

# K PROBLEMATIKE SYSTÉMOV A ICH KLASIFIKÁCIE

JURAJ BOBER

Vznik nových vedeckých teórií, nové objavy vo vede, rozširovanie nových metodologických postupov obvykle vedie k novým pokusom o klasifikáciu systémov. Spravidla to totiž vytvára predpoklady pre ďalší dôkladnejší výskum najrozmanitejších systémov, čo zase vedie k objavu ich nových črt, vlastností, charakteristík, a to vyvoláva potrebu tieto systémy určitým spôsobom usporiadať, klasifikovať. Takáto situácia vzniká aj v poslednom desaťročí predovšetkým zásluhou kybernetiky a prenikania s ňou nerozlučne spätých matematicko-logických metód prevažne do všetkých vedných disciplín.

## I

Pôvodný zámer tejto štúdie sa čiastočne pozmenil prispením state R. H a m b á l k a *Ku skúmaniu všeobecnej problematiky systémov*.<sup>1</sup> Považujem totiž za potrebné natoľko venovať pozornosť niektorým otázkam celku a systému, aby ďalšie úvahy mali primerané zázemie, a tým vôbec zmysel.

Aký je vzťah medzi celkom a systémom? Je rozšírená mienka, že systém je komplexom prvkov, ktoré na seba vzájomne pôsobia.<sup>2</sup> Táto definícia systému je však neúplná a prináša rôzne možnosti výkladu. To podnietilo vznik koncepcií, v ktorých sa rozlišuje *celistvý* (celostný) a *sumatívny* systém, pričom toto rozlišovanie sa opiera o názor, že každý celok je systémom, ale nie každý systém je celkom.<sup>3</sup> Teda celistvý systém je celkom, a sumatívny nie je. Pod pojmom sumatívny systém sa rozumie taký systém, v ktorom vzájomné pôsobenie jeho prvkov nevedie k vzniku nových vlastností systému. Pod pojmom celistvý systém sa v tomto prípade rozumie taký systém, v ktorom každá zmena jedného komponentu vyvoláva zmeny iných a vzájomné pôsobenie komponentov vedie k novým vlastnostiam systému.

R. Hambálek definuje systém ako celok tvorený množinou prvkov a príslušnou úplnou množinou vnútorných charakteristík (t. j. takou, ktorá obsahuje všetky charakteristiky, prislúchajúce každému prvku daného celku a každej kombinácii týchto prvkov), pričom jeho štruktúra je jednotná (t. j. celistvá, súvislá, s najmenej pravdepodobným usporiadaním charakteristík daného celku). Potreba zamyslieť sa nad touto definíciou vyplýva z toho, že sa takéto poňatie systému považuje metodologicky za východiskové. Pritom napríklad poňatie systému v kybernetike je v rozpore s touto definíciou. A keďže všeobecná definícia systému má vyjadrovať, zovšeobecňovať črty tých systémov, ktoré sú predmetmi skúmania jednotlivých vedných disciplín, potom nemôžeme tento rozpor nechať bez povšimnutia. Ako je známe, kybernetika skúma funkcionálne a štrukturálne

<sup>1</sup> Filozofia, 1966, 1.

<sup>2</sup> Autorom tejto definície je L. Bertalanffy, *Problems of Life*, New York 1960, 199.

<sup>3</sup> Pozri napr. V. G. Afanasjev, *Problema celostnosti v filozofii i biologii*, Moskva 1964, 8 n.

zákonitosti zložitých dynamických systémov, nezaujímajú ani materiál, z akého sú, ani energetické deje v nich prebiehajúce v procese časopriestorových zmien; kybernetika abstrahuje od látkovej i energetickej podstaty skúmaných objektov, a preto je naozaj ťažko možné hovoriť o úplnej množine vnútorných charakteristík. To nás stavia pred zložitú otázku: buď poňatie systému v kybernetike nezodpovedá všeobecným predstavám o systéme ako celku, alebo definícia, ktorá vychádza zo systému ako celku, nezovšeobecňuje črty tých systémov, ktoré sú predmetom skúmania kybernetiky (iné vedné disciplíny nespomínam zámerné).

Nekladiem si za úlohu nájsť jednoznačnú odpoveď. Domnievam sa však, že práve z metodologického hľadiska je presnejšie hovoriť o *zavádzaní systému na objekte*, o *systémovaní objektu*, a to definovaním jeho častí, prvkov (ak sú to elementárne časti) a ich charakteristík, t. j. vlastností, vzájomných vzťahov a časopriestorových dát. Keďže systém je určitou abstrakciou reálneho objektu, určitým vydelením, vymedzením jeho podstatných vlastností, znakov od nepodstatných, už v tom je obsiahnutá nemožnosť úplne vyčerpávajúco zachytiť všetky charakteristiky, prislúchajúce každému prvku a každej kombinácii prvkov objektu ako celku. Pri takomto postupe si ponechávame možnosť systémovať iba určité vlastnosti objektu (napríklad v kybernetike jeho správanie) a súčasne tým jednoznačne odlišujeme systém od celku. Tu je ešte dôležité rozlišovať reálny, konkrétny systém, ktorý sa zavádza na reálnych objektoch, povedzme na živom organizme, nervovej sústave, bunke, molekule, a abstraktný (formálny) systém, ktorý vzniká matematicko-logickou abstrakciou, jeho prvkami sú formálne symboly a vzťahy medzi nimi sú definované formálne.

## II

Skôr než sa dostaneme k analýze niektorých klasifikácií systémov, ktoré vznikli pod vplyvom kybernetiky, je nutné zaoberať sa poňatím systému v nej samej a pokusmi autorov o klasifikáciu kybernetických systémov, čo v niektorých prípadoch buď prekračuje rámec kybernetiky, alebo priamo podnecuje iných autorov k všeobecnejšej klasifikácii.

Skutočnosť, že kybernetika vychádza zo skúmania širokej škály zložitých dynamických systémov<sup>4</sup>, dáva možnosť W. R. Ashbymu prísť s originálnou klasifikáciou kybernetických systémov. Ashby rozlišuje systémy *nestabilné*, *stabilné*, *ultrastabilné* a *multistabilné*.<sup>5</sup> Aby sme mohli preniknúť k základom tejto klasifikácie, je nutné dôkladnejšie analyzovať Ashbyho postup použitý v jeho prácach, analyzovať jeho poňatie pojmov správanie a stabilita systému.<sup>6</sup>

Pod pojmom správanie systému sa rozumie množina jeho po sebe nasledujúcich stavov. Prechod z jedného stavu do druhého, potom do tretieho atď., teda zmeny

<sup>4</sup> Podrobnejšie som sa zaoberal týmito otázkami v štúdiu *Kvantita a kvalita v kybernetike*, *Otázky marxistickej filozofie* (1963) 5, 383–397.

<sup>5</sup> Robí tak v svojich prácach *An Introduction to Cybernetic*, London 1956, český pr. *Kybernetika*, Praha 1961, a *Design for a Brain*, London 1960.

<sup>6</sup> Keďže sa v kybernetike ujal Ashbyho postup i ním zavedené pojmy, v ďalšom texte ich už budem považovať za súčasť kybernetiky.

stavov, predstavuje spôsob správania. Jeho matematické zobrazenie sa nazýva transformácia. Prechod od jednej transformácie k druhej, potom k tretej atď., teda prechod od jedného spôsobu správania k druhému, potom k tretiemu je zmenou správania. Súhrn všetkých spôsobov správania systému je poľom správania.

Podľa spôsobu správania sa dynamické systémy delia do dvoch tried: trieda stabilného spôsobu správania a trieda nestabilného spôsobu správania. Pritom ide o relatívnu stabilitu, t. j. určitý systém je stabilný nie všeobecne, vzhľadom na akýkoľvek vplyv okolia, ale iba vzhľadom na určitý vplyv. Okrem toho sa rozlišuje stabilný stav a oblasť stability. Systém má stabilný stav  $a$ , keď transformácia  $T(a) = a$ . Systém má oblasť stability, keď pri ľubovoľných zmenách stavu sa dosahujú len tie stavy, ktoré patria do určitej oblasti. Každý stabilný systém má tú vlastnosť, že ak ho určitý rušivý vplyv vyvedie z rovnovážneho stavu, jeho nasledujúce zmeny sú vo vzťahu k rušivým vplyvom také, že sa systém vráti do rovnovážneho stavu, pravda, ak tento výkyv neprekročí hranice oblasti stability.

V tejto súvislosti je aktuálna otázka, ako sa dá dosiahnuť stabilita systému, pretože rušivé vplyvy často spôsobujú prekročenie hraníc oblasti stability, a tým spôsobujú zničenie systému ako takého. Existujú dve možnosti: 1. vonkajšie riadenie systémov, 2. spätná väzba.<sup>7</sup>

Najprv k prvej možnosti. Na systém pôsobia určité rušivé vplyvy (vstupné veličiny) a výsledok, účinok je funkciou príčiny. V určitom čase sa príčina i účinok viažu na určitý stav. Náhly rušivý vplyv spracúva systém určitým spôsobom. Dostaví sa nový stav. Systém nereaguje na náhly rušivý vplyv náhlou zmenou svojho stavu. V časovom intervale zvanom mŕtvy čas sa zdráha prijať vstupnú veličinu, až po jeho uplynutí na ňu zareaguje a v ďalšom časovom intervale veličinu spracuje a prispôbuje sa podmienkam prostredia. Aby sa nový stav pohyboval v určitej oblasti stability, je potrebný zásah zvonku; systém je *riadený* zvonku. Pri každom rušivom vplyve musí dôjsť k takému vonkajšiemu zásahu, aby výsledkom (výstupnou veličinou) bol žiadaný účinok, stav v oblasti stability.

Druhý prípad je zložitejší. Prekonávanie rušivých vplyvov pomocou spätnej väzby (vo filozofickom zmysle spätná väzba vyjadruje vzájomné pôsobenie) ako vnútornej vlastnosti systému je z hľadiska jeho samovývoja najdôležitejšou formou. Ak rušivý vplyv (vstupná veličina) pôsobí na systém a vyvoláva určitý účinok (výstupná veličina), tento spätne pôsobí na vstupnú veličinu a v ďalšom už pôsobia na systém spolu. Nie je to však reakcia systému na súčet vstupnej a výstupnej veličiny, ale natoľko korigovaná reakcia, aby výstupná veličina zodpovedala hraniciam oblasti stability systému. Avšak nie každá spätná väzba vyvoláva stabilitu. Iba spätné väzby s organizáciou schopnou uchovať systém pred zničením a udržať výstupné veličiny v hraniciach oblasti stability. Existuje tzv. *pozitívna* spätná väzba — nastáva vtedy, ak výstupná veličina pôsobí na

<sup>7</sup> Podrobne sa filozofickou stránkou tohto problému zaoberá G. Klaus v práci *Kybernetik in philosophischer Sicht*, Berlin 1962, v slovenskom pr. *Kybernetika z filozofického hľadiska*, Bratislava 1963, 68 n.

vstupnú tak, že ju zosilňuje — a *negatívna* spätná väzba — keď výstupná veličina vstupnú zoslabuje. Ak sa spätná väzba organizuje pomocou tzv. regulátora fixných hodnôt, potom sa pôsobenie vstupnej veličiny a spätné pôsobenie veličiny výstupnej ustáli na určitej fixnej hodnote. Treba však podotknúť, že totálna regulácia akýchkoľvek rušivých vplyvov (vstupných veličín) nejestvuje.

Vychádzajúc z toho, že nestabilné správanie je opakom stabilného a že teda aj nestabilný systém je opakom systému stabilného, dá sa povedať, že sme prebrali prvé dva typy Ashbyho klasifikácie kybernetických systémov. Zostáva ešte ultrastabilný a multistabilný systém.

Systém so spätnou väzbou je schopný prispôsobiť sa určitým podmienkam prostredia, v ktorom sa nachádza, presnejšie povedané určitému typu rušivých vplyvov. Keď takýto systém odoláva viacerým typom a keď od jedného spôsobu správania, ktorý je momentálne nevyhovujúci, je schopný prejsť na druhý, tretí atď., dokiaľ nedosiahne stabilitu, je systémom ultrastabilným. Jeho matematické zobrazenie predstavuje sústavu rovníc, ktorá vyjadruje tzv. stupňovitú funkciu, t. j. takú, ktorá je v určitých intervaloch konštantná a od jedného intervalu k druhému sa mení skokom.

Keďže ani ultrastabilný systém dostatočne nepostihuje zložitosť správania kybernetických systémov, zavádza Ashby ešte multistabilný systém. Je ním taký systém, ktorý pozostáva z ultrastabilných podsystemov. Od ultrastabilného systému sa líši hlavne tým, že je schopný prispôbovať sa určitým podmienkam prostredia tak, že sa im neprispôbuje celý, ale iba jeden z jeho podsystemov, ktorý preberá všetko, čo súvisí s úlohou prispôbiť sa.

Ashby sa neusiluje do tejto klasifikácie pojať všetky jestvujúce systémy, hoci je jasné, že zachytáva značne širokú oblasť (za stabilný systém môžeme považovať napríklad termostat, za ultrastabilný napríklad živý organizmus, za multistabilný ľudský mozog atď.), a hoci všeobecne prevláda mienka, že spoločenský systém čo do organizácie, usporiadania zatiaľ ešte nedosahuje úroveň nervovej sústavy človeka. Ashbemu ide predovšetkým o postihnutie črt, vlastností, charakteristík tých zložitých dynamických systémov, ktoré sú predmetom kybernetiky.

Jestvujú aj iné klasifikácie kybernetických systémov. Tie však nie sú natoľko dôležité ako predchádzajúca. Napriek tomu má zmysel hovoriť o nich, a to predovšetkým z hľadiska definície predmetu kybernetiky.

Pri klasifikácii zložitých dynamických systémov stretávame sa s názormi, akoby predmetom kybernetiky bolo skúmanie týchto typov systémov: 1. *technické systémy*, 2. *systémy živej prírody*, 3. *spoločenské systémy*, 4. *hybridné systémy*, 5. *abstraktné systémy*.

Táto klasifikácia vychádza z nasledujúcich predpokladov:

1. Nájdu sa aj takí autori, ktorí kybernetiku považujú za teóriu strojov, sústreďujúcu sa na správanie strojov, a odvolávajú sa často na Ashbyho. No poňatie pojmu stroj v jeho prácach celkom jednoznačne zahrňuje v sebe nielen technické systémy. Ak je reč o technických systémoch, je dôležité poznamenať, že kybernetiku zaujímajú iba tie technické systémy, ktoré zodpovedajú pojmu zložitý

dynamický systém. V opačnom prípade by každý technický prostriedok bolo možné zahrnúť pod strechu kybernetiky, a to je vylúčené.

2. Pri skúmaní systémov živej prírody sa už pred vznikom kybernetiky uplatňovalo hladisko cielovosti; tieto systémy sa ponímali ako systémy s cieľovým správaním. Najzložitejším systémom živej prírody je ľudský mozog a človek vôbec. Keďže v minulosti nejestvovali objektívne analytické metódy na výskum správania živých systémov a človek sám seba skúmal, viac-menej vychádzajú zo subjektívnych zážitkov, prevládal v tomto výskume subjektivismus. Kybernetika rozširuje možnosti podrobiť správanie živých systémov objektívnej vedeckej analýze.

3. Otázka, či spoločenské systémy môžu byť predmetom kybernetiky, ešte donedávna vyvolávala veľké spory, predovšetkým medzi filozofmi. Avšak tak ako už neraz v minulosti rozhodli tento spor špeciálni vedci tým, že ukázali aké možnosti poskytujú spoločenské systémy pre použitie kybernetických princípov a metód práve preto, lebo v spoločenských systémoch má prenos, spracovanie, uchovanie a využitie informácie oveľa podstatnejšiu úlohu ako v doteraz známych technických systémoch i systémoch živej prírody.

4. Hybridné alebo zmiešané systémy pozostávajú z prvkov, častí, komponentov, ktoré sú prvkami prvých troch typov systémov.

5. Kybernetika sa nedá obmedzovať iba na systémy reálne, ktoré možno skúmať empirickými prostriedkami. Pri ich zobrazovaní sa používajú prvky abstraktnej povahy ako výtvar ľudského myslenia. Z nich možno aj syntetizovať systémy, skúmať ich možnosti atď. Racionálne využitie kybernetiky nie je mysliteľné bez abstraktných systémov, bez úlohy, ktorú zohrávajú pri modelovaní reálnych systémov.

Pokiaľ ide o predpoklady, ktorými sa zdôvodňuje, prečo uvedených päť typov systémov je predmetom kybernetiky, je možné s nimi súhlasiť. Avšak táto klasifikácia viac vychádza z čít, vlastností, charakteristík, ktoré kybernetické systémy rozdeľujú, ako z tých, ktoré ich spájajú. Máme na mysli predovšetkým správanie, ktoré je základom Ashbyho klasifikácie. Súčasne vnáša do chápania predmetu kybernetiky mnoho nejasností.

Iná klasifikácia kybernetických systémov rozlišuje jednoduché, zložené (komplikované) a zložité (komplexné) systémy. Aj takéto poňatie predmetu kybernetiky vedie často k nedorozumeniam.

*Jednoduché systémy* pozostávajú z malého počtu prvkov, medzi ktorými jestvujú jednoduché vzťahy. Tu jednoznačne platia určité zákonitosti, ktoré možno jednoznačne vyjadriť matematicky. Modelovanie na základe jednoduchých systémov sa vyznačuje najnižším stupňom homomorfizmu, t. j. najmenej sa približuje originálu. *Zložené systémy* pozostávajú z veľkého počtu prvkov, avšak aj medzi nimi jestvujú iba jednoduché vzťahy, ktorých zákonitosti možno tiež jednoznačne matematicky vyjadriť. Keďže je veľký počet prvkov, ide o zákonitosti štatistické, ktoré charakterizujú správanie systému. To však ešte neznamená, že znalosť a možnosť matematického opisu jednoduchých vzťahov medzi všetkými prvkami systému dovoľuje úplne, bezo zvyšku opísať javy, ktorých zákonitosti sú štatistického charakteru. *Zložité systémy* majú nielen veľké množstvo prvkov, ale pre-

dovšetkým sa vyznačujú bohatosťou a zložitosťou ich vzájomných vzťahov a tiež vzťahov medzi systémom a jeho prvkami na jednej strane a vonkajším prostredím na strane druhej. Ak počet stavov jednoduchých systémov je malý a počet stavov zložených systémov sa dá štatistickou metódou vyjadriť, zložité systémy majú mnohonásobne väčší počet stavov a v rovnakých podmienkach vytvárajú oveľa zložitejšie formy správania. Pre zložité systémy je charakteristické najmä to, že nejde o jednoduché hromadenie prvkov, ale o také spojenia, pri ktorých vznikajú nové vlastnosti, aké sa u jednotlivých prvkov nevyskytujú. Tu nevystačíme so štatistickým prístupom, preto názory, ktoré ponímajú kybernetické metódy iba ako štatistické sú na nesprávnej adrese. Zložité systémy si vyžadujú zvláštne metódy skúmania a tie práve rozpracováva kybernetika. Tieto metódy sa zameriavajú na dynamiku vzťahu systému a prostredia, na dynamiku rozvoja stratégií systémov vo vzťahu k prostrediu a samozrejme pritom nezabúdajú na dynamiku vzťahov medzi prvkami systému aj v závislosti od systému ako celku, aj od vonkajšieho prostredia.<sup>8</sup>

Je pravda, že Ashby najprv rozvíja svoju metódu na jednoduchých systémoch. No tento metodický postup nás nesmie zvädzať k tomu, aby sme do predmetu kybernetiky zahrňovali aj jednoduché, aj zložené systémy. Kybernetika si kladie za cieľ zvládnuť nie jednoduché alebo zložené systémy, ale systémy zložité, ako sú elektronické počítaacie stroje, nervové sústavy alebo spoločnosti.

Na druhej strane k metodologickým poznatkom, ktoré veda získava štúdiom jednoduchých a zložených systémov, sa nemožno správať macošsky. Je však dôležité nestrácať zo zreteľa, že môžu poslúžiť iba ako úvod k štúdiu zložitých dynamických systémov a nemožno ich v žiadnom prípade mechanicky aplikovať na štúdium zložitých systémov, tým menej konkrétnych, reálnych systémov. V opačnom prípade sa môže stať, že sa dožijeme nemilých sklamaní a budeme nezaslúžene hromziť na kybernetiku.

### III

Keď L. Bertalanffy hodnotil kybernetiku z pozície teórie otvoreného systému, pokladal obidve za najplodnejšie teórie, ktoré vedú k vedeckému vysvetleniu zákonov organickej celistvosti a cieľovosti.<sup>9</sup> Súčasne však svoju teóriu považoval za revolučnejšiu. Podľa nej cieľové správanie vyplýva z dynamického vzájomného pôsobenia prvkov, častí, komponentov systému a z toho vyvstávajú určité rovnovážne stavy, zatiaľ čo cieľové správanie podľa kybernetických schém vraj vopred determinuje dané zariadenie s pevnou, nemennou štruktúrou.

Za jeden z hlavných nedostatkov kybernetiky považoval L. Bertalanffy redukciu na uzavretý systém. Podľa neho klasická termodynamika skúmala len uzavreté systémy, t. j. také, ktoré vymieňajú energiu s vonkajším prostredím a majú

<sup>8</sup> Porovn. G. Klaus, c. d.

<sup>9</sup> Autor teórie otvoreného systému a všeobecnej teórie systémov L. Bertalanffy publikoval svoje myšlienky najmä v týchto prácach: *Biophysik des Fließgleichgewichts*, Braunschweig 1953; *Allgemeine Systemtheorie*, Deutsche Universitätszeitung, 1957, 5–6; *General Systems Theory* zv. I. (1956) — V. (1960); *Problems of Life*, c. d.

vratný charakter. Uzavreté termodynamické systémy prechádzajú do rovnovážneho stavu, ktorý charakterizuje minimum voľnej energie a maximum entropie. Napriek tomu, že pri štúdiu živého organizmu má použitie fyzikálno-chemických metód značný význam, že v organizme sú podsystemy, ktoré sú v rovnovážnom stave, sám organizmus nemôžeme chápať ako uzavretý systém v rovnovážnom stave, lebo taký nie je. Organizmus je otvoreným systémom, ktorý sa nachádza v stave nepretržitej výmeny látok a energie s vonkajším prostredím a smeruje k dosiahnutiu stability prispôsobovaním sa a spätným ovplyvňovaním prostredia na základe vlastnej vnútornej regulácie. Podľa Bartalanffyho uzavreté systémy sú iba zvláštnym prípadom otvorených, organizovaných systémov, nemajú špecifické znaky organizovaných celkov, ktoré analyzuje súčasná biológia, biofyzika, psychológia a i.

Moderná termodynamika však prekonala svoju obmedzenosť na uzavreté systémy a rozpracovala teóriu otvoreného systému, resp. nevratného procesu. Na základe toho I. Prigogine rozdeľuje systémy z hľadiska ich vzťahu k vonkajšiemu prostrediu na tri typy:<sup>10</sup>

1. *otvorený systém*, v ktorom prebieha výmena látok i energie s prostredím (napríklad živý organizmus),

2. *uzavretý systém*, v ktorom prebieha výmena látok i energie s prostredím výmena látok chýba (napríklad prechod tepla),<sup>11</sup>

3. *izolovaný systém*, ktorý nevymieňa s okolím ani látky, ani energiu (napríklad ideálny model klasickej termodynamiky).<sup>12</sup>

Základnými pojmami modernej termodynamiky zostávajú entropia ako miera nerovnovážnosti systému a termodynamická rovnováha, t. j. ustálený, časove nezávislý stav, keď všetky makroskopické procesy prestávajú a prebiehajú iba vratné zmeny na molekulárnej úrovni. V uzavretých systémoch priebeh fyzikálnych a chemických reakcií určuje množstvo reagujúcich látok. Po ich priebehu dochádza k termodynamickému rovnováhe, ktorú charakterizuje minimum voľnej energie a maximum entropie. V otvorených systémoch prebieha nepretržitý tok látok i energie a namiesto termodynamického rovnováhy dochádza k tzv. stacionárnemu stavu, t. j. k časove nezávislému typu rovnováhy, v ktorej sú všetky makroskopické veličiny konštantné za nepretržitého priebehu procesov vstupu a výstupu látok. Rozdiel medzi rovnováhou uzavretého a otvoreného systému spočíva v tom, že v uzavretom systéme sa celková premena látok a energie za časovú jednotku rovná nule, kým v otvorenom systéme je množstvo premenenej látky i energie za časovú jednotku konštantné. Entropia uzavretého systému je pri rovnováhe maximálna, otvoreného je stála, ale vždy odlišná od maxima, môže sa meniť buď na základe narastania entropie vnútri systému, alebo vstupom z prostredia. Jej zmena u otvoreného systému podľa Prigogina rovná sa zmene

<sup>10</sup> I. Prigogine, *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*, Liège 1947, v angl. prekl., New York 1955.

<sup>11</sup> Absolútne uzavretých systémov, ktoré nevymieňajú v tej či onej miere s prostredím látku, niet, pretože energia bez hmoty nejestvuje

<sup>12</sup> Treba však poznamenať, že absolútne izolovaný reálny systém nejestvuje, iba ak, tak v abstrakcii.

entropie pri nevratných procesoch vnútri systému. Keďže prvá je vždy kladná a druhá môže byť kladná, nulová i záporná, výsledná entropia otvoreného systému môže byť kladná, alebo záporná.

Pojem záporná, negatívna entropia, negentropia zaviedol E. Schrödinger<sup>13</sup> v súvislosti s pokusom spojiť fyzikálnu entropiu s biologickým pojmom organizácie a s problémom uzavretosti a otvorenosti systému. Schrödinger chápe entropiu ako mieru dezorganizácie, neusporiadanosti a negentropiu ako mieru organizácie, usporiadanosti a jeho matematická rovnica pre negentropiu má analogický tvar Shannonovej a Wienerovej rovnice informačnej entropie.

Zo správania organizmu vyplýva tento záver: organizmus produkuje vlastnú entropiu a proti znižovaniu usporiadanosti sa bráni prijímaním zložitých látok s veľkou voľnou energiou z vonkajšieho prostredia. Opierajúc sa o analýzu správania sa organizmov, ako aj o poznatky modernej termodynamiky nevratných procesov, L. Bertalanffy prišiel k tomuto matematickému zobrazeniu správania otvoreného systému:

$$\frac{dQ_i}{dt} = T_i + P_i$$

kde  $Q_i$  je určitá charakteristika  $i$ -tého prvku systému (napríklad koncentrácia energie),  $t$  je čas,  $T_i$  je funkcia, ktorá vyjadruje rýchlosť prenosu prvkov v určitom bode priestoru,  $P_i$  je funkcia, ktorá vyjadruje existenciu prvkov v určitom mieste vnútri systému, pričom  $i = 1, 2, 3, \dots, n \dots$

Podľa Bertalanffyho sa hlavné všeobecné vlastnosti otvoreného systému zhodujú so základnými črtami výmeny látok. Vo forme otvorených systémov možno analyzovať nielen také javy, ako je výmena látok, dráždivosť, rozmnožovanie, ale aj mnohé javy v sociológii, ekonómii, psychológii a v iných oblastiach.

Prigoginova klasifikácia systémov nezahŕňa všetky typy systému. Hneď sa vynára otázka: do akej triedy patria spoločenské systémy? Pre charakteristiku spoločenských systémov nevystačíme ani s látkovou výmenou, ani s premenou energie. Preto delenie systémov na uzavreté a otvorené sa ukazuje nedostatočné, najmä ak uvážime, že Bertalanffyho teória otvoreného systému neposkytuje ani vysvetlenie o existencii neživých otvorených systémov.

Zrejme tento nedostatok uvážil aj sám L. Bertalanffy a začiatkom päťdesiatych rokov zovšeobecnil poznatky teórie otvoreného systému i nové poznatky, získané rôznymi vednými disciplínami a nastolil potrebu rozpracovať všeobecnú teóriu systémov. Ak predtým dával kybernetiku a teóriu otvoreného systému do protikladu, nová klasifikácia je jasne pod vplyvom kybernetiky. Bertalanffy delí systémy takto:

1. *systémy ekvifinálne*, t. j. založené na dynamickom vzájomnom pôsobení prvkov,
2. *systémy, ktorých základom je spätná väzba*,
3. *systémy typu Ashbyho homeostatu*.

Systémy so spätnou väzbou sú známe z predchádzajúceho textu. Zostáva zodpovedať, čo sa rozumie pod systémami ekvifinálnymi a typu Ashbyho homeostatu.

<sup>13</sup> E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge 1944.

Pod dynamickým vzájomným pôsobením prvkov rozumie Bertalanffy toto: V uzavretých systémoch je konečný stav determinovaný počiatocnými podmienkami, v otvorených sa môže naproti tomu ten istý konečný stav dosiahnuť z rôznych počiatocných podmienok a rôznou cestou. Také správanie systému nazýva Bertalanffy ekvifinálnym a systém s takým správaním je ekvifinálnym systémom.

Ashbyho homeostat je technickým modelom ultrastabilného systému, z čoho jasne vyplýva, o aké systémy Bertalanffymu ide, ak hovorí o systémoch typu Ashbyho homeostatu.<sup>14</sup>

Ani v tejto klasifikácii však Bertalanffy neberie dostatočne do úvahy rozmanitosť typov systémov v neorganickej prírode a hlavne v oblasti spoločenskej. Kybernetika má určité prednosti v porovnaní so všeobecnou teóriou systémov v tom, že okrem technických systémov a systémov živej prírody skúma aj určité črty, vlastnosti, charakteristiky spoločenských systémov. V porovnaní s látkovou a energetickou výmenou je v spoločenských systémoch na prvom mieste výmena informácií, a preto ich môžeme do istej miery považovať za informačné systémy. Ak termodynamika vychádza z výmeny energie, teória systémov z výmeny látok a energie, potom kybernetika z prenosu, spracovania, uchovania a využitia informácie, teda výmeny informácie. Táto výmena je síce spätá s výmenou látok, aj energie (u konkrétnych, reálnych systémov), no kybernetika abstrahuje od látkovo-energetickej podstaty objektov a skúma informačné procesy na úrovni abstraktného systému. To jej umožňuje pojať do okruhu uplatnenia svojich metodologických postupov takú rozmanitosť typov systémov, ktorá presahuje v naznačenom zmysle možnosti všeobecnej teórie systémov.

Zásadne teda nemožno obviňovať kybernetiku z redukcie na uzavretý systém, lebo, ako sa ukazuje, delenie systémov na otvorené a uzavreté vychádza z látkovej a energetickej výmeny, kým v kybernetike ide o výmenu informácií.

#### IV

K tým, ktorí vychádzajú z delenia systémov na otvorené a uzavreté, patria aj A. D. Hall a R. E. Fagen. Autori jednej zo súčasných klasifikácií systémov, ktorých vznik podnietili výsledky kybernetiky, okrem otvoreného a uzavretého systému, rozlišujú tieto typy:<sup>15</sup>

*Adaptívne systémy* sú schopné vzájomne na seba pôsobiť s prostredím, pričom toto pôsobenie je optimálne. Tieto systémy majú konečný cieľ a ich správanie vedie k nemu bez ohľadu na nepriaznivé podmienky prostredia. Nazývajú sa tiež „homeostatickým mechanizmom“.

*Stabilné systémy* sú také, ktoré sa usilujú udržať v určitých hraniciach rovnováhy. Sú to systémy podobné termostatu.

*Systémy so spätnou väzbou* prirovnávajú autori k servomechanizmom.

*Umelé systémy* majú veľa z črt, vlastností systémov živej prírody, najmä také, ako celistvosť, adaptívnosť, ai., avšak tieto črty, vlastnosti sa u nich prejavujú

<sup>14</sup> Podrobnosti pozri v knihe W. R. Ashby, *Design for a Brain*, c. d., a tiež v knihe W. R. Ashby, *Kybernetika*, c. d.

<sup>15</sup> A. D. Hall, R. E. Fagen, *Definition of System, General Systems I*, 23–26.

v omnoho skromnejšej miere. Navyše ich adaptívnosť je inej podstaty ako u systémov živej prírody, je výtvorom človeka.

Hall a Fagen vychádzajú pri tejto klasifikácii v zásade zo správania systémov, pričom berú do úvahy pomerne širokú škálu črt, vlastností, charakteristík rozmanitých typov. Mám na mysli vzájomne pôsobenie s prostredím, sebazáchovu, spätnú väzbu atď. Jej prednosti spočívajú v tom, že dovoľuje posudzovať jeden a ten istý systém spod rôznych zorných uhlov, z hľadiska rôznych praktických i vedeckých potrieb. Celkove sa však nedá povedať, že by spĺňala požiadavky, ktoré sa na všeobecnú klasifikáciu systémov kladú. Jej základným nedostatkom je to, že nedovoľuje vymedziť osobitné črty určitého systému, jeho odlišnosť od ostatných. Napríklad nedáva odpoveď na otázku v čom spočíva špecifikum živého organizmu ako systému, pretože je aj otvoreným, aj adaptívnym, aj stabilným, aj systémom so spätnou väzbu, aj prirodzeným. Ďalší jej nedostatok spočíva v tom, že napriek značnej šírke, ktorú zachycuje, nedáva priestor pre spoločenské systémy.

V tomto smere je podstatne ďalej Bouldingova klasifikácia, v ktorej je síce tiež zreteľný vplyv kybernetiky, avšak nie natoľko, aby si nezachovala aj vlastnú tvár.<sup>16</sup> Vychádza z tézy, že v protiklade k tendencii, reprezentovanej druhým zákonom termodynamiky, jestvuje tendencia rastu organizácie, usporiadanosti, ktorá vrcholí u takých zložitých systémov, ako je človek a ľudská spoločnosť. Na základe toho Boulding rozlišuje systémy podľa stupňa, úrovne ich vnútornej organizácie, usporiadanosti.

Jednoduchú úroveň organizácie nazýva *statickou štruktúrou*. Do tejto skupiny zaraďuje atómy, molekuly a množstvo iných systémov, ktoré sa nachádzajú v statickom stave.

Nasleduje úroveň *hodinového mechanizmu*. Sem patria systémy, ktoré opakujú zvláštne pohyby na základe jednoduchých zákonov vzťahov ich častí. To je svet mechaniky: v malom sa riadi Newtonovými zákonmi, vo veľkom Einsteinovými.

Ďalšou úrovňou je *termostat*. Patria sem všetky autoregulačné mechanizmy, modely zvierat, homeostat atď. Termostatu je podobný aj živý organizmus, lebo zachováva stabilitu svojich častí a stavov, ako teplotu, chemické zloženie krvi ai.

Nasledujúcu úroveň organizácie reprezentuje *bunka*. Na rozdiel od neživého mechanizmu je otvoreným systémom, ktorý si zachováva svoju štruktúru, aj chemické zloženie. Bunka je systém schopný sebazáchovy, metabolizmu, systém ktorý sám seba, svoje časti obnovuje a iné vylučuje.

Vyššou úrovňou než bunka je *botanická úroveň*. Rastliny predstavujú spoločenstvo buniek so zložitou štruktúrou, s extenzívnou deľbou práce. Je im vlastná vyššia úroveň informácií v porovnaní s predchádzajúcimi úrovňami, „poznajú“ dobu rozpuku listov, kvetov, tvorby plodov atď.

O stupeň vyššie je úroveň *živočích*. Tu nachádzame nielen spoločenstvo buniek s deľbou práce, ale aj s nevedomou a pohyblivou deľbou spánku a bdenia; tieto systémy sa vyznačujú neporovnateľne vyššou tvorbou i absorpciou informácií, objavuje sa u nich schopnosť učiť sa.

<sup>16</sup> K. Boulding, *The Image*, Am Arbor, 1956.

Za tým nasleduje úroveň, ktorú Boulding nazval *podstata človeka*. Odlišnosť človeka od živočíchov nespočíva iba v schopnosti prijímať veľké množstvo informácií, ale aj v umení organizovať informácie do veľkých a zložitých tvarov. Človeka charakterizuje schopnosť sebapoznania.

Zásluhou svojich schopností k abstraktnej komunikácii, jazyku, schopnosti prenikať do tvorivej fantázie iných ľudí, je človek schopný vytvoriť organizáciu, ktorá sa čo do veľkosti i zložitosti nedá porovnať so spoločenstvom hmyzu alebo zvierat. To je *spoločenská organizácia*, ako ďalšia úroveň. Podobne ako organizmu aj jej je vlastná delba práce, špecializácia úloh a hierarchická štruktúra. Podobne ako v organizme aj v nej jestvuje tzv. centrálny agent, ktorý riadi jej celkové správanie. Podľa Bouldinga je ním systém hodnôt.

Črty, vlastnosti úrovne spoločenskej organizácie Boulding ďalej rozvíja v druhej svojej práci,<sup>17</sup> kde ju charakterizuje ako organizáciu samostatnú, odlišnú od človeka; časťou tohto systému nie je osobnosť všeobecne, ale jej úloha, funkcia v organizácii alebo situácii, a preto je lákavé poňmať spoločenský systém ako ustanovenie úloh navzájom spojených komunikačnými kanálmi.

Pri hlbšej analýze Bouldingovej klasifikácie systémov by bolo potrebné hodnotiť charakteristiku každej jednotlivéj úrovne organizácie osobitne, čo by pravdepodobne vyneslo rad kritických pripomienok, najmä k otázke poňatia spoločenskej organizácie. Tu však ide o hodnotenie klasifikácie ako celku, o hodnotenie či alebo nakoľko ju môžeme považovať za vyčerpávajúcu, za adekvátnu danej etape vedy a našich poznatkov o skutočnosti. Bouldingova klasifikácia vyvoláva značný záujem pre neobyčajnú fundovanosť, široký záber črt, vlastností, charakteristík objektívne existujúcich systémov, či už je to vzájomné pôsobenie častí, pôsobenie systému a prostredia, prejavujúce sa v intenzite a formách prenosu informácie, schopnosť učiť sa, schopnosť poznania i sebapoznania atď. Nezabúda na kontinuitu, spätosť rôznych úrovní a genetický princíp, princíp vývoja od jednoduchého k zložitému od nižšieho k vyššiemu je v nej obsiahnutý v tom, že každá úroveň organizácie obsahuje charakteristiky všetkých pod ňou ležiacich úrovní.

Inými slovami Bouldingovu klasifikáciu nemožno jednoducho odmietnuť len preto, lebo nevychádza zo základných foriem pohybu hmoty.

## V

Tým sa dostávame k ďalšiemu problému, a to, aké stanovisko zaujať voči novým pokusom o klasifikáciu systémov v porovnaní s Engelsovou klasifikáciou základných foriem pohybu hmoty, známej z *Dialektiky prírody*. Totiž podľa názoru niektorých autorov Engels po prvý raz vyslovil predstavu, že svet pozostáva z rozličných typov celistvých systémov, z ktorých každý je nositeľom určitej formy pohybu hmoty. Inými slovami, dá sa hovoriť o existencii istého klasifikačného princípu, ktorý vychádza zo základných foriem pohybu hmoty, teda z mechanického, fyzikálneho, chemického, geologického, biologického a spoločenského pohybu, a ktorý sa stal v dialektickom materializme, v období stá-

<sup>17</sup> *General Systems Theory — the Skeleton of Science, General Systems I*, 16.

linského pozitivizmu a dogmatizmu, podobne ako mnoho iných vecí, nezmeniteľným, neotrasiteľným. Podľa donedávna zaužívaných praktík by sme museli všetky uvedené pokusy zamietnuť pre jednoduchú príčinu: základom Bertalanffyho klasifikácie je vzájomné pôsobenie systému a prostredia, Hallovej a Fagenovej v zásade správanie sa (funkcia) systémov a Bouldingovej úroveň organizácie, usporiadosti, štruktúra systému, čiže niečo odlišné od klasifikačného princípu Engelsovho.

Pozrime sa však na vec trochu ináč. Niektoré nedostatky uvedených klasifikácií sú zjavné. Pokúsme sa ozrejmiť aj nedostatky Engelsovej klasifikácie. Predovšetkým vyplynula z poznatkov vtedajšej vedy, ktorá nebola ani natoľko diferencovaná, ani nedosahovala takých teoretických hĺbok v prenikaní do podstaty skutočnosti ako súčasná, moderná veda, čo je celkom pochopiteľné. Už z toho prostého dôvodu by nebolo dosť dobre možné obsiahnuť v klasifikácii, ktorá by vychádzala z Engelsovho klasifikačného princípu to množstvo najrozmanitejších systémov, ich črt, vlastností, charakteristík, aké súčasná veda, nové vedecké postupy objavujú. Aj vtedy, keby sme tento princíp vzali iba za východiskový a keby na jeho základe vznikli základné typy systémov, ktoré by zodpovedali základným formám pohybu hmoty a ďalšie typy systémov by vznikli odvodením od nich, aj vtedy by sme mali ťažkosti so zaradením povedzme takých systémov, ako sú systémy umelé, hybridné (napr. človek—stroj) a i.

Je teda iste namieste otázka, či tento Engelsov klasifikačný princíp je iba zastaralý a treba ho obnoviť, tvorivo rozvinúť natoľko, aby zodpovedal dnešnému štádiu vedy, alebo je nevyhovujúci a treba hľadať nový. Ak berieme do úvahy, že v modernej vede čoraz viac dochádza k uplatneniu štrukturálneho a funkcionálneho prístupu ku skúmaniu skutočnosti, tento fakt sa prihovára za hľadanie nových klasifikačných princípov, nových klasifikácií systémov, odlišných od Engelsovej. Znamenalo by to azda odmietanie materialistickej dialektiky? Domnievam sa, že takýto názor na materialistickú dialektiku by dnes už mal byť prekonaný. Zároveň sa totiž domnievam, že sa naozaj neprehráme proti žiadnym vedeckým normám, ak pripustíme možnosť existencie viacerých klasifikácií, ktorých klasifikačné princípy sa budú líšiť. Preto by povedzme základom jednej z nich nemohla byť štruktúra a jej rôzne úrovne.

Idie len o to, aby klasifikácia systémov vychádzala z poznatkov súčasnej vedy, aby obsiahla čo najväčšie možné množstvo najrozmanitejších systémov a aby pri hľadaní klasifikačného princípu prihliadala na všetky ich črty, vlastnosti, charakteristiky. A keďže v zásade vieme, ako by mala taká klasifikácia vyzeráť, keď sa ukazuje, že klasifikácia vychádzajúca zo základných foriem pohybu hmoty nestačí vyčerpáť všetky črty, vlastnosti, charakteristiky rozmanitých systémov, je na čase, aby sme sa zbavili predsudkov a hľadali adekvátne vyjadrenie toho, čo sa v dnešnej vede odohráva.

Táto stať si nekladie za cieľ zodpovedať nastolené otázky, chce byť iba skromnými poznámkami k problematike systémov a ich klasifikácie, skôr usiluje o nastolenie problému ako o jeho vyriešenie. Jednak preto, lebo predsa len je určité obmedzenie rozsahu a tiež preto, lebo si to vyžaduje ešte hlbšiu analýzu. Domnievam sa však, že aj nastolenie problému v tomto prípade by mohlo byť osožné

najmä keby viedlo k sústreďeniu síl na jeho riešenie. Podľa mojej myšlienky má totiž všestrannejší význam, lebo sa dotýka klasifikácie vied a postavenia novovznikajúcich vedných disciplín, delenia vied na prírodné, spoločenské a technické, delenia na základný a aplikovaný výskum a azda aj ďalších otázok, ktoré by filozofi nemali nechať bez povšimnutia.

## К ПРОБЛЕМАТИКЕ СИСТЕМ И ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Юрай Б о б е р

Возникновение и развитие кибернетики повлияло на новые попытки классификации систем. Приступая к их анализу, автор сперва определяет свое отношение к некоторым толкованиям системы. С точки зрения методологии он считает более правильным говорить о введении системы в объект, о систематизации объекта путем определения его частей, элементов и их характеристик, т. е. определением свойств, взаимоотношений и временно-пространственных данных, что позволяет систематизировать только определенные свойства объекта и одновременно однозначно отличать систему и целое. Автор уделяет особое внимание общим вопросам понимания системы в кибернетике и классификации т. н. кибернетических систем, из чего можно заключать о том, до какой степени новые попытки классификации находятся под влиянием кибернетики. Анализируя понимание Берталианфи открытой и закрытой системы и критику кибернетики с точки зрения теории открытой системы и общей теории систем, он отмечает определенные достоинства кибернетики, особенно что касается простора, открывающегося для классификации общественных систем. После краткого обзора классификаций Галля, Фэгена и Бульдинга он переходит к основному вопросу: какую точку зрения следует занимать по отношению к новым классификациям систем вообще, сравнивая их с классификацией основных форм движения материи у Энгельса? Современная наука направляется на искание новых принципов классификации, отличающихся от принципов Энгельса; это однако, не является отказом от материалистической диалектики.

## SYSTEMS AND THEIR CLASSIFICATION

Juraj B o b e r

The origin and development of cybernetics have influenced new attempts at classifying systems. Before analysing them, the author expresses his attitude towards certain interpretations of a system. From a methodological point of view, he considers as more exact to speak about the introducing of a system on the object, about "systeming" an object and this by defining its parts, elements and their characteristics, i. e., properties, mutual relationships and time-spatial data, thus leaving the possibility of "systeming" only certain properties of the object, thereby differentiating the system from the whole. He takes particular notice of the general aspects of interpreting the system in cybernetics and of classifying the so-called cybernetics system, which allows him to judge the extent to which new attempts at classification are affected by cybernetics. He analyses Bartalanffy's interpretation of the open and closed system and the criticism of cybernetics from a position of an open system and theory and a general system theory, pointing to certain priorities in cybernetics, especially as far as space is concerned which this discipline opens for the classification of social systems. Through a brief outline of Hall's and Fagen's as well as Boulding's classifications, he arrives at the basic question relating to be taken towards the new system classifications in general as compared to Engel's of the form of motion in matter. The actual situation in science speaks rather in favour of a search for new classification principles, different from those proposed by Engel, though this does not imply refusal of materialistic dialectics.