

MULTIAGENTOVÉ MODELOVANIE AKO METODOLOGICKÁ INOVÁCIA

JURAJ SCHENK, Katedra sociológie FiF UK, Bratislava

SCHENK, J.: Agent-Based Modeling as a Methodological Innovation
FILOZOFIA 62, 2007, No 9, p. 777

The paper is a pioneer work in mapping the methodological problems, which have been introduced into sociology by ABM as an important innovation. It sheds light on the sources and the background of ABM, comparing the latter with EBM. It shows also the main characteristics of multi-agent models and their wide-scaled applicability. The author focuses especially on the systematization of basic methodological problems. He underlines the relationship between simulation and classical experiment, as well as the idealized character of multi-agent models and their effective applying in the development and testing of the sociological theory.

Keywords: Agent-based modeling – Equation-based modeling – Simulation – Generative mechanism – Self-organization

1. Na úvod. Jedným z významných zdrojov i prejavov vnútornej dynamiky každej vednej disciplíny je jej schopnosť produkovať vlastné, interné a/alebo absorbovať externé inovácie a podnety. Platí to i v sociológii, a to tak na úrovni teoretickej, ako aj na úrovni metodologickej. S istým zámerným zjednodušením možno tvrdiť, že metodologické inovácie sú pre rozvoj sociológie prinajmenšom také dôležité ako teoretické a že niektoré metodologické inovácie boli azda ešte významnejšie než inovácie teoretické; ak už v ničom inom, tak v tom, že nové metodologické prístupy otvorili aj nové možnosti a spôsoby teoretickej analýzy sociálnej skutočnosti.

Osud metodologických inovácií, s ktorými sa v sociológii možno stretnúť pomerne často, bol pritom veľmi rozmanitý a závisel nielen od ich poznávacej hodnoty. Viaceré sa stali integrálnou súčasťou pestovania sociológie, iné zostali marginálne a ďalšie potichu zanikli... Metodologické inovácie, ktoré sa „ujali“, spravidla prešli určitými etapami: konjunkturalistické nadšenie, ktoré spolu s nezodôvodnenými očakávaniami a univerzalistickými ambíciami veľmi často sprevádzalo ich (nebadaný, alebo razantný) vstup do sociológie, vystriedala fáza kritickej reflexie a na ňu nadväzujúce presnejšie a úplnejšie určenie ich reálnych možností a obmedzení. V súvislosti s externými inováciami tento proces bol a je ešte zložitejší, lebo vyžaduje zhodnotenie ich principiálnej aplikovateľnosti a neraz aj rozličné modifikácie samých inovácií.

V posledných zhruba pätnástich rokoch sa v sociológii pomerne výrazne začala prejavovať ďalšia pozoruhodná metodologická inovácia, ktorá má externý pôvod. Jej doterajší rozvoj – ak sa meria už len počtom publikácií – je priam búrlivý. Ide o prístup, ktorý sa nazýva modelovanie konania (sociálnych) agentov (v origináli *agent-based modeling*,

prípadne *ABM*) alebo modelovanie multiagentových systémov (*MAS*).¹

Osobitnú pozornosť si tento prístup zaslúhuje prinajmenšom z troch hlavných dôvodov. Po prvé preto, lebo je to nepochybne netriviálny a už pomerne vykryštalizovaný prístup, ktorý v mnohých ohľadoch nielen otvára celkom nové možnosti sociologickej analýzy, ale aj prehodnotenia, resp. nového, inšpiratívneho formulovania (a azda aj riešenia) viacerých kľúčových teoretických a metodologických problémov. Po druhé preto, lebo je prednostne orientovaný na skúmanie sociálnej dynamiky a dynamických nelineárnych systémov vrátane ich kvalitatívnych zmien, čo je oblasť, v ktorej sociológia ešte zďaleka nedosiahla žiaduci pokrok. A po tretie preto, lebo – na rozdiel od viacerých iných krajín – doteraz bol v našej sociológii takmer ignorovaný.²

Za týchto podmienok v štúdiu, ktorá je u nás prvým pokusom nielen o zaznamenanie, ale aj o prvotné rámcové zmapovanie ABM, logicky nemožno ašpirovať na vyčerpávajúcu analýzu. Cieľ musí byť oveľa skromnejší. Jediným zmysluplným zámerom sa tu môže stať len pokus o prvé priblíženie ABM, t. j. naznačenie základných princípov ABM a riešenia kľúčových, zásadných otázok v jeho rámci tak, aby do popredia vystúpili reálne možnosti ABM. Preto je treba najprv ukázať zdroje a kontexty, v rámci ktorých sa daný prístup rozvíjal a rozvíja. Následne to vyžaduje zvýrazniť hlavné rozdiely medzi tzv. EBM (modelmi založenými na rovniciach) a ABM ako konkurenčnými i komplementárnymi prístupmi k budovaniu dynamických modelov. Na tomto základe možno podrobnejšie ukázať hlavné znaky multiagentových modelov a ich široké aplikačné pole. Záverečná časť je venovaná náčrtu základných metodologických problémov, ktoré sa spájajú s ABM, a niektorými prístupmi k ich formulovaniu, resp. riešeniu.

2. Zdroje a kontext. Priamym zdrojom, z ktorého vyrastá ABM v sociológii, je problematika umelej sociálnej inteligencie. Prvá systematická štúdia, ktorou táto problematika bola nielen uvedená do sociológie, ale *de facto* v nej aj akceptovaná, pochádza už z r. 1994 [1]. ABM sa tak v sociológii profiluje na pomedzí počítačových a kognitívnych vied na jednej strane a pokusov o aplikáciu rozličných variantov teórie samoorganizácie a nelineárnych dynamických systémov (synergetika, teória sociálnej entropie a teória chaosu ([49]; [51]), teória komplexnosti [20], teória komplexných adaptívnych systémov [17], teória autopoietických systémov ([36]; [37]; [30]) a pod.) na strane druhej. Tieto teórie sú *metodologickým* základom rozmanitých a neraz priam konkurenčných predstáv o samoorganizácii a nelineárnych dynamických systémoch.

Na profiláciu ABM však významne vplývajú aj viaceré špecificky sociologické teórie, najmä teória výmenných sietí (*network exchange theory*), teória kolektívnych akcií (*collective action theory*) a teória sociálnych dilem (*social dilemmas theory*). Zaujímavým

¹ Niekedy sa v tomto zmysle hovorí aj o počítačovej sociológii (computational sociology) (porov. [31]; [34], 51).

² Prvé, všeobecne ladené zmienky, ako aj prvé aplikácie (napr. pokus využiť iteratívnu dilemu väzňa pri skúmaní interetnickej spolupráce) v našej odbornej literatúre pochádzajú z pera matematikov a informatikov (porov. napr. [25]; [27]).

S tým súvisia aj isté ťažkosti terminologického charakteru: Vzhľadom na uvedené okolnosti terminológia z oblasti ABM nie je v našej sociológii ani bežná, ani štandardizovaná. Jedným z cieľov tejto štúdie preto musí byť aj návrh terminologického úzu. Preto – v oveľa väčšej miere, než je zvykom – text obsahuje aj cudzojazyčné výrazy, pre ktoré sa ešte len hľadajú vhodné slovenské sociologické ekvivalenty.

a netriviálnym spôsobom sa v ABM využívajú viaceré podnetné idey, ktoré vznikli alebo sa úspešne uplatnili v ich rámci: princíp sily slabých väzieb [12] a Millgramov fenomén malého sveta [55], no najmä iteratívna väzňova dilema, ako aj iné stratégie riešenia elementárnych interakcií ([22]; [41]).

Nepriamych zdrojov je tiež viac. ABM, aj keď osobitným spôsobom skúmania, pokračuje vo vývinovej línii, ktorú vytýčili rozličné varianty matematickej sociológie a matematické modely konkrétnych sociálnych procesov, (neraz *ad hoc*) rozvíjané v rámci jednotlivých sociologických teórií. Súčasne sa pritom kriticky vyhraňuje oproti iným metodologickým alternatívam a svojim predchodcom, medzi ktorých patrí napr. sociokybnetika [10] a pod. Teoretické i vecné inšpirácie však čerpá aj z takých celkom odlišných paradigálnych prístupov, akými sú nielen sociologická teória autopoietických systémov (N. Luhmann), ale aj sociologické teórie P. Bourdieua atď. To naznačuje tak zjavné ambície, ako aj istý integračný potenciál ABM. Zrejme preto nie je náhoda, že dokonca už v druhej polovici 90. rokov vznikol pokus konštituovať na tomto základe nový interdisciplinárny prístup, ktorý je známy pod názvom *socionika* ([40]; [32]).

3. ABM verzus EBM. Klasickým prvým priblížením ABM je jeho porovnanie s tzv. EBM (*equation-based modeling*), t. j. s modelmi, ktoré sa zakladajú na rovniciach ([31; 47; 35; 31]). Veľmi stručne možno uviesť, že: a) EBM je štandardný a doteraz prevládajúci prístup k budovaniu modelov sociálnych procesov a javov. Drvivá väčšina matematických modelov, s ktorými sa možno stretnúť v sociológii, sa totiž zakladá na *rovniciach*. Tvoria ich rovnice alebo sústavy rovníc rozličného typu. Prvkami týchto modelov sú *premenné veličiny* (pozorovateľné makropremenné) a modely zobrazujú štruktúru a/alebo dynamiku vzájomných vzťahov medzi týmito premennými veličinami. Riešením modelu je analytické alebo empirické riešenie rovnice (sústavy rovníc). V tomto zmysle sú to modely, ktoré sú konštruované *zhora nadol*. b) ABM vyžaduje modely celkom odlišného druhu. Ich komponentmi sú (virtuálni) *agenti* či *aktéri*. Títo agenti konajú podľa určitých pravidiel, ktorým zodpovedá konkrétny *algoritmus*.³ Iteráciou individuálneho konania agentov na mikroúrovni vznikajú určité sociálne štruktúry alebo sa mení organizácia systému (makroúroveň). V tomto zmysle sú ABM budované *zdola nahor*. Riešením modelu je sama simulácia.

Základné špecifické znaky modelov typu ABM a EBM možno zhrnúť do nasledujúcej tabuľky ([porov. [31]; [47] – upravené):

³ Využívajú sa najmä metódy tzv. *soft-computingu*, napríklad neurónové siete, celulórne automaty, booleovské siete, evolučné algoritmy, genetické algoritmy a pod. (porov. [5]; [21]; [26]; [29]; [6]; [15]; [18] atď.). Umožňujú riešiť rozličné typy úloh a zodpovedajú rozličným teoretickým predpokladom: napríklad evolučné algoritmy umožňujú zmeny pravidiel správania agenta či skupiny agentov na základe predošlej skúsenosti alebo iných informácií. V takom prípade sa pre zmeny pravidiel správania agentov vyžadujú isté metaprávidlá (napr. také genetické operátory, akými sú mutácia, rekombinácia a selekcia) ([21, 5]). Voľba vhodnej metódy preto zásadne ovplyvňuje tak tvorbu modelu, ako aj možnosti procesu simulácie. Na tomto mieste sa však tomuto inak podstatnému problémovému okruhu pozornosť vôbec nevenuje.

Porovnanie ABM (agent-based modeling) a EBM (equation-based modeling)
pri skúmaní sociálnej dynamiky

<i>Charakteristiky modelu</i>	ABM	EBM
<i>Komponenty</i>	súbor agentov	sústava premenných veličín
<i>Princíp dynamiky</i>	algoritmus (pravidlá) konania	riešenie sústavy (diferenciálnych, diferenciálnych atď.) rovníc (rovnice)
<i>Predmet analýzy</i>	charakteristiky individuálneho konania	pozorovateľné makropremenné veličiny a ich vzťahy
<i>Úroveň</i>	mikrosimulácia	makrosimulácia
<i>Konštrukcia modelu</i>	Zdola – nahor	zhora – nadol
<i>Stratégie konania</i>	racionálne i neracionálne	racionálne
<i>Populácie</i>	nehomogénne s meniacim sa správaním	homogénne so stabilným, nemenným správaním
<i>Cieľ</i>	odkrytie mechanizmu mikro-makrovzťahov, ktoré tvoria základ sociálnej dynamiky	hľadanie statického ekvilibria (ekvilibríi)...až po opis trajektórií a určenie atraktorov

ABM a EBM sú špecifické a kvalitatívne odlišné prístupy k modelovaniu dynamic-kých systémov, ktoré slúžia dvom typickým poznávacím cieľom. Kým EBM umožňuje predovšetkým *deskripciu*, ABM je vhodným nástrojom *vysvetlenia* sociálnej dynamiky.⁴ Z tohto dôvodu nie sú vzájomne nahraditeľné alebo subsumovateľné. Ich vzájomný vzťah sa interpretuje ako: koexistencia ([21], 2; [35], 6), komplementarita [31] alebo usporiadanost' [34].

Najzaujímavejší je tretí variant, v rámci ktorého sa zdôrazňuje, že analýza na požadovanej úrovni vyžaduje tri fázy či kroky.⁵ Najprv treba problém *opísať na základe premenných*, čo umožňuje EBM. V druhom kroku ho treba *vysvetliť na základe mechanizmu*,

⁴ Kým model, ktorý je vybudovaný čisto zhora-dolu, „je nepochybne vhodný na *opis* sociálnych pravidelností (regularities)“, „teoretické *pochopenie* (understanding) a *vysvetlenie* sociálnej dynamiky je... možné len vtedy, keď sa berú do úvahy pravidlá sociálnej interakcie a sociálna dynamika sa vysvetľuje v zmysle pravidiel determinujúcich sociálne konanie“ ([21], 3).

⁵ Princíp osobitnej usporiadanosti poznávacích operácií a ich cieľov („*décrire par des variables* → *expliquer par les mécanismes* → *formaliser par des simulations*“ ([34], 60) tvorí základ projektu tzv. *explikatívnej metodológie*, ktorá by mala charakterizovať nový „typ empirickej kvantitatívnej sociológie“, zbavený oprávnene kritizovaných nedostatkov „tradičnej“ kvantitatívnej sociológie, pracujúcej len s premennými veličinami ([34], 39). Manzo – okrem iného – upozorňuje na to, že napr. pozorované štatistické, a najmä kauzálne vzťahy medzi premennými sú základom i dôsledkom pôsobenia generatívnych mechanizmov a že bez zreteľa na tieto mechanizmy ich možno len opísať, nie vysvetliť. Explikatívna metodológia by tak mala umožniť – doteraz len ťažko predstaviteľnú – integráciu *kognitívnych operácií* (deskripcia, vysvetlenie a modelovanie), používaných *jazykov* (verbálneho, matematického a informatického) a *technických nástrojov* (štatistika a simulácia) (porov. [34], 60).

čo si vyžaduje model typu ABM. V treťom kroku, ktorým je sama simulácia, možno model *formalizovať, dynamicky reprezentovať a testovať* ([34], 39, 60).

ABM je prístup, ktorý je osobitne vhodný na modelovanie kvalitatívnych zmien v dynamických nelineárnych systémoch. Ako je známe, bežné metódy, ktoré sa využívajú v sociológii, nie sú na tento účel príliš vhodné, resp. pri ňom na rozdiel od prírodných vied spravidla zlyhávajú. V rámci EBM – ako ukázala najmä synergetika a teória chaosu – sú na riešenie tejto úlohy vhodné len diferenciálne (diferenčné) rovnice alebo ich sústavy. Je však známe, že s použitím tohto typu matematického aparátu sa v sociológii spája mnoho neraz ťažko prekonateľných problémov. ABM je v tomto zmysle prinajmenšom vhodnou alternatívou. Podstatným teoretickým argumentom je však okolnosť, že agent ako element multiagentového systému – ako je podrobnejšie vymedzený v ďalšej časti textu – je nepochybne vhodnejším metodologickým nástrojom na modelovanie relatívnej autokinézy sociálneho systému než akákoľvek premenná veličina. Navyše, premennej veličine charakteristika autokinézy vôbec neprislúcha: premenná veličina nie je schopná konať (porov. [49]).

4. Hlavné znaky ABM. Úvodná stručná charakteristika ABM nepostačuje. Treba ju doplniť o dôležité konkrétnejšie informácie, ktoré ukazujú i dokresľujú špecifikum tohto prístupu.

Všeobecne sa predpokladá, že vhodným modelom umelého (*artificial*) sociálneho systému je multiagentový systém (*MAS*), t. j. súbor autonómnych agentov, ktorí operujú spontánne, paralelne a vzájomne komunikujú. Sám systém je dynamický a komplexný: môže vykazovať rozličné podoby samoorganizácie (od stability cez rozličné typy oscilácií až po chaotické správanie).

Dynamika systému sa modeluje na základe simulácie. *Simulácia* spočíva na tom, že sa aktivujú všetci agenti, ktorí sa budú správať a/alebo komunikovať podľa určeného pravidla (pravidiel), a postupne, t. j. krok za krokom, v istom (prakticky takmer neobmedzenom) počte iterácií sa analyzuje makrosprávanie (makroštruktúra a pod.), ktoré vzniká z interakcií agentov (mikrosprávanie). Dynamika systému sa tak odvodzuje z *generatívneho mechanizmu*,⁶ ktorý je „spôsobom vzniku (*mode de production*) javov“ ([34], 47). Simulácia preto nie je ničím iným než fungovaním, resp. animáciou tohto generatívneho mechanizmu. Ukazuje, ako sa z istej konfigurácie začiatočných mikrostavov a na základe stanovených pravidiel vyvíja makrostav systému. Zmena začiatočných podmienok a/alebo pravidiel umožňuje rozličné varianty dynamiky systému, a teda aj jej simulácie. V tomto zmysle je simulácia hľadaním odpovede na otázku „*Čo sa stane, ak...?*“ ([35], 3) a poskytuje predikcie.

Pri tom musia byť splnené isté predpoklady, ktoré sú stanovené tak, aby boli v mnohých ohľadoch prinajmenšom blízke niektorým podmienkam v reálnych sociálnych systémoch. V rámci ABM (*MAS*) sa spravidla (porov. [47]; [31]) predpokladá, že:

⁶ Generatívny mechanizmus (porov. aj [48]) sa môže interpretovať buď ako reálna entita, alebo len ako analytický konštrukt. Bez ohľadu na jeho ontologický status je *analytickou jednotkou* explikatívnej metodológie. Táto analytická jednotka pritom nie je priamo ani pozorovateľná, ani merateľná, ani operacionalizovateľná. Ako s odvolaním na Elstera tvrdí Manzo, „epistemologická povaha mechanizmov nie je porovnateľná s povahou ‚zákonov‘: mechanizmus nemá taký všeobecný význam ako nomologické tvrdenie“ ([34], 62).

a) agenti sú *autonómni*, kontrolujú vlastné správanie a sú schopní konať bez zásahu „zvonku“ (ľudia, iné systémy a pod.);⁷

b) agent sa nachádza v istom *stave*, ktorý sa v čase $t + 1$ môže meniť. Zmena

(alebo totožnosť) stavov v čase charakterizuje správanie agenta ([21, 4]). Agenti sa správajú na základe určitého – väčšinou pomerne jednoduchého – *pravidla* (pravidiel),⁸ ktoré možno transformovať na vhodný algoritmus. Správanie agenta napriek tomu, že je jednoduché a predvídateľné, spravidla vedie ku komplexným a nepredvídateľným prejavom a dôsledkom na makroúrovni;⁹

c) agent koná *lokálne*,¹⁰ to znamená, že interaguje len s vymedzeným počtom presne lokalizovaných agentov (s tzv. susedmi). Tento predpoklad sa všeobecne považuje za vhodnú aproximáciu reálnych interakcií v sociálnych systémoch, kde tiež dominujú lokálne interakcie;

d) agent koná v *diskrétnom* čase (krok za krokom), čo celkom zodpovedá diskontinuitnému charakteru ľudských činností;

e) agenti patria do dvoch základných kategórií: Modelujú sa buď ako *kognitívni*, alebo ako *reaktívni* agenti. Kognitívny agent sa tradične identifikuje ako projektujúci alebo

⁷ Autonómnosť (a následne aj intencionálnosť a pod.) agenta treba interpretovať v presnom význame. Agent ako element multiagentového systému nie je, samozrejme, autokinetickým útvarom. Jeho správanie, ale aj prípadné zmeny jeho správania, ktoré možno v modeli vyjadriť napr. na základe genetických alebo evolučných algoritmov, sú plne určené zvoleným algoritmom, t. j. „zvonku“, tvorcom modelu. Agentu v tomto zmysle vôbec nemožno stotožniť s autokinetickým jednotlivcom, je len jeho (vhodným) modelom.

⁸ Vo všeobecnosti simulačné modely typu ABM/MAS vyžadujú tri druhy pravidiel: pravidlá pre agentov, prostredie a činnosť modelu (porov. [35], 1). *Pravidlá pre agenta (agent rules)* určujú sústavu definovaných vlastností agenta, resp. vymedzených kategórií agentov. Niektoré z týchto vlastností môžu byť fixné (napr. pamäťová kapacita), iné variabilné (napr. reakcie na odmeny alebo tresty). *Pravidlá pre prostredie (environment rules)* určujú sústavu obmedzení (constraints), ktoré sa vzťahujú na určité správanie agentov. Napr. geografické pravidlá môžu obmedzovať pohyb agentov v priestore alebo zdroje môžu byť agentom distribuované rozlične, v závislosti od ich lokalizácie v sieti. *Pravidlá pre činnosť modelu (action rules)* zasa umožňujú a rozličnými spôsobmi organizujú priebeh simulácií (napr. určujú vstupy, dĺžku interakcií, generovanie nových agentov a určovanie ich vlastností, zobrazovanie a uchovávanie informácií a ďalšie funkcie, ktoré zabezpečujú fungovanie modelu).

⁹ Aj tu – podobne ako vo fraktálovej geometrii [33] – mnohonásobné opakovanie toho istého jednoduchého pravidla (vzoru) vedie k rastu komplexnosti.

¹⁰ Od prvých modelov T. Schellinga sa ako priestorový základ modelu najčastejšie využíva jednoduchá dvojdimenziálna mriežka. V niektorých jej políčkach sú umiestnení jednotliví agenti. Distribúcia agentov do políček vyplýva z prijatých predpokladov rovnako, ako z nich vyplýva počet a situovanie prázdnych, neobsadených políček. Keďže agent interaguje lokálne, t. j. len s presne definovaným rozsahom susedov v mriežke, z teórie sietí a najmä z teórie výmenných sietí sa preberajú elementárne topologické charakteristiky, osobitne vymedzenie susedstva. Rozlišuje sa medzi von Neumanovým a Moorovým susedstvom: Kým prvé ráta so 4 susedmi (v políčkach hore, dolu, vpravo a vľavo), druhé umožňuje začleniť všetkých 8 susedov (4 predošlé + ďalšie 4 políčka v „rohoch“ diagonál). Využívajú sa aj iné prístupy, napríklad Petriho siete, referenčné siete [23] a pod. Všeobecne platí, že dimenzionalita sociálneho priestoru a sociálna topológia (t. j. napr. susedstvo, kohézia, vzdialenosť) systému majú významný vplyv na jeho – osve adaptívnu – dynamiku ([21], 5; porov. [28]). Klasickou ilustráciou je Conwayova „Hra o život“, resp. „Hra života“ (*game of life*), kde prežitie agenta v ďalšej iterácii závisí od počtu jeho susedov: Ak má agent 2 susedov, prežíva (ak agent nežije, jeho stav sa nemení); ak ich má menej, umiera na osamelosť; ak má 4 a viac susedov, umiera v dôsledku preľudnenia. Za istých podmienok (presne 3 susedia) sa môžu oživovať agenti a generovať neočakávateľné (emergentné) makroštruktúry ([3]; [27]).

rekapitulujúci agent. Nedávno vznikla tretia interpretácia kognitívneho agenta aj ako *imitujúceho* agenta [19].

- *Kognitívny* (intencionálny) agent má nielen isté znalosti o stave prostredia, poznatky o správaní a plány správania, ale prípadne aj poznatky o tom, ako jeho správanie ovplyvní prostredie a iných agentov. Má explicitné ciele a je schopný zvažovať, ako ich dosiahnuť. Kognitívni agenti vzájomne komunikujú osobitnými komunikačnými jazykmi (FIPA, KQML a pod.).

- *Projektujúci (forward-looking) agent*: racionálne kalkulujúci náklady a výnosy (napr. v súlade s princípmi dilemy väzňa alebo na základe vhodnej úžitkovej funkcie a pod.).

- *Rekapitulujúci (backward-looking) agent*: spolupracujúci, alebo nekooperujúci na základe predošlej skúsenosti (napr. v súlade s dôsledkami iteratívnej dilemy väzňa alebo inými verziami učenia sa).

- *Imitujúci agent* ([19], 2):

1. *imitácia na základe vychýleného odhadu výnosov z interakcie (payoff-biased imitation)*: imitovanie najúspešnejšieho agenta vo vlastnom okolí;

2. *konformizmus*: tendencia (propensity) adaptovať sa na správanie, ktoré už prijali susedia, a to tým viac, čím vyšší je podiel takýchto susedov;

3. *nonkonformizmus*: tendencia prijať správanie minority;

4. *prestíž*: imitovanie správania najprestížnejších agentov.

- *Reaktívny* (behaviorálny) agent nemá nijakú vnútornú predstavu sveta (prostredia a iných agentov), nemá explicitné ciele a neuvažuje o cieľoch a plánoch. Riadi sa jednoduchými pravidlami typu „podmienky → správanie“, kde podmienkami sú podnety z jeho lokálneho prostredia. Priamo, bez „spracovania“ cez vnútorné stavy reaguje na stimuly z prostredia;

- f) agent je situovaný v istom prostredí a v ňom je schopný *autonómnej* akcie. To zodpovedá aj reálnej situácii, lebo prostredie nikdy nepôsobí deterministicky: neustále sa mení a agent o ňom nikdy nemá k dispozícii úplnú informáciu;

- g) keďže agent úplne nepozná prostredie, to isté konanie uskutočnené dvakrát (v dvoch prostrediach či situáciách, ktoré sa agentovi zdajú ako rovnaké) môže mať *rozličné* výsledky v dôsledku toho, že agent nevníma dôležité črty prostredia. Osobitne, agentovo konanie nemusí viesť k žiaducemu výsledku;

- h) keďže autonómny agent kontroluje vlastné správanie a svoj vnútorný stav (stavy), je na rozdiel od objektov schopný *odmietnuť* vykonať to, čo od neho vyžaduje iný agent, alebo *vyjednávať* o parametroch (spoločnej) úlohy;

- i) v modeloch typu ABM (MAS) sa nepredpokladá nijaká centrálna kontrola, príp. centrálné riadenie. Sú to dynamické komplexné systémy, v ktorých je globálne správanie na úrovni systému *výsledkom* lokálnych správání autonómnych agentov. To otvára fundamentálny problém *poriadku* (order): Prečo a za akých podmienok sa autonómni jedinci združujú?, Ako vznikajú sociálne skupiny a ako sa reprodukovujú v čase? Je to istá obdoba dnes už klasického sociologického zistenia, podľa ktorého nezamýšľané dôsledky individuálneho správania môžu mať neočakávaný makrosociálny výsledok (porov. [14]; [22]; [41]; [47]);

- j) vznik makrosprávania (globálneho správania, makrovzorcov) z mikrosprávání má charakter *emergencie*. Spravidla zodpovedá variantu, ktorý sa vymedzuje ako *slabá emer-*

gencia ([3]; [50]). V tomto zmysle zodpovedá najmä, ale nie výlučne, niektorým prístupom metodologického individualizmu ([34]; [44]; [45]; [46]). Globálne správanie dynamického komplexného systému, keďže je emergentné, nikdy nemožno predikovať alebo odvodiť z vlastností alebo zo správania komponentov (agentov). Možno ho odvodiť len na základe *simulácie* (porov. [3]; [16]; [50]);

k) makrosprávanie (na úrovni systému) možno simuláciou vygenerovať z mikrosprávania počítačom;

l) emergentné globálne správanie (simuláciou predikované makrovzorce) možno – pri zohľadnení idealizačných podmienok – komparovať s empiricky pozorovateľnými vzorcami reálnych sociálnych systémov.

5. Aplikácie. Modely typu ABM/MAS sa široko aplikovali v rozličných oblastiach. V súčasnosti je ich počet už priveľký na to, aby ich bolo možné čo i len vymenovať. Pánuje ale zásadná zhoda v otázke rozlíšenia základných kategórií týchto modelov. Rozlišujú sa dve hlavné kategórie:¹¹ modely vzniku (utvárania) sociálnych štruktúr a modely vzniku (utvárania) sociálneho poriadku [31], resp. modely emergencie sociálnych štruktúr

¹¹ V štúdiách ([31]; [47]) možno nájsť výstižné charakteristiky *najvýznamnejších* modelov, ktoré sú reprezentantmi oboch uvedených kategórií.

Napríklad len na stránkach internetového časopisu JASSS, ktorý je azda najprestížnejším periodikom v tejto oblasti, bolo uverejnených niekoľko desiatok modelov. Na ilustráciu možno uviesť niekoľko kategórií, do ktorých ich možno s istou licenciou (a teda bez nárokov na úplnosť a jednoznačnosť) zaradiť podľa problémových oblastí:

a) základné procesy v sociálnych systémoch (napr. altruizmus; ekonomický výkon; epidemiológia; kolektívna identita; komunikácia a kooperácia; konsenzus a kohézia; konzumpcia; násilie a pomsta; normatívne vplyvy; normy, sociálne nerovnosti a funkcionálna zmena; poznávanie; replikácia; riešenie konfliktov; rotácia úloh; sociálna reputácia; sociálne učenie sa; sociabilita; súperenie; symbolická interakcia; technologická zmena a adaptácia; vyjednávanie; výmena darov; vznik inštitúcií; zodpovednosť atď.)

b) individuálne a sociálne stratégie konania;

c) dynamika behaviorálnych procesov, interakcií, postojov a názorov;

d) riadenie a kontrola (kritický management; kooperatívne riadenie ekosystémov; organizačná kontrola; interorganizačné učenie sa a kolektívna pamäť...);

e) vznik a dynamika sietí či skupín (inovačné siete; symbiotické skupiny; emergencia sociálnych sietí; kompozitné davy; formovanie skupín; medziskupinové konflikty...);

f) dynamika kultúry a jazyka (kultúrne diferencie; kultúrna transmisia; evolúcia jazyka; naratívna inteligencia a pod.).

Existuje tiež viacero zaujímavých modelov mimo týchto oblastí, napríklad dynamika mládežníckych subkultúr, genderová stratifikácia, nové náboženské hnutia, sexuálna heterogenita, systémy manželstva, xenofóbia a sociálna uzavretosť atď. Ako vidno, modely typu ABM už pokrývajú takmer všetky oblasti, ktoré sú aktuálne v súčasnej sociológii, a vyrastajú na princípoch takmer všetkých paradigiem.

Okrem týchto typicky sociologických možno nájsť i modely, ktoré majú ekonomický (evolučná ekonomika; doprava; lokalizované industriálne zhľuky; využívanie hospodárskych zdrojov; trhy cenných papierov), demografický alebo politologický (extrémizmus; verejná politika; teroristické a antiteroristické organizačné štruktúry; politické postoje a volebné správanie; politika v oblasti zdravotného poistenia; etnická mobilizácia; záujmové skupiny), resp. zmiešaný charakter.

Množstvo ďalších modelov možno nájsť v iných periodikách (napr. monotematické číslo *American Journal of Sociology*, 2005, 101, č. 4) a knižných publikáciách, prípadne na internetových stránkach významných pracovísk po celom svete: od amerického Santa Fé Institute po indonézsky Bandung Fe Institute atď.

a modely emergencie noriem (poriadku) [47].

6. Metodologické problémy. Modelovanie multiagentových systémov je metodologickou inováciou, ktorá prináša viacero podnetných inšpirácií.¹² Okrem toho nielen znovu otvára viacero zásadných problémov rozličného druhu, ale – prinajmenšom v niektorých prípadoch – naznačuje i možnosti ich netriviálneho riešenia. Tieto problémy sa týkajú tak prístupu ako celku, ako aj jednotlivých fáz konštrukcie, implementácie (simulácie) a interpretácie modelov.

1. Na prvej úrovni sú situované najmä problémy paradigmalného dosahu. Ide predovšetkým o špecifický pohľad na vzťah prírodovedných a spoločenskovedných disciplín, o preferovaný model (model dobrej alebo novej sociálnej vedy ([38]; [7]) pestovania a rozvíjania sociológie a iných spoločenskovedných disciplín. S nimi úzko súvisí vyjasnenie epistemologického statusu multiagentových modelov (idealizačný charakter modelov, ich teoretický status, spor o ich empirický obsah¹³ a experimentálny charakter, prevládajúce mýty a stereotypy¹⁴) a generatívnych mechanizmov (najmä emergencie), no i vyjasnenie všeobecných metodologických princípov, ktoré súvisia s ich konštrukciou a procesmi simulácie, s ich väzbou na skutočnosť a teoretické poznanie (empirický obsah simulácie [4], testovanie a rozvoj teórie) atď.

2. Na druhú úroveň možno lokalizovať problémy, ktoré sa týkajú poznávacích stratégií (medzi nimi aj takých špecifických stratégií, akými sú napr. participatívne modelovanie [42] alebo prepájanie modelov, tzv. *model-to-model analysis* [13], za účelom rozširovania a usporadúvania poznatkov i testovania modelov), riešenia kľúčových metodologických otázok konštrukcie, simulácie a interpretácie modelov (vzťah k disponibilným teoretickým poznatkom, validizácia ([24]; [38]; [53]), kalibrácia, citlivosť na začiatočné podmienky [8] atď.) a osobitne celého komplexu závažných matematických otázok.

Ako vidno, oba okruhy sú nesmierne bohaté a vnútorne štruktúrované. Preto sú len naznačené bez nárokov na úplnosť. Uvedené sú len otázky, na ktoré sa kladie azda najväčší dôraz.¹⁵

¹² Inšpirácie, ale aj prednosti a prirodzené obmedzenia, ktoré majú výsostne *teoretický* charakter, sú tu zámerne ponechané mimo pozornosti, lebo vyžadujú osobitnú analýzu. Zaoberá sa nimi napr. Sawyer [47], ktorý ich spája predovšetkým s otázkou vzťahu (a prechodu) medzi mikro- a makroúrovňou poznávania sociálnej skutočnosti. Túto otázku stotožňuje s emergenciou a považuje ju za „fundamentálny intelektuálny problém“ sociológie ([47], 333).

¹³ Diskutuje sa napríklad o otázke vzťahu multiagentových modelov a simulácií ku korešpondenčnej, koherenčnej a konsenzuálnej filozofickej teórii pravdy [52].

¹⁴ V súvislosti s ABM/ MAS či simuláciami všeobecne vznikajú a šíria sa rozličné stereotypy. Napr. v štúdií ([35], 4 – 7) sa identifikujú a analyzujú také stereotypy, ako sú: simulácia je hrubý empirizmus; simulácia je vždy ľahšia než uskutočnenie reálneho výskumu; pri simuláciách vždy možno vygenerovať žiaduce výsledky; simulácie sú len simplifikáciami; simulácie nie sú elegantné.

V súvislosti s prvým stereotypom autori presvedčivo ukazujú, že simulácia je naopak „teoretická analýza v najpresnejšom zmysle“ ([35], 5), lebo tieto modely negenerujú empirické údaje, ale teoretické predikcie. Obdobne odkrývajú podstatu a nezdôvodnenosť zvyšných stereotypov.

¹⁵ Vzhľadom na to, že ide o budovanie a využívanie istého druhu matematických, či všeobecnejšie formálnych modelov, celý komplex podstatných otázok má výsostne matematický, resp. „technický“ charakter. V tejto súvislosti im nemožno venovať pozornosť a nie je to ani potrebné. Iné, už typicky metodologické otázky – napr. problém emergencie – sú natoľko závažné, že ich treba analyzovať samostatne a v širšom rámci.

Na tomto mieste sa preto možno dotknúť iba troch všeobecnejších problémov, ktoré tvoria relatívne samostatný celok. Je to bližšie vymedzenie charakteru simulácie a multiagentových modelov, ako aj vzťahu týchto modelov k sociologickej teórii.

Simulácia umožňuje a vyžaduje meniť podmienky (napr. začiatkové podmienky, hodnoty parametrov modelu a pod.). Preto sa zvyčajne stotožňuje s klasickým experimentom. Markovsky a Jin však upozorňujú na to, že je tu prinajmenšom jeden významný rozdiel: Kým experimenty generujú empirické údaje, simulácie generujú teoretické predikcie a v striktnom zmysle nemajú povahu klasického experimentu [35].

Zdá sa, že panuje takmer všeobecná zhoda v tom, že multiagentové modely umožňujú v sociológii (a iných spoločenskovedných disciplínach) ten istý metodologický prístup, aký sa osvedčil v disciplínach prírodovedných. Aj tu je treba budovať najprv jednoduché, základné modely, ktoré slúžia na *principiálne* pochopenie problému, a až keď primerane spĺňajú daný účel, rozširovať modely tak, aby sa blížili k reálnej komplexnosti sociálneho sveta ([21, 6]).¹⁶

Model multiagentového systému má teda charakter idealizovaného teoretického systému. *Idealizácia* (spolu s formalizáciou a ďalšími uvedenými črtami) je typickým znakom všetkých modelov tohto druhu. Bez ohľadu na to, či sa model typu ABM/MAS interpretuje ako teoretický konštrukt, odvodený zo sociologickej teórie, alebo je sám vlastne teóriou,¹⁷ svojím charakterom dobre zodpovedá sociologickým teóriám *tretej generácie* [54].¹⁸

Multiagentové modely spĺňajú vo vzťahu k sociologickej teórii dve hlavné funkcie. Slúžia ako nástroj tak jej budovania a rozvoja, ako aj testovania (porov. [21]; [47]; [35]).

Keďže majú formálny charakter, odvodenie modelu zo zvyčajne nepresnej a neúplnej tradičnej (t. j. deskriptívnej alebo diskurzívnej) sociologickej teórie môže vyvolávať rad ťažkostí. Ich prekonávanie, ktoré umožňuje konštrukcia multiagentového modelu, si spravidla vyžaduje neraz podstatnú revíziu východiskovej teórie. Tým sa zvyšuje presnosť, úplnosť a konzistentnosť základných i odvodených tvrdení teórie a teória získava vyššiu explanačnú silu ([21], 9 – 10). Multiagentové modely sú preto vhodné nielen pre axiomatizované, dobre rozvinuté a formalizované teórie, kde z explicitných tvrdení možno v priebehu simulácií odvodzovať validné implikácie systematicky a konzistentne, ale aj na zdokonaľovanie tradičných sociologických teórií ([47], 332, 356).

Multiagentové modely môžu však slúžiť aj ako špecifický nástroj testovania sociologických teórií. Táto forma testovania ale nemá empirickú povahu: Simulácia môže empiricky validizovať teóriu len do tej miery, do akej je sama empiricky validná ([35], 4). Testovanie je korektné len vtedy, ak teória a model „fungujú“ samostatne a nezávisle, ako porovnanie dôsledkov, ktoré vyplývajú zo samej teórie, s predikciami, ktoré vyplývajú z výsledkov simulácií ([35], 4).¹⁹

¹⁶ Vyslovuje sa dokonca i veľmi silný predpoklad, podľa ktorého cieľom týchto modelov má byť odhalenie „všeobecných zákonov správania komplexných sociálnych systémov“ ([21], 1).

¹⁷ Ako je známe, v mnohých oblastiach sama teória vôbec nie je k dispozícii alebo nespĺňa požadované nároky. Vtedy platí, že „model je teóriou“ ([47], 332).

¹⁸ Sozaňski rozlišuje tri generácie sociologických teórií: celostné teoretické systémy (à la Comte a pod.), teoretické miniparadigmy (napr. mertonovské teórie strednej úrovne) a elementárne teórie. Predmetom teórií tretej generácie či „elementárnych“ teórií sú abstraktné sociálne systémy a základnou stratégiou ich budovania je idealizácia [54].

¹⁹ V tomto zmysle napr. Sawyer prezentuje negatívny test Giddensovej tézy o nevyhnutnej úlohe

Aj keď dnes už možno bez výhrad súhlasiť s tvrdením, podľa ktorého „multiagentové modely dosiahli takú úroveň zrelosti, že sa môžu stať užitočnými nástrojmi pre sociológov“ ([47], 326), kritické zhodnotenie ich predností a prirodzených obmedzení je skôr len v začiatočnom štádiu. Všetky problémy, ktoré tu boli v rôznej podobe naznačené, vyžadujú ďalšiu detailnú analýzu.

LITERATÚRA

- [1] BAINBRIDGE, W. S. – BRENT, E.E. – CARLEY, K. M. – HEISE, D. R. – MACY, M. W. – MARKOVSKY, B. – SKVORETZ, J.: Artificial Social Intelligence. In: *Annual Review of Sociology*, 1994, 20, pp. 407 – 436.
- [2] BECKER, J. – NIEHAVES, B. – KLOSE, K.: A Framework for Epistemological Perspectives on Simulation. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No 4, 16 p.
- [3] BEDAU, M. A.: Weak Emergence. In: Noûs, Supplement: *Philosophical Perspectives: Mind, Causation, and World*, 1997, 31, No 11, pp. 375 – 399.
- [4] BOERO, R. – SQUAZZONI, F.: Does Empirical Embeddedness Matter? Methodological Issues on Agent-Based Models for Analytical Social Science. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No 4, 32 p.
- [5] BONABEAU, E.: *Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems*, 2002, 8 p. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.082080899
- [6] DAVID, N. – SICHTMAN, J. S. – COELHO, H.: The Logic of the Method of Agent-Based Simulation in the Social Science: Empirical and Intentional Adequacy of Computer Programs. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No 4, 23 p.
- [7] DEFFUANT, G. – MOSS, S. – JAGER, W.: Dialogues Concerning a (Possibly) New Science. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2006, 9, No 1, 8 p.
- [8] FUNG, K. K. – VEMURI, S.: The Significance of Initial Conditions in Simulation. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2003, 6, No 3, 4 p.
- [9] GERSHENSON, C.: Philosophical Ideas on the Simulation of Social Behaviour. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2002, 5, No 3, 11 p.
- [10] GEYER, F.: *The Challenge of Sociocybernetics*. Paper prepared for 13th World Congress of Sociology, Bielefeld, 1994, 20 p.
- [11] GOLDSPIK, C.: Modelling Social Systems as Complex: Towards a Social Simulation Model. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2000, 3, No 2, 23 p.
- [12] GRANOVETTER, M. S.: The Strength of Weak Ties. In: *American Journal of Sociology*, 1973, 78, No 6, pp. 1360 – 1380.
- [13] HALES, D. – ROUCHIER, J. – EDMONDS, B.: Model-to-Model Analysis. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2003, 6, No 4, 5 p.
- [14] HECKATHORN, D. D.: The Dynamics and Dilemmas of Collective Action. In: *American Sociological Review*, 1996, 61, No 2, pp. 250 – 277.
- [15] HEGSELMANN, R. – FLACHE, A.: Understanding Complex Social Dynamics: A Plea for Cellular Automata Based Modeling. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1998, 1, No 3, 29 p.
- [16] HOBBS, J.: Ex Post Facto Explanations. In: *The Journal of Philosophy*, 1993, 90, No 3, pp. 117 – 136.
- [17] HOLLAND, J. H.: *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*. New York: Helix Books 1995, 185 p.
- [18] CHATTOE, E.: Just How (Un)realistic are Evolutionary Algorithms as Representations of Social Processes? In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1998, 1, No 3, 37 p.

praktického vedomia pri vzniku sociálnych štruktúr ([47], 345).

- [19] CHAVALARIAS, D.: Metamimetic Games: Modeling Metadynamics in Social Cognition. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2006, 9, No 2, 21 p.
- [20] KAUFFMAN, S.: *At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York – Oxford: Oxford University Press 1995, 321 p.
- [21] KLÜVER, J. – STOICA, C. – SCHMIDT, J.: Formal Models, Social Theory and Computer Simulation: Some Methodological Reflections. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2003, 6, No 2, 20 p.
- [22] KOLLOCK, P.: Social Dilemmas: The Anatomy of Cooperation. In: *Annual Review of Sociology*, 1998, 24, pp. 183 – 214.
- [23] KUMMER, O.: Introduction to Petri Nets and Reference Nets. In: *Sozionikaktuell*, 2001, No 1, 10 p.
- [24] KÜPPERS, G. – LENHARD, J.: Validation of Simulation: Patterns in the Social and Natural Sciences. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No 4, 14 p.
- [25] KVASNÍČKA, V. – POSPÍCHAL, J.: *Evolutionary Study of Interethnic Cooperation. Draft for Advances in Complex Systems*, 1999, 24 p.
- [26] KVASNÍČKA, V. – POSPÍCHAL, J. – TIŇO, P.: *Evolučné algoritmy*. Bratislava: STU 2000, 223 p.
- [27] KVASNÍČKA, V. – POSPÍCHAL, J.: *Informatika pre sociálne vedy*. Bratislava: FSEV UK 2005, 189 p.
- [28] LATANÉ, B.: The Intersubjective Geometry of Social Space. In: *Journal of Communication*, 1996, 46, No 4, pp. 26 – 34.
- [29] LIEBRAND, W. B. G. – NOWAK, A. – HEGSELMANN, R. (eds.): *Computer Modeling of Social Processes*. London – Thousand Oaks – New Delhi: Sage 1998, 185 p.
- [30] LUHMANN, N.: *Sociální systémy*. Brno: CDK 2007, 550 p.
- [31] MACY, M. W. – WILLER, R.: From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent Based Modeling. In: *Annual Review of Sociology*, 2002, 28, pp. 143 – 166.
- [32] MALSCH, TH. – SCHULTZ-SCHAEFFER, I.: Socionics: Sociological Concepts for Social Systems of Artificial (and Human) Agents. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2007, 10, No 1, 14 p.
- [33] MANDELBRÖT, B.: *Fractal Geometry of Nature*. New York: Freeman 1983, 468 p.
- [34] MANZO, G.: Variables, mécanismes et simulations: une synthèse des trois méthodes estelle possible? In: *Revue française de sociologie*, 2005, 46, Nr. 1, p. 37 – 74.
- [35] MARKOVSKY, B. – JIN, W.: *Theories, Tests and Computer Simulations*. Paper presented at the 2002 Annual Meetings of the American Sociological Association in Chicago, 2002, 6 p.
- [36] MATURANA, H. R.: Autopoiesis: Reproduction, Heredity and Evolution. In: Zeleny, M. (ed.): *Autopoiesis, Dissipative Structures and Spontaneous Social Orders*. Boulder: Westview Press 1980, pp. 45 – 79.
- [37] MATURANA, H. R. – VARELA, F. J.: *The Tree of Knowledge. The Biological Roots of Human Understanding*. Boston: New Science Library 1987, 220 p.
- [38] MOSS, S. – EDMONDS, B.: Sociology and Simulation: Statistical and Quali-tative Cross-Validation. In: *American Journal of Sociology*, 2005, 101, No 4, pp. 1095 – 1131.
- [39] MOSS, S. – EDMONDS, B.: Towards Good Social Science. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No. 4, 15 p.
- [40] MÜLLER, H. J. – MALSCH, TH. – SCHULTZ-SCHAEFFER, I.: SOCIONICS: Introduction and Potential. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1998, 1, No 3, 7 p.
- [41] OLIVER, P. E.: Formal Models of Collective Action. In: *Annual Review of Sociology*, 1993, 19, pp. 271 – 300.
- [42] RAMANATH, A. M. – GILBERT, N.: The Design of Participatory Agent-Based Social Simulations. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2004, 7, No 4, 14 p.
- [43] RESCHKE, C. H.: Evolutionary Perspectives on Simulation of Social Systems. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2001, 4, No 4, 14 p.

- [44] SAWYER, R. K.: Emergence in Sociology: Contemporary Philosophy of Mind and Some Implications for Sociological Theory. In: *American Journal of Sociology*, 2001, 107, No 3, pp. 551 – 585.
- [45] SAWYER, R. K.: Nonreductive Individualism: Part I – Supervenience and Wild Disjunction. In: *Philosophy of Social Sciences*, 2002, 32, pp. 537 – 559.
- [46] SAWYER, R. K.: Nonreductive Individualism: Part II – Social Causation. In: *Philosophy of Social Sciences*, 2003, 33, pp. 203 – 224.
- [47] SAWYER, R. K.: Artificial Societies: Multiagent Systems and the Micro – Macro Link in Sociological Theory. In: *Sociological Methods & Research*, 2003, 31, pp. 325 – 363.
- [48] SAWYER, R. K.: *The Mechanisms of Emergence*. In: *Philosophy of Social Sciences*, 2004, 34, pp. 260 – 282.
- [49] SCHENK, J.: *Samoorganizácia sociálnych systémov*. Bratislava: Iris 1993, 243 s.
- [50] SCHENK, J.: Problém slabej emergencie. In: Černík, V. – Viceník, J. (eds.): *Zákon, explanácia a interpretácia v spoločenských vedách*. Bratislava: Iris 2005, s. 57 – 70.
- [51] SCHENK, J.: *Sociálny systém ako nelineárny dynamický systém: koncepcie sociálneho systému v synergetike, teórii sociálnej entropie a teórii chaosu*. Praha: Karolinum 2007, (v tlači).
- [52] SCHMID, A.: What is the Truth of Simulation? In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2005, 8, No 4, 6 p.
- [53] SCHREIBER, D.: *Validating Agent-Based Models: From Methaphysics to Applications*. Paper prepared for the Midwestern Political Science Association's Annual Conference in Chicago, April 2002, 19 p.
- [54] SOZAŃSKI, T.: Socjologia teoretyczna jako nauka normalna. In: *Studia socjologiczne*, 1998, 151, Nr. 4, s. 5 – 37.
- [55] WATTS, D. J.: Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon. In: *American Journal of Sociology*, 1999, 105, No 2, pp. 493 – 527.

Všetky citované štúdie, ktoré boli uverejnené v *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, sú prevzaté zo stránky
<http://www.jasss.soc.surey.ac.uk/JASSS.html>

prof. PhDr. Juraj Schenk, PhD.
 Katedra sociológie FiF UK
 Gondova 2
 818 01 Bratislava 1
 SR