjadrili, pre ich potvrdenie, či pre vyslovenie nových hypotéz. V takomto prípade možno plným právom hovoriť o *počítačovom modelovaní*, resp. o *počítačových modeloch* práve vďaka nevyhnutnej prítomnosti počítača v procese modelovania.

Druhý spôsob použitia spomínanej „optiky“ je, keď pristupujeme k opisu skutočnosti nie prostredníctvom programovacieho jazyka, ale vyzbrojení konceptuálnym aparátom (matematickej) informatiky. Ako to ešte v nasledujúcich kapitolách uvidíme, sme pri takomto prístupe úplne nezávislí od prítomnosti výpočtovej techniky a sme dokonca v stave robiť aj závery oveľa všeobecnejšie, v niektorých prípadoch dokonca vylučujúce realistickosť používania výpočtovej techniky na riešenie niektorých skupín problémov. Opisy skutočnosti majú v tomto prípade opäť charakter modelov, ktoré pokladáme za účelné označiť ako výpočtové modely.

Výpočty a poznanie

Tým, že sme sa dostali k úvahám o vzťahu počítačov a výpočtov k modelovaniu a modelom, posúva sa ťažisko našich úvah k problematike súvisu počítačov a výpočtov s poznávaním.

Rozhodujúci vstup počítačov a výpočtov do oblasti poznávania vidíme v zmene, ktorá nastala v chápaní funkcií programovacích jazykov. Pragmatické úsilie vytvoriť pre človeka zrozumiteľnejšie programovacie jazyky a u-

² Ak vôbec pripúšťame, že taká revolúcia už reálne existuje; v citovanom diele (20) možno nájsť veľmi podnetné a pritom heretické pochybnosti.

Iahčif a spresniť tým prácu programátorov priviedlo k zisteniu, že programovací jazyk nie je iba jedna z mnohých metafor personifikujúcich počítač, ale aj označenie pre špecifickú triedu umelých jazykov, spoľahlivo fungujúcich v medziľudskej komunikácii. V knižke (8) sme napríklad navrhli a používali vo svojej podstate programovací jazyk, avšak výlučne s cieľom presnej komunikácie s čitateľom a dodržania istej jazykovej a intelektuálnej disciplíny úvah, ktorých sme sa dotýkali. Tento jazyk by však mohol byť bez principiálnych ťažkostí používaný aj konvenčným spôsobom ako prostriedok programovania počítačov.

Práve táto „ľudská“ dimenzia programovacích jazykov bola pravdepodobne rozhodujúcim faktorom pri vzniku toho, čomu budeme (podobne ako napr. v 18) hovoriť *výpočtový pojmový rámec*. Ak by sme sa ho snažili charakterizovať výlučne v jeho vzťahu na prostriedok modelovania (18, pozri 1. kap.), získaný obraz by nebol úplný. Výpočtový pojmový rámec ako prostriedok uchopovania skutočnosti totiž môže v sebe integrovať všetky zložky, o ktorých sme písali v spojitosti s prostriedkom modelovania, ale nie nevyhnutne. Rozhodujúcim činiteľom, umožňujúcim vyčleniť výpočtový pojmový rámec ako samostatnú časť metodológie používania výpočtových ideí a metód pri poznávaní reality, je *spôsob* jeho používania. Výpočtové pojmy, ale hlavne a najčastejšie programovacie jazyky, sú použité od prípadu k prípadu inými spôsobmi. Používanie výpočtového pojmového rámca sa preto zvykne charakterizovať aj ako štýl používania počítačov a výpočtov na riešenie niektorých problémov či na modelovanie spôsobom *ad hoc*. Prízvukuje sa tým nedostatok istej nevyhnutnej dávky metodologickej jednotnosti a „elegancie“ používania výpočtových pojmov. Z historického hľadiska a v sociálnej rovine je toto obdobie vývoja používania komputacionalistických ideí charakterizované nedostatočne rozvinutým systémom komunikačných prostriedkov (vhodných odborných periodík) či iných príležitostí k ujednocovaniu názorov (napr. rôznych odborných podujatí), ktoré by umožňovali pôsobiť stmelujúco a poskytovali by príležitosť ku konfrontáciám.

V *sociosfére* informatiky nastal v sedemdesiatych rokoch istý pohyb. Posuvy záujmovej orientácie niektorých špičkových odborníkov smerom k experimentovaniu s výpočtovým pojmovým rámcom, širšia ekonomická podpora týchto experimentov a ako výsledok oboch (navzájom súvisiacich) faktorov, postupné formovanie výskumných centier a škôl malo za následok založenie celého radu odborných periodík, edícií, periodických vedeckých podujatí atď., ktoré boli venované problematike používania výpočtového pojmového rámca. V dôsledku tejto komunikačnej explózie získali niektoré školy celkom zákonite prevahu. V rovine metodologickej sa tento pohyb prejavil v tom, že niektoré postupy aplikácie výpočtového pojmového rámca, ktoré sa vyvinuli z *ad hoc* postupov, získali hlbšie zdôvodnenie a širšiu publicitu, čoho následkom začali postupne vplývať na profesionálnu aktivitu čoraz širších odborných kruhov. Nastal teda stav, ktorý nám umožňuje hovoriť o vzniku *výpočtovej paradigmy* v oboch významoch, v ktorých pojem paradigma používa T. Kuhn (11, napr. s. 240).

Spoločenskú dimenziu pojmu paradigma v jej vzťahu ku výpočtom sme práve načrtli, obrátime teda pozornosť na jej funkciu ako vzor vedeckej aktivity a jej želaného výsledku. Z tohto hľadiska pokladáme za kľúčové nasledujúce charakteristiky výpočtovej paradigmy:

1. Prijatie *jednotnej* metódy použitia výpočtového pojmového rámca, jadrom ktorej je fixovanie symbolicko-procesuálnej dimenzie skutočnosti prostriedkami konceptuálneho arzenálu (matematickej) informatiky.

2. Ustanovenie funkcionálno-štruktúrneho morfizmu výpočtových modelov a objektov modelovania ako *základného* typu zhody výpočtových modelov s originálmi.

3. Vytýčenie *spoznania* procesuálnej štruktúry skutočnosti ako *gnozeologického* cieľa a eventuálne vytvorenie *počítačových modelov* ako *pragmatického* cieľa poznávacích aktivít vedených z pozícií výpočtovej paradigmy.

Dostali sme sa teda (v tomto článku) k ďalšiemu vymedzeniu výpočtových modelov. *Výpočtovým modelom* budeme rozumieť taký opis (určitého výseku) skutočnosti, ktorý vznikol ako produkt poznávania reality z pozícií *výpočtovej paradigmy*.

Výpočtový model, rovnako ako všetky ostatné modely, je výsledkom idealizácie a abstrakcie modelovanej skutočnosti. Pri posudzovaní jeho gnozeologického významu je preto dôležité vedieť, akým spôsobom skresľujú procesy idealizácie a abstrakcie v procese modelovania modelovanú skutočnosť. Dôležitou je teda úloha vymedziť tie aspekty originálu, ktoré možno potenciálne zachytiť prostriedkami výpočtového modelovania. Aby sme ju mohli splniť, budeme vychádzať z pojmu fyzikálneho symbolového systému. Tento pojem, okolo ktorého gravitujú všetky pojmy informatiky, možno charakterizovať ako abstraktné zariadenie, pozostávajúce z pamäte, operátorov, riadiaceho zariadenia, kanálov vstupov a výstupov, ktoré interaguje prostredníctvom posledne spomenutej zložky s prostredím pozostávajúcim z rôzne lokalizovaných objektov, ktoré majú vlastnú štruktúrnú typológiu a individuálnu a interaktívnu dynamiku. Prostredníctvom vstupných kanálov dostáva fyzikálny symbolový systém správy o stave a činnosti objektov, tvoriacich prostredie a prostredníctvom výstupných kanálov ich prípadne modifikuje. Modifikácie sú z vonkajšieho hľadiska funkciami vstupov, z hľadiska symbolového systému sú však výsledkom aj jeho vnútornej štruktúry a dynamiky.

Pomocou práve uvedených a na ne viazaných pojmov informatiky sme teda schopní opísať iba tú stránku skutočnosti, ktorá sa prejavuje v dynamike a organizovanosti symbolových štruktúr, symbolizovateľnú procesuálnu štruktúru reality, ktorú však chápeme ako idealizáciu skutočnosti; nie za bezprostredný výsledok skúmania skutočnosti, ale za zdroj výskumov, ktoré možno prevádzať prostriedkami výpočtového modelovania. [16, s. 155].

Treba ešte spomenúť aspoň niektoré významné príklady použitia postupov výpočtového modelovania. V oblasti modelovania *psychických procesov* si zasluhujú pozornosť napríklad monografie Newella a Simona [15] alebo Wilsona [22]. V oblasti výpočtovej charakterizácie *gramatiky*, resp. používania *prírodných jazykov* spomenieme napríklad prácu Ritchieho [18] a Winograda [23]. V oblasti výpočtového modelovania *videnia* je pozoruhodná práca [12]. V oblasti modelovania *biologického rastu* má širokú popularitu smer, prezentovaný napríklad Hermanom a Rozenbergom [6]³.

³ Výpočtové modely bývajú pomerne často (a neodôvodnene) stotožňované s kybernetickými modelmi. Tu sa naskytuje vhodná príležitosť aspoň sa dotknúť zdroja odlišnosti. Kybernetika mala už i vo svojich začiatkoch, napríklad v priekopníckych prácach samotného N. Wienera [21], za svoj cieľ skúmať *riadenie* v jeho dostatočne

Vytvorenie *výpočtovej teórie* predpokladá rozvinutie výpočtového modelu danej procesuálnej štruktúry v nasledujúcich smeroch:

1. V smere *maximálneho pokrytia* modelovaného originálu modelom. Počet evidentných, ale modelom nepostihnutých prvkov modelovanej štruktúry, by mal byť minimálny.

2. V smere *explanačnej efektívnosti*. Na základe modelu by sme mali byť schopní vysvetliť čím viac skutočností, pozorovaných v utváraní či v prejavoch modelovanej štruktúry, hlavne takých, ktoré neslúžili ako bezprostredné empirické východisko pri vytvorení výpočtového modelu.

3. V smere *predikčnej efektívnosti*. Skúmajúc vytvorený výpočtový model by sme mali byť v stave dospieť k čím väčšiemu počtu propozícií o modelovanej skutočnosti, o ktorých sme predtým nemali dostatočne zreteľné evidencie. Potvrdzovanie alebo vyvracanie týchto propozícií môže mať podstatný vplyv na ďalší rozvoj danej výpočtovej teórie, prípadne na eventuálne modifikácie výpočtového modelu, ktorý stojí v jej pozadí.

Ako sa teda dalo aj očakávať, výpočtové teórie sa, pokiaľ ide o funkcie, ktoré majú plniť, v ničom neodlišujú od rozšíreného a všeobecne prijímaného významu pojmu teória [3]. Ich špecifickosť je podmienená iba geneticky tým, že vznikajú na báze výpočtových modelov, čo samozrejme pôsobí determinujúco aj na ich gnozeologický status.

Jazyk výpočtov

„Úlohou jazyka je, aby bol najlepším možným nástrojom na systematizáciu faktorov do usporiadaného svetonázoru, nástrojom, ktorý môže fakty vyberať, spájať a hierarchicky klasifikovať. ... Jazyk nevyjadruje iba to, čím je skutočnosť [čo je skutočnosť, to má človek pred očami], vyjadruje aj to, čo sa dá so skutočnosťou robiť, jej skryté vnútorné zákony a zároveň to, čo človek chce urobiť so skutočnosťou, teda vlastné nevedomé potreby. Jazyk je nástrojom na vyjadrenie toho, čím je skutočnosť vo vzťahu k človeku ...“ píše Ch. Caudwell [2, s. 291–292] veľmi zreteľne akcentujúc funkciu prirodzených jazykov ako prvotných prostriedkov konceptuálneho uchopovania skutočnosti. Ostatné jazykové prostriedky vrátane *jazyka výpočtov*,⁴ čiže prostriedku výpočtového modelovania, vznikali postupným zdokonaľovaním tohto prvotného prostriedku, jeho špecializáciou, za ktorú sa samozrejme nevyhnutne platí postupným zužovaním vyjadrovacích možností, pokiaľ ide o šírku opisovanej skutočnosti. Zisk je predovšetkým v hĺbke opisov a v ich sémantickej precizite.

Úlohu *formálneho jazyka* v prostriedku výpočtového modelovania plní *matematika*. Dnes je pomerne rozšírené jej chápanie v podobe jazykového

abstraktnej podobe prostriedkami klasickej matematiky, stavajúcej v prvom rade na pojme spojitosti. Postupne dospeli výskumy ku konštitúcii fundamentálnej kategórie kybernetiky v podobe pojmu *systém*, ktorý sa stal základným pojmom kybernetického modelovania. Tzv. *systémový prístup* umožňuje zachytiť isté, povedzme behaviorálno-štruktúrálné rozmery skutočnosti a nijako sa nesústreďuje (hoci tým nechceme a ani nemôžeme tvrdiť, že sa viac či menej okrajovo nedotýka) na procesuálnu štruktúru, významnú z hľadiska výpočtového modelovania.

⁴ Jazyk výpočtov vznikal postupne v rámci rozvoja informatiky. Táto oblasť je dnes už mimoriadne široká [1; 5; 7; 19].

systému. V kontexte jazyka výpočtov je úloha matematiky v tom, že poskytuje disciplinované konštruované matematické štruktúry pre interpretáciu prvkov konceptuálneho aparátu jazyka výpočtov (takejto interpretácii je venovaná oblasť matematickej informatiky). Spomeňme hoci úlohu voľných monoidov pri výskume problematiky formálnych jazykov alebo heterogénnych algebier v ich vzťahu k typom údajov.⁵

Logický aparát výpočtového modelovania

Dynamický pojem procesu našiel svoje vyjadrenie aj v špeciálnom logickom formalizme, ktorý vznikol v priebehu sedemdesiatych rokov ako isté rozšírenie klasickej logiky o také modalít, ktoré umožňujú formalizáciu úvah o procesoch, algoritmoch a dynamických činnostiach. Týmto logickým formalizmom je dynamická logika (jej historicky skoršie varianty boli nazývané hlavne poľskými logikmi názvom algoritmická logika). Úvod do problematiky prvorádovej dynamickej logiky poskytuje monografia [4]. Charakteristickým pre logiku tohto druhu je používanie dvoch špeciálnych modalít, ktoré sú interpretované spôsobom, zaužívaným pri interpretácii modalít v starších modálnych logikách: ak A je formula dynamickej logiky a b je výraz označujúci program, potom $[b] A$ je formula dynamickej logiky s významom „ A platí v aspoň jednom stave dosiahnutom vykonaním programu b “ a $\{b \neq A\}$ je formula s významom „ A je splnená vo všetkých stavoch, dosiahnutých po vykonaní programu b “.

Vzhľadom na motívy, ktoré viedli k založeniu dynamickej logiky a vzhľadom na jej vyjadrovacie možnosti, je dosť pravdepodobné, že v budúcnosti bude ona, alebo ešte pravdepodobnejšie nejaká logika, ktorá sa z nej odvodí, plniť funkciu logického aparátu jazyka výpočtov. V súčasnosti je však zatiaľ charakteristickejšie použitie klasickej logiky v tejto úlohe, prípadne jej modifikácií v podobe viacdruhových či vyššie rádrových logík, eventuálne logiky typov.

LITERATÚRA

1. ARDEN, B. W. (Ed.): What Can Be Automated. The MIT Press, Cambridge Mass. 1980.
2. CAUDWELL, Ch.: Ilúzia a skutočnosť. Slovenský spisovateľ, Bratislava 1979.
3. ČERNÍK, V. — FARKAŠOVÁ, E. — VICENÍK, J.: Teória poznania. Bratislava 1980.
4. HAREL, D.: First-Order Dynamic Logic. Springer-Verlag, Berlin 1979.
5. HAVERLÍK, I. a kol.: Matematická informatika I (skriptum). UK Bratislava 1984.
6. HERMAN, G. T. — ROZENBERG, G.: Developmental Systems and Languages. North-Holland, Amsterdam 1975.
7. HVORECKÝ, J. a kol.: Matematická informatika III (skriptum). UK, Bratislava 1983.
8. HVORECKÝ, J. — KELEMEN, J.: Algoritmizácia. Alfa, Bratislava 1983.
9. KELEMEN, J.: Gnozeologický status výpočtových teórií myslenia. In: Filozofia 1983.

⁵ Kvôli úplnosti je potrebné rozlišovať medzi *matematickými* a *výpočtovými* modelmi. Bez zdĺhavých zdôvodňovaní iba konštatujeme, že tento rozdiel je v podstate redukovateľný na rozdiel medzi matematikou a informatikou, ktorý charakterizuje D. Knuth [10, s. 82–99].

10. KNUTH, D. E.: Algorithm in Modern Mathematics and Computer Science. In: Algorithms in Modern Mathematics and Computer Science (A. P. Ershov, D. E. Knuth, eds.): Springer-Verlag, Berlin 1981.
11. KUHN, T. S.: Štruktúra vedeckých revolúcií. Pravda, Bratislava 1982.
12. MARR, D.: Vision. Freeman and Co., San Francisco 1982.
13. NEUMANN, J. von: Theory of Self-Reproducing Automata (edited by A. W. Burks). University of Illinois Press, Urbana 1966.
14. NEWELL, A. — SIMON, H. A.: Human Problem Solving. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1972.
15. NEWELL, A. — SIMON, H. A.: Computer Science as an Empirical Inquiry: Symbols and Search. Communications of the ACM 19, 1976.
16. PIAGET, J.: Múdrosť a ilúzie filozofie. Pravda, Bratislava 1977.
17. RASTRIGIN, L. A. — MARKOV, V. A.: Kibernetičeskije modeli poznanija. Zinatne. Riga 1976.
18. RITCHIE, G. D.: Computational Grammar. The Harvester Press, Brighton 1980.
19. ROVAN, B. a kol.: Matematická informatika II (skriptum). UK, Bratislava 1982.
20. WEIZENBAUM, J.: Computer Power and Human Reason. Freeman and Co. San Francisco 1976.
21. WIENER, N.: Cybernetics (second edition). The MIT Press, Cambridge, Mass. 1961.
22. WILSON, K. V.: From Associations to Structure. North-Holland, Amsterdam 1980.
23. WINOGRAD, T.: Language as a Cognitive Process. Addison-Wesley, Reading, Mass. 1983.