

KOCSONDI ANDRÁS

## A KIBERNETIKAI MODELLEK NÉHÁNY GNOSZEOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGA\*

A tudományos megismerés utóbbi évtizedekben végbement fejlődésének egyik legjellemzőbb vonása a kibernetika kialakulása és önálló tudománnyá válása, valamint az univerzális elektronikus számológépek széles körű elterjedése. A kibernetika erőteljes behatolása a tudományos ismeretek más területeire a tudományok matematizálódásának növekedését s az egyre jobban kialakuló sajátosan kibernetikai módszerek fokozódó felhasználását eredményezte. Ezzel összefüggésben mindenekelőtt a matematikai modellezés egyre intenzívebb térhódítása figyelhető meg egy sor olyan tudományban, amelyekben korábban nem, vagy csak kis mértékben alkalmaztak matematikai módszereket (pl. pszichológia, biológia, orvostudomány, közgazdaságtan, nyelvtudomány, stb.), továbbá megfigyelhető a kibernetikában kidolgozott funkcionális modellek egyre szélesebb körű alkalmazása (többek közt agyi-fiziológiai folyamatok tanulmányozásánál, gazdasági tervezéssel kapcsolatos problémák megoldásánál, stb.), minthogy a modellezés a kibernetika egyik alapvető módszere. Már ez a körülmény is utal a kibernetikában alkalmazott modellek részletesebb gnoszeológiai elemzésének, a kibernetikai modellezés sajátosságai feltárásának szükségességére. Ezt a vizsgálatot indokolja továbbá az is, hogy a modellezés fogalmát gyakran különbözőképpen értelmezik részben magán a kibernetikán, részben a kibernetikai módszereket felhasználó tudományokon (pl. biológián, pszichológián, stb.) belül; sőt bizonyos kérdésekben a modell-módszerrel kapcsolatos tudománymethodológiai irodalomban sem alakult még ki egységes álláspont. Nevezetesen egyfelől a „modell” terminus, másfelől a „kibernetikai modellezés” eltérő értelmezéséről van szó. Jelen tanulmányt e két kérdéscsoport vizsgálatának szenteljük; egyrészt bírálva a modell és az (eszmei) képmás fogalmát azonosító felfogásokat a modellezés és a visszatükrözés (ezen belül a megismerés) közötti különbségek feltárására, másrészt a kibernetikai modellezés legfontosabb sajátosságainak felvázolására törekszünk.

\* Jelen cikk része egy, a tudományos modellek gnoszeológiai sajátosságairól szóló nagyobb tanulmánynak, ezért most csak a címben jelzett problémakör kifejtésére szorítkozunk, s gyakran még alapvető fogalmak és tételek esetében sem vállalkozunk ezek tartalmának teljesebb és sokoldalúbb felvázolására és igazolására, mivel ez az említett tanulmány más fejezeteinek a feladata.

A biológiai, valamint a fiziológiai -pszichológiai jelenségek vizsgálatára az utóbbi időben egyre fokozottabb mértékben alkalmazzák a kibernetika módszereit, mindenekelőtt különböző kibernetikai modelleket használnak fel az élő rendszerekben végbemenő vezérlési és szabályozási folyamatok tanulmányozására. Mivel a kibernetika egzakt módszereket nyújt a biológiai jelenségek, ezen belül a pszichikus folyamatok vizsgálatára, a kibernetika sajátos fogalmi apparátusa egyre inkább elterjed a biológiai-, fiziológiai-, pszichológiai irodalomban. A kibernetika kategóriáinak ezen „adaptációja” azonban időnként egyes szerzőknél e kategóriák helytelen, vagy legalábbis pontatlan értelmezéséhez vezet. Így, például, a modell fogalmának is egy túl széles, az (eszmei) képmással azonosító értelmezése alakult ki és terjedt el az elmúlt években, amely felfogást többek közt K. STEINBUCH, G. KLAUS, H. SEIDEL, K. D. WÜSTNECK, E. JUNG, F. GEORGE, D. P. GORSZKIJ, N. M. AMOSZOV, A. N. LEONTYEV, J. PONOMARJOV, K. E. MOROZOV, GARAI L., GERGELY T. és mások képviselnek. E koncepció lényege, eltekintve az egyes szerzők közötti árnyalati különbségektől, abban foglalható össze, hogy a külvilág visszatükröződése így vagy úgy, de minden esetben modellezéssel kapcsolatos, s az (eszmei) képmás, vagy esetleg ennek anyagi hordozója pedig a külvilág modellje. Így, például, K. E. MOROZOV szerint „valamely objektum visszatükröződését az emberek tudatában, különösen tudományos elméletekben (bármilyen formában, többek közt matematikai egyenletek formájában is) ezen objektum (izomorf vagy homomorf) modelljének lehet tekinteni.” [1] N. M. AMOSZOV pedig a megismerési folyamatot mint modellezést, és a megismerés eredményeit mint a külvilág modelljeit fogja fel. [2] D. P. GORSZKIJ véleménye szerint viszont „az anyagi, tőlünk függetlenül létező tárgy eszmei képmása mindig ... a valóság leegyszerűsített modellje ...” [3] Hasonló álláspontot képvisel az 1961-ben Berlinben az orvostudomány filozófiai kérdéseiről tartott szimpózium több résztvevője, így például, „A modellek ismeretelméleti jelentősége a biológiában és az orvostudományban” témáról írott kollektív tézisek szerzői [4]; továbbá az 1959-es Bristol-i szimpózium több referátumának szerzője, akik a modell fogalmán általában a vizsgált jelenség vagy folyamat struktúrájának elméleti-gondolati visszatükröződését értik. [5] A. N. LEONTYEV utal ugyan a modell és a visszatükrözés közötti bizonyos különbségekre (a modellek „analízise szükségképpen korlátozódik a formális viszonyokra (homomorfizmus, izomorfizmus) ... miközben az emberi, pszichológiai szinten a vezérlési modelleknek éppen nem formális oldaluk nyilvánul meg.” [6]), végső soron azonban ő is azonosítja e fogalmakat (például, amikor így ír: „Úgy találjuk, hogy a viselkedés irányítását az ember szintjén is programok és modellek végzik. Ezeket *terveknek* és *képmásoknak* nevezzük ... [7]), illetve szinonim értelemben használja („De ez megköveteli, hogy a tevékenységet megvalósító folyamatokat képmás (obraz), a jövődő termék modellje vezérelje” [8]. Végül, utalunk G. KLAUS felfogására, aki nemcsak az emberi tudatot tekintti a külvilág modelljének, hanem „belső modellel rendelkező rendszernek” nevezi mindazokat a kibernetikai rendszereket, amelyekben végbemegy a külvilág leképezése, visszatükröződése, illetve a környezetből szár-

mazó információ felvétele, feldolgozása, tárolása, és amelyek viselkedésüket ezen információ birtokában szabályozzák. [9]

Mielőtt részletesebben kifejtjénénk e felfogások lényegét és e koncepcióval kapcsolatos saját álláspontunkat, bíráló megjegyzéseinket, szükségesnek tartjuk előljáróban a következőket megemlíteni: Az említett szerzőknél a bírált koncepció kialakításában kétségtelenül szerepet játszottak bizonyos pozitív törekvések is, egyik esetben (például KLAUS-nál, AMOSZOV-nál) a pszichikus folyamatok egzaktabb, kibernetikai módszerekkel történő vizsgálata, más esetben (például PONOMARJOV-nál) az eszmei képmásnak anyagi hordozójától való megkülönböztetése stb. Magunk részéről értékeljük ezeket a törekvéseket, elismerjük jogosultságukat, sőt szükségességüket, mégis úgy véljük, hogy maga ez a koncepció nem kellően indokolt és megalapozott, s ezért számunkra elfogadhatatlan. Nemcsak azért nem értünk ezzel a koncepcióval egyet, mert ellentmond a modell hagyományos felfogásának és terminológiai zavarokhoz vezet, hanem azért sem, mert azonosítja a modellezést mint sajátos megismerési eljárást, módszert magával a megismeréssel elmossa a modell gnoszeológiai specifikumát; továbbá, a pontatlan terminológia — a modell és a képmás fogalmának azonosítása — nem segíti elő a pszichikus folyamatokkal kapcsolatos problémák megoldását sem.

A modellezés mint sajátos megismerési módszer, valamint a modellezést a visszatüközéssel azonosító felfogás közötti ellentmondást a bíralt koncepció képviselői úgy próbálják áthidalni, hogy a modelleknek két típusát, illetve értelmezését különböztetik meg. Az egyik értelmezés G. KLAUS szerint „a modellre, mint az emberi ismeretek megszerzésének eszközére vonatkozik, a másik pedig mint meghatározott típusú dinamikus rendszerek viselkedés-szabályozásának eszközére.” [10] Az utóbbi értelmezés szerinte az előbbi, a „hagyományos” felfogás általánosítása, s ily módon tartalmazza azt, mivel a modellek két típusát lehet megkülönböztetni, az ún. belső modelleket és a külső modelleket. Hasonlóan vélekedik N. M. AMOSZOV is: „A modellek két nagy csoportra oszlanak: a) modellek a természetes modellező rendszerekben — képmások és b) az ember által alkotott fizikai modellek.” [11] Minthogy elemzésünk szempontjából a „belső modellek” fogalmának értelmezése a lényegesebb, a továbbiakban ezért — elsősorban G. KLAUS alapján — ezt vizsgáljuk meg kissé behatóbban.

KLAUS a „belső modell” fogalmát az információ fogalmával kapcsolja össze, az ugyanis, hogy egy rendszer által kibocsátott jel információt hordoz-e egy másik rendszer számára vagy sem, véleménye szerint, attól függ, hogy az utóbbi rendszernek van-e olyan rész-struktúrája, amely az előbbi rendszer (vagy általában a környezet) struktúrájával, esetleg ennek egy részével izomorf. Az adott rendszer csak izomorf rész-struktúrája, azaz „belső modell”-je segítségével képes kiválasztani a másik rendszerről érkező jel információ-tartalmát. Továbbá, „azt, hogy milyen behatások hordozzák az információt, milyen nagy a bizonyos hordozó jelek által átvitt információ-menyiség és milyen annak a szemantikája, vagyis jelentése, elsősorban a belső modell struktúrájától, információ-tartalmától és kapcsolási kapacitásától függ.” [12] G. KLAUS felfogása szerint a „belső modell” egyrészt a környezet izomorf leképzése a rendszerben, másrészt a rendszeren belüli rész-struktúra, amely éppen a környezetből érkező in-

formációk felvételének szerve; a rendszer csak „belső modell”-je közvetítésével képes a külvilág jeleiből az információ-tartalmat kiválasztani. Egy rendszer, tehát, csak ezen izomorf rész-struktúra segítségével képes a külvilágot visszatükrözni. KLAUS véleménye szerint csak akkor beszélhetünk olyan rendszerről, amely a környezet képmásával rendelkezik, ha „a rendszeren belül van egy rész-struktúra, amely a környezet struktúrájával vagy e struktúra egy részével izomorf”. [13] Ezért ha egy  $S_1$  rendszer jeleket küld egy  $S_2$  rendszer felé, és ha az  $S_1$  rendszernek nincs egy, az  $S_2$  rendszerre vonatkozó  $M$  „belső modell”-je, akkor KLAUS szerint „nem beszélhetünk arról, hogy ezek a jelek információk hordozói”. [14] Ha ellenben az  $S_1$  rendszernek van egy  $M$  „belső modell”-je az  $S_2$  rendszerről, akkor az  $S_2$  rendszerről érkező jelek lehetnek az  $S_2$  rendszerre vonatkozó információk hordozói, nevezetesen akkor lesznek azok, ha az „ $M$  felveszi, feldolgozza őket, és ily módon arra szolgálhatnak, hogy az  $S_2$ -ről való  $M$  modellt tökéletesítsék, javítsák”. [15] Egy rendszer, tehát, csak abban az esetben képes a külvilágról származó információk felvételére, ha van a külvilág struktúrájával izomorf „belső modell”-je. Ez a „belső modell” viszont nem más, mint a környezetre (vagy egy másik rendszerre, az  $S_2$ -re) vonatkozó megelőző tapasztalatok, érzéki adatok, ismeretek stb. összessége, pontosabban a külvilág, vagy az adott konkrét objektum képmása. Ily módon G. KLAUS-nál a „belső modell” fogalma azonosul a képmás ismertetelméleti fogalmával, s e kategóriákat teljesen szinonim értelemben használja. Ez kifejeződik többek közt a „belső modellel rendelkező rendszer” értelmezésében, ez ugyanis olyan rendszer, „amelynek van egy képmás jellegű rész-struktúrája”, [16] illetve, amely le tudja tudni a külvilágot...” [17] E rendszereknek három nagy típusát különbözteti meg: az embert, az élő szervezetek világát, és a „belső modellel rendelkező automaták világát”. Az ilyen típusú automata „izomorf módon képezi le önmagára a külvilágot vagy annak bizonyos oldalait”. [18] Az állatoknál a „belső modell” fogalma KLAUS értelmezésében a tapasztalat fogalmával azonos, míg az embernél „társadalmilag módosított tapasztalattároló szerepét játssza”, [19] azaz a külvilág tudati képmása. „Egy belső modell számunkra legfontosabb hordozója az ember, és ezt a belső modelljét nevezzük tudatnak. Ez az a kép, amelyet az ember alkot a külvilágról.” [20] Ennek megfelelően az ember minden tudati-pszichés tevékenysége modellezés.

Mielőtt a modellezés és a visszatükrözés folyamatait azonosító más felfogásokat is ismertetnénk, néhány olyan megjegyzést fűzünk KLAUS álláspontjához, amely kizárólag erre vonatkozik. Mindenekelőtt egyetértünk KLAUS azon gondolatával, hogy az információ-tartalom kiválasztása csak olyan rendszerek esetében valósulhat meg, amelyek saját rész-struktúrával (azaz visszatükröző apparátussal) rendelkeznek. Mint láttuk, a rendszer e sajátos rész-struktúráját nevezi KLAUS „belső modell”-nek. A „belső modell” fogalmát azonban egyidejűleg izomorf leképzésnek, visszatükröződésnek is tekinti, éspedig hol a külvilág struktúrájának, hol a környezet struktúrájának vagy e struktúra egy részének, hol pedig egy másik rendszernek (az  $S_2$  rendszernek) az izomorf leképzése. Ebben az esetben a „belső modell” a tapasztalattal, vagy általánosabban a képmással, az embernél a tudattal azonos. A „belső modell” fogalmával kapcsolatban azt is figyelembe kell venni, hogy ez KLAUS szerint *izomorf* a külvilág vagy a környezet struktúrájával, illetve ezek bizonyos oldalaival vagy részével.

„A belső modell akkor a legtökéletesebb — írja például egy helyütt —, ha struktúrája izomorf a külvilág struktúrájával, vagyis ha helyesen tükrözi vissza a külvilág bizonyos oldalait...” [21] Bár nem fejt ki, mit kell érteni jelen esetben a külvilág struktúráján (vagy más esetben a környezet struktúráján), úgy véljük nem kellően indokolt a kibernetikai rendszer „belső modell”-je, rész-struktúrája valamint a külvilág vagy a környezet struktúrája közötti izomorfia feltételezése. E feltételezés ellen szól a környezet struktúrájának bonyolultsága, a külvilág tárgyainak és jelenségeinek sokoldalúsága, gazdagsága, minőségi sokfélesége. Ez ellen szól továbbá a marxista ismeretelméletnek az igazság relatív jellegéről szóló tanítása is. Ennek következtében nem tudunk egyetérteni „a külvilág struktúrájának izomorf leképzése” valamint a „valóság hú, adekvát visszatükröződése” azonosításával sem, amit KLAUS mellett D. P. GORSZKIJ és mások is hirdetnek, mert egyrészt a valóság hú visszatükröződésére elsősorban nem a formai, hanem a tartalmi megfelelés a jellemző, másrészt, ha formális szempontból is vizsgáljuk, az előbbieik alapján nem annyira az izomorfia, mint inkább a homomorfia a jellemző.

A rendszer rész-struktúrája és a környezet struktúrája közötti izomorfia, s általában a „belső modell” fogalma felvet két további, gnoszeológiai szempontból igen jelentős problémát: Abból, hogy egy  $S_1$  rendszer csak a környezet struktúrájával izomorf „belső modell” révén képes információ felvételére KLAUS azt a következtetést vonja le, hogy „azoknak a jeleknek, amelyeknek nincs kapcsolatuk  $M$ -mel, nincs jelentésük  $S_1$  számára, ezek mentesek az információtól”. [22] Ezzel kapcsolatban azonban, először is felvetődik a következő kérdés: honnan származik az  $S_2$  rendszerre vonatkozó s ezzel izomorf  $M$  „belső modell”? E kérdés azért vetődik fel, mert ha végigvisszük KLAUS gondolatmenetét, kitűnik, hogy ez a „modell” nem az  $S_2$  rendszer hatására alakul ki. Joggal feltételezhetjük ugyanis, hogy az  $S_1$  és az  $S_2$  rendszer nem állt mindig kapcsolatban egymással, s nyilvánvalóan ezt megelőzően az  $S_2$  rendszer még „ismeretlen” volt az  $S_1$  rendszer számára, vagy KLAUS terminológiájával élve: az  $S_1$  rendszerben ezen időpont előtt nem alakulhatott ki egy, az  $S_2$  rendszer struktúrájával izomorf rész-struktúra az  $S_2$  hatására. Ezért az  $S_2$ -ről érkező jelek mentesek az információtól, s így hatásukra nem alakulhat ki az  $S_1$ -ben az  $S_2$ -re vonatkozó  $M$  „belső modell”. Vajon véletlen-e, hogy maga KLAUS is e ponton a kanti apriorizmusra utal? A fenti kérdés azonban általánosabban is megfogalmazható: honnan származik a „belső modellel rendelkező rendszer”-nek a környezet vagy a külvilág struktúrájával izomorf rész-struktúrája? A dialektikus materializmus pozícióján állva az önszabályozó rendszereket is (mint minden rendszert) történeti jellegűnek kell felfogni, vagyis ezek meghatározott időpontban szerveződnek meg. Nyilvánvaló, hogy keletkezésük pillanatában (nevezzük ezt  $t_0$  időpontnak) a környezet hatására még nem alakulhatott ki „belső modell”-jük. Ha feltesszük, hogy e  $t_0$  időponttól kezdve a környezet hat a kibernetikai rendszerre, és ez a környezetből érkező jelekből információ-tartalmat választ ki (s KLAUS szerint szükségképpen vesz fel információt), ez csak úgy lehetséges, ha már a  $t_0$  időpontban *van* a környezet struktúrájával izomorf rész-struktúrája, vagyis ha „belső modell”-je eleve adott. Hogy a „belső modell” a priori KLAUS felfogásában, azt mutatja a következő is: STEINBUCH alapján KLAUS is úgy véli, hogy a rendszer viselkedését

a „belső modell” irányítja. Annak ugyanis, hogy a környezet képmásával rendelkező rendszerről beszélhessünk a környezettel izomorf rész-struktúra mellett a másik feltétele az, hogy „ezt az izomorf rész-struktúrát a rendszer állandóan arra használja, hogy az e környezetbeli viselkedésmódjait előzetesen modellszerűen végigjátssza rajta”. [23] Éppen ezért „ez az automata csak akkor tanúsít bizonyos viselkedésmódot a külvilággal szemben, ha azt előzőleg a modellen kipróbálta. A külvilág és az e modell közt fennálló izomorfia-relációnál fogva és ennek az izomorfianak a határai közt az automata úgyszólván kísérletezik belső modelljén.” [24] Mindez azt mutatja, hogy KLAUS szerint e rendszereknek már a  $t_0$  időpontban, azaz keletkezésük pillanatában rendelkezniük kell a „belső modellel”, a környezettel vagy a külvilággal izomorf rész-struktúrával, vagyis a „belső modell” nem a környezet, a külvilág hatására alakul ki, hanem a rendszerben eleve adott. Bizonyos típusú automatákkal kapcsolatban KLAUS is elismeri, hogy „mondhatni az ismeretelméleti apriorizmusnak felelnek meg”, de azoknál a rendszereknél, amelyek a „tapasztalat” segítségével változtatják a „belső modell” struktúráját szerinte „az apriorizmus... viszonylagos”. [25] Az azonban, hogy a külvilág hatásaira a rendszer változtathatja „belső modell”-jének a struktúráját, nem módosítja azt, hogy maga ez a „belső modell” a p r i o r i, s nem magyarázza meg, hogyan rendelkezhet a rendszer keletkezésekor a külvilággal, vagy ennek struktúrájával izomorf rész-struktúrával.

Másodsor, a fentiekből már logikusan folyik a következő kérdés, nevezetesen a világ megismerhetőségének, pontosabban a még ismeretlen jelenségek megismerhetőségének kérdése: miként ismerhető meg a még ismeretlen  $S_2$  rendszer, feltéve, hogy nincsenek a priori ismeretek, hogy az  $S_2$ -re vonatkozó „belső modell” nem eleve adott az  $S_1$  rendszerben?  $S$  általában: miként képes információt felvenni a rendszer környezetéből, ha a materialista ismeretelmélet alapján állva elvetjük az apriorizmust? KLAUS koncepcióján belül maradva, e kérdésekre csak tagadó választ adhatunk. Mint láttuk, az  $S_1$  rendszerben egy meghatározott időpont előtt az  $S_2$  rendszer hatására nem alakulhatott ki az  $M$  „belső modell”, ennél fogva az ezen időpontban az  $S_2$  rendszerről kiinduló első jelek még nem hordoznak információt az  $S_1$  számára, „mentesek az információtól”, s ezért nem is épülhetnek be az  $S_1$  rendszer „belső modell”-jébe. Ez utóbbi következtében azonban a fentiek vonatkoznak az  $S_2$ -ről érkező újabb jelekre is; azaz ha feltételezzük, hogy az  $S_2$ -re vonatkozó  $M$  „belső modell” nem eleve adott, úgy az  $S_2$  rendszerről kiinduló jelek sohasem hordoznak információt az  $S_1$  számára és sohasem épülhetnek be az  $S_1$  rendszer „belső modell”-jébe, s így az utóbbi sohasem fog az  $S_2$ -re vonatkozó izomorf modellel rendelkezni. Mindez értelemszerűen vonatkoztatható a rendszer és a környezet vagy a külvilág viszonyára is. Mint kimutattuk, a rendszer az említett  $t_0$  időpontban nem rendelkezhetett a környezetből származó, a külvilág hatásaira kialakult s ennek struktúrájával izomorf rész-struktúrával, azaz a külvilág „belső modell”-jével. Elvetve az apriorizmus álláspontját, KLAUS koncepciójából az következik, hogy ilyen „belső modell” nem is alakulhat ki a rendszerben. Ily módon, végiggondolva KLAUS álláspontját, ismét a kanti filozófiába, ezúttal a kanti „magánvaló”-ba ütközünk.

Úgy véljük, G. KLAUS felfogása — eltekintve most a modell fogalmának túl széles értelmezésétől — főként azért hibáztatható, mert a visz-

szatükrözés mechanikus felfogását bírálva a ténylegesnél nagyobb szerepet tulajdonít a visszatükröző apparátusnak (az  $S_1$  rendszer környezettel izomorf rész-struktúrájának, „belső modell”-jének) a visszatükrözés folyamatában. Az  $S_2$  rendszerről érkező jelek információ-tartalma kétségtelesen függ az  $S_1$  rendszertől, illetve „belső modell”-jétől; a visszatükrözés alánya így vagy úgy mindig befolyásolja a visszatükrözés tárgyáról kialakuló tükörkép jellegét. A külső hatás mindig a visszatükröző belső tulajdonságain mint prizmán keresztül tükröződik; „a jelenségek belső természetete az a „prizma” — írja SZ. L. RUBINSTEIN —, amelyen keresztül az egyes tárgyak és jelenségek tükröződnek más tárgyakban és jelenségekben”. [26] A kialakuló tükörkép tartalmát azonban alapvetően a visszatükrözött objektum determinálja, a képmás tartalma elválaszthatatlan a visszatükrözött tárgytól. „A képmás általában az általa ábrázolt tárgyhoz való viszonya nélkül nem létezik.” [27] Ennek megfelelően az  $S_1$  rendszer által kiválasztott információ-tartalom is főként az  $S_2$  rendszer függvénye. Ezért nem lehet egyetérteni, azzal, hogy „ez sokkal inkább az  $S_1$  rendszer jellegétől függ”, és mégsem „egyszerűen értelmetlen azt mondani, hogy egy  $S_1$  rendszer egy  $S_1$  rendszernek információkat küld”. [28]

Ha információ-elméleti szempontból közelítjük meg a kérdést, egyet kell érteni KLAUS-szal, hogy a „jelek által átvitt információ-mennyiség” az  $S_1$  rendszertől is függ. Ez a függés azonban ellentétes előjelű azzal, ami KLAUS gondolatmenetéből következik. Fejtegetései alapján ugyanis úgy tűnik, egy jel annál nagyobb információ-mennyiséggel rendelkezik, minél inkább beleillik az  $M$  „belső modell”-be, azaz minél nagyobb valószínűséggel (pontosabban minél inkább az „elvárásnak” megfelelően) bekövetkező eseményről „tudósít”, s annál kisebb, minél kevésbé illik bele az  $M$  „belső modell”-be (ha teljesen új eseményről „tudósít”, ha egyáltalán nem illik bele az  $M$  „belső modell”-be, akkor nulla, „nincs jelentése az  $S_1$  számára”, „mentes az információtól”), azaz minél váratlanabb, minél kisebb a valószínűsége. Valójában azonban az információ-mennyiség az esemény bekövetkezésének valószínűségével fordítottan arányos, vagyis egy jel akkor hordoz nagyobb információ-mennyiséget, ha az esemény bekövetkezésének valószínűsége kicsi, és fordítva. Ez viszont azt jelenti, hogy az  $S_2$  rendszerről érkező jel általában annál nagyobb információ-mennyiséget hordoz, minél váratlanabb az  $S_1$  számára az az esemény, amelyről „tudósít”, vagy úgy is megfogalmazhatjuk: minél kevésbé illik bele az  $S_1$  rendszernek az  $S_2$  rendszerre vonatkozó „belső modell”-jébe.

Mínt hogy ezek a gnoszeológiai problémák a „belső modell” fogalmával függnek össze, mutatják egyben a modell és a képmás, a modellezés és a visszatükrözés fogalmát azonosító koncepció helytelenségét, vagy legalábbis problematikusságát. Tekintettel arra, hogy ezek a gnoszeológiai problémák speciálisan G. KLAUS felfogásához kapcsolódnak, indokoltnak tűnik ettől eltérő álláspontok ismertetése is.

Ilyen álláspontot képvisel, például, J. PONOMARJOV, aki a „modell” terminust elsődlegesen a képmás, vagy az információ\* anyagi hordozójának megnevezésére használja. Felfogása szerint modellnek kell tekinteni

\* PONOMARJOV a képmás és az információ fogalmát azonos értelemben használja, például így ír: „A képmás azonos az információval — mondaná egy kibernetikus. És igaza van.” [30]

„minden olyan anyagi dolgot (vagy jelenséget)”, „amely tartalmazza valamely eredeti dolog másolatát”. [29] Ebből következően PONOMARJOV szerint a modell a visszatükrözés folyamatában alakul ki akkor, amikor egy tárgy meghatározott oldala visszatükröződik egy másik tárgyban. „Az ilyen visszatükrözést hordozó tárgy tehát magában rejti egy másik tárgy meghatározott oldalának modelljét.” [31] Minthogy a visszatükrözés a dolgok közötti kölcsönhatás egy oldala, „a modell a dolgok kölcsönhatásának objektív terméke. Ez egy anyagi tárgy, az objektív valóság része, amelynek létezése független az eredetijével való összevetéstől.” [32] Ez az objektív, anyagi képződmény az eszmei képmás hordozója, maga ez a képmás azonban az ember kialakulása előtt aktuálisan nem létezett, vagyis csak „az ember képes kiemelni a modellből a másolatot”, csak az ember képes a modelleket felhasználni. [33] Az állatok ugyanis csak az agyban kialakuló modelleket (s nem az ezek által hordozott „másolatot”) használják fel a térben és az időben való tájékozódáshoz. Az ember ellenben az ilyen agyban kialakult modellek („belső modellek”) mellett külső modellekkel is rendelkezik, amelyeknél a másolatot tartalmazó tárgy nem azonos magával az emberrel, továbbá az ember alkot ún. másodlagos modelleket is, amelyek az elsődleges belső modellek másolatának modelljei. A modell tartalma a képmás, „amelyet a megismerő ember absztrahál az eredeti másolata formájában, a két tárgy közötti hasonlóság tényének megállapítása révén”. [34] Ennélfogva a képmás nem más, mint „az agyi modell absztrakt módon jelen levő eszmei minősége”. [35] Ugyanakkor PONOMARJOV felfogásában a modell az emberi pszichikummal is azonosul, minthogy a pszichikumot is a képmás hordozójának tekinti. („A pszichikum úgy is megközelíthető, mint a képmás hordozója, azaz sajátos modellként is szemlélhető.” [36]) A pszichikum azonban csak akkor tekinthető modellnek, ha az emberi testhez való viszonyában vizsgáljuk. Ekkor a pszichikum „az eredeti modelljeként szerepel”. [37] Ha viszont a külvilág tárgyaihoz való viszonyában tanulmányozzuk, akkor nem mint az eredeti modellje, hanem „mint az eredeti másolata, mint a dolgok visszatükrözése, képmása jelenik meg”. [38] PONOMARJOV felfogásában, tehát, a modellezés sajátos értelmezésével találkozunk, amely szerint a modell anyagi képződmény, struktúra, ami mint az eszmei képmás vagy az információ hordozója jelentkezik, ami azonban nem azonos a pszichikus folyamatok és jelenségek alapját képező fiziológiai mechanizmusokkal, sőt bizonyos relációkban éppen a pszichikumot jelenti.

E felfogásokban, tehát, a visszatükrözés mint a valóság modellezése jelentkezik. E koncepció alapját az képezi, hogy a modell bizonyos tulajdonságait abszolutizálva túl szélesen értelmezik e fogalmat. A modell a megismerés folyamatában mint a modellezett objektum izomorf vagy homomorf leképezése, sajátos képmása jelenik meg. A modell e sajátságai alapján következtetnek arra, hogy a képmás a valóság (leegyszerűsített) modellje. Ha azonban összevetjük a képmás és a modell fogalmát, kitűnik e koncepció tarthatatlansága, minthogy nyilvánvalóvá válik az említett kategóriák közötti különbség.

A modell és a képmás közötti egyik különbség abban van, hogy a visszatükrözési folyamat, amelynek meghatározott típusaihoz a képmás kapcsolódik, végbemehet a társadalmon kívül is, minthogy a visszatükröző képesség az anyag alacsonyabb mozgásformáihoz tartozó jelenségeknek is



a sajátja. Nevezetesen a visszatükrözés formáinak fejlődése vezetett el oda, hogy az állatvilágban megjelent a visszatükrözés sajátos formájaként vagy típusaként az érzéki észlelés, amelynek eredménye az érzéki képmás. „Az érzékelésről az észlelésre való átmenet abban a mértékben megy végbe — írja Sz. L. RUBINSTEIN —, ahogyan az érzéki benyomások vagy érzékletek már nem csupán mint jelzések funkcionálnak, hanem úgy is, mint a tárgy képmása.” [39] Modellezésről viszont csak társadalomban, csak az emberi megismerés folyamatában beszélhetünk. A modellezés ugyanis a (tudományos) megismerés egyik sajátos módszere, s így csak az absztrakt gondolkodás aktív részvételével valósulhat meg. Ennélfogva nem lehet egyetérteni azokkal a felfogásokkal, amelyek túl szélesen értelmezik a „modellezés szubjektumának” fogalmát, mint például G. KLAUS, K. D. WÜSTNECK és mások, akik szerint minden dinamikus önszabályozó rendszer (kibernetikai berendezések, állatok) képes modell létrehozására és működtetésére. A modellezés „szubjektuma” csak az absztrakt gondolkodás képességével rendelkező ember lehet.

A képmás és a modell közötti különbség kifejeződik abban is, hogy a gnoseológiai értelemben vett képmás feltételezi a visszatükrözött és a visszatükröző rendszer közötti közvetlen kapcsolatot, a képmás a visszatükrözött tárgy hatására alakul ki, sőt a visszatükrözés természeti formájánál mint az objektumok közötti kölcsönhatás egyik komponense jelentkezik. S ha az emberi megismerés, a valóság elméleti visszatükrözése esetén az eszmei képmás kialakulása nem is tételezi fel az objektum és a szubjektum között közvetlen kölcsönhatást, itt is található egy olyan összefüggés, hogy a képmás arra az objektumra vagy az objektumok azon halmozára vonatkozik, amelyről tartalma származik. Ezzel ellentétben a modell fogalma nem tételezi fel a közte és a modellezett objektum közötti összefüggést, közöttük csak a megismerő szubjektum létesít „kapcsolatot”. A modell és az objektum viszonyának egyik leglényegesebb vonása az, hogy szociálisan feltételezett viszony, azaz a kutató felelteti meg a modellt — bizonyos objektíve meglévő tulajdonságai alapján — az objektumnak, összefüggésüket a szubjektum közvetíti. Ily módon a modell fogalma feltételezi a megismerő szubjektum jelenlétét, aki a modellt létrehozza és alkalmazza, aki számára az egyik objektum modellként, a másik modellezett objektumként funkcionál. Ezen az alapon elfogadhatatlan PONOMARJOV azon tétele, amely szerint a modell a dolgok kölcsönhatásának objektív terméke. A fentiek ugyanis ismételten igazolják azon állításunkat, hogy modellről csak a társadalomban, csak a megismerés folyamatában beszélhetünk. Továbbá, nem lehet PONOMARJOV ezen tételével egyetérteni azért sem, mert a modellek nem csak anyagi képződmények lehetnek, hanem eszmeiek is.

A modell fogalma azonban nem azonosítható a visszatükrözés társadalmi formájánál, az emberi megismerésen belül sem a képmás, a tudat, vagy a pszichikum fogalmával; lényeges különbség található a tudati képmás és az (eszmei) modell között is. A visszatükrözési folyamatnak alapvetően három komponense különböztethető meg: a) a visszatükrözés objektuma a maga totalitásában (így többek közt hatásaival egyetemben); b) a visszatükröző tárgy, az emberi megismerés esetén a megismerő szubjektum; és c) a visszatükrözés eredménye, a visszatükrözés társadalmi formájánál a tudati képmás. Az emberi megismerés folyamatának részlete-

sebb elemzésénél figyelembe kell venni még egy negyedik komponenset is, nevezetesen a megismerés eszközeit (pl.: fogalmi apparátus, meglevő ismeretek, tapasztalatok, logikai eljárások stb.). A modellezés folyamatában viszont a következő tényezők vesznek részt: 1. a megismerés tárgya, vagyis a modellezett objektum; 2. az erre vonatkozó kijelentések összessége, az objektum tudati képmása; 3. az objektum eszmei modellje, amely elsődlegesen nem ennek, hanem valamely másik objektumnak a gnoszeológiai értelemben vett képmása; 4. a modellezés „szubjektuma”, azaz a kutató; 5. a kutatási eszközök (végső soron idetartozik a modell is); (és anyagi modellek esetén ezek is önálló komponensként lépnek fel.) Már ebből is kitűnik, hogy a modell és a gnoszeológiai értelemben vett képmás közötti leglényegesebb különbség az *objektumhoz való viszonyukban* van; a képmás ugyanis a valóság ugyanazon tartományához tartozik, amelynek visszatükröződése, az eszmei modell viszont mint modell a valóság nem azon tartományához tartozik, amelynek visszatükröződése, hanem a jelenségek egy másik tartományához. Másként fogalmazva: a képmás segítségével a kutatás folyamatában a jelenségek ugyanazon körét magyarázzuk, amelyet visszatükröz, ezzel szemben a modell segítségével nem azt az objektumot tanulmányozzuk, amelynek visszatükröződése, képmása, hanem egy másik objektumot, amely meghatározott viszonyban áll az előbbivel. Legyen  $M$  a jelenségek meghatározott (anyagi vagy eszmei) rendszere,  $M'$  pedig az  $M$  képmása; legyen továbbá  $O$  a jelenségek egy másik, az  $M$  rendszerrel meghatározott megfelelői viszonyban (például, analógia, izomorfizmus, homomorfizmus) álló (anyagi vagy eszmei) rendszere,  $O'$  pedig az  $O$  képmása. Modellezésről akkor beszélünk, ha az  $M$  rendszert az  $O$  tanulmányozására használják fel. Azaz a modellezés során a kutatás tárgyát képező  $O$  rendszert az  $M$  rendszerrel helyettesítik, s az  $M$  tanulmányozása révén nyert ismereteket ( $M'$ -t) az  $O$  értelmezésére használják fel, vagyis az  $O'$  az  $M'$  segítségével nyerik. Ily módon bár az  $M'$  gnoszeológiai értelemben nem az  $O$ , hanem az  $M$  rendszer képmása, mégis a kutatás folyamatában az  $O$  rendszer sajátos képmásaként funkcionál.

A fentiek alapján látható, hogy a modellezés a tudományos megismerés sajátos módszere, amelynek során a megismerés objektumának tanulmányozása, törvényszerűségeinek feltárása egy másik, vele meghatározott és a kutató által többé-kevésbé ismert megfelelői, hasonlósági viszonyban levő közbenső objektum kutatása útján valósul meg. A modellezés objektumát helyettesítő természetes vagy mesterséges rendszert, amelyre a kutatás folyamatában a kutatási-megismerési operációk irányulnak, s amelynek tanulmányozása útján új ismereteket szerzünk a megismerés eredeti objektumáról *modell*-nek szokás nevezni. A modell, tehát, egyrészt a megismerés objektumának sajátos képmása, izomorf leképzése, másrészt megismerésének specifikus eszköze. A modellként fellépő anyagi vagy eszmei rendszer csak úgy képes az objektum megismerését szolgálni, ha azt — legalábbis a megismerés szempontjából lényeges vonásaiban — anyagiilag reprodukálja vagy eszmeileg visszatükrözi. Ezek alapján a modell fogalmát a következőképpen határozhatjuk meg: a *modell olyan, a megismerés objektumát reprodukáló vagy visszatükröző, azzal objektív megfelelői viszonyban levő és a kutatás folyamatában azt helyettesítő anyagi vagy eszmei rendszer, amelynek tanulmányozása új információt szolgáltat magáról a megismerés objektumáról*; (ez az információ speciális esetben

lehet negatív jellegű is). A modell tehát az objektum képmása, de olyan képmás, amely különbözik a gnoszeológiai értelemben vett képmástól. A modell mint képmás sajátossága, a fentiek mellett még a következőkben is kifejlődik: 1. Mivel az objektum és a modell viszonyára elsősorban az izomorfizmus\* vagy a homomorfizmus\*\* a jellemző, a modell megfelelése általában tisztán formális jellegű; 2. Bár a modell az objektum képmása, mégis nála inkább az eszköz jelleg dominál (az objektum helyettesése és megismerésének eszköze), míg az általában vett képmás fogalmában inkább a produktum jelleg fejeződik ki, noha a kialakult képmás a megismerés folyamatában eszközként is funkcionál.

A modell fogalmának ezen meghatározása értelemszerűen vonatkozik a kibernetikai modellekre is, azaz ezek is: 1. objektív megfelelési viszonyban (analógia, izomorfizmus, homomorfizmus) állnak a modellezett objektummal; 2. a kutatás folyamatában az objektum helyetteseként lépnek fel; 3. képesek arra, hogy tanulmányozásuk révén új ismeretet szolgáltatásnak a megismerés eredeti tárgyáról, azaz az objektum megismerésének eszközei. Ugyanakkor a kibernetikai modellek egy sor olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek alapján különböznek a modellek más típusaitól.

## II.

A kibernetikai modellezés sajátosságaival kapcsolatban mindenekelőtt az a kérdés vetődik fel: beszélhetünk-e egyáltalában a modellezés kibernetikai formájáról, sajátos kibernetikai modellekről? Vannak-e a kibernetikában alkalmazott modelleknek olyan sajátosságai, amelyek megkülönböztetik őket a modellek más típusaitól, főként az ún. matematikai modellektől?

E kérdések ezért vetődnek fel, mert a kibernetikában kidolgozott és felhasznált modelleket sok szerző a matematikai modellekhez sorolja, illetve úgy véli, hogy a kibernetikában pusztán matematikai modelleket alkalmaznak. A kibernetikában valóban egyrészt széleskörűen alkalmazták a matematikai modelleket, másrészt a kibernetikában kidolgozott modelleknél általában matematikai módszereket használnak fel. Ez nem kis mértékben azzal függ össze, hogy a kibernetika kialakulása — legalábbis részben — a matematika keretein belül indult meg, a kidolgozásá-

\* Két rendszer,  $S$  és  $S'$  akkor izomorf, ha a) az  $S$  rendszer minden elemének megfelel az  $S'$  rendszer egy  $s$  csakis egy eleme,  $s$  fordítva; b) az  $S$  rendszer minden egyes viszonyának megfelel az  $S'$  rendszerben egy  $s$  csakis egy viszony,  $s$  fordítva; c) ha az  $S$  rendszer meghatározott elemei ( $a, b, c, \dots$ ) között meghatározott  $R$  viszony áll fenn, akkor az  $S'$  rendszer megfelelő elemei ( $a', b', c', \dots$ ) között az  $R$  viszonynak megfelelő  $R'$  viszony áll fenn, és fordítva. Az izomorfizmus, tehát olyan megfelelés, amely szerint a két rendszer elemei és viszonyai kölcsönösen megfelelnek egymásnak, azaz a két rendszer kölcsönösen leképezhető egymásba.

\*\* A homomorfizmus a megfelelés egy viszonylag gyengébb formája, míg az izomorfizmus a két rendszer között kölcsönösen egyértelmű (egy-egyértelmű) megfelelést létesít, addig a homomorfizmus teljesüléséhez elegendő a két rendszer közötti egyértelmű megfelelés. Illy módon két rendszer,  $S$  és  $S'$  akkor homomorf, ha az  $S$  rendszer minden egyes eleme és viszonya egyértelműen megfelel az  $S'$  rendszer elemeinek, illetve viszonyainak, ugyanakkor nem szükséges, hogy az  $S'$  rendszer elemei és viszonyai is egyértelműen megfeleljenek az  $S$  rendszer elemeinek és viszonyainak.

ban a matematikusok jelentős érdemeket szereztek. (Ez az oka többek közt annak is, hogy a kibernetikát időnként matematikai tudományágnak tekintik. [40]) A kibernetikában azonban annak megfelelően, ahogy egyre inkább sajátos tárggyal és sajátos módszerekkel rendelkező önálló tudomány lett, kialakult a modellezés egy sajátos típusa, amelyet joggal nevezhetünk kibernetikai modellezésnek.

Igaz a kibernetikai modellek nem egy vonásukban azonosak éppen a fentiek következtében a matematikai modellekkel. Elsősorban arra kell ezzel kapcsolatban utalni, hogy mind a matematikai, mind a kibernetikai modellezés jellemző sajátossága, hogy a modell és a modellezett objektum nem ugyanazon mozgásformához tartozik, pontosabban, hogy ezek a modellek egyidejűleg anyagilag reprodukálhatják vagy eszmeileg visszatükrözhetik az anyag különböző mozgásformáihoz tartozó jelenségek meghatározott oldalait. A matematikai modellezéshez hasonlóan a kibernetikai modellezés egyik jellemző vonása, tehát, a különböző mozgásformákhoz tartozó jelenségek *absztrakt* megközelítése. A matematikai és a kibernetikai modellek ezen közös vonása elsősorban a matematika és a kibernetika azon sajátos vonásával függ össze, hogy ezek a tudományok az objektív valóság bizonyos oldalainak közös, valamennyi mozgásformában egyaránt ható általános törvényszerűségeinek feltárására törekednek. Ugyanakkor a kibernetikai modellek olyan sajátosságokkal is rendelkeznek, amelyek megkülönböztetik a matematikai modellektől. Miként az utóbbiakkal való közös vonásaik is a két tudomány tárgyának bizonyos közös jellemzőivel függtek össze, úgy a kibernetikai modellezés sajátosságait is mindenekelőtt a kibernetika sajátos tárgya határozza meg.

A kibernetikai modellek egyik legjellemzőbb sajátossága az, hogy segítségével *dinamikus önszabályozó rendszereket* tanulmányoznak, s maguk is általában ilyen típusú rendszerek. A kibernetika úgy jött létre, mint a bonyolult dinamikus rendszerekben végbemenő vezérlési és irányítási folyamatok törvényszerűségeit kutató tudomány. Ezért gyakran a kibernetika fogalmát éppen a „bonyolult dinamikus rendszerek” fogalmával határozzák meg; ilyen meghatározást ad, például, A. I. BERG\* és G. KLAUS\*\*. Mivel a kibernetika tárgyát a dinamikus önszabályozó rendszerek említett törvényszerűségei alkotják, a kibernetikában szükségessé vált a bonyolult dinamikus rendszer fogalmának és sajátosságainak pontos feltárása. E vonatkozásban különösen W. ROSS ASHBY munkássága igen jelentős, aki több tanulmányában, így például a „Bevezetés a kibernetikába” c. művében törekszik a „bonyolult rendszer” és az „igen bonyolult rendszer” sajátosságainak feltárására. A kibernetikában jelentkező ezen törekvések jelentős impulzusként szolgáltak az ún. általános rendszerelmélet (General System Theory) kialakulásában, amelynek egyik megteremtője LUDWIG VON BERTALANFFY volt, aki először tett javaslatot ezen új tudomány megteremtésére. [43] W. R. ASHBY és BERTALANFFY bizonyos értelemben ellentétes irányból közelítik meg az általános rendszerelméleti problémákat, s különösen a „bonyolult rendszerek” fogalmát, elsősorban pedig az „élő rendszer” fogalmát értelmezik ellentétesen, ami

\* „... a kibernetika — a bonyolult dinamikus rendszerek optimális, célszerű irányításának tudománya.” [41]

\*\* „A kibernetika a lehetséges önszabályozó rendszerek részrendszereikkel való összefüggésének elmélete.” [42]

jelentős polémiákhoz vezetett az általános rendszerelméleten belül.\* E törekvések és viták ellenére sem a kibernetikában, sem a rendszerelméletben nem alakult ki a „rendszer”, s különösen a „bonyolult rendszer” vagy „bonyolult dinamikus rendszer” általánosan elfogadott meghatározása. BERTALANFFY szerint a rendszerek „kölcsonhatásban álló elemeknek olyan együttesei, amelyekre bizonyos rendszertörvények alkalmazhatók.” [44] E meghatározás azonban, mint erre C. G. HEMPEL rámutatott, „csak akkor nem circulus vitiosus, ha rendelkezésre áll a rendszertörvénynek egy ettől független definíciója.” [45] BERTALANFFY azonban nem adja meg a rendszertörvény ilyen meghatározását, hanem csak példákkal illusztrálja. E. L. ACKOFF szerint viszont az említett definíció túl szűk, mivel kizárja a fogalmi rendszereket, ezért szerinte „nem egymással kölcsönhatásban álló elemekről, hanem egymással összefüggő entitások együtteséről” kell beszélni [46], s így rendszer „bármilyen — fogalmi vagy fizikai — entitás, amely egymástól függő részekből áll”. [47] A „bonyolult rendszer” fogalma még kevésbé meghatározott. W. R. ASHBY említett könyvében, például „bonyolult rendszer”-en olyan rendszert ért, amelynek „bonyolultsága (komplexitása) jelentősen nagyobb és lényegesebb, hogy sem mellőzni lehetne”. [48] „Igen nagy rendszerről” pedig akkor beszél, ha ez „gazdagságával és bonyolultságával legyőzi” a kutatót. [49]

Anélkül, hogy a „rendszer” és a „bonyolult rendszer” fogalmát tovább elemeznénk, s valamilyen formális meghatározásukat adnánk, a bonyolult dinamikus rendszerek néhány jellemző vonását vázoljuk.

A bonyolult rendszerek egyik jellemző sajátossága a *belső dinamizmus és stabilitás egysége*, vagyis olyan rendszerek, amelyek változó környezeti hatások esetén is képesek belső egyensúlyuk (adott belső állapotuk, minőségi meghatározottságuk, adott dologként való létük) fenntartására. Ezt a rendszer mindenkelőtt belső struktúrájának megváltoztatásával, valamint a környezetre gyakorolt hatásával éri el. Ennélfogva a belső egyensúly megvalósulásának egyik feltétele az, hogy a rendszer dinamikus belső struktúrával rendelkezzen, amely struktúrát a külső környezet hatásainak megfelelően változtatni képes, a másik feltétele pedig az, hogy nyílt rendszer legyen, vagyis olyan rendszer, amely képes környezetével információs, és emellett még esetleg energetikai kölcsönhatásokra („anyagcserére”) lépni. A bonyolult dinamikus rendszer ily módon a környezet romboló és zavaró hatásai ellenére képes belső struktúrájának megváltoztatásával és a környezeti hatásokra megfelelő módon reagálva létét, belső egyensúlyát fenntartani. A rendszerben kialakuló ezen egyensúly és stabilitás a rendszer elemei közötti dinamikus kölcsönhatáson alapul. Mivel a bonyolult rendszer elemei sokoldalú dinamikus, „rugalmas” kapcsolatban állnak egymással, ezért bizonyos elemeinek megváltozása, környezeti hatásokra való átalakulása nem változtatja meg az egész rendszer belső állapotát, minőségi specifikumát, a rendszer bizonyos elemeinek, illetve az ezek közötti viszonyoknak megváltoztatásával képes a környezet zavaró hatásait kompenzálni. Amint arra NEUMANN J. rámutatott, a rendszer elemeinek s a közöttük levő organizáció növelésével fokozható a rendszer

\* Az általános rendszerelmélet főbb kutatási irányairól, a kialakult nézőpontokról és a vitatott kérdésekről részletesen tájékoztat a Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó gondozásában a közelmúltban Rendszerelmélet címmel megjelent kötet.

stabilitása, továbbá instabil, „megbízhatatlanul működő”, elemekből elég nagy mennyiség és főként megfelelő organizáció esetén „megbízhatóan működő” rendszer, automata építhető fel. [50] A dinamikus egyensúly egyik jellemző formája a biológiai homeosztázis jelensége, amely végeredményben a rendszer belső stabilitását külső változások mellett fenntartó szabályozási mechanizmus. ASHBY szerint minden olyan tevékenységet így nevezünk, „amelynek az a célja, hogy a lényeges jellemzők értékeit a normális határok között tartsa”. [51] A homeosztázis jelenségét imitálja az ASHBY által kidolgozott kibernetikai modell, a homeosztát, amely „bizonyos értelemben nem tesz semmi mást, azon kívül, hogy az egyensúly állapotára törekszik” [52], azaz olyan technikai konstrukció, amely a külső feltételeknek megfelelően igyekszik stabilitását biztosítani.

A fentiek alapján a bonyolult dinamikus rendszer viselkedése *célszerűnek* tekinthető, minthogy meghatározott célok — a rendszer belső állapotának megőrzése, a dinamikus egyensúly fenntartása, azaz a környezethez való alkalmazkodás s ezzel együtt magának a környezetnek az átforgalmazása, esetleg valamilyen rendszeren kívüli cél — elérésére irányul. Ez a cél — vagyis a környezeti hatásoknak megfelelő viselkedési módok kialakítása — a rendszer elemeinek nagy száma, valamint a közöttük levő kölcsönhatások bonyolultsága és dinamizmusa következtében megvalósulhat a rendszer *különböző* belső struktúrái alapján, vagyis a „teleologikus” magatartás elérését, a környezeti hatásnak megfelelő reakcióit különböző belső mechanizmusok eredményezheti. Ez egyfelől ismét a rendszer stabilitását fejezi ki, másfelől viszont a külső funkcionál a belső struktúrától, a viselkedési módnak az alapját képező „mechanizmustól” való viszonylagos függetlenségét, önállóságát mutatja, ami lehetővé teszi, hogy ezen funkciók, viselkedési módok tanulmányozásánál bizonyos határokon belül elvonatkoztassuk a rendszer belső struktúrájától, azaz, alapját képezi a kibernetikára jellemző és a kibernetikában meghatározó szerepet játszó funkcionális szemléletnek.

Minthogy a bonyolult rendszerek célszerű viselkedése a változó környezetben megvalósuló dinamikus egyensúly megteremtésére irányul, ezért ez mindig a környezet által vezérelt és/vagy a rendszer belső struktúrája illetve egy rész-struktúrája (vezérlő mechanizmus) által szabályozott viselkedés. Következésképpen a kibernetikai modellezés egy további jellemző vonása, hogy mindig vezérlési, illetve szabályozási folyamatokkal kapcsolatos, hogy a kibernetikai modellek a *bonyolult dinamikus rendszerekben megvalósuló vezérlést-szabályozást* reprodukálják. A vezérlés és a szabályozás a kibernetika alapvető kategóriáihoz tartozik, a kibernetika egyik elsődleges feladata a bonyolult rendszerek vezérlési-szabályozási folyamatainak, illetve ezek általános törvényszerűségeinek tanulmányozása. A kibernetikára e folyamatok absztrakt megközelítése a jellemző, vagyis csak a szabályozás azon törvényszerűségeit kutatja, amelyek a konkrét mozgásformáktól függetlenül valamennyi bonyolult dinamikus rendszerben hatnak, s ugyanakkor elvonatkoztat e folyamat konkrét tartalmától, azaz általában nem vizsgálja, hogy ezekre a szabályozási folyamatokra mi jellemző az egyes, különböző mozgásformákhoz tartozó rendszerek esetében. A kibernetikában ezzel kapcsolatban főként az ún. *ön szabályozó* rendszereket vizsgálják, vagyis azokat, amelyek képesek magukat a külső környezeti hatásoknak megfelelően irányítani. A dinamikus ön szabályozó rend-

szerekben a szabályozás alapját a visszacsatolási mechanizmus képezi. A visszacsatolás lényege abban foglalható össze, hogy a rendszer „kimeneten” jelentkező jelet visszavezetik — esetleg megfelelő módon átalakítva és felerősítve — a rendszer „bemenetére”, s ezáltal az utóbbit úgy szabályozzák, hogy biztosítsa a rendszer stabilitását és működését. A rendszer „bemenetére” visszavezetett jelet (tényleges értéket) ugyanis egy megfelelő készülék összehasonlítja az alapjellel (a „kívánt” értékkel), s az így adódó hibajel (a kívánt és tényleges érték különbsége), illetve ennek nagysága és iránya vezérli a végrehajtó szervet oly módon, hogy a két érték közötti különbség csökkenjen. Ily módon tehát egy zárt szabályozó mechanizmus alakul ki, amely a normális helyzettől való kitérés csökkentésére, a stabilitás fenntartására irányul. Ezt a zárt kört *negatív visszacsatolásnak* szokás nevezni, amely tehát végeredményben a rendszerre gyakorolt zavaró környezeti hatásokat kompenzálja azáltal, hogy a rendszer működésében a környezet hatására bekövetkező változások ellen irányul, hogy a kívánt működés és a tényleges eredmény közötti különbséggel a rendszer viselkedését szabályozza. A negatív visszacsatolás alapján megvalósuló szabályozás a rendszer stabilitását biztosítja.\* A szabályozás ugyanakkor szorosan összefügg a rendszerben végbemenő változásokkal is, hiszen végeredményben nem más mint a rendszer egyik állapotából a másik állapotába való átmenet, a rendszer belső kölcsönhatásainak átalakítása oly módon, hogy a rendszer egészének minőségi specifikuma megmaradjon. A negatív visszacsatolás segítségével történő szabályozás jelenti, tehát, azt a belső mechanizmust, amely alapját képezi a rendszer és a környezet közötti dinamikus egyensúlynak.

Ez a szabályozás úgy megy végbe, hogy a rendszer megfelelő módon érzékeli egyfelől a környezetnek a rendszerre gyakorolt hatásait, másfelől a rendszer válaszreakcióit és ezek eredményét. Vagyis a visszacsatolás elengedhetetlen feltétele a rendszer és a környezet közötti információs kölcsönhatás, s a szabályozás ily módon mindig *információs folyamat*. A bonyolult dinamikus rendszer úgy képes a környezethez való viszonyát szabályozni, ha információt vesz fel a környezetből, s ezeket megfelelően feldolgozza, átalakítja, tárolja, s az információt működésének vezérlésére felhasználja. Ezért a bonyolult dinamikus rendszerekben végbemenő szabályozási folyamatok másik fő jellegzetessége — a zárt szabályozó kör, a negatív visszacsatolás mellett — a környezettől származó információ felvétele, feldolgozása és felhasználása a rendszer irányításában. A kibernetikai modelleket többek közt éppen az különbözteti meg a matematikai modellektől, hogy információs folyamatokat modellálnak, ezért is szokás a kibernetikában kidolgozott és alkalmazott modelleket információs modelleknek nevezni. Továbbá ezzel függ össze az is, hogy e modelleket gyakran az élő folyamatok, ezen belül pedig fiziológiai folyamatok s nem utolsósorban tudati jelenségek vizsgálatára alkalmazzák.

Ez utóbbi körülmény a kibernetikai modellek további sajátosságára mutat rá. A dinamikus önszabályozó rendszerek kibernetikai modelle-

\* Lehetséges ezzel ellentétes „szabályozás” is, az ún. pozitív visszacsatolás, amikor is a visszacsatolt jel nem a fellépő változások ellen irányul, hanem azt erősíti, vagyis fokozza a környezet zavaró hatásait, s a rendszer működését is hasonló irányba vezérli. A pozitív visszacsatolás éppen ezért a rendszeren belüli zavarokhoz, s végső soron a rendszer egészének vagy valamely részének pusztulásához vezet.

zése során a fő figyelmet az élő rendszerekben végbemenő szabályozási, illetve információs mechanizmusok tanulmányozására fordítják, vagyis a kibernetikai modellek biológiai és fiziológiai folyamatok modelljei, s így szubsztrátumukban lényegesen különböznek a modellezett objektumtól. A kibernetikai modellezés ezen sajátosságai abban foglalható össze, hogy — mint erre KALMÁR L. is rámutatott — ennek során a magasabbrendű mozgásformához tartozó objektumokat alacsonyabb mozgásformához tartozó modellek segítségével tanulmányozzák. Ezzel kapcsolatban felvetődhet az a kérdés, hogy mi teszi lehetővé az élő rendszerek és az agyi folyamatok technikai berendezések segítségével történő vizsgálatát. Mi az alapja a kibernetikai modellezésnek? 1. A kibernetikai modellezés, mint általában mindenféle modellezés legáltalánosabb alapja a világ anyagi egysége, vagyis az, hogy az anyag alacsonyabb és magasabb mozgásformáihoz tartozó objektumok bizonyos közös tulajdonságokkal, sajátosságokkal rendelkeznek, hogy struktúrájukban és funkcionálásukban közös vonások találhatóak. 2. A magasabb rendű mozgásformákhoz tartozó anyagi jelenségek alacsonyabb mozgásformákat képviselő objektumokkal történő modellezését lehetővé teszi az is, hogy az előbbi mozgásformák ismert módon magukba foglalják az utóbbiakat mint mellék mozgásformákat, s ennél fogva a magasabb organizációt képviselő anyagfajtákban hatnak az alacsonyabb szintek törvényszerűségei is. 3. A kibernetikai modellezés lehetőségét biztosítják továbbá azok az egyetemes törvényszerűségek is, amelyek egyaránt hatnak az élettelen és az élő természetben, valamint az emberi társadalomban. 4. Végül, a kibernetikai modellezés alapját képezik nem utolsósorban a bonyolult dinamikus rendszerekben végbemenő vezérlési és szabályozási folyamatok azon általános törvényszerűségei, amelyek nem egy konkrét mozgásformával, hanem általában a vezérléssel és a szabályozással kapcsolatosak, vagyis a kibernetikai törvényszerűségek. Ezek mellett, természetesen, szükséges az is, hogy meglegyenek azok a feltételek, amelyek általában szükségesek a modellezés megvalósulásához, mindenképp előtt szükséges a modell és a modellezett objektum közötti objektív megfelelés. Mivel a modellezés tárgya az igen bonyolult élő organizmus, mint ASHBY a Bevezetés a kibernetikába c. könyvében megjegyzi, a kibernetikai modellezésre nem annyira az izomorfizmus, mint inkább a homomorfizmus a jellemző.

A bonyolult dinamikus rendszerek, s főként az élő szervezetek, amint ezt az eddigiek is bizonyítják, sokoldalúan összefüggnek környezetükkel. Így e rendszerek működésének megértése, lényegük megragadása nem lehetséges e kapcsolatok, kölcsönhatások vizsgálata, s ezen belül a rendszer funkcióinak tanulmányozása nélkül. A kibernetikára éppen a dinamikus rendszer és környezete közötti funkcionális kapcsolatok vizsgálata a jellemző. E funkcionális kapcsolatok vizsgálata, s ezen belül modellezése alapvetően két módon valósulhat meg: az egyik esetben először megismerjük az organizmus, vagy az idegrendszer bizonyos tevékenységének belső struktúráját, s azután technikailag realizáljuk ezt a struktúrát úgy, hogy ezzel modellezük a kívánt funkciót is. Vagyis ebben az esetben a *struktúrától haladunk a funkció felé*. Ez a megközelítési mód az ún. bionikus modellekre jellemző. A másik esetben fordított úton haladunk, vagyis az élő szervezet funkciójától mesterséges modellezése felé. Ennél a megközelítésnél elvonatkoztatunk az élő rendszer belső struktúrájától, úgy



tekintjük, mint egy „fekete-doboz”-t, s pusztán azt vizsgáljuk, hogyan funkcionál a rendszer mint egységes egész. Ha az élő organizmushoz, mint „fekete-doboz”-hoz közelítünk, akkor csak a rendszer „beménetére” gyakorolt külső hatást, valamint a „kimenetén” jelentkező válaszreakciót, azaz a rendszer funkcionálását figyelhetjük meg. Ily módon az ilyen rendszer modellezése során nem modellezhetjük a struktúráját, hanem csak a funkcióit; vagyis a modellezés ezen típusánál a *funkciótól a funkció felé* haladunk. Az ilyen típusú modellezést, amely elsősorban a kibernetikára jellemző, éppen ezért *funkcionális* modellezésnek is szokás nevezni. A funkcionális modellezés, mint már utaltunk rá, a funkció, a viselkedési mód viszonylagos önállóságán, a belső struktúráról való viszonylagos függetlenségén alapul. A kibernetikai modellezésben tehát azt használják fel, hogy ugyanazon belső struktúra megvalósulhat különböző anyagi szubsztrátumú rendszerekben, továbbá, ugyanazon funkció kapcsolódhat a bonyolult dinamikus rendszerek különböző belső struktúrájához. „A funkcionális módszer — írja I. B. NOVIK — kettős absztrakció, vagy az absztrakció absztrakciója eredményeként jelentkezik (először a rendszer anyagi szubsztrátumától való elvonatkoztatás a belső struktúra kiemelésével, és azután elvonatkoztatás ettől a belső struktúráról is kiemelve a rendszernek a környezethez való funkcionális kapcsolatait.” [53] A belső struktúráról való elvonatkoztatás, s a funkció önmagában való vizsgálata, természetesen, nem jelenti azt, hogy a funkció létezhet megfelelő belső struktúra nélkül, vagyis a funkciót nem lehet abszolút módon elszakítani az alapját képező belső struktúráról. Éppen ezért nem lehet egymástól elszakítani, s egymással szembeállítani az élő organizmus funkcionális kapcsolatainak vizsgálatánál jelentkező két megközelítési módot, a bionikait és a kibernetikait, a struktúralist és a funkcionalist. E két megközelítési mód szükségképpen feltételezi egymást s a kutatási folyamatban összefonódnak egymással: kibernetikai modellek segítségével megismerve az élő organizmus, vagy az emberi agy működésének bizonyos aspektusait, következtethetünk belső struktúrájukra, hipotéziseket állíthatunk fel e funkciók alapját képező biológiai és fiziológiai mechanizmusokról; felépítve az élő rendszer, vagy az agy bizonyos mechanizmusainak (neuronoknak, ill. neuron-hálózatoknak) struktúralis modelljeit következtetéseket vonhatunk le az egész organizmus, vagy a neuronok egész rendszerének funkcionálásáról.

Végül, a kibernetikai modellezés jellemző vonása, az *elektronikus számológépek* alkalmazása az agyi-fiziológiai folyamatok (pl. neuronok működésének s a neuronok közötti kapcsolatok) tanulmányozására. Az elektronikus számológépek az emberi működésének közvetett modelljei, amennyiben e gépek működése bizonyos analógiát mutat a gondolkodás bizonyos törvényszerűségeivel (például, hasonló logikai elvek alkalmazása), ugyanakkor a gép felépítése és konkrét működése lényegesen eltér a gondolkodás alapját képező fiziológiai mechanizmusoktól. Ezért nem maga az elektronikus számológép, hanem inkább elemeinek állapota és ezek változásai, vagyis végeredményben a gép által megvalósított program tekinthető modellnek. Ez a körülmény viszont az ilyen jellegű modellezés *univerzális* jellegére utal, ugyanis éppen az előbbi következtében az elektronikus számológépben nem csupán az emberi agy egyik vagy másik funkciója modellezhető, hanem segítségükkel tanulmányozhatók egymástól lé-

nyegesen eltérő funkciók is. Ezáltal az elektronikus számológépek mint univerzális modellek jelentős mértékben előrelendítik az agyi-fiziológiai folyamatok tanulmányozását, lehetővé teszik olyan funkciók vizsgálatát és (pontosabb) megismerését, amelyek hagyományos módszerekkel és eszközökkel nem, vagy csak nehezen tanulmányozhatók.

Összefoglalva fejtegetéseinket, úgy véljük a kibernetikai modellezésnek ténylegesen vannak olyan sajátosságai, amelyek megkülönböztetik a modellezés más formáitól, köztük a matematikai modellezéstől, s ezért joggal tekinthetjük a kibernetikai modelleket a modellek egy sajátos típusának.

#### IRODALOMJEGYZÉK

1. K. E. MOROZOV: *Matematicszeszkoje modelirovanyije v naucsnom poznanijii*. Moszkva, 1969. 64. old. (Lábjegyzet.)
2. N. M. AMOSZOV: *Modelirovanyije műslenyije i pszihiki*. Kiev, 1956. 46. old.
3. D. P. GORSZKIJ: *Problemü obsej metodologii nauk i dialekticszeszkoi logiki*. Moszkva, 1966. 298–299. old.
4. F. JUNG, G. KLAUS, A. METTE, S. M. RAPOPORT: *Arzt und Philosophie*. Berlin, 1961.
5. *Modelirovanyije v biologii*. Moszkva, 1963.
6. *A pszichológia új útjai*. Bp. 1967. 14–15. old.
7. Uo. 14. old.
8. Uo. 250. old.
9. G. KLAUS: *Kibernetika és társadalom*. Bp, 1966.
10. G. KLAUS: *Wörterbuch der Kybernetik*. Berlin, 1967. 411. old.
11. N. M. AMOSZOV: *id. m.* 49. old.
12. G. KLAUS: *Kibernetika és társadalom*. *id. kiad.* 134. old.
13. Uo. 347. old.
14. Uo. 328. old.
15. Uo.
16. Uo. 134. old.
17. Uo. 349. old.
18. Uo. 348. old.
19. Uo. 358. old.
20. Uo. 327. old.
21. Uo. 345. old.
22. Uo. 328. old.
23. Uo. 347. old.
24. Uo. 348. old.
25. Uo. 346. old.
26. Sz. L. RUBINSTEIN: *Lét és tudat*. Bp. 1967. 15. old.
27. Uo. 37–38. old.
28. G. KLAUS: *Kibernetika és társadalom*, *id. kiad.* 328. old.
29. J. PONOMARJOV: *Pszichikum és intuición*. Bp. 1968. 40. old.
30. Uo. 52. old.
31. Uo. 40. old.
32. Uo.
33. Uo. 41. old.
34. Uo. 74. old.
35. Uo. 73. old.
36. Uo. 90. old.
37. Uo. 62. old.
38. Uo. 61. old.
39. Sz. L. RUBINSTEIN: *id. m.* 77. old.
40. Lásd pl. KOLMAN E.: *A kibernetika filozófiai és társadalmi problémái*. In: „A kibernetika filozófia problémái” Bp. 1963.

41. A. I. BERG: Kibernetika i nagyvezsnoszty. Moszkva, 1963. 11. old.
42. G. KLAUS: Kybernetik in philosophischer Sicht. Berlin, 1961. 27. old.
43. L. VON BERTALANFFY: Az általános rendszerelmélet problémáit. In: „Rendszerelmélet. Válogatott tanulmányok” Bp. 1969. 28. old.
44. Uo. 33. old.
45. C. G. HEMPEL: Az általános rendszerelmélet és a tudomány egysége. Uo. 39. old.
46. R. L. ACKOFF: Az általános rendszerelmélet és a rendszerkutatás mint a rendszertudomány két szembenálló koncepciója. Uo. 163. old.
47. R. L. ACKOFF: Rendszerek, szervezetek és a tudományágak-közi kutatás. Uo. 173. old.
48. W. R. ASHBY: Vvegyenyije v kibernetiku. Moszkva, 1958. 18. old.
49. Uo. 94. old.
50. J. VON NEUMANN: Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms From Unreliable Components. In: „Automata Studies” ad. by C. E. Shannon and J. McCarthy, Princeton, 1956. 43—99. pp.
51. W. R. ASHBY: A homeosztázis. In: „Az atomkor enciklopédiája” 2. k. Bp. 1967. 169. old.
52. W. R. ASHBY: Vvegyenyije v kibernetiku. id. kiad. 125. old.
53. I. B. NOVIK: Modelirovanyije szlozsnuh szisztem. Moszkva, 1965. 109. old.

*A. Кочонди*

#### НЕКОТОРЫЕ ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В первой части данной статьи автор критикуя взгляды Г. Клауса, Н. М. Амосова, Й. Пономарева и других авторов, (идеальный) образ, или его материальный носитель по которым является моделью внешнего мира, старается выявить различия между отражением (познанием) и моделированием, далее и между образом и моделью. Во второй части статьи рассматриваются те особенности кибернетических моделей, по которым отличаются эти модели от других типов моделей.