

MÁRIA HRMOVÁ, Katedra mikrobiológie PFUK, Bratislava

HRMOVÁ, M., Modelling in Biological Research. *Filozofia* 31, 1976, č. 6, s. 580—591

It was not until present that modelling as the means of theoretical and experimental research in biology acquired such qualitatively new features as a result of which it became one of the effective methods of modern biological research.

In the most general definition modelling is characterized as material or mental imitation of real existing system by means of generating special analogues (models) reproducing the principles of organisation and functioning of this system.

Modelling presupposes first the subject inquiring the lawfulness of natural processes, then the object of inquiry and finally the model mediating the relation of perceiving subject and perceived object.

The process of modelling begins by proposing the task. The researcher isolates certain properties and relations of the object. The next step is formed by the choice of the model-certain object analogous in particular relation to the original. Further on the model proceeds as an independent representant of object and becomes the object of investigation. After having finished the investigation of the model the information is transferred to the original and verified.

The method of modelling acquires a broad application in modern biology and will acquire the more success the closer its connection with other methods of biological research, with the theory of modelled phenomena, that is with their biological interpretation, will be.

„Metóda je imanentný princíp a duša predmetu“ (12, s. 230)

Modelovanie ako prostriedok teoretického a experimentálneho výskumu v biológii je známy už dávno. Avšak len v súčasných podmienkach získalo modelovanie také kvalitatívne nové črty, v dôsledku ktorých sa stalo jednou z efektívnych metód moderného biologického výskumu. Vďaka tejto metóde urobila biológia v posledných rokoch značné pokroky, lebo na základe tohto prístupu prenikajú do biológie metódy hraničných disciplín, moderné spôsoby logického a matematického vyjadrovania a vysvetľovania živých systémov. Modelovanie je tak jedným z najvýraznejších výsledkov procesu integrácie, ktorý prebieha v súčasnej dobe.

Problém modelovania má množstvo všeobecnoteoretických, ako aj výslovné špeciálnych aspektov, o ktorých sa často diskutuje. Treba predovšetkým zdôrazniť, že pojem modelu dnes už nie je len technický pojem a termín určitej čiastkovej vedy, alebo len čiastkový bádateľský prístup, ale je práve gnozeologickou kategóriou. Preto aj okolo tejto kategórie existuje boj rôznych filozofických smerov a poňatí miesta a úlohy modelov v poznaní vôbec.

V najvšeobecnejšej a najrozšírenejšej definícii sa modelovanie charakterizuje ako materiálne alebo myšlienkové napodobňovanie reálne existujúceho

systému prostredníctvom vytvárania špeciálnych analógov (modelov), v ktorých sa reprodukujú princípy organizácie a fungovania tohto systému. (1, s. 153) I. B. Novik (2, s. 34) charakterizuje modelovanie ako sprostredkované praktické alebo teoretické skúmanie objektu, pri ktorom sa priamo neskúma ten objekt, ktorý nás zaujíma, ale pomocný umelý alebo prirodzený systém, ktorý:

- a) nachádza sa v istom objektívnom vzťahu k poznávanému objektu;
- b) je schopný zastúpiť objekt v určitých vzťahoch;
- c) dáva informáciu v konečnom dôsledku o modelovanom objekte.

Inakšie povedané, vedec, ktorý chce skúmať isté reakcie zvierata, nemusí sa bezprostredne zaoberať skúmaným objektom, ale vytvorí si „umelé zviera“ (Walterova „korytnačka“, Shennonova „myš“ a pod.), čiže z mechanických elektromagnetických prvkov a polovodičov skonštruuje automat so samoorganizujúcimi sa procesmi a reakciami pripomínajúce reakcie zvierata. Výskum sa zároveň môže uberať aj inou cestou, kde netreba konštruovať technický model. V tomto prípade sa predstava o reakciách a o príčinnej podmienenosti následnosti jej stavov vytvára pomocou logických a matematických operácií elektrónkového počítača na základe programu, ktorý v pozmenenej podobe registruje všetky možné stavy systému. (3, s. 108)

Z uvedeného vyplýva, že biologické systémy a procesy možno vyjadriť najmenej dvoma typmi modelov: materiálnymi (fyzikálnymi) a myšlienkovými (ideálnymi) modelmi, pričom oba typy modelov sú len dvoma špecifickými formami jednej vedeckovýskumnej metódy.

Treba však podotknúť, že je veľmi ťažké pokúsiť sa o jednotnú a vyčerpávajúcu klasifikáciu rôznych modelov. Záleží tu nielen na povahe systémov a objektov, ktoré sú modelované, ako aj na objektoch, ktoré sú prostriedkom modelovania, ale aj na povahe cieľov, ktorým ten či onen spôsob modelovania slúži. Kritériá, ktoré treba brať do úvahy pri definícii pojmu model, nie sú vôbec jednoznačné a zhodné s takým väčšinou intuitívne pochopeným základom pre rozlíšenie modelov, ktorý zabezpečuje vedcovi spoľahlivú orientáciu. Hmlisté alebo logicky nie dosť výrazné chápanie modelu vyplynulo z pôvodného stotožňovania pojmu model s názornou kópiou prirodzeného systému alebo originálu.

V materialistickom ponímaní sa model považuje za jeden zo spôsobov poznania, t. j. odrazu objektívnej skutočnosti. Ide o špecifický obraz objektívneho sveta, ktorý je druhotný vo vzťahu k vonkajšiemu svetu, ale pritom vyjadruje analógiu (nie totožnosť) jeho štruktúry so štruktúrou, ktorá zodpovedá časti objektívnej reality. Modelovať teda znamená jednoducho konštruovať špecifické náhrady originálu. Len vtedy bude imitácia originálu v myšlienkovvej alebo látkovej podobe modelom, ak slúži určitým výskumným cieľom.

Sám pojem „modelu“ sa v bežnej reči používa na označenie umele vytvoreného predmetu alebo zariadenia, v istom smere zhodujúceho sa s iným objektom, ktorý nie je objektom štúdia. Aj tu vystupuje do popredia zhoda, odraz, reprodukcia. Vo vede sa však týmto termínom pomenoval pojem, ktorý vyjadruje určitý spôsob, metódu, prostriedok poznania, spočívajúci v odraze alebo reprodukcii študovaného javu pomocou určitého, umele vytvoreného sys-

tému. „Je to teda činnosť, proces, idenie po ceste, t. j. vykonávanie krokov, ktoré na seba nadväzujú, pričom posledným sa dosiahne cieľ. Ani jedna činnosť však nie je bezbrehá, ale má istý smer, formu, a preto sa realizuje len pomocou určitých krokov, ktoré v presnej postupnosti po sebe nasledujú. (4)

Tu vystupuje ďalší príklad nejednoznačného chápania modelu. Vedci často rozdeľujú modely na heuristické a na modely slúžiace bezprostredne aplikácii v praxi. Napriek tomu, že v oboch prípadoch sa používa termín model, ide o rozličné veci. Druhá skupina modelov sa nemôže považovať za prostriedok vedeckého výskumu, pretože praktické využitie modelov sa tu stavia do protikladu s heuristickým poslaním modelu. Tieto modely síce tiež možno využiť na výskumné ciele, ale len v tom prípade, ak má modelovanie funkciu vedeckej metódy. Ako si však vysvetlíť fakt, že mnohí vedci zaraďujú umelé materiálne náhrady medzi modely bez ohľadu na to, či sa využívajú vo výskume, alebo nie? Problém tejto otázky súvisí s rozlíšením významu dvoch pojmov, a síce modelovania a umelej reprodukcie.

Mnohí vedci zastávajú názor, že pojem umelej reprodukcie nemôže zahŕňať veľkú skupinu špeciálnych konštrukcií, ktoré imitujú niektoré funkcie živých organizmov. Argumentuje sa pritom tým, že pod umelou reprodukciou možno rozumieť iba biochemickú syntézu živých systémov spojenú s reprodukciou špecifického substrátu života. (3, s. 111) I. T. Frolov kritizuje úzke vymedzenie umelej reprodukcie. Podľa jeho názoru sa umelá reprodukcia neviazá len na biochemickú syntézu živého, pri ktorej by sa reprodukoval substrát špecifický pre živé a jeho funkcie. Niektoré funkcie možno čiastočne reprodukovat aj na nešpecifickom substrátovom základe. (5)

Avšak medzi modelovaním a umelou reprodukciou je hlboké vnútorné spojenie. Je známe, že pokrok techniky je v istom zmysle séria úspechov v imitovaní funkcií živého organizmu. Vznik a vývoj kybernetiky súvisí veľmi tesne s touto otázkou. Inakšie povedané, kybernetika sa od samého začiatku zapodievala úlohou, „ako naučiť“ automaty pracovať podľa najúspornejších a najefektívnejších princípov, aké existujú v prírode. Modelovanie sa stalo východiskom a prostriedkom pri riešení tejto úlohy. V tomto smere urobila veda (najmä bionika ako nová disciplína, ktorá skúma, ako možno realizovať princípy organizácie a fungovania živého v technike) ešte len prvé kroky. Moderná veda ešte len začína skúmať spôsoby modelovania a reprodukcie zložitej autoregulácie na najefektívnejší pracovný režim, ktorý je vlastný aj najjednoduchšejlivej bytosti.

Modelovanie nie je iba teoretickým a experimentálnym predpokladom a určitým prostriedkom umelej reprodukcie. Výsledky, ktoré sa dosiahli v umelej reprodukcii modelovaním, môžu v ďalšom výskume samy slúžiť ako model alebo základ pre sériu ďalších modelov. Presvedčivé dôkazy poskytuje o tom napr. kybernetika, ktorá spätne vplýva na biológiu. Novovznikajúce vedecké disciplíny sa obracajú k „starej“ metóde modelovania, pričom mu dávajú nielen nové formy, ale aj nový vnútorný obsah. Tak sa stávajú metódy kybernetického modelovania neoddeliteľnou časťou kybernetiky, pre ktorú je charakteristické

postupné využitie analógií a široké využitie prenosu vlastností z jedného objektu na druhý. (6)

To sú niektoré črty a zvláštnosti materiálneho modelovania a umelej reprodukcie biologických systémov a procesov. Len po ozrejmení tohto rozdielu možno presnejšie pochopiť špecifikum modelovania.

Tu však vzniká ďalší problém. Ako identifikovať špecifické zvláštnosti druhej skupiny — myšlienkových modelov? Toto určenie vyplýva najmä z ich vzťahu k teórii. Existuje názor, podľa ktorého sú myšlienkové modely rovnocenné s teóriou, zákonom, hypotézou, v dôsledku čoho sa špecifikum modelových predstáv stráca a sám proces myšlienkového modelovania nejakej vlastnosti živých systémov sa stotožní s obyčajným teoretickým odrazom takéhoto javu. Proti tomuto názoru svedčí najmä predstava, že model je vždy prostriedkom, pomocou ktorého sa utvára teória. (3, s. 113)

Každý model je istým zjednodušením tých javov, ktoré sú predmetom poznania. Podľa názoru A. Rosenbluetha a N. Wienera je práve toto charakteristickou zvláštnosťou metódy modelovania. Lenže predmet poznania nezjednodušuje iba model, ale aj hociktorý teoreticky vyjadrený zákon. Vzniká tu otázka, či v takomto prípade treba zjednodušenie považovať za charakteristickú zvláštnosť modelovania. S výnimkou jednej podstatnej výhrady možno dať na túto otázku kladnú odpoveď. Ide tu totiž o to, že medzi zjednodušením v rámci modelovania a zjednodušením, ku ktorému dochádza v procese teoretického poznania pri tvorbe pojmov, je zásadný rozdiel, ktorý spočíva v stupni zjednodušenia. V prípade teórie sa tento stupeň určuje podľa toho, nakoľko je teória adekvátna odrážanému objektu. Pri posúdení hodnovernosti modelu nie je kritérium adekvátnosti záväzné. To neznamená, že zjednodušenie v modeli nemá nijaké hranice a celkom vylučuje princíp adekvátnosti. Špecifikum modelových predstáv nie je iba v tom, že sa tu vylučujú také ukazovatele ako obraznosť, názornosť, ale najmä v tom, že v prípade modelovania ide o podmienenú adekvátnosť.

Zjednodušenie a podmienenosť sú teda navzájom sa určujúce vlastnosti modelu. Podľa W. R. Ashbyho (7) má v procese modelovania svoje miesto isté zjednodušenie zložitých systémov. Keď dochádza k tomu, že sa systémy stávajú čoraz zložitejšími, vtedy ich teoretické vyjadrenie spočíva v tom, aby sa našla cesta k ich zjednodušeniu. Základná ťažkosť však spočíva v miere zjednodušenia, pretože priveľké, prehnané zjednodušenie bez okolkov znehodnocuje celú prácu. Podľa slov M. V. Glušкова (2, s. 54) má v modeloch vždy svoje miesto svojrázny „princíp neurčitosti“, lebo jedna a tá istá schéma môže zodpovedať mnohým vnútorným štruktúram.

Zjednodušenie sa dosahuje pomocou heuristiky užitočných analógií, ktoré sa iba podmienenčne zhodujú s modelovaným objektom. Podmienenosť modelu závisí od povahy zjednodušujúcich opatrení a od pomocných hypotéz, ktorými sa pri modelovaní riadieme. Vzájomné spojenie týchto dvoch charakteristík determinuje špecifické vlastnosti modelu ako zvláštnej formy poznávania biologického objektu. Pravda, to sa nevzťahuje na tie materiálne modely, ktoré sú iba kvantitatívne pozmenenými kópiami skúmaných objektov. Napr. v tech-

nike možno skonštruovať také materiálne modely, ktorých zhoda (adekvátnosť) s originálom nie je podmienená, ak sa rozdiely netýkajú kvalitatívnej (model má podstatné vlastnosti organizmu), ale iba kvantitatívnej stránky. Je však zrejmé, že v prípade biologického modelu je to takmer vylúčené, pretože v najtypickejších prípadoch ide o kvalitatívne rozdiely. Táto problematika veľmi úzko súvisí so vzťahom kvantitatívneho a kvalitatívneho určenia v kybernetike. Tu sa často prejavuje jednostranná tendencia k úplnej matematizácii, kvantifikácii a formalizácii, ktorá zanedbáva kvalitatívny pohľad na skutočnosť. Avšak správne pochopenie zmyslu pojmov v kybernetike dialektickým materializmom ukazuje, že kybernetika nie je v rozpore s dialektikou, pokiaľ ide o vzťah kvality a kvantity, štruktúry a funkcie, vzájomného pôsobenia systémov atď. (8, s. 364)

V opačnom prípade by modelovanie biologických objektov stratilo akýkoľvek význam, lebo by v potrebnej miere nezjednodušovalo skúmanú situáciu.

Ak pochopíme tieto gnozeologické vlastnosti modelu, môžeme do určitej miery pochopiť modelovanie ako biologickú výskumnú metódu, ktorá sa líši napr. od experimentu. Pri modelovaní biologických javov sa tieto javy vyčleňujú „v čistej podobe“, podobne ako v experimente. Lenže na rozdiel od experimentu výskumná práca sa v prípade modelovania nedostáva bezprostredne do styku so samým biologickým objektom, ale iba s jeho umele vytvoreným „zástupcom“, ktorý viac či menej dokonale napodobňuje niektoré vlastnosti objektu. Z týchto príčin F. Engels napísal: „Skúmal parný stroj, rozanalyzoval ho, zistil, že základný proces neprebíha v čistej podobe a je zaclonený vedľajšími procesmi rôznych druhov. Odsťirál ich a skonštruoval ideálny parný stroj.“ (9, s. 138) Inak povedané, nemohol skúmať proces v čistej podobe a to ho priviedlo k vytvoreniu modelu „ideálneho parného stroja“.

Proces modelovania má podľa K. Makarevičusa (10, s. 11) dôležitú úlohu v myšlienkovom modelovaní, uskutočňujúc sa v myšlienkovom experimente, v ktorom vďaka abstrahovaniu a idealizácii zmyslových obrazov ostáva len to podstatné, ktoré dovoľuje študovať proces „v čistom stave“. Proces modelovania je aktívna myšlienková činnosť, ktorá určuje a vyčleňuje podstatné všeobecné vlastnosti materiálneho objektu výskumu a materiálne experimentálne podmienky v myšlienkových modeloch. Táto činnosť sa uskutočňuje v myšlienkovom pokuse, je analogická materiálnemu pretvoreniu človeka, ku ktorému dochádza v procese vytvorenia experimentálnych podmienok a výberu skúmaného objektu. Zmyslové obrazy v tejto operácii vystupujú ako objekt operácie myšlienkového experimentu, ako nevyhnutný „stavebný materiál“ pre vytvorenie modelov, ktoré v „čistom stave“ skúmajú zákonitosti objektu. Rozdiel medzi myšlienkovým modelovaním a pretvárajúcou činnosťou človeka, ku ktorej dochádza v materiálnom experimente, spočíva v tom, že myšlienkový experiment obsiahne širšiu oblasť objektívneho sveta, ktorá je nedostupná materiálnemu experimentu.

Pokiaľ ide o zmyslový obraz, ktorý zobrazuje reálny objekt výskumu, nie je ešte poznaním, je začiatkom poznania, pretože obsahuje povrchnú, chaotickú predstavu o samom objekte. Poznávacia hodnota zmyslového obrazu skú-



maného materiálneho objektu spočíva v tom, že usmerňuje proces vytvorenia myšlienkového modelu na základe existencie určitých faktov, je orientačným bodom vytvorenia takého modelu, ktorý je schopný sa vzťahovať na materiálny model. Myšlienkový model skúmaného reálneho objektu je obraz zahrnujúci v sebe určité poznatky o objekte, ktoré sa dosiahnu abstrakciou. Vylúčiť proces modelovania z myšlienkového experimentu, zvieť objekt výskumu už k hotovým myšlienkovým modelom nie je možné, lebo by to súčasne znamenalo zvieť na ne aj sám myšlienkový experiment ako spôsob poznania.

Avšak modelovanie vôbec nemožno považovať za univerzálnu metódu skúmania biologických javov. Môžeme však určité vlastnosti vyčleniť a zložité javy často neprístupné bezprostrednej analýze rozložiť, čo v značnej miere uľahčuje vedecký výskum.

Poznávacie funkcie modelovania sa zhodujú v danej relácii s funkciami abstraktného myslenia. Abstrakcia je jedna z najvýznamnejších myšlienkových operácií v procese modelovania.

Javy objektívneho sveta, s ktorými sa človek stretáva vo svojej praktickej činnosti, majú nekonečný počet vlastností a vzťahov. Proces abstrakcie je zviazaný s tým, že človek neskúma celý nekonečný prúd vlastností, ale len časť. Ohraničenie oblastí skúmaných vlastností je podmienené jednak zvláštnosťami samých objektov a jednak ohraničenými schopnosťami človeka, ako aj jeho praktickou činnosťou a cieľmi, ktoré si stavia človek pred seba v procese poznania. (11, s. 34) Abstrahovanie sa skúma ako myšlienková operácia, ktorá ochudobňuje objekt, lebo pri abstrahovaní sa objekt skúma len z niektorých strán. Avšak takéto ochudobnenie objektu je adekvátne samej podstate veci, lebo človek skúma len tie vlastnosti a vzťahy, ktoré sa v danom momente prejavujú. „Človek nemôže zobraziť celú prírodu v jej bezprostrednej celistvosti, on sa k tomu môže len večne približovať, vytvárajúc abstrakcie, zákony, vedecký obraz sveta“, ako napísal V. I. Lenin. (12, s. 191) Vzájomný vzťah abstraktného a konkrétneho je podobný vzťahu všeobecného a jedinečného. Proces zovšeobecnenia môže byť uskutočnený len abstraktnou činnosťou ľudského myslenia. V dôsledku toho akékoľvek zovšeobecnenie je súčasne aj abstrahovanie.

Proces modelovania sa teda v danej relácii zhoduje s funkciou abstraktného myslenia. Avšak na rozdiel od neho modelovanie môže vytvoriť „látkový surogát abstrakcie“, ktorý je prístupný bezprostrednému experimentálnemu výskumu. Modelovanie živých systémov je vždy spojené s poznávaním nejakého zložitého systému prostredníctvom jednoduchšieho systému, ktorý je vhodnejší na výskum. (3, s. 129)

Už som uviedla, že s modelovaním sa spája isté zjednodušenie tých javov, ktoré sú predmetom štúdia. Predpokladá sa však, že poznatky získané pri štúdiu niektorých vlastností jednoduchého systému si zachovávajú platnosť aj vo vzťahu k vlastnostiam zložitého systému. Tu sa od samého začiatku vytyčujú určité podmienky: ak chceme rozšíriť platnosť poznatkov získaných modelovaním aj na modelovaný objekt, potrebujeme nejaké sprostredkujúce články, východiskové postuláty. Z toho vyplýva, že modelovanie biologických

objektov ako určitých špecifických systémov musí prebiehať v úzkom kontakte s kvalitatívnou interpretáciou. Ak sa neberie ohľad na túto interpretáciu, modely sa premenia na prázdne abstraktné konštrukcie s vysokým stupňom „formalizovaného formalizmu“. (3, s. 130)

Vzhľadom na to, že modelovanie biologických procesov sa môže uskutočňovať len pri veľkom stupni podmienenosti, sama výhoda modelovania, totiž získanie javu „v čistej podobe“, sa stáva súčasne jeho hranicou. Ide o to, že reálne, čiže živé systémy fungujú nielen v spojení s vonkajšími podmienkami, ale získavajú informácie aj od iných živých systémov ako podiel z mnohostrannej „prírodnej ekonomiky“.

Okrem toho organizmy sústreďujú a pri rozmnožovaní reprodukovujú nielen tú informáciu, ktorú nadobudli v priebehu individuálneho vývinu, ale aj tú, ktorú zdedili po predkoch, t. j. informáciu o historickom vývine druhu, ku ktorému daný jedinec patrí. Modelovanie týchto procesov má síce vzostupnú tendenciu, ale zatiaľ je vzhľadom na modelovaný objekt na nízkej úrovni. Podstatný nedostatok modelov biologických systémov je v tom, že sa až dosiaľ zaoberali prevažne modelovaním funkcií, pričom špecifickú štruktúru biologických substrátov nahrádzali izomorfnými náhradami. (3, s. 130)

Hoci som už hmlisto načrtla štruktúru procesu modelovania, rozoberiem tento problém bližšie.

Proces modelovania predpokladá jednak subjekt, ktorý skúma zákonitosti procesov prírody, spoločnosti alebo myslenia, ďalej objekt skúmania a nakoniec model, ktorý sprostredkuje vzťah poznávajúceho subjektu a poznávaného objektu. Z hľadiska tohto rozčlenenia sa proces modelovania delí na štyri čiastkové kroky:

- a) postavenie úlohy,
- b) vytvorenie (výber) modelu,
- c) výskum modelu,
- d) prenos poznatkov z modelu na originál.

Postavenie úlohy predstavuje prvý krok, ktorým sa začína vlastný proces modelovania. (11, s. 53). Ide o vyriešenie určitej úlohy, ktorej vysvetlenie prebieha pomocou modelu. Vzhľadom na konkrétnu úlohu sa oddeľujú určité vlastnosti objektu, ktorých výskum speje k cieľu. Keďže objekt sa skúma pod určitým uhlom, skúma sa viac alebo menej jednostranne. Charakter činnosti výskumníka v tejto etape je určený rozvojom spoločensko-historickej praxe a logikou vedeckého poznania. Výskumník analyzuje objekt, pričom používa rôzne metódy výskumu, napr. pozorovanie a pokus. Tým, že uskutočňuje experiment, aktívne a plánovite zasahuje do procesov, s cieľom ohraničiť a oddeliť tie vlastnosti a vzťahy, ktoré ho zaujímajú, pričom môže zmeniť prirodzený priebeh procesu. „Myslenie — hovorí V. I. Lenin — postupujúc od konkrétneho k abstraktnému, nevzdáva sa — ak je správne... od pravdy, ale sa k nej približuje. Abstrakcia hmoty, prírodného zákona, abstrakcia hodnoty atd., jedným slovom všetky vedecké abstrakcie odrážajú prírodu hlbšie, vernejšie, úplnejšie.“ (12, s. 179) Po analyzovaní predmetu výskumu, t. j. od predbežného výskumu objektu prechádza výskumník v procese modelovania k vytvoreniu

alebo výberu takého objektu, na základe výskumu ktorého by mohol získať nové údaje o prvom objekte (origináli). Hľadanie zástupcu originálu je možné tak na intuitívnom základe, ako aj pomocou prísne logických pravidiel.

Uvedomelé hľadanie modelu vychádza z možnosti využitia takého objektu, ktorý je analogický v určitom vzťahu k originálu. Veľmi želaná je pritom analógia takých vlastností a vzťahov, ktoré sú v danom prípade, predmetom výskumu. Veľmi dôležité je určenie analógie rôznych javov, čo má veľký heuristický význam a uľahčuje výber a vytvorenie modelu. Avšak výskumník sa neobmedzuje iba na konštatovanie faktu analogickosti objektov v danom vzťahu, ale prechádza k výskumu objektu, ktorý je vo funkcii zástupcu druhého.

Tretí krok predstavuje výskum modelu. Model (prostriedok poznania) je objektom výskumu. Všetky operácie, ktoré sa uskutočňujú v modeli, sú priamo usmernené na získanie vedomostí o tomto objekte. Vedec určuje zákonitosti jeho vývoja, vlastností a vzťahov, teda pozoruje model a experimentuje s ním. Predmetom jeho teoretickej analýzy je priamo model. Avšak výskum modelu nezaujíma vedca sám osebe, ale preto, lebo v konečnom dôsledku dáva informácie o druhom objekte (origináli). Tak sa stáva výskum modelu sprostredkovaným vyšetrovaním modelovaného objektu. V tom spočíva všeobecná podstatá modelu. Tento model má svoju úlohu v poznaní vďaka významu, ktorý sa pripisuje mnohotvárnym operáciám modelu. Preto pri akomkoľvek výskume modelu sa musia brať do úvahy zákonitosti, ktorým sa podriaduje existencia a rozvoj daného objektu. Údaje, ktoré sa získajú vo výskume, majú priamy vzťah len k danému objektu, a iba tento objekt priamo charakterizujú. Rozdielnosti vo vlastnostiach modelu a originálu dovoľujú pomocou modelu uskutočniť také výskumy, ktoré sú neuskutočniteľné na origináli. Rozdielnosti sú spôsobené abstrahovaním takých vlastností originálu, ktoré nedovoľujú jeho priamy výskum. Tým je možná aplikácia metód a prístrojov, ktoré nemohli byť skôr použité. Veľmi dôležitou prednosťou výskumu modelu je vysoká opakovateľnosť javov, ktoré sú z hľadiska výskumu významné. Modelovaním sa teda javy a procesy, ktoré boli predtým len objektami pozorovania, stávajú objektami experimentovania.

Keďže výskumníka nezaujíma model ako taký, ale vlastnosti a vzťahy originálu, vzniká tu otázka nevyhnutnosti prenosu poznatkov z modelu na poznatky o origináli. Model plní svoju funkciu v procese poznania najmä vďaka tomuto prenosu. Logické základy tejto operácie spočívajú podľa A. A. Zinovjeva a I. I. Revzina (13) v analýze pojmov zhoda a interpretácia. Podľa nich len vďaka určitej zhode medzi časťami a vzťahmi modelu a originálu existuje možnosť prenosu poznatkov. Súvislosti, na základe ktorých si odpovedajú časti a vzťahy modelu a originálu, určí výskumník v procese modelovania. Základom tohto stanovenia sú objektívne vlastnosti častí a vzťahov oboch množín, ktoré sa odrážajú vo vedomí subjektu. Tieto súvislosti sú spoločenské vo svojej podstate, keďže mimo činnosti človeka existujú len objekty, ktoré majú určité vlastnosti a objektívne súvislosti, napr. príčina a následok.

Heuristický význam modelovania spočíva v tom, že na základe konštatovania viacerých spoločných vlastností modelu a originálu výskumník pripisuje



originálu určitú novú vlastnosť, ktorá sa odhalila pri výskume modelu. Logickou formou takéhoto záveru je úsudok: ak vlastnosti  $a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}$  patria modelu  $S$  a vlastnosti  $a_1, a_2, \dots, a_n$  patria originálu  $S'$ , tak vlastnosť  $a_{n+1}$ , ktorá bola odhalená na modeli  $S$ , by mala patriť aj originálu  $S'$ . (11, s. 64)

Modelovaním, t. j. výskumom tých vlastností a vzťahov, ktoré zaujímajú výskumníka na predchádzajúcej etape, t. j. pred modelovaním, sa uskutočňuje výskum nových, dovtedy nepoznaných vlastností a vzťahov. Prostredníctvom tohto prechodu sa rozširujú poznatky o predmete výskumu. Uvedené rozšírenie môže byť plodné, lebo sa pri ňom stupňujú možnosti získať nové poznatky.

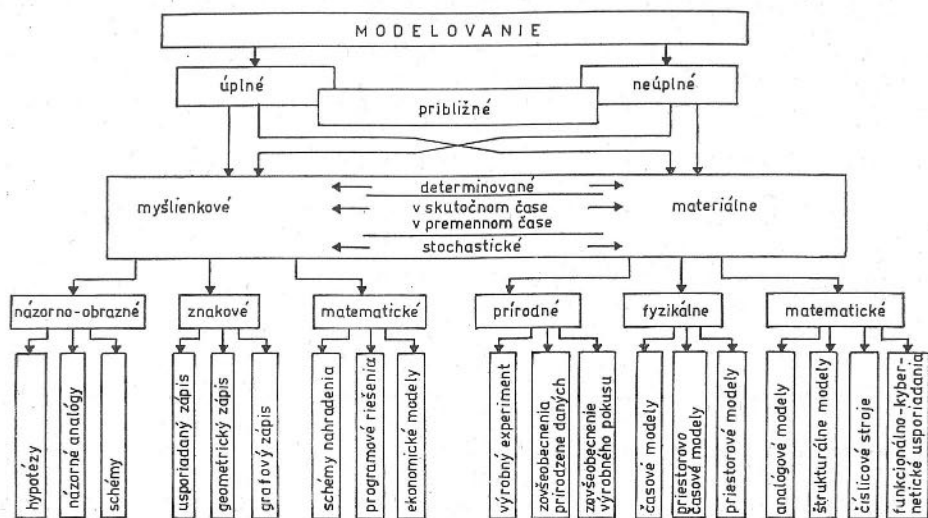
Na celom svete sa intenzívne pracuje na metódach, ktoré sa zakladajú na uplatnení modelov, pričom sa využívajú nielen výsledky z oblastí matematického, kybernetického modelovania, ale venuje sa veľká pozornosť aj filozoficko-gnozeologickým aspektom teórie modelov. Rozpracúvajú sa otázky formalizácie a matematizácie (uplatnenie teórie množín, teórie grup atď.) prírodných vied, otázky využitia matematických hypotéz. (14, s. 34)

Prínos moderných metód v súčasnej vede spočíva v transformácii východiskových premís na novú syntetickú formu poznania. Pritom sa nielen rozširuje množina znakov skúmaného javu, ale menia sa jeho základné stránky a charakteristiky.

Treba mať taktiež na pamäti, že vyčlenenie poznatkov z formálnej sústavy nie je neobmedzené. Skôr alebo neskôr sa dosiahne podľa I. Lakatosa „bod nasýtenia“. Informácie obsiahnuté vo formalizmoch sa z nich postupne „vyčerpajú“. Ale pretože je objekt vždy nepomerne bohatší ako jeho opis, musíme prekročiť hranice danej sústavy poznatkov a vybudovať všeobecnejšiu a mohutnejšiu teóriu. „Potom — ako poznamenal J. Bernal — najnáročnejšie pri objavoch nie sú ani tak pozorovania, ale skôr schopnosť vymaniť sa z tradičných názorov pri ich výklade.“ (15, s. 46)

Už som spomenula, že pokúsiť sa o jednotnú vyčerpávajúcu klasifikáciu modelov je veľmi zložité. Uvediem niekoľko klasifikácií. Podľa spôsobu realizácie sa modely delia na dve skupiny, a to na materiálne a ideálne. Prvá skupina (materiálne modely) sa ďalej delí na fyzikálne a matematické, druhá skupina (ideálne modely) na modelové predstavy a znakové modely. Iné delenie je založené na základe reprodukcie úrovni originálu. (11, s. 109) Hovorí sa o substancionálnych, štrukturálnych, funkcionálnych a zmiešaných modeloch. V. Vilon (16) rozdeľuje modely podľa úlohy, ktorú plnia v procese poznania, a rozoznáva modely ilustratívne a heuristické. Prvá skupina zobrazuje určitý dej pomocou štruktúry alebo konštrukcie, pričom nereprodukuje reálne prebiehajúci proces. Heuristické modely naproti tomu poskytujú predbežné objasnenie nových javov. I. B. Novik (2, s. 34) delí modely na dva druhy a síce na látkové a znakové. V. A. Venikov (6, s. 79) rozoznáva dva charakteristické prípady modelovania a v súvislosti s tým viac druhov modelov (pozri tabuľku 1).

Ťažko posúdiť správnosť alebo oprávnenosť toho-ktorého delenia modelov. Podľa V. Vilonu je rozhodujúca poznávacia hodnota modelu, ktorej plnenie určuje význam modelu v procese poznania. Kritériom hodnoty modelu môže



byť podľa neho určenie stupňa plnenia požiadaviek všeobecnosti modelu, ďalej možnosť experimentálne kontrolovať informácie, ktoré sa získali pomocou modelu, a nakoniec požiadavka interpretovateľnosti týchto informácií.

V súvislosti s uplatnením modelovania vystupujú v biológii do popredia isté zvláštnosti biologického výskumu, ktoré súvisia najmä s jeho matematizáciou. Je nevyhnutné preskúmať možnosti, ktoré sa otvárajú pred biologickým výskumom vďaka intenzívnej aplikácii a zdokonaľovaniu metódy modelovania. Do popredia vystupujú dva konkrétne spôsoby, a to matematické a kybernetické modelovanie, ktoré v porovnaní s elementárnym matematickým spracovaním empirického biologického materiálu reprezentujú vyššiu teoretickú úroveň.

Matematickým a kybernetickým modelovaním sa nepochybné rozšíril priestor vedeckého bádania v biológii. Modelovanie tak predstavuje zvláštnu metódu biologického výskumu, ktorá bezprostredne súvisí so špecifickými zvláštnosťami modernej biológie. Prostredníctvom modelovania môže biológia využiť to, čo nahromadili iné, viac rozvinuté vedy. Tak dvíha modelovanie biologický výskum na vyššiu úroveň, pričom bude dosahovať tým väčšie úspechy, čím užšie sa bude spájať s inými metódami biologického výskumu, s teóriou modelovaných javov, t. j. s ich biologickou interpretáciou. Otvárajú sa nové možnosti, perspektívy, vznikajú nové úlohy a objavujú sa nové problémy, ktoré môže riešiť jedine jednotný front filozofov a experimentátorov všetkých vedeckých disciplín. Platí trochu pozmenený výrok A. Szent-Györgyiho „vidieť to, čo videli mnohí, a premýšľať o tom tak, ako to dovtedy nebolo možné“.

## LITERATÚRA

1. FROLOV, I. T.: Očerky metodologii biologičeskogo issledovanija. Moskva 1965.
2. NOVIK, I. B.: Filosofskije voprosy modelirovanija psichiky. Moskva 1969.
3. Zborník: Filozofia a súčasná biológia. Bratislava 1975.

4. FILKORN, V.: Pojem metódy. Filozofia, 1972, č. 3.
5. FROLOV, I. T.: Gnozeologičeskije problemy modelirovanija biologičeskich sistem. Voprosy filosofii, 1961, č. 2.
6. VENIKOV, V. A.: Nekotoryje metodologičeskije voprosy modelirovanija. Voprosy filosofii, 1964, č. 11.
7. ASHBY, W. R.: Sistemy i informacija. Voprosy filosofii, 1964, č. 3.
8. RUMIL, V. — ZEMAN, J.: K metodologickým otázkám kybernetiky. In: Kybernetika a její využití. Praha 1965.
9. ENGELS, F.: Dialektika přírody. Bratislava 1963.
10. MAKAREVIČUS, K.: Mesto myslennogo experimenta v poznániji. Moskva 1971.
11. GLINSKIJ, B. A. — GRIAZNOV, B. S. — DYNIN, B. S. — NIKITIN, E. F.: Modelovanie kak metod naučnogo issledovanija. Moskva 1965.
12. LENIN, V. I.: Spisy, zv. 38. Bratislava 1961.
13. ZINOVIEV, A. A. — REVZIN, I. I.: Logičeskaja model kak sredstvo naučnogo issledovanija. Voprosy filosofii, 1960, č. 1.
14. Zborník: K otázkám metodologie vied. Bratislava 1973.
15. BERNAL, J. D.: Věda v dejínách I. Praha 1960.
16. VILON, V.: Změna pojetí modelu v současné fyzice a problém názornosti. Filosofický časopis, 1971, č. 4.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Мария Грмова

Моделирование, будучи средством теоретических и экспериментальных исследований в биологии, лишь в современных условиях приобрело такие качественно новые черты, в результате которых оно стало одним из эффективных методов современных биологических исследований.

В самом общем определении моделирование характеризуется как материальное или мысленное воспроизведение реально существующей системы посредством создания специальных аналогов (моделей), в которых репродуцируются принципы организации и функционирования этой системы.

Моделирование предполагает, во-первых, субъект, который исследует закономерности процессов природы, далее, объект исследования и, наконец, модель, которая опосредствует отношения между познающим субъектом и познаваемым объектом.

Процесс моделирования начинается с постановки задачи. Исследователь отделяет определенные свойства и отношения предмета. Вторым шагом является выбор модели, когда выбирается такой объект, который в определенном отношении аналогичен оригиналу. На следующем этапе модель выступает как самостоятельный представитель объекта, становясь предметом исследования. По завершении исследования модели информация переносится на оригинал и проверяется.

Метод моделирования приобретает все большее применение в современной биологии и будет достигать тем больших успехов, чем теснее он будет связываться с другими методами биологических исследований, с теорией моделированных явлений, т. е. с их биологической интерпретацией.

Mária H r m o v á

Modellieren als Mittel theoretischer und experimenteller Forschung in der Biologie gewann unter den gegenwärtigen Bedingungen solche qualitativ neue Züge, dass es zu einer der effektivsten Methoden der modernen biologischen Forschung wurde.

In der allgemeinsten Definition wird Modellieren als materielles oder ideelles Nachahmen real existierender Systeme mittels spezieller Analogons (Modelle) charakterisiert, in denen Prinzipien der Organisation und des Funktionierens dieser Systeme reproduziert werden.

Modellieren setzt zuerst ein Subjekt voraus, das die Gesetzmässigkeiten der Naturprozesse untersucht, weiters ein Objekt der Forschung und endlich das Modell, welches das Verhältnis zwischen dem erkennenden Subjekt und dem zu erkennenden Objekt vermittelt.

Der Modellierungsprozess beginnt mit dem Setzen einer Aufgabe. Der Forscher trennt bestimmte Eigenschaften und Relationen des Gegenstandes ab. Der zweite Schritt ist die Auswahl des Modells, wobei solch ein Modell gewählt wird, das in einem bestimmten Verhältnis dem Original analog ist. In einer weiteren Etappe tritt das Modell als selbständiger Vertreter des Objekts auf und wird so zum Gegenstand der Forschung. Nach Vollendung der Modellerforschung werden die Informationen auf das Modell übertragen und verifiziert.

In der modernen Biologie erfährt die Methode des Modellierens eine immer grössere Anwendung und je enger sie mit anderen Methoden der biologischen Forschung, mit der Theorie des Modellierens von Phänomenen, d. h. mit ihrer biologischen Interpretation verbunden wird, desto grössere Erfolge wird sie erzielen.