

K předmětu kybernetiky

ALBERT PEREZ, LADISLAV TONDL

Po diskusí o hlavních hlediscích na vymezení předmětu kybernetiky (Wiener, Ashby, Kolmogorov, Couffignal, Markov) je podána charakteristika kybernetiky, která vychází z pojmu rozhodování a cílového chování.

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ NÁZORY NA VYMEZENÍ PŘEDMĚTU KYBERNETIKY

Existuje velká řada definic předmětu kybernetiky. Většina z nich v té či oné podobě vychází z idejí, které byly poprvé vyjádřeny v stati Wienerově, Bigelowové a Rosenbluethově z r. 1943 [1] a později v systematictějších zpracování vydány v první Wienerově knize s podtitulem *Řízení a sdělování v živých organismech a ve strojích* [2]. Také většina pozdějších definic obvykle operuje s pojmy *řízení a sdělování*. Např. A. N. Kolmogorov [3] charakterizoval kybernetiku jako vědu, která se zabývá *studiem systémů libovolné povahy, které jsou s to přijímat, zachovávat a zpracovávat informaci a využívat jí k řízení a regulování*. Je nutno dodat, že Kolmogorov tuto definici obohatil dále tím, že do kompetence kybernetiky zařadil také problematiku vzniku možnosti zachovávat a akumulovat informace, tj. otázky, týkající se vzniku cílovosti [4].

Vymezení předmětu kybernetiky na základě pojmu *řízení a sdělování* je ovšem značně vágní potud, pokud tyto pojmy nejsou přesně definovány a pokud se spokojíme pouze intuitivním smyslem těchto pojmů. Totéž platí o jiných pojmech, které se o uvedené pojmy opírají (např. pojmy *organizace, míra organizovanosti* apod.).

Obtíže s precizací těchto výchozích pojmů vedly některé vědce, kteří se zabývali vymezením předmětu kybernetiky, k pokusům o hledání jiného pojmového východiska. Pozoruhodné jsou zejména dva pokusy: pokus L. Couffignala, který navazuje na některé logické tradice francouzského karteziánismu, a pokus A. A. Markova, který vymezení předmětu kybernetiky opírá o pojem kauzality.

L. Couffignal [5] poukazuje na to, že jakékoliv řízení nebo sdělování (v intuitivním smyslu) předpokládá racionální rozhodování, vázané na odhad či ocenění *šancí na úspěch* zvoleného rozhodnutí. Předpokládá se tudíž existence určitých kritérií a možnost uplatnit tato kritéria při rozhodování. Couffignal poukazuje na nezbytnost *hodnotových soudů* (např. v možnosti ocenit kvalitu zvoleného rozhodnutí). Z toho pak vyvozuje, že kybernetika není přírodní vědou v tradičním slova smyslu, tj. popisem chování reálných systémů. Pro empirické vědy je typický popis, vysvětlení nebo predikce stavů reálných soustav, pro kybernetiku je typické posuzování alternativ z hlediska určitých cílů, účelů, optimálních stavů apod. Proto také Couffignal nepovažuje kybernetiku ani za vědu, ani za techniku, ale charakterizuje ji jako umění, které směřuje k zajištění účinnosti jednání.

Stanovisko Couffignalovo vychází vlastně ze stejných pojmových zdrojů jako koncepce Wienerova. Toto stanovisko vyzvedá některé oprávněné rysy kybernetického přístupu. Přesto však toto stanovisko je nutno považovat za jednostranné: Především je zřejmé, že Couffignalův obraz vědy je úzký, že čerpá z tradic přírodovědeckého myšlení 19. století. Proti tomu Wiener oprávněně poukázal na myšlenku *nahodilého vesmíru*, která sice nebyla v souladu s nároky a požadavky Laplaceova determinismu, která však vyjadřovala pokroky vědy od druhé poloviny devatenáctého století mnohem věrněji než starý ideál vědy. Tato koncepce předpokládá studium soustav, v nichž jsou možné stavy, které mohou mít více než jedno možné pokračování. Proto je nejen možná, ale také prospěšná taková analýza chování těchto soustav, která posuzuje to, nakolik toto chování postupuje v určitém směru, nakolik je cílově zaměřeno apod. Je možno říci, že pojmy řízení a sdělování nelze pochopit nebo vysvětlit bez souvislosti se soustavami tohoto druhu, bez souvislosti s tím, co Wiener nazývá *ideou nahodilého vesmíru*.

V poněkud jiném směru vymezuje předmět kybernetiky A. A. Markov [6]: „Kybernetika může být definována jako obecná teorie kauzálních sítí, která je studuje s přesností až k izomorfismu“. Pojem *kauzální závislosti* je v pojetí Markovově chápán jak ve smyslu závislosti deterministického typu (v klasickém, tj. Laplaceově smyslu), tak také ve smyslu závislosti stochastické. V popředí pozornosti kybernetiky je podle tohoto pojetí analýza a syntéza kauzálních sítí z elementů nejrozmanitější povahy, problém řízení a příslušné organizace a struktury kauzální sítě. Kauzální síť rozumí Markov konečný systém materiálních objektů (uzlů), z nichž každý se může vyskytovat v konečném počtu stavů. Mezi stavy uzlů jsou příčinné závislosti, které lze považovat konec konců za diskrétní, rozdělitelné na jednotlivé *takty*. Protože povaha kauzálních sítí může být rozmanitá, kybernetika je spojena s řadou jiných věd a může být v těchto vědách aplikována. Stanovisko A. A. Markova, pokud předpokládá syntézu (a také analýzu) kauzálních sítí, předpokládá vlastně řešení určité úlohy řízení, takže rozdíl tohoto stanoviska od tradiční koncepce nemusí být zcela zásadní. Je však třeba poukázat na to, že syntéza kauzálních sítí z elementů nejrozmanitější povahy při respektování účelového či cílového hlediska je konec konců obecnou úlohou jakéhokoliv technického zařízení. Každé technické zařízení předpokládá,

- 6 požadujeme-li aby plnilo určité úlohy, určitou syntézu kauzálních sítí z elementů, které člověk sám pro tuto syntézu vyrobil. Proto stanovisko A. A. Markova, které při vymezení pojmu kybernetiky se snaží obejít se bez pojmu informace, vede vlastně k stírání rozdílů mezi technickým zařízením vůbec a zařízením, které můžeme charakterizovat jako kybernetické. Je tedy vidět, že snaha odsunout při vymezení kybernetiky do pozadí pojem informace a informační výměny může vést k nejasnostem. Naopak, jak soudíme, pojem informace je třeba považovat za jednu z fundamentálních kategorií kybernetiky.

ROZHODOVÁNÍ

Jakékoliv řízení nezbytně předpokládá existenci cíle a *rozhodování*. Rozhodování, má-li být adekvátní, neobejde se bez *informace*. (I tzv. tvůrčí činnost nebo činnost génia se neobejde bez dostatečné informace, která ovšem ve velké části může být skrytá v tom, co Ashby nazývá *předprogramem*, který se postupně vytvořil během fylogenetického a ontogenetického vývoje [4]. Ostatně, nesmíme zapomenat, že lidský mozek je přizpůsoben k řešení *lidských problémů*, jak poznamenává Ashby.) Pojem rozhodování přitom není třeba chápat antropomorfně: I když každé rozhodování je vázáno na volbu mezi alternativami, neznamená to, že tuto volbu může nebo smí provádět pouze člověk. Pojem rozhodování v té podobě, jak je uplatňován v kybernetice, je třeba chápat v abstraktním smyslu.

V souvislosti s pojmem rozhodování lze formulovat otázku, zda kybernetika je vázána pouze na ty situace, kdy je známa rozhodovací procedura (algoritmus), nebo kdy tato rozhodovací procedura je zásadně možná v rámci daného formálního systému. Tato otázka dosud není jednotně řešena. Část kybernetiků soudí, že hranice rozhodnutelnosti v té podobě, jak jsou známy z teorie algoritmů, jsou také hranicemi kybernetického přístupu. Proti tomu jiní představitelé kybernetiky jako například Turing a Kolmogorov soudí, že kybernetiku nelze omezovat známými hranicemi rozhodnutelnosti. Ostatně, i když člověk je nepochybně složitý materiální systém, je však systémem konečné složitosti a velice omezené dokonalosti, a proto přístupný k imitaci. Zdá se, že toto stanovisko, podle něhož nedisponujeme dostatečně přesvědčivými teoretickými prostředky, abychom mohli jakkoliv přesněji určit meze možnosti kybernetiky, existují-li vůbec nějaké meze, je oprávněnější a poskytuje kybernetice a výzkumu v ní optimističtější perspektivy.

V souvislosti s pojmem rozhodování je na místě otázka, zda jakékoliv rozhodování (v abstraktním smyslu) je již záležitostí kybernetiky. Jakákoliv, i zcela elementární úloha, předpokládá určitý sled rozhodnutí, i když zpravidla nepociťujeme potřebu tento sled rozhodnutí formálně přesně vyjadřovat. To platí například o použití zcela jednoduchých technických prostředků k řešení prosté výrobní operace apod. Proto vyvstává potřeba relativizovat pojem rozhodování (a tím i pojmy řízení a sdělování) na určité systémy a určité okolnosti, které v této souvislosti mají podstatný význam. Je pochopitelně velice obtížné určit hranice toho, co by bylo možno považo-

vat za specifický kybernetické rozhodování. Spíše je možno poukázat na některé okolnosti, které s ním spojujeme:

Rozhodování je vázáno na chování *složitých dynamických systémů*. Tato charakteristika je ovšem relativně stejně tak jako určení toho, co rozumíme *malým, středním a velkým číslem*. Skutečnost, že například kolovrátek nepovažujeme za složitý dynamický systém, zatím co číslicový počítač považujeme, neznamená ještě, že hranice jsou zde jasné. Spíše jde o to, že z hlediska dnešní úrovně vědy nemá smysl uplatňovat kybernetické metody a principy na systémy relativně jednoduché, na systémy, o nichž se někdy říká, že jsou „kyberneticky nezajímavé“. Pro složité systémy, jak na to ukázal zvláště Ashby [7], je charakteristické především to, že nejde o prostou agregaci elementů, ale o takové spojení elementů, při němž vznikají nové kvality, které se jako takové u jednotlivých elementů nevyskytují. Jinak řečeno, každému makroskopickému stavu systému odpovídá velké množství mikroskopických stavů podobně jako v statistické termodynamice. Proto řízení složitých dynamických systémů má stochastický charakter; to znamená, že závislost řízeního systému na systému řídicím není deterministická (v klasickém Laplaceově smyslu).

Předpokládáme vždy, že jde o *netriviální rozhodování*. Intuitivně je opět zřejmé, že výpočet mostní konstrukce, stanovení optimální strategie v šachové hře, řízení velkého hospodářského podniku, stanovení lékařské diagnózy a další podobné úlohy předpokládají netriviální rozhodování. Avšak i zde patrně neexistují zcela ostré hranice, které jsou vždy podmíněny danými možnostmi techniky, dosavadní úrovní vědění apod. Je to možno vyjádřit také tak, že jde o takové rozhodování, které klade určité relativně velké nároky na *paměti, kapacity a lhůty*, kterých je k řešení dané úlohy nebo dané třídy úloh zapotřebí.

Úloha a význam kybernetiky vystupují zde v souvislosti s dvěma tendencemi: Jde-li o netriviální rozhodování, o rozhodování, které klade relativně velké nároky na paměti, kapacity a lhůty, pak se obvykle musíme zabývat vztahem dvou tendencí: (1) tendence *optimalizovat* řešení dané úlohy (například v přihlednutí k co největšímu počtu parametrů, získat co nejpřesnější údaje o těchto parametrech, disponovat co nejrozsáhlejším okruhem znalostí, což vždy zvyšuje paměťové nároky apod.) a (2) tendence *ekonomizovat* řešení dané úlohy (například v snaze nepřekročit určité nároky na rozsah použitých prostředků, počet měření, určité lhůty apod.). Jakékoliv netriviální rozhodování, které je vždy vázáno na nezbytnost řešení vztahů obou tendencí, vede tak konec konců ke komplexu problémů, spjatých s redukcí, konstitucí a rozhodováním, tedy problémům, které jsou spjaty se samými základy teorie informace.

Rozhodování je vázáno na to, co se obvykle vyjadřuje termínem *cilovost*. (Při šachové hře jde například o takovou posloupnost rozhodnutí, která vedou k výhře, při ekonomickém rozhodování o takový postup, který zajistí splnění ekonomických cílů v maximální kvalitě a kvantitě s minimem nákladů atd.) Pro posouzení, nakolik rozhodování je adekvátní z hlediska daného cíle, je nutno disponovat soustavou vhodných kritérií.

8 Kybernetiku tudíž vždy vážeme na systémy s cílovým chováním, při čemž tyto systémy mohou být nejrozmanitější povahy, mohou být složeny z různých elementů. Kybernetika v sobě zahrnuje obě možnosti: tj. jak možnost zkoumat jednotlivé systémy jako celek (tzv. makropřístup v kybernetice, spojovaný obvykle s pojmem temné skřínky), tak také možnost analýzy složitých systémů, zjišťování jejich struktury a změny struktury, syntézy možných systémů z daných elementů s požadovaným chováním (mikropřístup). Kybernetika tedy předpokládá jak přístup *funkcionální*, který soustřeďuje pozornost na otázku *jak* se daný systém chová, jaké úlohy plní, jaká je závislost elementů výstupu daného systému na elementech vstupu (řada významných autorů jako například Ashby [7] a Kolmogorov [4] považují funkcionální přístup v kybernetice za rozhodující nebo podstatný), tak také přístup *strukturní*, který soustřeďuje pozornost na struktury rozmanitých systémů, na vzájemné vztahy, podobnosti a rozdíly různých struktur. Ovšem pojem *cíl* nebo *cílové chování*, o které se kybernetika opírá při analýze složitých systémů, není vždy dán a priori, nemusí být znám na začátku. Obvykle je nutné je hledat a objevit pomocí funkcionálního a strukturního zkoumání procesů probíhajících jak uvnitř uvažovaného systému, tak i ve vztahu k vnějšímu světu (okolí). Metodami kybernetiky je tedy nutno také zkoumat původ a vznik systémů s cílovým chováním, řídicích vlastní činností, je nutno zkoumat jejich přirozený vývoj. Analýza kauzálních sítí s přesností až k izomorfismu, jak ji požaduje A. A. Markov [6], má vést také k vysvětlení toho, jakým způsobem se může obyčejný příčinný vztah ve složitých systémech přirozeným vývojem rozvíjet tak, že se například systém dovede chránit od vnějších rušivých vlivů nebo je schopen samoreprodukce atd. Při této analýze není samozřejmě možné v žádném případě zanedbat zkušenosti speciálních vědních disciplín a naopak je nanejvýš nutné se o ně opírat. To ovšem neznamená, že je možno vyloučit z obsahu kybernetiky obecné představy (vytvořené na základě zobecnění těchto zkušeností) o příčinných vztazích, působících v systémech s cílovým chováním. Stejně tak, jak nelze při syntéze netriviálních „kauzálních sítí“, například při napodobení různých aspektů života pomocí automatů, nevízt v úvahu fakt, že se tyto cíle samy mění v procesu vývoje a spolu s nimi mění se také představa o nich.

SYSTÉMY

Pojem *systémy s cílovým chováním* není nutno vázat jen na systémy určité povahy. Původní Wienerova charakteristika předmětu kybernetiky uváděla *živé organismy* a *stroje*. Tato charakteristika však není úplná a upozorňuje jen na systémy, jejichž souvislost vedla ke genezi některých základních idejí kybernetiky. Otázka klasifikace systémů s cílovým chováním předpokládá, že jednotlivé druhy systémů se skládají převážně z elementů téže povahy. Takové omezení není nezbytné: Nelze vyloučit možnost a účelnost systémů smíšených, které budou předpokládat součinnost elementů různé povahy, jak na to již dnes poukazují některé výzkumy v bionice. To znamená,

že v kompetenci kybernetiky jsou také systémy hybridní, jejichž elementy jsou součástí prvních tří z dále uvedených typů systémů.

9

a) Systémy živé přírody. Z hlediska historie lidského poznání, z hlediska vývoje vědy je zajímavé, že u těchto systémů bylo hledisko cílovosti, hledisko, které kvalifikuje různé typy chování pod zorným úhlem cílů, v popředí pozornosti dříve než kdekoliv jinde. Teprve s postupujícími pokroky exaktní vědecké analýzy však bylo možno toto hledisko zbavit nánosu subjektivismu, antropologismu jakož i ryze verbálního pojetí cílovosti či teleologie. Přitom nelze pominout význam té podstatné okolnosti, že nejsložitějším systémem živé přírody je sám člověk, jeho mozek, při čemž člověk o svém vlastním chování jakož i o chování jiných lidí vypovídá především na základě subjektivních prožitků. Teprve tehdy, když toto chování (a nejen chování živého systému jako celku, ale také jeho jednotlivých složek, orgánů apod.) může být podrobeno objektivní přírodovědecké analýze, lze také uvažovat o uplatnění kybernetických hledisek. Je nutné plně souhlasit s A. N. Kolmogorovem, který zdůraznil, že kybernetiku nelze v žádném případě redukovat na filosofické posouzení povahy účelnosti, a dodejme ještě, na posouzení v tradičním subjektivním smyslu.

b) Technické systémy. Někteří představitelé kybernetiky považují kybernetiku za teorii strojů, která soustřeďuje svoji pozornost na chování strojů, na to, co dělají stroje (Ashby). Toto pojetí operuje zřejmě velice širokým pojmem stroje, zahrnuje v sobě nejen systémy technické povahy, ale i jiné systémy. Navíc je sporné, zda jakýkoliv stroj je „kyberneticky zajímavý“. Soudíme, že zahrnout do kompetence kybernetiky jakékoliv technické systémy by předmět pozornosti kybernetiky neúčelně rozšířilo. Proto při určení technických systémů, které lze zařadit do kompetence kybernetiky, je třeba respektovat to, co bylo řečeno v souvislosti s pojmem rozhodování.

c) Společenské systémy. Otázka, zda také společenské systémy mohou být předmětem kybernetiky, je dnes většinou – a to plným právem – zodpovídána kladně. To tedy znamená, že hlediska kybernetiky v tom smyslu, jak bylo uvedeno, se týkají i systémů, jejichž elementy jsou lidská individua, vybavená vědomím, vůlí, subjektivní motivací apod. Přitom právě ve společenských soustavách má informační výměna nesrovnatelně podstatnější úlohu než v dosud známých soustavách přírodních nebo technických. Je tedy plně oprávněné použití principů a metod kybernetiky v ekonomii, sociologii, psychologii, právních vědách a dalších společenských oborech. Současně však toto použití naráží právě zde na největší obtíže a složitá úskalí, která jsou dána jako složitostí společenských systémů samotných, tak také ingerencí subjektivních činitelů.

d) Abstraktní systémy. Kompetenci kybernetiky nelze omezovat pouze na systémy, které by bylo možno charakterizovat jako „reálné“ a které je možno také zkoumat empirickými prostředky. Při zobrazení těchto reálných systémů lze užít konstruktivních elementů abstraktní povahy, které jako takové jsou výtvořem lidského myšlení. Není také vyloučeno syntetizovat systémy z těchto elementů, zkoumat jejich mezní

- 10 možnosti apod. Proto takové obory jako je teorie automatů a další podobné disciplíny jsou úzce spjaty s kybernetikou.

Úloha abstraktních systémů, které je možno popisovat v jazyce matematiky nebo logiky není v kybernetice nějak druhořadá. Naopak, jakékoliv racionální užití kybernetiky je nemyslitelné bez úlohy, kterou tyto systémy mají při zobrazení, při modelování reálných systémů. Proto také je oprávněno konstatování, podle něhož kybernetika ve své současné podobě je nemyslitelná bez exaktního formálního aparátu, tj. bez matematiky nebo logiky.

* * *

Z uvedených poznámek k předmětu kybernetiky, které také ukázaly, že v zásadě se různé koncepce kybernetiky shodují, neplyne nějaká ostrá nebo jednoznačně určená hranice mezi tím, co je a co není v kompetenci kybernetiky. Stanovení takové hranice by patrně v současné etapě nebylo ani účelné, ani prospěšné. Soudíme ovšem, že tyto hranice se budou postupně rozšiřovat, to znamená, že kybernetický přístup bude moci zahrnout i některé z těch oblastí, které se dnes tomuto přístupu vymykají.

(Došlo dne 25. května 1964.)

LITERATURA

- [1] N. Wiener, A. Rosenblueth, J. Bigelow: Behavior, Purpose and Teleology. Philosophy of Science 10 (1943).
- [2] N. Wiener: Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a ve strojích. Praha 1960.
- [3] A. N. Kolmogorov: Předmluva k ruskému vydání knihy W. Ross Ashby „Введение в кибернетику“. Москва 1959.
- [4] Возможное и невозможное в кибернетике. Москва 1963.
- [5] L. Couffignal: Les notions de base. Paris 1958.
- [6] A. A. Марков: Что такое кибернетика. Москва 1962.
- [7] W. R. Ashby: Introduction to Cybernetics. London 1956.

On the Object of Cybernetics

ALBERT PEREZ, LADISLAV TONDL

In spite of the fact that the starting point of almost all definitions concerning the object of cybernetics is the classical Wiener's definition, there is a great variety of opinions as to the extent and competence of cybernetics.

After a brief discussion of the main points of view on cybernetics (A. N. Kolmogorov, R. Ashby, L. Couffignal, A. A. Markov), the notion of decision making is picked out (together with the underlying concept of information) as a central and unifying concept.

Characteristic for cybernetics are such non-trivial decision situations which are related to the behaviour of complicated dynamic systems and hence with relatively high requirements on "capacities", "memories", and "delays" for their solution. Hence the tendencies of optimization and reduction are accompanying every such goal-seeking behaviour. An essential task of cybernetics is, in this context, to study in adequate terms also the origin and development of goal-seeking behaviour.

Dr. Albert Perez, DrSc., Doc. Dr. Ladislav Tondl, CSc., Ústav teorie informace a automatizace ČSAV, Vršehradská 49, Praha 2.