

O NĚKTERÝCH ZÁKLADNÍCH POJMECH KYBERNETIKY

LADISLAV TONDL

1. KYBERNETIKA JAKO PLOD VĚDECKÉ SYNTÉZY

Vývoj vědy za poslední 2—3 desetiletí bývá přirovnáván k rychle rostoucímu stromu, který se stále více větví, štěpí, rozrůstá a košatí. Vyrůstají na něm stále nové větve, které se pak dále rozrůstají a rozvětvují. Vznikají nové, specializované vědní obory, které se vydělují z dosavadních oborů. Tento stále pokračující proces diferenciacie vědy je však pouze jednou stránkou vývoje moderní vědy. Současně s tím se zde projevuje jiná stránka, která představuje jaksi *opačnou* tendenci: vzájemné pronikání, srůstání, syntetizování různých oborů, které byly dosud pěstovány odděleně. Tuto *opačnou tendenci* (ve skutečnosti jde ovšem o dialektickou jednotu polárních protikladů) můžeme nazvat procesem integrace soudobé vědy.

Nové obory vědy proto vznikají zejména na styčných plochách dvou nebo více oborů, vznikají nové hybridní vědy, jak to výstižně vyjádřil A. N. Nėsmejanov [1]. Přitom nové obory vznikaly a vznikají nejen na styčných plochách věd, které podle dosavadních představ měly k sobě blízko, jako je například fyzika a chemie, chemie a biologie, sociologie a psychologie atd., atd. V tomto ohledu se rodily nové obory jako plod vědecké integrace již od konce minulého století. Vznikají také další obory jako plod vědecké syntézy dvou nebo více oborů, které podle tradičních představ neměly takřka nic společného a byly od sebe nesmírně vzdáleny. Tak vznikla například matematická lingvistika jako syntéza aspektů jazykovědy a některých partií matematiky a matematické logiky. Důležitý je zde nejen vznik nového oboru, ale také to, že tato skutečnost přináší významný prospěch výchozím, *mateřským* oborům. Vznik matematické lingvistiky není jen nesmírným obohacením jazykovědy, ale může přinášet některé podněty i matematice samé, ať již jde o uplatnění logické sémantiky, syntaxe či dalších původně jazykovědných hledisek. Totéž platí také o vzájemném vztahu a vzájemném pronikání matematiky, biologie apod.

Nelze pochybovat o tom, že právě v oblastech styků a pronikání různých věd jsou místa perspektivního růstu moderní vědy. Je nutno plně souhlasit s Norbertem Wienerem, který poznamenal, že „nejplodnějšími obory pro rozvoj věd

jsou ty, které byly zanedbávány jako země nikoho mezi různými, pevně vymezenými vědními oblastmi“ ([2], str. 7).

Již fakt, že integrace ve vývoji vědy se neprojevuje pouze jako srůstání dvou nebo více *sousedních* oborů, tj. oborů, které podle dosavadních představ měly k sobě blízko, jako setření dosavadních ostrých hranic mezi těmito obory, ale také jako vznik *vědních hybridů* z těch oborů, jejichž povaha i předměty byly považovány za naprosto odlišné a od sebe vzdálené, nás nutí k zamyšlení nad podstatou integrace samé. Integrace ve vývoji vědy — a právě tato okolnost má podstatný význam pro moderní vědu — se zdaleka netýká jen empirické blízkosti či příbuznosti a obsahové podobnosti. V soudobé vědě se integrace v mnohem větší míře týká určité abstraktní příbuznosti či formální podobnosti. (Proto také známé pokusy o syntézu vědy, o sjednocení vědy, které podnikala skupina logických pozitivistů v třicátých a čtyřicátých letech, nelze pokládat za úspěšné. Tyto pokusy vycházely z jednostranného empirismu a z předpokladu empirické blízkosti a jednotného, empiristického či fyzikalistického jazyka. Sjednocujícím prostředkem zde byl empiristický, původně tzv. fyzikalistický jazyk. Je jasné, že takové pojetí vědecké syntézy zabsolutňovalo jen jedinou a pro moderní vědu nadto nepodstatnou stránku vědecké syntézy.)

Je to právě abstraktní, formální aspekt integrace ve vývoji vědeckého poznání, který má rozhodující význam pro pochopení vzniku a povahy kybernetiky, pro pochopení specifičnosti jejích metod, jakož i toho, co můžeme nazvat „kybernetickým přístupem“. Kybernetickým přístupem rozumíme použití kybernetických metod v těch oblastech, o něž se opírá vznik tohoto nového oboru, a případně v oblastech dalších. Proto lze mluvit o *kybernetickém přístupu* a jeho použití v technice, chemii, biologii, lékařství, jazykovědě, ekonomii a v budoucnosti nepochybně také v dalších přírodních, technických a společenských vědách. Zásadně je však třeba upozornit, že uplatnění některých metod a hledisek nového oboru v dosavadních oblastech neznamena popření specifičnosti těchto oborů, neznamena setření jejich kvalitativních rozdílů.

Kybernetika, jak jsme již zdůraznili, je plodem integrace vysoce diferencované vědy, při čemž jde o integraci, která vychází z abstraktní příbuznosti a formální podobnosti. Obvykle se uvádí poměrně rozsáhlý přehled vědních oborů, z nichž vychází a o něž se opírá. Jde zejména o řadu oblastí matematiky, zvláště teorii pravděpodobnosti, matematickou statistiku, teorii algoritmů, matematickou logiku, o některé partie fyziky, např. termodynamiku, dále o biologii, fyziologii, psychiatrii, genetiku, o řadu teoretických i aplikovaných úseků matematických i technických oborů, jako je teorie automatů, teorie reléových sítí, elektronika, telekomunikace atd. atd. Tento výčet není ani úplný, ani vyčerpávající. Nelze na příklad pominout vliv některých jazykovědních hledisek na precisaci pojmů *sdělování* či *kommunikace* apod., nelze pominout vliv sématiky či semiotiky jako obecné teorie znaku atd.

Z faktu, že kybernetika je plodem vědecké syntézy mnoha různorodých oborů, nelze v žádném případě vyvozovat,

1. že kybernetika je *vědou věd*, ať již v zastaralém naturfilosofickém smyslu

či v tom smyslu, že předmět kybernetiky je sumou předmětů jednotlivých věd;
2. že kybernetika stírá kvalitativní rozdíly mezi těmi oblastmi, které zkoumají uvedené vědní obory.

Radu nedorozumění vyvolávalo nerespektování uvedených výhrad. Takto vznikaly naivní a většinou neprosto neopodstatněné výtky mechanicismu, které byly formulovány na adresu kybernetiky. Tvrdilo se (a primát v tom měli obvykle ti publicisté a filosofové, kteří toho o kybernetice věděli nejméně, což je ostatně pochopitelné, neboť nejhlasnějšími kritiky jsou obvykle ti, kteří se v meritorní problematice nejméně vyznaží), že kybernetika není nic jiného než svérázná, zmatematizovaná forma soudobého mechanicismu v biologii, fyziologii, psychologii apod. I když, zejména u některých západních odborníků, se vyskytují jisté mechanistické tendence, lze říci, že ve své podstatě kybernetika nepředstavuje nic, co by nutně vedlo k mechanistickým redukcím.

Méně často se lze setkávat s poněkud odlišnými výtkami, že kybernetika představuje jednostranné vnášení biologických či fyziologických explikačních principů do fyzikálně-technického světa. Přesto však jistou možnost k podobným výhradám poskytovalo původní stanovisko Norberta Wienera, obsažené ve společné studii s A. Rosenbluethem a J. Bigelowem z r. 1943 [3]. I zde však platí, že kybernetika rozhodně nepředstavuje teleologickou explikaci řízených soustav, i když vysvětlení chování těchto soustav v termínech účelnosti, cílového chování apod. může mít i ve vztahu k soustavám technické povahy jistý pozitivní smysl.

Kybernetika má vztah k nesmírně široké sféře rozmanitých oblastí, při čemž se týká jen některých stránek těchto oblastí. Přitom tyto stránky samy o sobě jsou abstrakcemi, tj. neexistují ve své izolovanosti od dalších stránek těchto oblastí.

Z té významné skutečnosti, že kybernetika je plodem vědecké syntézy rozmanitých oborů, vyplývá i nezbytnost spolupráce odborníků různé specializace při jejím rozvíjení. Vlastně neexistují a sotva kdy budou existovat „kybernetikové“ v tom smyslu vědecké profese, jako existují chemikové, psychologové, lékaři, fyzikové apod. Předpokládáme, že ani v budoucnosti práce v kybernetice nevytvoří nějakou samostatnou vědeckou profesi v tradičním slova smyslu.

Dokladem toho jsou jak okolnosti vzniku tohoto nového oboru, tak také dosud známé skutečnosti o jejím vývoji. Proslulou se již stala spolupráce matematika N. Wienera s fyziologem A. Rosenbluethem, jakož i besedy i diskuse, o kterých se zmiňuje Wiener v úvodu své první knižní práce o kybernetice. Zajímavé a početné doklady spolupráce různě erudovaných odborníků, které spojuje společný zájem o kybernetickou problematiku, jsou známé v Sovětském svazu. Projevily se například v dosud vydaných svazcích *Problémů kybernetiky*, které vycházejí pod redakcí A. A. Ljapunova, v nichž jsou studie matematiků, techniků, biologů, jazykovědců a jiných odborníků [4].

Velmi plodné a užitečné jsou také společné semináře různě specializovaných odborníků nebo výzkumné práce realizované komplexními brigádami různých specialistů. Jestliže práce v soudobé vědě se již dávno stala záležitostí spíše výzkumných kolektivů než jednotlivých osobností, pak se stále více prosazuje

to, že takové kolektivy přestávají být homogenními skupinami a přetvářejí se v komplexní brigády.

Tato nová situace ve vědě, jakož i potřeba širokého uplatnění kybernetiky v rozmanitých oblastech, vytváří požadavek vzájemného porozumění, vzájemné výměny vědeckých informací. Je nutné, aby specialisté různých oborů našli *společný jazyk* jako nezbytný předpoklad vzájemné výměny vědeckých informací. Je zajímavé, že kybernetika si vynucuje rozvinutí dokonale fungující mezivědní komunikace a přitom sama svými technickými aplikacemi poskytuje nové prostředky pro dosažení vyšší úrovně mezivědní komunikace.

2. PŘEDMĚT KYBERNETIKY

Mnoho neodborníků dosud považuje kybernetiku za vědu o samočinných matematických strojích, které jsou s to modelovat některé logické a matematické operace. Taková představa je nesprávná. Kybernetika je takto ztotožněna s kybernetickou technikou, respektive, přesněji řečeno, s nejvýznamnější oblastí kybernetické techniky.

Tato poznámka nikterak neznamena podcenění významu kybernetické techniky. Naopak, kybernetická technika byla mnohem účinnějším podnětem pro rozvoj a konstituování kybernetické teorie než řada ryze teoretických podnětů. Byl to především rozvoj telekomunikační techniky a hlavně pak prudký rozvoj teorie a praxe samočinných matematických strojů, který si přímo vynutil potřebu nového oboru. Právě to velmi přesvědčivě dokazuje známou marxistickou-leninskou poučku o úloze praxe v poznání, o praxi jako východisku a nejúčinnějším stimulu rozvoje teorie.

Jestliže kybernetika bývá charakterizována jako určitý plod vědecké syntézy, jako produkt integrace rozmanitých vědních oborů, je třeba poznamenat, že do jisté míry tato charakteristika vystihuje spíše postulát než již realizovaný stav. Předně taková integrace v současné době, není ani úplná ani jednotná, takže vše to, co je zahrnováno do kybernetiky, netvoří homogenní soubor poznatků, ale spíše konglomerát teorií a koncepcí, které jsou více či méně volněji spjaty. Dále, pokud jde o vyjadřování již realizovaných snah o určitý jednotný kybernetický přístup k soustavám různorodé povahy, není tu jednotná nomenklatura. Řada autorů se již pokusila o vypracování pojmové soustavy kybernetiky. Společným rysem všech těchto pokusů je ryze abstraktní pojetí pojmové soustavy, které zcela odhlíží od substrátu různých oblastí materiálního světa, k nimž lze přistupovat z hlediska kybernetiky. To také znamená, že problémy vztahů takto vypracované pojmové soustavy kybernetiky a pojmových soustav různých jiných oborů (jakými jsou například technické vědy, biologie, fyziologie, jazykověda, ekonomie atd.) je nutno řešit zvláště.

Ve většině syntetických a přehledných prací se obvykle setkáváme s Wienerovou charakteristikou předmětu kybernetiky, případně s různými modifikacemi této charakteristiky. Norbert Wiener charakterizuje kybernetiku jako vědu o řízení (control) a sdělování (communication) v živých organismech a ve strojích. I tato charakteristika může vyvolat některá nedorozumění, akcentujeme-li jed-

nostranně termíny *živé organismy* a *stroje*. Z toho se pak usuzuje, že kybernetika je jakýmsi hybridem techniky a biologie, novým oborem, který prostě syntetizuje sféru strojů a sféru živých organismů.

Proti takovým představám je nutno zdůraznit, že ve Wienerově charakteristice je důraz na termínech *řízení* a *sdělování*, nikoliv na termínech *stroje* a *živé organismy*, které je možno buď vůbec vynechat nebo doplnit dalšími termíny, které uvádějí další oblasti. Proto také bývá kybernetika definována jako věda o *řízených* (či lépe *řídících se*) *soustavách*. (Aktivum či pasivum zde nemusí být rozhodující, neboť závisí spíše na *lidském* přístupu k těmto soustavám. Takovou soustavou je totiž jak soustava člověk — stroj, tak také automatické zařízení nejrůznějšího stupně nebo živý organismus. Ve smyslu tohoto *lidského* přístupu se také někdy rozlišuje *řízení zevnitř* a *řízení zevně*, což však může mást, neboť to může navozovat jednostranně antropomorfní pojetí pojmu *řízení*.)

Definujeme-li kybernetiku jako vědu o řízených soustavách, jako vědu o řízení a sdělování, pak k pojmům *řízení* a *sdělování* můžeme v ilustrativním smyslu dodat: v *technických zařízeních*, v *živých organismech* a ve *společenských soustavách*. Z toho jistě neplyne, že uplatnění kybernetických principů je ve všech uvedených oblastech stejně snadné. To platí zvláště o poslední z uvedených oblastí, v níž uplatnění kybernetických principů bude patrně ještě dlouho narážet na vážné obtíže. Z těchto obtíží ovšem nikterak neplyne, jak tvrdí někteří autoři, patrně z obavy před obviňováním, že by šířili *sociální kybernetiku*, že oblast společenských jevů je pro kybernetické principy a metody zásadně nepřístupná. Vždyť například takový společenský jev jako je dialog dvou lidí, je typicky kybernetickou, tj. řízenou soustavou, kterou je možno analyzovat pomocí toho arsenálu metod a hledisek, které poskytuje kybernetika a její nejdůležitější teoretické složky, jako teorie informace, teorie her apod. Stejně tak je možno pomocí tohoto arsenálu analyzovat soustavu podnikové organizace a podnikového hospodářského plánování, i když tato soustava společenské povahy je značně složitější než dialog dvou lidí.

Přehlédneme-li některé běžné charakteristiky kybernetiky, zjistíme, že se obvykle jen málo odchylují od původního vymezení Wienerova. A. N. Kolmosorov například zdůrazňuje, že „kybernetika se zabývá studiem systémů libovolné povahy, které jsou schopny přijímat, zachovávat a zpracovávat informaci a využívat ji k řízení a regulování“ ([5], str. 8).

S. L. Sobolev a A. A. Ljapunov uvádějí tři nejrozšířenější definice předmětu kybernetiky ([6], str. 237):

1. Kybernetika je věda, která sleduje matematickými metodami řídicí systémy a procesy řízení.

2. Kybernetika je věda o procesech přenosu, zpracování a zachování informace.

3. Kybernetika je věda, která studuje způsoby tvorby, stavby a transformace algoritmů, popisujících procesy řízení, které probíhají ve skutečnosti.

Tyto tři definice předmětu kybernetiky, které se na první pohled ve svých slovních formulacích značně liší, vyjadřují ve skutečnosti jen různé stránky téže

problematiky. Proto také nemá smysl zabývat se nepodstatnými rozdíly ve formulacích těch či oněch charakteristik předmětu kybernetiky.

Někteří autoři ještě navíc zdůrazňují, že kybernetika má co dělat s abstraktními řízenými systémy ([7], str. 12). Podtrhují tím jednak tu okolnost, že kybernetiku nelze vázat bezprostředně jen na systémy určitého typu (například jen technická zařízení a organismy) a současně také to, že kybernetika je disciplína formální, tj. logicko-matematické povahy.

Vedle těchto charakteristik předmětu kybernetiky lze se setkat s názory, které akcentují hlediska odlišná od původních verzí, které tak či onak navazují na Wienerovo vymezení předmětu kybernetiky. Pozornost si zasluhují zvláště názory, které vyslovili L. Couffignal a A. A. Markov.

Louis Couffignal (viz například [8]) se pokouší dokazovat, že kybernetika: 1. není věda, alespoň v tom tradičním smyslu, jak chápeme tzv. teoretické vědy; 2. rovněž není totožná s technikou nebo nějakou součástí techniky; 3. není rovněž aplikovanou vědou. Podle jeho názorů je kybernetika složkou té sféry lidské činnosti, kterou charakterisujeme jako *umění*, přesněji řečeno: je to umění, jak zvyšovat efektivnost činnosti. Je tedy spíše určitým způsobem myšlení, určitým způsobem přístupu k řešení úloh různorodé povahy.

Je zajímavé, že v SSSR poněkud podobné stanovisko zastává I. B. Novik, který charakterisuje kybernetiku jako nauku o optimalisaci činnosti, při čemž jde o takovou činnost, která ještě není plně prozkoumána, jejíž mechanismy nejsou ještě zcela jasné.

Jiný přístup k vymezení kybernetiky představují náměty, které nedávno vyslovil A. A. Markov [9]. Podle jeho názorů je kybernetika obecnou teorií kauzálních sítí. Pojem kauzální závislosti v jeho pojetí zahrnuje ovšem jak závislosti deterministického, tak i stochastického typu. Markov rozlišuje jednotlivé elementy kauzálních sítí (*uzly*), při čemž fungování kauzální sítě je dále možno rozkládat na *takty*. Kybernetický přístup předpokládá abstrakci od kvalitativní určitosti uzlů a soustředění pozornosti na formální vlastnosti fungování, studované s přesností až k isomorfismu.

I když tedy oba uvedené přístupy, zejména z hlediska použité nomenklatury, se zdají zásadně odlišné od toho přístupu, který navazuje na Wienerovu charakteristiku stavící do popředí pojem *řízení* (a *sdělování*), je zřejmé, že faktická odlišnost není tak podstatná. Zvyšovat efektivnost činnosti předpokládá hledat a zjišťovat optimální rozhodovací proceduru. Také Markovův pojem *kauzální síť* je možno považovat za těsně spjatý s pojmem soustava řízení. Navíc tento přístup poukazuje na nezbytnost interpretovat pojem kauzálního vztahu v souvislosti nejen s látkovou a energetickou výměnou, ale i s tzv. informační výměnou.

Lze tedy základní nomenklaturu kybernetiky, ať již její slovní charakteristika akcentuje ty či ony aspekty, opřít o termíny, uvedené v původním vymezení Wienerově. Jisté nedorozumění může také vzniknout tím, že jde o dva termíny (*control*, *communication*), které z intuitivního hlediska jsou jakoby odlišné. Ve skutečnosti ovšem kybernetický přístup k tomu, co označujeme *řízením*, a k tomu, co označujeme jako *sdělování*, je jeden a týž.

Termíny *řízení a přenos a zpracování informace* (čili souhrnně *sdělování* či *komunikace*) je nutno chápat nikoliv jako označení různých věcí, ale jen jako různé vyjádření téže látky. Vlastní jádro kybernetiky spočívá v matematickém či přesněji formálním zkoumání procesů řízení. Proces řízení lze formálně zkoumat tak, že zjišťujeme, jak třeba řešit či rozhodnout se při řešení těch operací, jejichž souhrn je nezbytný k tomu, aby bylo dosaženo cíle řízení, aby byla řešena určitá úloha apod. Z toho plyne, jak konstatuje A. A. Ljapunov, že „základní metodou kybernetiky je metoda algoritmického popisu fungování řízených soustav“ ([10], str. 8). Algoritmem pak rozumíme předpis k provedení určité soustavy operací v určitém pořádku, nezbytných k dosažení jistých cílů, k řešení jistých úloh daného typu. Přitom, předpokládáme, že proces, který je stanoven v tomto předpise, je potenciaálně uskutečnitelný, tj. uskutečnitelný konečným počtem elementárních operací. To znamená, že tento proces je v zásadě uskutečnitelný v kybernetických strojích.

Formální rozbor procesů řízení předpokládá rozhodovací proceduru, která umožňuje popsat chování soustavy, rozložené na jednotlivé elementy a jednotlivé elementární akty (čili, v terminologii A. A. Markova, na jednotlivé *uzly a takty*).

Máme-li shrnout některé nejvýznamnější předpoklady takového přístupu k problematice řízení, můžeme poukázat na toto:

1. Předpokladem řízení je vždy jistá neurčitost soustavy, možnost přechodu od pravděpodobnějších stavů k méně pravděpodobným. (Inak řečeno, řízení je přístupná ta soustava, v níž jsou stavy, v nichž lze předpokládat více než jedno možné pokračování těchto stavů. V takových stavech je zapotřebí rozhodnout se pro další pokračování nebo zastavení pohybu soustavy. Algoritmus tedy není nic jiného než formální podoba takové rozhodovací procedury. Je například zapotřebí rozhodnout se pro další směr cesty na křižovatce, pro další tah v partii určité hry, pro další písmeno z abecedy při psaní nějaké zprávy apod. Proto se také často používá známých schemat tzv. *stromku*, ať již dichotomického stromku, v němž se předpokládá nejjednodušší možnost pouze dvou možných pokračování (danou například zjednodušením elementární operace rozhodovací procedury na buď *ano* nebo *ne*).

2. Pojem řízení je interpretován také ve smyslu odstranění jisté *neurčitosti* či *chaosu* v dané soustavě vzhledem k určité úloze, určitému cíli, určitému uživateli soustavy. V rámci této problematiky také vyvstala souvislost pojmu *informace* s pojmem *entropie*.

3. To rovněž znamená, že proces řízení může být výhodně popisován jazykem teorie pravděpodobnosti v její moderní podobě.

Je možno ještě dodat, že týž proces může být popisován a vysvětlován v termínech, vzatých z oblastí fyziologie, biologie a z oblastí výkladu lidského jednání. Odtud také termíny *účelnost*, *cilové chování*, *účelové chování* apod. Tyto a podobné termíny zpravidla jen velmi hrubým a ne vždy dokonalým způsobem vyjadřují tutéž problematiku, o níž jsme dosud hovořili. Proto je možno říci, ovšem jen s určitým a ne vždy dostatečně přesným přiblížením, že sférou kybernetiky je sféra *účelnosti*, sféra *účelného, cílového chování*. V této sféře má také

smysl diferenciacie *normálního* (fungování systému v mezích určité normy apod.) a *patologického* apod.

Někteří autoři také mluví o sféře *zákonu užitečného konečného efektu* (např. P. K. Anochin [11], str. 7), patrně ve snaze, aby se alespoň poněkud vyhnuli terminologii *účelnosti*, *teleologie*, *cílového chování* atd. Rozdíl však tu není podstatný, neboť termín *užitečnosti* v sobě konec konců zahrnuje jistá hodnotící hlediska.

Tuto souvislost kybernetiky, jejího předmětu a metod se sférou *účelnosti*, *cílového chování*, *užitečného konečného efektu* ovšem není možno nikterak přeceňovat. Je nutno zdůraznit, že popis určitého procesu v termínech *účelnosti*, *cíle*, *normy*, *užitečnosti* apod. ještě naprosto neznamená, že jsme s to podat algoritmický popis tohoto procesu.

Správně ukazuje A. N. Kolmogorov ([5], str. 8), že „kybernetika se v žádném případě neredukuje na filosofické posouzení povahy *účelnosti* v strojích a živých organismech a stejně tak nezahrnuje obecně filosofickou analýzu toho okruhu jevů, který zkoumá“.

Jestliže při rozboru pojmu *řízení* mají rozhodující význam pojmy rozhodování a rozhodovací procedury (a tudíž také precisace těchto pojmů na základě precisace pojmu algoritmu, například pomocí schemat tzv. Turingových strojů či jiným, s tímto v podstatě shodným způsobem), pak i pojem *sdělování* v tom smyslu, jak jej zejména ¹⁸shledává teorie informace, je založen na pojmech rozhodování a rozhodnutí ¹⁹osob. (Teorie informace ve své současné, moderní podobě je totiž těsně spjata s teorií statistických rozhodovacích funkcí.) Je ovšem pravda, že v obou případech má pojem *rozhodování* poněkud odlišný smysl, což odpovídá jistému rozryvu mezi tou problematikou rozhodnutelnosti, která je vázána na teorii algoritmů, teorii rekursivních funkcí, teorii vyčíslenosti na jedné straně, a tím, co je spjata s teorií statistických rozhodovacích funkcí, teorií strategických her a teorií informace na druhé straně. Proto také uvedená poznámka o tom, že integrace teoretických základů kybernetiky je spíše cílem než programem, je hluboce oprávněná. To ovšem navozuje otázku o možnostech obecnější teorie rozhodování, která by syntetizovala logické i stochastické, diskrétní i spojitě aspekty.

V této souvislosti se zdá oprávněné stanovisko, podle něhož tzv. vnitřní meze formalismu (meze *rozhodnutelnosti* v logickém smyslu) nejsou totožné s hranicemi kybernetického přístupu k zkoumání jevů objektivního světa. (O tom zevrubněji v [12].)

3. POJEM ISOMORFISMU

Z uvedené charakteristiky předmětu kybernetiky plyne formální povaha tohoto oboru, tj. fakt, že její principy a poučky lze vztahovat k fyzikálně a vůbec obsahově rozmanitým soustavám. To znamená, že tyto soustavy zajímají kybernetiku z hlediska své formální podobnosti, z hlediska totožnosti své struktury.

Proto je nutno podat objasnění některých fundamentálních pojmů, které v kybernetice mají veliký význam, především pojmů struktury, isomorfismu a modelu, jakož i souvislost těchto pojmů.

Pojem struktury v tom smyslu, v jakém s ním obvykle operujeme v kybernetice, vyjadřuje formální stavbu určité soustavy a jejího chování. Proto pojem struktury zavádíme prostřednictvím pojmu totožnosti struktury či isomorfie dvou nebo více soustav. Soustavou pak rozumíme řadu, třídu nebo oblast objektů, mezi nimiž lze stanovit určité vztahy ([13], str. 24 a násl.).

Předpokládejme například dvě soustavy A a B . Předpokládejme dále, že obě soustavy jsou třídami elementů, takže

$$\begin{array}{ll} a_1 \in A & b_1 \in B \\ a_2 \in A & b_2 \in B \\ \vdots & \vdots \\ a_n \in A & b_n \in B \end{array}$$

Předpokládejme dále, že v obou soustavách platí určité vztahy, a to tak, že vztahy $R_1, R_2 \dots R_k$ jsou vztahy mezi elementy soustavy A a $R'_1, R'_2 \dots R'_k$ jsou vztahy mezi elementy soustavy B .

Obě soustavy A a B jsou isomorfní tehdy a jen tehdy, lze-li prokázat vzájemně jednoznačnou korespondenci mezi prvky i vztahy soustavy A i B tak, že prvku

$$\begin{array}{ll} a_1 & \text{odpovídá } b_1 \\ a_2 & \text{odpovídá } b_1 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & \text{odpovídá } b_n \end{array}$$

a současně lze prokázat, že vztah

$$\begin{array}{l} R_1(a_1, a_2) \text{ platí tehdy a jen tehdy, platí-li } R'_1(b_1, b_2) \\ R_2(a_2, a_3) \text{ platí tehdy a jen tehdy, platí-li } R'_2(b_2, b_3) \\ \vdots \\ R_k(a_{n-1}, a_n) \text{ platí tehdy a jen tehdy, platí-li } R'_k(b_{n-1}, b_n) \end{array}$$

Je samozřejmé, že záleží na tom, jaký kalkul, jaký typ logické či matematické formalisace zvolíme při charakteristice struktury určitých soustav. Není jistě bezpodmínečně nutné pracovat s logikou tříd a logikou vztahů, je možno například vzít v úvahu určité funkce apod.

Vztah isomorfie je vztahem symetrickým a transitivním. To znamená, že: 1. je-li soustava A isomorfní se soustavou B , pak je také soustava B isomorfní se soustavou A ; 2. je-li soustava A isomorfní se soustavou B a soustava B isomorfní se soustavou C , pak je také soustava A isomorfní se soustavou C .

Poněkud slabším vztahem než isomorfismus je homomorfismus. Obecně

řečeno: homomorfismus na rozdíl od isomorfismu se nevyznačuje symetričností.

Soustava A je homomorfní se soustavou B , když každému elementu soustavy A odpovídá určitý element soustavy B , při čemž každý element soustavy B odpovídá alespoň jednomu, ale i více elementům soustavy A . To znamená, že vztah zde není vzájemně jednoznačný, tj. například jeden element soustavy B může odpovídat více elementům soustavy A .

Jestliže soustava B je homomorfní, avšak nikoliv isomorfní se soustavou A , pak soubor elementů soustavy A , kterým odpovídají jedinečné elementy B , se nazývá **j á d r e m h o m o m o r f i s m u**.

Máme-li například dvoje hodinky, z nichž jedny ukazují vteřiny, minuty a hodiny a druhé pouze minuty a hodiny, snadno zjistíme, že obě soustavy jsou homomorfní. Isomorfní by byly v tom případě, kdyby obojí hodinky ukazovaly vteřiny, minuty a hodiny. V takovém případě je stanovení isomorfismu či homomorfismu poměrně snadné. To ovšem neznamená, že je tak tomu vždy. Je naopak možno poukázat na množství jiných případů, kdy takové zjištění je nesmírně obtížné nebo je dosud neproveditelné.

To platí zejména o přesném zjištění jádra homomorfismu, i když právě takové zjištění je nesmírně důležité při analýze souvislostí takových soustav jako je *lidský mozek — elektronický mozek, překlad — strojový překlad* apod.

Z uvedeného výkladu rovněž vyplývá vztah homomorfismu a isomorfismu, který je vlastně mezním případem homomorfismu.

Dvě nebo více soustav jsou isomorfní, mají-li stejné **f o r m á l n í** (logické, matematické) **z o b r a z e n í**. To znamená, že takové soustavy lze zobrazit totožným formalismem, lze je zobrazit jako pro obě soustavy platný formální systém.

Formální systém interpretujeme tak, že za jednotlivé symboly, termíny a formule formálního systému dosazujeme určité objekty (a to nejen obligatorně objekty reálných soustav, ale také objekty jiných formálních systémů) tak, aby to vyhovovalo vztahům, podmínkám a pravidlům daného formálního systému. Soustava takových objektů se nazývá **m o d e l e m** nebo reprezentací daného formálního systému.

Pro pojem modelu je proto podstatná existence *slovníku*, který obsahuje objasnění každého termínu formálního systému v termínech modelu. To znamená, že — přísně vzato — pokud používáme pouze a výlučně termínů formálního systému, nevíme vlastně, o čem vypovídáme. Teprve po *dosazení*, teprve s pomocí slovníku, dostávají určitý obsahový smysl.

Strukturní totožnost soustav různé povahy má tudíž pro kybernetiku kardinální význam. Umožňuje — při čemž isomorfismus může být prokázán do značných detailů — modelovat biologické a sociální jevy pomocí jevů mechanických, elektrických, akustických, hydraulických atd.

V této souvislosti je třeba poznamenat, že stručně naznačený přístup k objasnění pojmu modelu, který se zakládá na logických pojmech isomorfismu, na pojmech *splňování* a který byl v logice precisován zejména v pracích A. Tarského, není patrně jediným možným přístupem k objasnění pojmu modelu a zvláště jeho úlohy. Zdá se, že je možno precisovat tento pojem i z hlediska teorie infor-

mace. Pokusíme se naznačit stručně možnost takového přístupu, i když se omezíme jen na konceptuální prostředky.

1. Není pochyby o tom, že model určité soustavy pomocí prostředků jiné soustavy (ať již prostředků reálných či formálních) představuje vždy určité *zobrazení*. Toto zobrazení je však nutno chápat nikoliv abstraktně, ale vždy v rámci určité úlohy, určitého rozhodovacího problému. Proto při modelu nejde jen o vztah soustavy *originálu* a soustavy jeho *zobrazení*, ale o takový vztah obou soustav, který je dán s ohledem na určitou úlohu, určitý rozhodovací problém. Máme-li například tzv. umělé plicce a srdce, které při komplikovaných operacích nahrazují funkce srdce a plic a zajišťují mimotělní oběh a okysličování krve, nezajímá nás, zda se toto zařízení svými elementy či celkovým vzhledem *podobá* svému *originálu*, ale pouze to, zda toto zařízení může realizovat tytéž funkce, splnit též účel jako uvedené orgány lidského těla. Je tedy modelem těchto orgánů, ovšem vzhledem k těmto úlohám, vzhledem k požadovaným funkcím. Nazveme tento požadavek na model *účelovostí modelu*. Tento požadavek odpovídá tomu, co A. N. Kolmogorov charakterizoval jako *funkcionální přístup* ke kybernetice a k definicím kybernetických pojmů [14].

2. Toto zobrazení musí respektovat jistá hlediska, která by bylo možno nazvat hlediska *modelové ekonomie*. Jde totiž o to, že technické, časové, prostorové a jiné prostředky nejsou zpravidla neomezené, ale určitým způsobem omezené. Tato omezenost odpovídá tomu, co v teorii informace charakterizuje jako omezenost „*kapacit, paměti a lhůt*“. To znamená, že (homomorfní) zobrazení předpokládá účelnou redukci jednotlivých údajů. Přitom problematiku redukce a zejména přípustnosti redukce vzhledem k dané úloze, k danému rozhodovacímu problému nebo určité třídě takových problémů může řešit teorie informace [15].

3. Jestliže model není totožný s *originálem* a je založen na jisté redukci, je zřejmé, že redukce musí být provedena tak, aby model umožnil takové řešení úlohy, které uspokojí určité předem dané požadavky, aby umožnil rozhodování, které uspokojí jistou kvalitu rozhodování. To je smyslem dalšího požadavku, který můžeme vyjádřit slovy *adekvátnost modelu*. Model je adekvátní tehdy, jestliže při jeho užívání jsou uspokojeny jisté nároky na kvalitu řešení úloh, na kvalitu rozhodování, nebo, jinak řečeno, jestliže při jeho užití nepřekročí risiko s tímto užitím spjaté jistou danou úroveň. Je zřejmé, že také tyto požadavky na vlastnosti modelu mohou být nejlépe vyjádřeny prostředky teorie informace a statistických rozhodovacích funkcí.

4. To také znamená, že — samozřejmě v rámci daného rozhodovacího problému — model nám může zprostředkovat takovou informaci, která je totožná neb se jen o určitou přípustnou hodnotu liší od té informace, kterou v rámci daného rozhodovacího problému zprostředkuje *originál*. Současně ovšem model uspokojuje požadavky *modelové ekonomie*, které zpravidla *originál* nemůže uspokojit.

Tento nástin pochopitelně nemůže vyčerpat všechny možnosti, které při interpretaci pojmu modelu a zejména úlohy modelu může poskytnout teorie informace. Jde spíše o naznačení nových možností přístupu, které účelně doplňují a rozšiřují tradiční přístup logický.

Analýza řízených soustav se zpravidla opírá o některé další metodologické nástroje, které jsou užitečné k objasnění pojmu *chování* soustavy. Mezi tyto nástroje patří zejména pojem *temné skříňky* (někdy také černé skříňky nebo schránky podle původního anglického *black box*).

Pojem temné skříňky je produktem určitého zevního *makroskopického* přístupu k soustavě. To znamená, že:

a) soustavu *pozorujeme* (nikoliv jen v empirickém smyslu, proto snad lépe *zkoumáme*) zvenčí, aniž máme možnost nahlédnout do *nitra* soustavy. Můžeme tedy pozorovat jen to, co se děje na *vstupu* a *výstupu* takové soustavy. Jinak řečeno: soustava je přístupna zkoumání jen prostřednictvím vstupu a výstupu,

b) soustava se tudíž jeví — z hlediska uvedeného přístupu — jako *ohraňovaná soustava*,

c) změny, které sledujeme a jsme s to sledovat, jsou vázány na to, co přichází do vstupu a vychází z výstupu. Pracujeme tedy s dvěma třídami údajů, které obvykle nazýváme *podněty* či *stimuly* (*S*) a *odezvami* či *reakcemi* (*R*).

Popíšeme *chování* soustavy v nejjednodušším smyslu pak rozumíme popis sledu stimulů a sledu reakcí v jejich závislosti na stimulech. *S* i *R* přitom mohou nabývat různý význam v závislosti na povaze a fungování soustavy.

Z tohoto objasnění pojmu *chování* vyplývá, že ústřední místo zde má *pojem závislosti*. V určitém ohledu je tento pojem jedním z ústředních pojmů vědy vůbec. V této souvislosti ovšem vyvstává otázka, jakými prostředky věda může bohaté spektrum různých případů závislosti vyjadřovat. Poukážeme jen na některé z nich:

Nejdříve se pochopitelně nabízí, zejména jde-li o závislosti deterministického typu, prostředky logické povahy. Je ovšem známo, že dosud problém adekvátního vyjádření vědeckých zákonů (a tudíž i závislostí) prostředky extensionální logiky není uspokojivě řešen (například pro nedorěšení problematiky tzv. paradoxů materiální implikace, vzhledem k tzv. protifaktovým podmínkám aj.). Odtud také úsilí o vybudování neextensionálních logických soustav, například tzv. kausální logiky, které některé z uvedených obtíží řeší.

Závislost deterministického typu (ve smyslu absolutního, tzv. laplaceovského determinismu) je samozřejmě jen mezním případem celého spektra stochastických závislostí, jehož druhým mezním případem je stochastická nezávislost, tzv. princip indifferencie, principium rationis insufficientis, který lze vyjádřit rovností

$$p[R(x)/S(x)] = p[R(x)].$$

Také pokud jde o pojem závislosti, může teorie informace poskytovat některé prostředky, které mnohem lépe vystihují objektivní povahu závislosti než klasické prostředky matematické statistiky, například tzv. korelační koeficient. Jde především o *pojem informační závislosti* [15], který odstraňuje některé základní nedostatky korelačního koeficientu. Korelační koeficient se může

rovnat nule i v těch případech, nejde-li o stochastickou nezávislost. Korelační koeficient se mění, jestliže se mění stupně míry náhodných proměnných, které bereme v úvahu. Korelační koeficient tak vyhovuje jen pro určité zvláštní případy tzv. gaussovského rozložení.

Stimuly a odezvy je možno považovat za události, které lze určitým způsobem zobrazit. Pravidlo, podle kterého se realisuje toto zobrazení, nazýváme *k ó d e m*. Kódování je tudíž zobrazení určité události pomocí jiné události. Kódování tudíž zahrnuje jak přeměnu *jazyka S v jazyk R*, tak také proces zobrazení *S i R* pomocí určité „abecedy“. (Výrazy *jazyk*, *abeceda* zde bereme v určitém obrazném a současně obecném smyslu, který zahrnuje celou problematiku tzv. fyzikálního měření. Již z toho plyne, že jde o nesmírně obsáhlou a mnohostrannou problematiku, která má mnoho aspektů.)

Kódováním je tudíž například zobrazení *S i R* jako určitých fyzikálních jevů prostřednictvím fyzikálních veličin, zobrazení proneseného slova pomocí písmen, zobrazení melodie pomocí notového zápisu, zobrazení krajiny pomocí mapy či fotografie, zobrazení fotografie pomocí řady černých a bílých skvrn nebo řady nul a jedniček atd. Kódy bývají klasifikovány nejrozmanitějším způsobem, např. podle počtu rozměrů, podle fyzikální povahy (mechanické, optické, akustické, elektromagnetické atd. atd.). Nejčastěji se uvádí dělení kódů na *spojité* (analogový kód) a *diskretní* (číslíkový kód). Spojitý kód je zobrazení události na množinu reálných čísel, diskretní kód je zobrazení události na množinu celých čísel.

Toto poslední uvedené dělení má ovšem své meze, takže lze dokázat, že *spojitý kód* je vlastně jen určitá abstrakce podobně jako jeho matematické zobrazení. Vnímáme-li například *filmové zobrazení* určité události, jeví se nám takové zobrazení jako použití *spojitého kódu*. Ve skutečnosti jde ovšem o *diskretní kód*, tj. o přerušovaný děj. Tento uvedený příklad má obecnější význam než se může zdát na první pohled. Připomeňme si, že jde vždy o zobrazení události, projevující se v jednom typu *abecedy*, v jiném typu *abecedy*. Prozkoumejme v této souvislosti případ zobrazení události na fotografické desce či filmu fotoaparátu. Aby bylo možno zobrazit určitý objekt, musí být dostatečně osvětlen tak, aby to překračovalo intenzitu, odpovídající jistému *prahu citlivosti* fotografické desky. Současně musí být objekt tak velký, aby jej fotografická deska vůbec zachytila, neboť i nejdokonalejší fotografický materiál má určitou *zrnitost*. Těm, kteří se jen trochu zabývají fotografií, je známa zvláštní zákonitost: čím *citlivější* fotografický materiál, tj. čím více roste schopnost tohoto materiálu zachytit i méně osvětlené objekty, tím vyce roste *zrno* takového materiálu. Také tento příklad má obecnější význam a zdaleka se netýká jen *fotografického kódování*.

Jde o to, že mezi jednotlivými rozměry kódu platí jistě zákonité vztahy, které jsou podobné známé Heisenbergově relaci neurčitosti. Formální vyjádření jedné podoby takové *relace neurčitosti* podal D. Gabor pro případ akustického signálu [16]. Jsou-li signály zachycovány kanálem, který má pásmový rozsah ΔF , pak nejkratší signál, který může být ještě měřen, je ΔT . Pak platí, že

$$\Delta F \cdot \Delta T = \text{konstanta řadové jednotky.}$$

Kratší signál než ΔT nemůže být pochopitelně změřen. Gabor z toho rovněž vyvozuje, že tzv. spojitý signál je tudíž matematická fikce (snad lépe matematická abstrakce, neboť nelze pochybovat o užitečnosti takové matematické abstrakce).

Lze dokázat, že podobná relace platí pro události jiné povahy, měřené např. nikoliv časovými, ale prostorovými a dalšími jednotkami. Platí tedy podobné relace pro jakýkoliv případ kódování. Zvláště je to však důležité pro převod empirických a experimentálních údajů do jazyka formulí, pro tzv. *dosazování* údajů do vzorců a vůbec pro jakoukoliv transformaci kódů.

Makroskopický přístup — a to platí zvláště u složitějších soustav, jejichž příklady byly uváděny právě v předchozím výkladu — je jen prvním, elementárním přiblížením ke zkoumání řízených soustav, jejich chování a fungování. Při studiu složitějších soustav s mnoha vstupy a výstupy, s mnoha stavy, které jsou generátorem složitých, rozmanitých funkcí, je nutno přejít k analýze složitých soustav a pak prozkoumání syntézy jednotlivých jejich elementů.

Řekli jsme již, že z hlediska kybernetiky nejdůležitější metodou studia fungování soustavy je algoritmický popis fungování soustavy. Pro algoritmisaci složitých soustav je však nutná analýza. Podstatné je zde zejména zjištění elementárních aktů a podmínek jejich fungování. To znamená, že soustavu nepovažujeme za jedinou *temnou skříňku*, ale za celý komplex *temných skříňek*, vzájemně propojovaných tak, že výstupy jedné jsou spjaty se vstupy jiných.

Elementárním aktem pak rozumíme takový element, jehož fungování lze jednoduše modelovat prvky jiné soustavy, například určité soustavy technického charakteru apod. Takovou složitou soustavou, kterou je nutno analyzovat na jednotlivé elementární akty, je například překlad textu z jednoho jazyka do jiného jazyka. Elementárním aktem pak je jednotlivý termín jednoho jazyka, vzatý v určitých podmínkách (podmínkách syntaktických, v určitém kontextu atd.), přiřazený k termínu jiného jazyka za realizace příslušných podmínek.

Druhou stránkou rozboru fungování složitých soustav je syntéza, tj. zjištění, jak z elementárních aktů sestavit systém, který realisuje funkce celého systému.

Tento úkol je ovšem v mnoha případech studia složitých soustav nedosažitelný podobně jako dosud není možno vždy přesně stanovit elementární akty. Obvykle říkáme, že je dosud nemožné rozšifrovat neznámý algoritmus fungování složitých soustav.

V takových případech tu vyvstává jiný úkol: Sestavit algoritmus, který v tom či onom přiblížení imituje chování dané složitě soustavy. Je možno říci, že převážná většina tzv. biologických modelů, které byly konstruovány (různé modely podmíněných reflexů, modely homeostaze, modely získávání potravy, pudu sebezáchovy atd. atd.) spadají do této sféry. To znamená, že pouze imituje předpokládaný neznámý algoritmus složitě soustavy, jejíž algoritmisace dosud nebyla provedena. To ovšem nikterak nesnižuje hodnotu těchto zařízení a experimentů, které jsou s nimi prováděny, neboť i imitace předpokládaného algoritmu může přispět k jeho rozšifrování.

* * *

Pohled na některé základní pojmy kybernetiky je možno uzavřít poznámkou, že výpracování jednotné soustavy kybernetické nomenklatury je úkol, který z větší míry teprve čeká na svoji realizaci. Tato realizace bude patrně těsně spjata s dovršením oné integrace, kterou jsme charakterisovali jako něco, co je dosud spíše postulátem než skutečností. Bude souviset zejména s vytvořením jednotných teoretických základů, které, jak jsme již naznačili, by syntetizovaly jak logický, tak i stochastický přístup k problematice řízení a sdělování a zvláště k problematice rozhodování.

LITERATURA

- [1] Něsmejanov A. N., *Cesta vědy*. Čes. překlad, Rudé právo, 7. 1. 1961.
- [2] Wiener N., *Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích*. Čes. překlad, Praha 1960.
- [3] Wiener N., Rosenblueth A., Bigelow J., *Behavior, Purpose and Teleology*. Philosophy of Science, vol. 10, 1943.
- [4] *Problemy kibernetiki*. Pod redakcí A. A. Ljapunova. Vyp. 1—7, Moskva 1958—1962.
- [5] Kolmogorov A. N., Předmluva k ruskému vydání knihy W. Ross Ashby: *Vvedenie v kibernetiku*, Moskva 1959.
- [6] Sobolev S. L., Ljapunov A. A., *Kibernetika i jestestvoznanije*, sborník Filosofskije voprosy jestestvoznanija, Moskva 1959, str. 237—267.
- [7] Jablonskij S. V., *Osnovnyje ponjatija kibernetiki*. Problemy kibernetiki, vyp. 2, Moskva 1959.
- [8] Couffignal L. *Les notions de base*. Paris 1958.
- [9] Markov A. A., *Čto takoe kibernetika*. AN SSSR. Naučnyj sovet po kibernetike, tezis, Moskva 1962.
- [10] Ljapunov A. A., *O někotorych obščich ponjatijach kibernetiki*. Problemy kibernetiki, vyp. 1, Moskva 1958.
- [11] Anochin P. K., Předmluva k ruskému vydání knihy Paul Cossa, *Kibernetika*, Moskva 1958.
- [12] Tondl L., *Problém hranic kybernetiky a kybernetického přístupu k zkoumání objektivního světa*. (Referát na první českosl. konferenci o kybernetice, v tisku.)
- [13] Kleene S. C., *Introduction to Metamathematics*. Princeton 1952.
- [14] Kolmogorov A. N., *Autamoty a život*. Čes. překl. jako dodatek ke knize Rovenskij, Ujomov, Ujomova, *Stroj a myšlení*, Praha 1962.
- [15] Perez A., Tondl L., *Sur le rôle de la théorie de l'information dans certaines procédures scientifiques*. V tisku.
- [16] Gabor D., *Theory of Communication*. Journal Inst. Elec. Engrs, 93, 1946, p. 429.

TEÓRIA ORGANICIZMU, ÚROVNÍ A FINITIZMU V SÚČASNEJ FILOZOFII PRÍRODNÝCH VIED

JÁN BODNÁR

V súčasnosti sa veľa hovorí o potrebe prestavby teoretických základov modernej vedy, o potrebe zmeny v celom našom chápaní spôsobu existencie hmoty (Bohm), o tom, že dnes teória zaostáva za experimentom a že sa nachádzame v situácii, ktorá pripomína krízu klasickej mechaniky vo vzťahu k nevysvetliteľným javom