

Teória počítačového experimentovania v umelom hospodárstve¹

Nekonvenčné prístupy k simulácii modelov hospodárskeho vývoja
a experimentovaniu v sukcesívnych prostrediach

Ladislav ANDRÁŠIK*

The Theory of Computer Aided Experimentation in an Artificial Economy

Some Unconventional Approaches to Simulation of Models of Economical Evolution and to Experimentation in Successive Environment

Abstract

In essay the author is concerning with new theoretical and methodological area of economics, that is, with possibilities of devices and tools for experimentation in economics, like ones are used in natural and technical disciplines. For these purposes is serving artificial experimental laboratories. Models in such laboratories are based on evolutionary learning as special synthesis of investigative and vicarious learning.

The author show evidence that of synthesis of Darwinian and Lamarckian approaches to evolution give possibilities for creation of models helping deeper understanding of economical evolution.

Key words: *experimentation in artificial (virtual) economy, synthesis of Darwinian and Lamarckian approaches to evolution, experimentation methods and tools in artificial economies, economical simulation models based on knowledge systems, theory of economical knowledge networks*

JEL Classification: A11, A23, A32, B41, C15, C71 – 72, C80, C88, C91 – 93, D58, D62, D70, D83 – 85, D91 – 92

* prof. Ing. Ladislav ANDRÁŠIK, DrSc., Slovenská technická univerzita, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra ekonómie a manažmentu, Il'kovičova 3, 812 18 Bratislava 1; e-mail: ladislav.andrasik@stuba.sk

¹ Príspevok bol prepracovaný a upravený na základe odporúčaní dvoch anonymných lektorov. Autor im touto cestou ďakuje za cenné rady, zodpovednosť za jeho obsah však znáša sám. Pri príprave príspevku autor použil výsledky svojho výskumu získané v rámci riešenia úloh grantového projektu VEGA 1/223/04, ktorý koordinuje.

1. Úvodné poznámky o teórii, metódach a nekonvenčných ekonomických experimentoch so simulačnými modelmi

Ekonomia už od svojho vzniku zápasí s veľkými teoretickými a metodickými ťažkosťami. Vyskytujú sa však problémy aj s nástrojmi a prostriedkami ekonomickej analýzy.² Táto okolnosť nemohla nemať svoje odzrkadlenie aj v príslušnej, resp. odborovej a/alebo predmetovej, časti metodológie ekonomických vied. Ak by sme však použili slovník T. Kuhna, potom by sme mohli naznačené komplikácie vnímať aj ako nesúlady a konflikty medzi viacerými paralelnými paradigmami ekonómie. Samozrejme, podobne ako na paradigmy, mohli by sme sa odvolávať aj na rozmanité vedecké programy (v zmysle C. Poppera, I. Lakatosa³ a ďalších filozofov a metodológov vedy) v ekonómii a podobne, keby to bolo hlavným cieľom tohto príspevku. Napokon, ekonomia je jedna z mála moderných vied, v ktorej v rovnakom historickom období existuje vedľa seba viacero smerov a škôl, medzi ktorými prebiehajú nielen metodické a metodologické, ale aj paradigmatické strety a šarvátky v kuhnovskom zmysle.⁴ Už zo samej tejto skutočnosti vyplývajú niektoré neželané dôsledky, napríklad to, že ekonómovia z jednotlivých smerov a škôl sa nevedia medzi sebou dohodovať. Možno, že v žiadnej inej modernej vede nie je hladina intersubjektivity až taká nízka ako práve v ekonómii.⁵

Pokiaľ ide o pojem *paradigma*, v podstate sa stále pridŕžam osvedčenej explikácie podľa T. Kuhna z roku 1970. Mám na mysli najmä to, že dialóg medzi starou a novou paradigmou nemôže nerušené prebiehať, pretože v oboch sa používajú rozličné jazyky. Preto si nerozumejú, a vlastne ani sa nemôžu jasne medzi

² Pojem *nástroj* používam na označenie takých technických zariadení a postupov, ktoré v prípade prírodných vied poznáme napríklad v podobe ďalekohľadu, mikroskopu, meracích zariadení (váha, voltmeter, ohmmeter, sextant) a podobne. Ekonomia donedávna takéto zariadenia nemala a musela ich nahrádzať okľukou, napríklad používaním matematických, štatistických a ekonomických modelov. Joan Robinsonová a iní neoklasickí ekonómovia používali pojem *skrinka nástrojov*, ale ich *toolkit* mal iný obsah, než mám na mysli v tomto príspevku.

³ V danej súvislosti má v metodologických sporoch osobitnú úlohu nielen jeho koncepcia vedeckých výskumných programov, ale aj jeho širšie názory na vedecké myslenie, ktoré vyjadril v prednáške *Veda a Pseudoveda* [14; 15].

⁴ Explicitne sa objavili v odbornej literatúre tieto nezhody v slávnom spore o metóde medzi predstaviteľmi tzv. mladšej historickej školy (G. Schmoller) a rakúskej línie školy hraničnej užitočnosti (K. Menger) už v 19. storočí pod menom *Methodenstreit* (pozri Heretik [12, s. 378]). Potom už v literatúre nachádzame celú reťaz otvorených a ostrých sporov o metódach v ekonómii, čo pretrvalo dodnes (pozri Blaug [11, s. 225 – 226, 278, 296, 300, 403], a najmä kap. 16: *A Methodological Postscript*, s. 666 – 684).

⁵ „Klasický“ vzdelaný ekonóm má veľmi slabé vedomostné základy z prírodných a technických vied a bohužiaľ aj nízku schopnosť využívať výpočtovú techniku inak než len ako „múdry“ písací stroj, alebo rýchly kalkulator. To súvisí aj s tým, že vo vzdelávaní ekonómov sa nevenuje primeraná pozornosť teoretickej a aplikovanej informatike, umelej inteligencii a špecifickým metódam umožňujúcim simulovať veľmi veľké komplexné systémy.

sebou dorozumievať stúpenci starej a novej paradigmy. Zmena paradigmy teda neznamená len transformáciu vnútri ekonómie, ale premenu (spoločenského) vedomia a predstáv v spoločnosti ako celku. V niektorých svojich statiach a článkoch používam v tejto súvislosti aj spojenie *ekonomická kultúra*.

V našom menovitom prípade tieto zmeny súvisia s prechodom vyspelých spoločností do štádia vedomostnej spoločnosti, čo sa odzrkadľuje v ekonomike takým spôsobom, že nadobúda vlastnosti tzv. novej ekonomiky, vedomostne osnovanej ekonomiky, učiacej sa a učenlivej ekonomiky a podobne. Prudké zmeny vo vývoji objektu ekonómie si vynucujú príslušné zmeny v jej predmete a používaných metódach.

Na druhej strane práve nové technológie, napríklad v odbore umelej inteligencie,⁶ prinášajú bezprecedentné nové možnosti pre ekonomický výskum. Mám na mysli predovšetkým možnosť experimentovania v umelom (virtuálnom) laboratóriu, čo dáva do rúk ekonomického výskum nesmierne silné nástroje a približuje ich z hľadiska možností experimentovania takmer k prírodovedným postupom experimentovania. Na tomto mieste nie je dôležité vyratúvať všetky prednosti experimentovania vo virtuálnom laboratóriu, stačí, keď pripomeniem ekonomickú (či nákladovú), časovú, sociálnu, politickú a psychologickú prednosť tohto nového nástroja a metód.

Z uvedených formulácií by mohol vyplynúť záver, že odmietam doterajšie výsledky, ktoré dosiahla ekonómia v modelovaní hospodárskych javov a príbehov. Nebol by to však presný dojem, pretože uznávam jednotlivé logické stupne vývoja samotnej ekonómie a tam patria aj, povedal by som, tradičné modely a modelovacie postupy. Na druhej strane je však nesporné, že konvenčné modelovanie ako jadro ortodoxnej ekonómie, či názov, ktorý sa dnes častejšie používa pre tieto teórie *main stream economics* (MSE), dlhodobo trpí neschopnosťou vykladať pomocou tradičnej modelovacej metódy javy reálneho sveta a tvoriť základy generovania znalostí živého autentického hospodárstva. Napriek tomu sa väčšina týchto ekonómov tvári, akoby s ekonomickým modelovaním, ale aj celou jeho teóriou a metódami bolo všetko v najlepšom poriadku. Neraz sa stretávame s názormi, že najmä rozvoj filozofie a metodológie modelovania a teórie po druhej svetovej vojne nám pomáha lepšie pochopiť a zhodnotiť prínosy ekonomických modelov (myslia sa, samozrejme, tie, čo nazývam tradičnými) v zmysle ich vedeckej a politickej relevantnosti. V tomto bode začína môj nesúhlas s doterajšími metodologickými prístupmi a hneď aj vysvetlím, hoci len stručne, o čo mi

⁶ Samozrejme, nemám na mysli *umelú inteligenciu* v úzkom, resp. v pôvodnom chápaní. Pre pokrok ekonómie má veľký význam najmä teória a špecifické postupy distribuovanej umelej inteligencie, teória multiagentových systémov, teória neurónových sietí, genetických algoritmov a genetického programovania, evolučných metód, bunkových automatov, Petriho sietí, perkolačných teórií, stochastických grafov a podobne.

ide. Ešte predtým by som však rád pripomenul niektoré Lakatosove myšlienky týkajúce sa problematiky, ktorú dávam do pozornosti čitateľom. Ide na jednej strane o to, že dejiny vied obsahujú viaceré prípady, keď zásadné experimenty zrúcali predchádzajúce teórie ako domček z karát. Na druhej strane časový skzl medzi výsledkami experimentov a pádom teórie býva dosť dlhý. Lakatos sa preto oprávnene pýta, v čom spočíva svojská črta vedy? Máme kapitulovať a súhlasiť s tým, že Kuhnom zavedené vedecké revolúcie sú práve takou iracionálnou zmenou vo viere, ako sú náboženské konverzie? Pravdaže je za tým Kuhn, ktorý dospel k podobným myšlienkam, keď odhalil naivitu Popperovho falzifikacionizmu. T. Kuhn zrejme správne postrehol, že medzi vedou a pseudovedou nevedie výslovne žiadna presná demarkačná línia, nie je rozdiel medzi vedeckým pokrokom a intelektuálnym rozkladom, neexistuje nijaký objektívny kánon na dokazovanie dôveryhodnosti. Takže sa ocitáme v rozpakoch, pretože nemáme kritériá na rozlíšenie vedeckého pokroku od intelektuálnej degenerácie. To je aj dôvod, prečo som vlastne nikdy nezatracoval ortodoxnú ekonómiu z absolutistickej pozície.

Ak by sme chceli opísať komplexný systém v jednoduchšej deterministickej (newtonovskej) logike, museli by sme ho tak veľmi zjednodušiť a abstrahovať v ňom od toľkých jeho vlastností, že by prestal byť ako celok sám sebou. Úsilie dosiahnuť za každú cenu schopnosť opísať ho deterministickými diferenciálnymi či diferenčnými rovnicami alebo hoci aj ich stochastickými mutáciami by zničilo organickú celosť skúmanej entity pri jej prenose do mentálnej mapy skúmajúceho subjektu.

Pri snahe uplatniť uvedený prístup by sme dosiahli len falošné odzrkadlenie objektu a na ňom definovaného predmetu skúmania v celostnom mentálnom obraze o objekte, ktorý si vytvára poznávajúci subjekt. Mentálny model reality by však týmto postupom stratil svoju jedinečnú vlastnosť štruktúrnej stability. Takto akosi vzniká ilúzia, falošné presvedčenie, že deterministické nástroje, napríklad už spomínané deterministické diferenciálne, resp. diferenčné rovnice, sú vhodné na opísanie cieľavedomého ovládania systémového správania hospodárstva určitým subjektom na niektorej úrovni hierarchickej štruktúry hospodárskeho riadenia. Ba dokonca vzniká sebaklam, že pomocou takto odvodených postupov možno riadiť hospodárstvo, či už priamymi alebo nepriamymi postupmi. Skutočný život však dokazuje niečo iné, priam opačné dôsledky postupov „newtonovskej logiky vedy“ uplatňovanej v ekonómii (ale aj v iných spoločenských vedách) pri modelovaní javov a procesov.

Hospodárstvo je živý superorganizmus, ktorý sa vyvíja (vznikajú v ňom, a zároveň aj zanikajú organizmy, inštitúcie, organizácie, agenti, tvoria sa systémy, mechanizmy, pravidlá hry, dohody, zmluvy atď.) v čase nevratným spôsobom.

Práve preto ho nemožno uzavrieť do zvieracej kazajky formalizmov, ktoré sa osvedčili v mechanike a v (prvej, t. j. clausiusovskej) termodynamike. Dokonca ani nástroje nelineárnej dynamiky (Prigogin – Stengersová) sa neosvedčujú tak, ako sa sprvoti očakávalo.

Hospodárstvu ako žijúcemu superorganizmu možno oprávnene pridávať také prívlastky, ako disipatívne, kognitívne (učiace sa, učenlivé, adoptívne, sukcesívne),⁷ komplexné spoločenstvo živých organizmov v prostredí ustavične sa meniacej hladiny neurčitosti. Tento superorganizmus evoluje práve na základe tých svojich stavebných prvkov a vlastností, ktoré simplifikačný a zabstraktňujúci proces upravujúci skúmaný predmet do podoby vhodnej na formalizáciu v newtonovskej (deterministickej) logike vylučuje zo skúmania.

Z uvedených formulácií jasne vyplýva, že ak sa pri modelovaní vzdávame hospodárskych javov, procesov a príbehov newtonovského deterministického *weltanschauungu* v prospech nekonvenčného simulačného modelovania v softvérovom prostredí moderných PC, musí ísť o jasný prevrat v paradigme a/alebo vo výskumnom programe v popperovsko-lakatosovskom zmysle.

V takom „neparadigmatickom“ ekonomickom myslení dominujú od tradičnej ekonómie odlišné princípy. Sú to napríklad také metodické zásady, ako je minimum imputácie predsudkov konštruktéra modelov, nelinearity, zdržiavanie sa v značne vzdialenej oblasti od rovnováhy, prípadná iregularita limitných cyklov vedúca až k chaosu („balansovanie na hrane chaosu“) a podobne. Dost' zjednodušene povedané predpokladá to nevyhnutnosť opustiť prostredie teórie všeobecnej rovnováhy, všeobecnej teórie systémov v jej konvenčnej podobe atď.

Počítačová simulácia nepochybne už dlhšie hrá podstatnú úlohu v ekonómii a (odvetvových a prierezových) ekonomikách podľa toho, nakoľko prístupné boli výkonné PC jednak konštruktérom modelových („umelých“) ekonomík, jednak koncovým používateľom simulačných modelov v zmysle umelého (virtuálneho) experimentálneho laboratória.

Súhrn týchto nových metód a postupov si, prirodzene, vyžaduje vlastné metodologické spracovanie – takto vlastne vzniká istá (invenčná) náuka o metódach nekonvenčného simulovania ekonomických procesov, ako aj o metódach experimentovania s takými simulačnými modelmi (inými slovami teda vzniká aj akási nová metodológia nekonvenčného modelovania sociálno-ekonomických systémov, t. j. simulačných modelov, ale aj experimentovania s nimi, resp. v nich na PC).

⁷ Učiaca sa entita samostatne vyhľadáva informácie, kým učenlivá entita kopíruje, napodobňuje hľadanie iného jedinca a osvojuje si ním získané poznatky odporovaním. Adaptácia je zložitý, v čase rozvinutý proces, v ktorom sa jedinec/jedinci na základe učenia sa a učenlivosti prispôbujú zmenám prostredia, jednak tým, ktoré sú od nich nezávislé, jednak tým, ktoré svojou vlastnou činnosťou zapríčinili. Sukcesia je potom konečným výsledkom uvedených procesov.

Z logiky toho, čom som už načrtol, vyplýva, že táto problematika sa významne dotýka tak ekonomickej vedy všeobecne, konkrétnych výskumných programov, ale veľmi závažným spôsobom aj pedagogickej problematiky a didaktických metód vzdelávania odborníkov pre podmienky trhového hospodárstva v ekonomických a manažérskych odboroch a učebných predmetoch.

Rovnako dôležitá je táto nová oblasť metód a nástrojov pre efektívnosť činností v hospodárskej realite.

Musím však dodať, že aj v tejto aplikačnej a praktickej sfére platí to, čo som už načrtol, totiž negatívne dôsledky nejasností a nedorozumení zakotvených v rozličných paradigmách súčasnej ekonomickej vedy a bežného ekonomického myslenia.

Priamo povedané, metodické, ale aj širšie metodologické nejasnosti, nedorozumenia a kontroverzie majú zásadný vplyv aj na praktickú funkciu a efektívnosť v systematickom poznávaní spoločensko-ekonomických procesov všeobecne a v podmienkach SR jej tranzitívnej vývinovej etapy osobitne. Vo svojom príspevku sa však viac zameriavam na vedecké, výskumné a pedagogické aspekty predmetnej problematiky.

2. Umelé hospodárstvo ako komplexný adaptívny a sukcesívny systém (entita žijúca v softvére počítača)

Prístup, o ktorom chcem informovať ekonomickú komunitu, v tomto príspevku stojí na niekoľkých základných kameňoch (explicitne uvádzam len štyri z nich):

Prvý základný kameň – umelé hospodárstvo v softvére počítača

Prvým z nich je predstava o umelom hospodárstve (prebývajúcim v softvére PC) ako paralele k daktorému hospodárstvu žijúcemu v objektívnom svete. Tento segment nového prístupu umožňuje experimentovať s procesmi a príbehmi, ktoré si nemôžeme dovoliť experimentovať v objektívnej realite z rozličných, väčšinou však veľmi vážnych dôvodov, ako aj v dôsledku biologických, spoločenských, politických, technických atď. ohraničení.

V novej situácii, do ktorej sa dostáva experimentátor, sa otvára možnosť na porovnávanie alternatívnych hypotetických príbehov evolučného (fabulárneho, teda nevratného) typu jednak medzi sebou, jednak na ich konfrontáciu s ex post zaznamenanými príbehmi v objektívnej ekonomickej realite. S tým súvisí úloha imputácie výsledkov z *data miningu* do modelu. Tieto komparácie prinášajú množstvo neštandardných informácií na získavanie nových znalostí o ekonomickej evolúcii.

Druhý základný kameň – „princíp minima“

Princíp minima predsudkov konštruktéra, (a/alebo „stvoriteľ“a“) imputovaných jeho virtuálnym výtvorom, je druhým základným kameňom nového prístupu, ktorý v tomto príspevku predstavujem širšej ekonomickej verejnosti. Voľne povedané ide o to, že na rozdiel od štandardnej umelej inteligencie, ktorá buduje svoje výtvory takpovediac od koncových produktov evolúcie (teda „od konca“), čiže sa snaží napodobňovať najdokonalejšie výtvory doterajšej evolúcie živého sveta, ja svoje modely budujem „od začiatku“ – čiže pokiaľ možno zo singulárneho stavu, resp. od primitívnych kaocervátov. Na základe toho môžem dostať zo samovývoja v softvéri PC akési čisté „referenčné pozadie“ na porovnávanie simulačných modelov hospodárstva, a nielen to, ale aj referenčné prípady pre paralelné experimenty. Ľudovo povedané, pomocou takých simulačných modelov viem dostať experimentátora do mentálnej polohy uvažovania o tom, „čo by sa asi mohlo stať, keby som...“ s vyšším stupňom tvorivosti, pretože ho oslobodzujem od namáhavého udržiavania viacerých súbežných hypotéz v akejsi leviťácii v jeho vedomí. V pamätiach virtuálnych agentov žijúcich v softvéroch totiž bez najmenších problémov pretrvávajú všetky informácie a znalosti nadobudnuté počas autonómneho sebaučenia sa a možno ich kedykoľvek aktivovať v takých krátkych lehotách, že vôbec nerušia nič premýšľania tvorivého ekonóma – experimentátora. Pritom táto metóda rovnako dobre poslúži ekonómovi – teoretikovi, študentovi, ale aj subjektom hospodárskej politiky, špecialistom inštitúcií, a, samozrejme, aj podnikateľom v bežnom trhovom prostredí.

Hoci je prirodzené, že svoju pozornosť zameriavam na ekonómiu, nové metódy a prístupy, o ktorých selektívne (a väčšinou iba v metaforickej rovine) informujem v tomto príspevku, sa vzťahujú aj na iné spoločenskovedné odbory a skupiny vied.

Napríklad dosť dobre predstaviteľná je nekonvenčná simulácia sociologických, politologických, sociálno-psychologických a ďalších systémov. Na druhej strane, ak sa vrátim k ekonomickým aplikáciám, tak si môžeme ľahko predstaviť simuláciu systémov v rámci prierezových a odvetvových ekonomík a rozličných pragmatických a utilitárnych problémov, ktoré musia riešiť subjekty v bežných podmienkach trhového hospodárstva. Takto potom môžeme prísť do styku s prostriedkami simulácie s finančnými, peňažnými, bankovými, rozpočtovými, účtovníckymi, colnými a podobnými systémami, ktoré takisto budú mať v sebe inherentne zabudované prvky sebaučenia sa. Dokonca v takýchto pragmatickejších a utilitárnejších úlohách sa ešte lepšie než vo všeobecných ekonomických systémoch uplatňujú také vymoženosti umelej inteligencie, ako sú umelé neurónové siete, genetické algoritmy a genetické programovanie, evolučné algoritmy, Petriho siete, teória perkolácií a podobne.

Tretí základný kameň – ekonómia ako virtuálna kognitívna veda

Všetky tieto nádejné metódy a ich parciálne časti voľne nazývam prostriedkami kognitívnej ekonómie, pretože nositeľom nie sú už len jednotlivé entity v podobe autonómnych a autentických agentov (t. j. agenti majú „vytvetované“ svoje mená, takže sa z nich nestáva amorfný dav a už vôbec nie veličina, ako napríklad v prípade matematickej ekonómie alebo ekonometrie), lež v ich populačnom genofonde a v memofonde.

Touto cestou sa ekonómia stáva takpovediac virtuálnou kognitívnou vedou, a to je tretí základný kameň môjho prístupu, ktorý si tu pre krátkosť času môžem dovoliť predstaviť aspoň v torzovitej podobe.⁸

Štvrtý základný kameň – smrteľnosť agentov, podnikov, organizácií, inštitúcií a podobne

Vychádzame z potvrdených faktov z objektívnej reality, že živé systémy sú zásadne diskrétného typu v plynúcom fyzikálnom čase. Inak povedané, všetky živé entity – a hospodárske entity majú nepochybne tú vlastnosť, že sú živé – sú smrteľné. To znamená, že v plynúcom toku fyzikálneho času majú bod vzniku a bod zániku. Práve táto vlastnosť je základom učenia sa v mnohoentitovom spoločenstve (resp. množine). V zmysle predstáv významného slovenského biológa L. Kováča totiž môžeme akúkoľvek ekonomickú entitu považovať za istý druh hypotézy.⁹

V ekonomických kontextoch si to môžeme predstaviť napríklad tak, že podniky sú len hypotézami odboru, odbory hypotézami odvetvia, odvetvia hypotézami sektora a podobne. Jednotlivé podniky vznikajú a zanikajú a odbor sa tak učí byť úspešným. Vtip je v tom, že zanikajú neúspešné podniky. Tým uvoľňujú priestor pre vznik nových podnikov, ktoré sa buď osvedčia, alebo zaniknú. Čím viac úspešných podnikov a čím vyššia je úroveň ich úspešnosti z hľadiska prežitia

⁸ Uvedené nové prístupy skúšam uplatňovať v práci so študentmi odboru *Automatizácia a riadenie* a odboru *Informatika a výpočtová technika* na FEI STU Bratislava. Na tento účel som zaviedol doposiaľ dva úplne nové, nekonvenčné predmety, a to *Teóriu modelovania ekonomických systémov* a *Simuláciu ekonomických systémov*. Keďže vediem katedru ekonómie a manažmentu a medzi predmetmi sú aj ďalšie spoločenskovedné a humanitné disciplíny, pripravujem so svojimi spolupracovníkmi aj ďalšie predmety v podobnom duchu. V najbližšom čase to bude napríklad *Simulácia manažérskych systémov a manažérskych hier*, *Simulácia sociologických a politologických systémov* a ďalšie. A práve táto okolnosť mi umožňuje ľahšou cestou prejsť od abstraktného výkladu k explicitnému predstaveniu niektorých výsledkov svojho snaženia v didaktickej rovine. Robím to formou prípadových štúdií parciálnych stavebných modulov väčších simulačných modelov komplexných adaptívnych hospodárstiev, resp. organizácií, inštitúcií a podobne.

⁹ Z veľkého počtu explicitne vedecky hlbokých diel L. Kováča v tejto stati nie je dôležité z nich čokoľvek citovať. Preto v zozname literatúry uvádzam len jeden z jeho ostatných filozoficko-popularizačných referátov, ktoré prednáša v rámci Slovenskej spoločnosti pre umelú inteligenciu. Ale aj o tomto referáte platí, že je to veľmi hlboká filozoficko-metodologická úvaha o živých entitách a ich vlastnostiach.

v neurčitom až rizikovom prostredí, tým je odbor „múdrejší“, teda aj lepšie pripravený na konkurenciu s inými odbormi. Z toho však okrem iného vyplýva záver, že „nesmrteľné“ ekonomické entity nie sú schopné konkurencie, a teda ani schopné pretrvať v neurčitom prostredí. Tento zdanlivo paradoxný a protirečiaci záver jednoznačne potvrdila prax bývalého socialistického hospodárstva – socialistický „podnik“ sa nemohol učiť zo zásady, pretože v skutočnosti ani nebol podnikom, len sa tak volal. Keďže podniky nemohli z ekonomických dôvodov zaniknúť (totiž len na základe politického rozhodnutia), muselo zaniknúť socialistické hospodárstvo ako také.

2.1. Metafora podnikateľského učenia sa na prípade „segmentácie trhu“

Pokrok vo výpočtovej technike, v teórii algoritmov a v programových balíkoch nám umožňuje lepšie než kedykoľvek predtým porozumieť správaniu komplexných ekonomických systémov v celej vertikále od najmenších mikroskopických objektov až po veľmi rozsiahle národohospodárske a nadnárodné ekonomické komplexy. Okrem toho simulačné modely a experimentovanie podporované počítačmi umožňuje hlboké nahliadnutie do vnútorných vzťahov a väzieb medzi „bunkami“, a/alebo „agentmi“ v organizáciách a organizmoch v rámci rozľahlých a zložitých ekonomických superorganizmov. Keďže na vrcholci riadenia každej ľudskej organizácie stojí vždy autentický človek so svojimi nezameniteľnými a neprenosnými záujmami a cieľmi, a teda aj zodpovednosťou za svoju existenciu, ktorá sa nedá delegovať či preniesť na nikoho iného, vzniká prirodzená požiadavka porozumieť podobám a postupom v jeho ekonomickom správaní. Medzi charakteristické prvky v správaní jedincov, napríklad podnikateľov, patrí učenie sa.

Základnou podmienkou podnikateľského učenia sa je existencia prvotného portfólia aktív na podnikanie (neprázdny kontajner na zásoby) a aspoň elementárne znalosti podnikateľských zásad, pravidiel a potrebných odborných znalostí (neprázdny kontajner na znalosti), ako aj možnosti preddavkovať časť svojich aktív a prvotne si privlastňovať výsledky takýchto investícií. Agent, ktorý nemá vytvorené takéto predpoklady, sa nemôže učiť a zákonite musí „vypadnúť z hry“ o podiel na trhu. Inými slovami, neúspech v súťažení pre neschopnosť nadobúdať nové znalosti a prírastky portfólia vyraduje takýchto jedincov z populácie podnikateľov.

Na simuláciu procesu učenia sa podnikateľských subjektov ako jedincov tvoriacich podnikateľskú komunitu, a zároveň učenia sa celej ich komunity možno použiť jednoduchú metaforu hľadania cieľového bodu na povrchu rozbaleného toroidu pomocou prostriedkov umelej inteligencie.¹⁰

Simulujeme tu (pre experiment) firmy snažiace rozdeliť si ekonomiku (trh) na základe difúznej konkurencie. V používateľskom rozhraní experimentátor môže zadať počet vchodov do (pre neho sprvoti) skrytej ekonomiky, podobne počet firiem, ich počiatočné zdroje, minimálne množstvo zdrojov pred eventuálnym krachom a maximálne množstvo zdrojov, keď firma splní svoj cieľ, t. j. úplne zasýti svoj zásobník „vitálnej energie“, resp. portfólia a odchádza z ekonomiky, resp. trhu.

Ekonomiku v metaforickom podaní predstavuje pole s rozmerom 50×50 rozdelené do 25 možných sekcií s rozmermi 10×10 , ktoré predstavujú „vchody“, na trh, resp. aj do komplexnejšej skrytej ekonomiky, obývanej smrteľnými animátmi – agentmi. Vchody môžu byť v skutočnosti napríklad trhy, cez ktoré sa dá dostať do ekonomiky, pričom susedné sekcie predstavujú trhy s podobnými vlastníckmi portfólií a potenciálnymi spo-trebitel'mi vyprodukovaných statkov.

Program vygeneruje náhodné vchody do ekonomiky a náhodne rozloží firmy nad ekonomikou a jej vchodmi. Výsledkom simulácie v každom kroku je rozdelenie trhu medzi firmy a výpočet ich ziskov (resp. kompenzácií za vklady do produkčných firiem) vyplývajúcich z tohto rozdelenia.

Pri rovnakom rozdelení trhu medzi všetky firmy sú zisky z ovládnutia trhu nulové, pretože firmám sa všetky náklady vrátia, ale nič navyše (t. j. zatiaľ sa nepredpokladá vznik nadproduktu a nadhodnoty z iných dôvodov než delenia – segmentácie trhov), a ich zdroje zostávajú nezmenené. Ak nejaká firma získa prevahu, t. j. odoberie trh iným firmám, má zisky a jej zdroje sa zväčšujú. Naopak, ak stráca podiel na trhu, má straty a zdroje sa jej zmenšujú, ba tento proces môže skončiť aj krachom, čo je napokon veľmi dôležitým predpokladom fylogenetického učenia sa (štvrtý základný kameň). Firmy sa snažia získať prevahu na trhu a učia sa investigatívnym spôsobom (sú to tzv. tropistické agenty). Snažia sa dostať nad stred jednotlivých vchodov do ekonomiky (t. j. ovládnuť daný trh), alebo sa dostať aspoň do medzery medzi viac vchodov a tak získať aspoň časti z viacerých trhov.

Program graficky zobrazuje (vykresľuje – „plotuje“) v každom kroku pohyb firiem nad ekonomikou, pričom ich cieľom je dostať sa nad vchody. Simulácia sa končí buď zásahom používateľa – experimentátora, alebo odchodom všetkých firiem z ekonomiky v dôsledku skrachovania alebo dosiahnutia svojich cieľov (nasýtenia), alebo ak jedna firma úplne ovládne celý trh.

Ak firma skrachuje dosiahnutím dna zásobníka, t. j. vyčerpaním sa na vopred zadanú úroveň minimálneho množstva zdrojov, alebo naopak, dosiahne svoj cieľ – maximálne množstvo zdrojov, potom ukončí svoju činnosť a odchádza z ekonomiky. V ďalšej činnosti pokračujú už len zvyšné firmy, ktoré si môžu rozdeliť jej trhy.¹¹

¹⁰ Túto metódu som navrhol už dávnejšie. V ostatných dvadsiatich rokoch som o tomto svojom snažení informoval vo vedeckých časopisoch a knižných publikáciách zborníkového charakteru.

3. Účel, ciele a možnosti experimentovania so simulačnými modelmi umelého hospodárstva

Simulácia spoločensko-ekonomických systémov a vzťahov (procesov) vo vlastnom zmysle slova sa objavuje v odbornej literatúre prinajmenšom od prvého zverejnenia slávnych Forresterových modelov sveta. Tridsať rokov je asi dosť na to, aby sa mohlo hovoriť o dlhej, ale aj pomerne pestrej histórii tohto žánru v ekonomickej vede.

V kontexte tohto príspevku však nepôjde o pokračovanie v tradícii Forrestera a jeho prívržencov: ide v ňom viac o simulácie v spojitosti s prístupmi založenými na teórii komplexných adaptívnych systémov a/alebo na teórii distribuovanej umelej inteligencie. Musím však hneď pripomenúť, že tu ide o určité posuny v chápaní pojmov oproti uvedenému, povedal by som klasickému prístupu, ako aj v ňom použitých (konvenčných) metód simulácie. Ale nielen to. Týka sa to aj viacerých príbuzných pojmov a metód, napríklad odlíšenia simulačných modelov od experimentovania s nimi na PC. Aby však bolo jasnejšie, o čo mi vlastne ide, treba čo-to dopovedať k uvedeným výpovediam.

Živé hospodárstvo je sociálna organizácia (resp. organizmus, ďalej len SO), ktorá sa vyvíja podobným evolučným spôsobom, ako bio- a/alebo eko- logické systémy v objektívnej realite živého sveta. Všetky tri, napriek ich zdanlivej odlišnosti, teda môžeme považovať za komplexné adaptívne systémy (ďalej len KAS).

Podotýkam, že v tradičnom prevedení ide o modelovú ekonomiku, ktorú do „poslednej bodky stvorí“ konštruktér, teda všetky „slová, písmenká, dvojbodky, čiarky a rozdeľovníky“ modelu skladá on. Na rozdiel od toho v mojich modeloch postupujem metódou, ktorú som už vpredu pokusne nazval „*princípom minima*“. V plnom znení ide o „princíp minima imputácie predsudkov stvoriteľ'a svojmu výtvoru – modelovému hospodárstvu žijúcemu v softvére PC“. Dôsledkom uplatnenia tohto princípu je, že modelové hospodárstvo a/alebo modelový trh musia mať vlastnosť sebaovývoja a sebaučenia sa. Inými slovami, v singulárnom bode evolúcie začína takmer z ničoho a až postupne nadobúda charakter komplexného adaptívneho systému. Pretože žije a evoluje v prostredí dajakého *toolkitu*, napríklad v prostredí STELLA II, MATLAB, alebo celkom jednoducho v EXCELI, stvoriteľ modelovej ekonomiky (a/alebo umelého hospodárstva) sa môže ex post pozrieť čo sa „samovytvorilo“ a „samonaučilo“ v danom prostredí. Ale to nie je všetko. Uvedeným spôsobom „vycvičená“ autokreatúra je vlastne umelé laboratórium, v ktorom môže experimentovať konečný používateľ experimentálneho (resp. virtuálneho) hospodárstva. Takto dostáva k dispozícii podstatne mohutnejší nástroj na simulácie a experimentovanie, než mu ponúka tradičná simulačná technológia.

¹¹ Takéto a podobné modely konštruujú študenti FEI a FIIT STU v rámci uvedených predmetov.

Preto hovorím, že v danom prípade ide o proces učenia sa evolúciou a/alebo evolúcia (presnejšie povedané, evolúovanie, treba totiž použiť nedokonavý proces) učením sa. Napríklad jeden z rozdielov oproti tradičnej ekonometrii je to, že kým jej postupy, povedzme pri prognózovaní pridávajú k dokonanému príbehu dodatočný príviesok vyplňujúci prázdny časový interval budúcnosti danej dĺžky, na základe štatistického spracovania minulých (t. j. mŕtvych) veličín, v mojom netradičnom prístupe ide o konanie ďalej žijúcich entít (subjektov) v onom budúcom intervale, ktorý sa navyše obsahovo, vecne a systémovo mení aj ich vlastným pričinením.

V prípade novších konvenčných prístupov k simulácii ekonomických systémov ide o také špecifické postupy, ako je systémová nelineárna dynamika, systémová evolučná dynamika, deterministické chaosové¹² systémy, bunkové automaty, iterované hry *tit-for-tat* (dilemy väzňov), umelé neurónové siete a genetické algoritmy (genetické, či evolučné programovanie), klasifikačné systémy, viacúrovňové simulačné modely, umelé ekonomické siete a podobne.

Stručné závery a smer ďalšieho výskumu

V závere svojho príspevku by som ešte raz chcel zdôrazniť, že vo svojich prácach viem paralelu medzi hospodárstvom, ktoré žije a „dýcha“ v objektívnej realite, a umelým (virtuálnym) hospodárstvom, ktoré žije v softvéri povedzme v daktorom *toolkite* nainštalovanom v PC. A tak vznikla otázka, prečo hovorím o nekonvenčnom (a/alebo netradičnom) prístupe k simulácii a experimentovaniu v ekonómii, a potreba vysvetliť to z hľadiska metodológie a konkrétnych metód a menovitých nástrojov. To som sa pokúsil urobiť v tomto príspevku. Jeho nedostatkom je to, že pre novosť problematiky by sa bolo žiadalo uviesť konkrétnejšie príklady, aby čitateľ vedel posúdiť, v čom spočíva prínos nových metód a nástrojov, ktoré prináša počítačové experimentovanie. Autor by sa mohol vyhovoriť na to, že obmedzenosť rozsahu príspevku to neumožnila. V záujme spravodlivosti však musím konštatovať, že to v časopiseckom článku nieviem realizovať. Je tu totiž kardinálny rozdiel, ak vo výklade používame na dokazovanie matematický aparát, a úplne inou vecou je, keď dôkazy má predložiť fungujúci simulačný model, v ktorom práve prebieha evolúcia umelého hospodárstva. To sa dá naozaj predviesť len priamo pri počítači. Preto využívam túto možnosť a pozývam čitateľov, ktorých zaujala táto problematika, na KEM FEI STU, kde im priamo predvediem predmetné simulácie.

¹² Zámerne zavádzam tento pojem, pretože chcem podčiarknuť jeho odvodenosť od pojmu *chaos*, ako ho interpretuje matematická teória chaosu. V bežnej reči sa používa slovo *chaotický* väčšinou v zmysle *zmätčný*.

Literatúra

- [1] ANDRÁŠIK, L.: Príspevok k analýze regulovaného procesu ekonomického vyrovnávania. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 22, 1974, č. 3, s. 211 – 226.
- [2] ANDRÁŠIK, L.: Bifurkačné teórie a úsilie o „dialektizáciu“ pozitivisticko-scientistickej ekonómie. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 29, 1981, č. 4, s. 317 – 335.
- [3] ANDRÁŠIK, L.: Zrýchlenie rastu synergizmu súčasného kapitalizmu a nároky na metódy jeho skúmania I. Základné pojmy a východiská skúmania. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 30, 1982, č. 5, s. 391 – 409.
- [4] ANDRÁŠIK, L.: Zrýchlenie rastu synergizmu súčasného kapitalizmu a nároky na metódy jeho skúmania II. Matematické modelovanie prostriedky a ich aplikácia na skúmanie chaotických ekonomických systémov. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 30, 1982, č. 6, s. 475 – 494.
- [5] ANDRÁŠIK, L.: Synergia zložitých ekonomických systémov. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 32, 1984, č. 5, s. 426 – 436.
- [6] ANDRÁŠIK, L.: Kritické poznámky k niektorým novším prístupom k analýze a modelovaniu synergie zložitých ekonomických systémov. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 32, 1984, č. 7, s. 643 – 657.
- [7] ANDRÁŠIK, L.: Dynamika transformácie (Prvotný pokus o zarámovanie dynamiky transformácie ako evolučnej entity). *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 43, 1995, č. 3, s. 205 – 223.
- [8] ANDRÁŠIK, L.: Kvalita transformácie (Prvotný pokus o zarámovanie dynamiky transformácie ako evolučnej entity). *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 43, 1995, č. 9, s. 683 – 698.
- [9] ARTHUR, W. B.: Complexity and the Economy. *Science*, zv. 284, apríl 1999, s. 107.
- [10] ARTHUR, W. B.: Cognition: The Black Box of Economics. *Colander*, 2000, s. 51 – 62.
- [11] BLAUG, M., *Economic Theory in Retrospect*. 2. vyd. London: HEINEMANN 1970.
- [12] HERETIK, Š.: Náčrt dejín politickej ekonómie. Bratislava: Nakladateľstvo PRAVDA 1988.
- [13] KOVÁČ, L.: Ľudské vedomie je produktom evolučnej eskalácie emociálneho výberu, *Slovensko-české rozpravy o umelej inteligencii (Kognícia a umelý život III)*. [Zborník z konferencie v Starej Lesnej 14 – 16 mája.] Košice: ELFA 2003, s. 21 – 39.
- [14] LAKATOS, I.: Criticism and the Growth of Knowledge. Vydav. Imre Lakatos & Alan Musgrave. Cambridge: Cambridge University Press 1970.
- [15] LAKATOS, I.: The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers. Vol. 1. Vydav. John Worrall & Gregory Currie. Cambridge: Cambridge University Press 1978.
- [16] PRIGOGIN, I. – STENGERS, I.: Order out of Chaos. Man's New Dialogue with the Nature. New York: Bantam Books 1984.
- [17] ZAJAC, J.: Možnosti využitia agentového prístupu pri simulovaní ekonomiky. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 52, 2004, č. 6, s. 761 – 773.