

Možnosti využitia multiagentového modelovania v sociológii

Marek Mathias

Univerzita Komenského v Bratislave, Filozofická fakulta, Katedra sociológie

Abstrakt

V tejto práci je pozornosť zameraná na predstavenie metódy multiagentového modelovania, ktorá predstavuje metodologickú inováciu na poli sociológie. Práca ako celok si tak kladie nároky na porozumenie a identifikovanie základných možností využitia multiagentových systémov v sociológii. V snahe prispieť aspoň v minimálnej miere ambícii sociológie o zvýšenie jej vedeckého potenciálu a možností budovania vedeckého sociologického poznania. V práci sú predstavené oblasti aplikácií multiagentového modelovania v sociológii. Pozornosť sa zameriava aj na problematiku simulácií ako vedeckého nástroja. Súčasťou práce je tiež analýza súčasného vývoja tejto metódy v rámci odborného diskurzu sociálnych vied.

Kľúčové slová: agent, agentové modelovanie, multiagentový model, multiagentový systém, simulácia, sociálna simulácia, sociálny systém.

Úvod

V súčasnosti sa v rámci viacerých vedných disciplín úspešne rozvíja metodologická inovácia v oblasti modelovacích metód, známa ako agentové modelovanie (*agent-based modeling*; ABM) a jeho rozvinutejšia podoba tzv. multiagentové modelovanie (*multiagent modeling*; MAS). Napriek tomu, že sa táto modelovacia metóda využíva v prostredí sociálnych vied na Západe už približne 20 rokov, v prostredí slovenskej sociológie je málo

neznáma. Z tohto dôvodu je vhodné predstaviť možnosti a potenciál multiagentového modelovania pre skúmanie sociálnych javov a sociálnych systémov. Inými slovami, potenciál tejto metodologickej inovácie pre sociológiu.

Hneď na úvod je potrebné upozorniť, že sa jedná o simulačné modely, ktorými je možné simulovať rôzne sociálne fenomény a systémy vo virtuálnej rovine, čiže umožňujú skúmanie sociálnych systémov vo virtuálnej realite. Tieto modely majú povahu dynamických systémov, čo ich predurčuje na modelovanie dynamiky sociálnych systémov. Zároveň, ich charakter umožňuje chápať tento druh modelov ako metodologický nástroj, ktorý vo svojej podstate je schopný spojiť modelovanie sociálneho konania a sociálnej štruktúry, čím sa stáva nástrojom, ktorý môže byť nápomocný preklenutiu jednostrannosti individualistických a holistických prístupov v sociológii, predovšetkým po stránke metodologickej.

Kľúčovou sa v súvislosti s multiagentovými modelmi javí skutočnosť, že tento druh modelov umožňuje simulovať javy v čase, pričom je možné relatívne voľne experimentovať na zvolenej populácii, ktorá je reprezentovaná súborom agentov v systéme, a to bez ohľadu na možné dopady a dôsledky pre túto populáciu. Táto skutočnosť umožňuje testovať rôzne varianty usporiadania sociálnych systémov a odkrývať rôzne riziká pre populáciu, pričom odpadávajú isté etické problémy, ktoré by nevyhnutne vyvstali, ak by sa výskumník rozhodol experimentovať so skutočnou ľudskou populáciou, či populáciami. Je to spôsobené tým, že v týchto modeloch sa pracuje s virtuálnymi objektmi – agentmi, ktorí zastupujú reálnych sociálnych aktérov, čiže ľudí pre potreby skúmania.

Ako bolo vyššie uvedené, táto metóda má v priestore súčasnej svetovej sociálnej vedy, a teda i sociológie za sebou už istú históriu. Do sociálnych vied vstúpila táto metóda koncom 80. rokov 20. stor. Pôvodne vzniklo agentové modelovanie na pôde kybernetiky a počítačovej vedy. Podľa Schenka (2007) stojí agentové modelovanie v sociológii na pomedzí počítačových a kognitívnych vied na jednej strane a systémových teórií na strane druhej.

Výraznejšie rozšírenie agentového modelovania ako vedeckej metódy, ktorú začali využívať viaceré vedné disciplíny, bolo umožnené vývojom informačných a komunikačných technológií a ich následné masové rozšírenie v spoločnosti, ktoré nastalo začiatkom 90. rokov 20. storočia. V tejto súvislosti Sawyer (2003) tvrdí, že enormný nárast záujmu o túto metódu viedol v sociálnych a ekonomických vedách k založeniu špecializovaného časopisu – *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (JASSS).

1. Stručná charakteristika multiagentových modelov

V prvom rade je nevyhnutné si uvedomiť, že multiagentový model je – v prípade sociológie, ako aj viacerých ďalších vedných disciplín – vedeckým nástrojom, vedeckým modelom. Z toho vyplýva fakt, že slúži, podobne ako iné druhy modelov, predovšetkým tzv. *modely založené na diferenčných, resp. diferenciálnych rovniciach* (angl. *equation-based*

modeling; EBM), ako reprezentácia vybraných javov a objektov zo skutočnosti. V prípade sociológie sa jedná o sociálnu skutočnosť. Model umožňuje získať informácie o procesoch, vzťahoch a štruktúre skúmaného sociálneho javu. Platí to aj o multiagentových modeloch. Multiagentové modely majú svoje špecifické charakteristické znaky, ktorými sa odlišujú od iných druhov modelovacích techník a metód. Priestor tejto práce nie je postačujúci na podrobné predstavenie všetkých charakteristických znakov, prvkov, princípov a konštrukčných problémov v ich úplnom rozsahu a hĺbke. Napriek tomu je nevyhnutné pre lepšie porozumenie možnostiam a potenciálu tejto metódy modelovania pre sociológiu predstaviť aspoň v redukovanej podobe kľúčové prvky a princípy, na ktorých táto metóda stojí.

Multiagentový systém je dynamický systém zložený z množstva vzájomne interagujúcich, aktívnych a autonómnych prvkov, tzv. agentov. Autonómia agentov, čiže modelových entít, je chápaná ako absencia centrálného riadenia z vonkajšieho prostredia. Miera tejto autonómie sa mení v závislosti od prostredia, v ktorom sú agenti situovaní a v ktorom realizujú svoje akcie a vykonávajú jednotlivé operácie. Na agentoch založené modely ako vedecké modely predstavujú simulačné modely, ktoré pracujú v diskretnom čase, čiže ich akcie sú určené iteráciami. Podľa Campbella, Phama a Tiana (2005) predstavujú agentové modely spôsob, ktorým sa prekonávajú nedostatky a hrubé zjednodušenia iných typov modelov, ignorujúcich priestorové korelácie medzi prvkami systému. Naproti tomu multiagentové modely sú modelmi, ktoré explicitne distribuujú individua v priestore.

Ako už napovedá názov týchto modelov, sú to modely zložené z agentov. Z tohto dôvodu je nevyhnutné predstaviť kľúčový prvok modelu, ktorým je agent. Ešte predtým je potrebné poznamenať, že napriek dlhoročnému úsiliu o jeho vymedzenie, dodnes neexistuje jednotná, všeobecne platná definícia agenta, a to aj napriek tomu, že jednotliví odborníci z rôznych vedných disciplín sa zhodujú na viacerých základných vlastnostiach agenta. Ďalšie vlastnosti, ktoré rozširujú definíciu a chápanie agentov a vedú k ich typologizácii, sú predmetom širšieho vedeckého diskurzu a často závisia od prostredia, v ktorom majú byť populácie agentov situované, ako aj od vednej disciplíny, ktorá využíva tento druh modelov. V neposlednom rade má význam na spôsob chápania agenta a jeho vlastností aj objekt skúmania, ktorý agentom pripisuje určité špecifické vlastnosti.

Agent predstavuje základný prvok týchto modelov, ktorý je zároveň aktívnym prvkom modelu, resp. systému. Pojem agenta sa v odbornej literatúre v ponímaní, v akom ho chápe tento prístup, objavuje na prelome 50. a 60. rokov 20. storočia. Na definíciu a pojem agenta má výrazný vplyv jeho chápanie v priestore bežného, praktického jazyka, ktoré sa prenáša aj do vedeckého diskurzu o agentoch. V praktickom jazyku je agent ako nositeľ konania chápaný vo významoch napríklad ako zástupca, konateľ, správca, vyjednávatel', dôverník, maklér, pôvodca deja, činiteľ, prostriedok, predavač, zástupca, zmocnenec, činidlo, sprostredkovateľ. Zo všetkých týchto charakteristík je zrejмый dôraz na aktivitu a autonómiu agenta. Agent je konajúca entita, ktorá vykonáva dané úlohy v čase, je pri istom uhle

pohľadu nositeľom konania. Podobne je tomu i v prípade etymologického pôvodu agenta, kde je pôvod slova agent u pôvodného latinského výrazu *agere*, ktoré znamená konať a u slova *agens*, ktoré znamená aktívnu príčinu. Agent vytvára, resp. môže vytvárať interakcie so systémom, v takom prípade hovoríme o interakcii agent-systém alebo s inými agentmi nachádzajúcimi sa v danom systéme. V tomto prípade ide o interakciu agent-agent. Nie je nezaujímavé poukázať na to, že v odbornej literatúre je možné nájsť aj ponímanie agenta ako živej bytosti, či dokonca človeka.¹ To, či je agent výhradne virtuálny objekt, alebo aspoň objekt neživého sveta, je vecou pokračujúceho diskurzu v tejto oblasti. Pokiaľ sa, ale hovorí o agentoch v rámci multiagentového modelovania ako vedeckej metódy, je vhodné vychádzať z chápania agenta ako virtuálnej entity, ktorá je simulovaná a situovaná vo virtuálnom prostredí.

V prípade sociológie reprezentuje agent sociálneho aktéra, ktorý je lokalizovaný v danom sociálnom systéme, ktorý je objektom modelovania. Na základe takéhoto ponímania je možné konštatovať, že „*agent je abstraktná reprezentácia distribuovanej autonómnej entity a správanie a atribúty agenta sú dané zámerom výskumníka.*“ (Heath, Hill, Ciarallo 2009, s. 3) Pre potreby tejto práce je možné naformulovať ako základnú definíciu agenta, definíciu podľa ktorej je autonómny agent systémom, ktorý je časťou prostredia, ktoré vníma prostredníctvom určitých efektorov, na toto prostredie, ktoré vníma, je teda schopný jeho percepcie a v ktorom je situovaný a existuje v priebehu času pôsobí, pričom vykonáva vlastné úlohy, a tak ovplyvňuje to, čo bude vnímať v budúcnosti. Agentom môže byť akákoľvek entita (reálna alebo virtuálna), ktorá vníma svoje okolie pomocou senzorov a pôsobí na toto prostredie pomocou efektorov.

Základnou vlastnosťou všetkých agentov je autonómnosť. Autonómnosť agenta treba chápať podľa Schenka [2007] tým spôsobom, že je to element multiagentového systému a ako taký môže konať a správať sa iba podľa pravidiel platných pre tento systém. Agent nie je schopný autonómneho konania nad rámec vymedzený týmito pravidlami, tzn. že jeho správanie, a aj zmeny jeho správania, možno v modeli vyjadriť za pomoci napr. genetických alebo evolučných algoritmov, sú plne určené zvoleným algoritmom, t.j. zvonku, tvorcom modelu. Agent je len modelom konajúceho individua. Agentové systémy možno podľa Schenka [Schenk 2007; Sawyer 2003b; Macy, Willer 2002] vymedziť nasledovnými charakteristikami:

- a) agenti sú *autonómni*, dokážu kontrolovať svoje vlastné správanie a sú schopní konať samostatne;
- b) agent sa nachádza v istom *stave*, ktorý sa môže meniť v čase, krok za krokom, podľa jednotlivých iterácií určených periódou, čo v konečnom dôsledku napriek jednoduchosti pravidiel môže po istom počte iterácií viesť k vzniku komplexných štruktúr;

¹ Podrobnejšiu úvahu na túto tému pozri napr. Kelemen, J 1994.

- c) agent koná *lokálne*, to znamená, že interaguje len s vymedzeným počtom presne lokalizovaných agentov. Agent je vždy situovaný do presne vymedzeného okolia, s danými susedmi, s ktorými môže interagovať;
- d) agent koná v *diskrétnom* čase, teda krok za krokom;
- e) agent disponuje iba obmedzenou racionalitou a obmedzenými informáciami o prostredí, v ktorom sa nachádza;
- f) v rámci agentových modelov sa predpokladá neexistencia centrálného plánu alebo kontroly, či riadenia. Systém na makroúrovni vzniká ako emergentný jav pôsobenia v čase, určenom iteráciami, agentov na lokálnej úrovni;
- g) agenti sú v multiagentovom systéme schopní komunikácie s ďalšími agentmi. Disponujú schopnosťou kontrolovať svoj vnútorný stav, čo vedie k možnosti vyjednávať alebo odmietnuť požiadavku od iného objektu – agenta.

Okrem týchto vlastností je možné pre multiagentové modely zaviesť i ďalšie vlastnosti, ktoré odzrkadľujú vlastnosti sociálnych aktérov, ktorých agenti simulujú. Podľa Jiřínu „za agenta môžeme považovať samostatný systém, ktorý veľmi všeobecne vyjadrené, nejakým spôsobom spracováva vstupy (vstupné podnety z okolia) a generuje príslušné výstupy (uskutočňuje akcie).“ (Cahlík 2006, s. 27) Do popredia vystupuje schopnosť koordinácie činnosti agenta s inými agentmi, čím sa rozumie poskytovanie informácie ostatným agentom pre ich rozhodovanie, ako i schopnosť správne reagovať na informácie prichádzajúce od ostatných agentov systému.

Multiagentové systémy sú založené na výbere pravidiel správania, ktoré sú v danom prostredí subjektívne optimálne pre fungovanie každého z agentov. Multiagentový systém je realizovaný pomocou počítačového modelovania. Je tvorený dvoma typmi pravidiel: spontánnymi a vytvorenými.

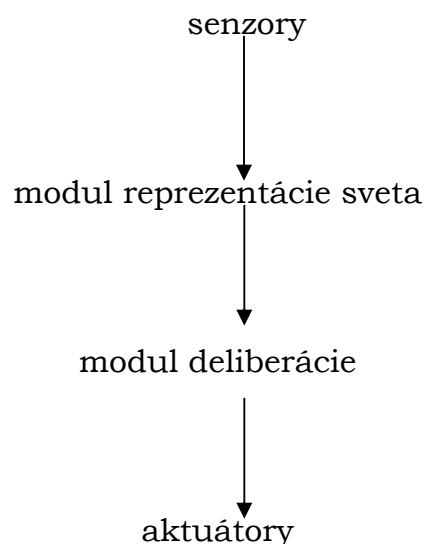
Agent disponuje znalosťou cieľa, ktorú premennú má sledovať a optimalizovať. Simulácie, ktoré umožňuje multiagentový model realizovať, majú charakter spontánneho usporadúvania. Poriadok, resp. organizácia či štruktúra systému emerguje z konania jednotlivých agentov. Nejedná sa teda o štruktúru organizovanú na báze architektúry, čiže *zhora-nadol*, ale opačnou stratégiou, ktorá lepšie postihuje sociálnu realitu, ktorá je predmetom skúmania sociálnych vied. Vo všeobecnosti modely typu ABM a MAS vyžadujú, aby disponovali štyrmi okruhmi pravidiel, podľa ktorých model daného systému simuluje jeho dynamiku v čase. Týmito pravidlami sú:

1. *Pravidlá pre správanie agenta (agent rules)* – tieto pravidlá určujú sústavu definovaných vlastností agenta, pričom niektoré môžu byť pre agenta fixované, iné sú variabilné.
2. *Pravidlá prostredia (environment rules)* – predstavujú sústavu definovaných limitov prostredia, v ktorom agenti operujú. Tieto pravidlá sa vzťahujú na správanie agentov.

3. *Pravidlá pre činnosť modelu (action rules)* – tieto pravidlá organizujú priebeh simulácií modelu, jeho parametre.
4. *Pravidlá interakcií (interaction rules)* – predstavujú sústavu pravidiel, ktorá existuje výhradne v multiagentových systémoch, ktorou sa riadia vzájomné interakcie agentov modelu, resp. sú to vzorce upravujúce vzájomné vzťahy dvoch a viacerých agentov daného systému.

V súvislosti s povahou agentov je potrebné pristiaviť sa ešte pri pár skutočnostiach. Prvou je skutočnosť, že existujú rôzne typy agentov, ktoré variujú od jednoduchých reaktívnych agentov schopných výhradne správania typu stimul-reakcia až po mierne inteligentné agenty (*moderately smart agents*), ktorí disponujú pamäťou a vnútornou reprezentáciou vonkajšieho prostredia i správania iných agentov. V prípade inteligentných agentov, ktorí bývajú v odbornej literatúre označovaní aj ako kognitívni, či deliberatívni agenti vystupuje do popredia problém *deliberatívnosti*. Kelemen hovorí o deliberatívnosti v tom zmysle, že „*inteligentné správanie agenta je podmienené jeho schopnosťou uvažovať, zvažovať rôzne možnosti konať primerané akcie v prospech dosiahnutia cieľov, ktoré agent vo svojom prostredí sleduje, a to na základe reprezentácie prostredia a svojich vlastných možností v tomto prostredí konať.*“ (Kelemen 2010, s. 259) Konštruuje tak model agenta, ktorý vyzerá nasledovne:

Schéma 1.: Stručné znázornenie modelu agenta



Kelemen (2010) poukazuje na základné myšlienky, ktoré vychádzajú z prístupu tzv. *novej umelej inteligencie*, ktorá využíva stratégiu *zdola – nahor (bottom-up strategy)*. Táto stratégia je typická pre multiagentové modelovanie. Pristupuje sa tu tým spôsobom, že reakcie komponentov systému konštruujú smerom nahor komplexnejšie prejavy týchto systémov. Kelemen (2010) poukazuje na tri idey, ktoré sú v pozadí tohto postupu.

1. *emergentná funkcionalita*, ktorou označuje presvedčenie, že racionálne (na cieľ zamerané a autonómne) fungovanie agenta môže vzniknúť, emerguje z interakcií komponentov navzájom a s prostredím agenta.
2. *dekompozícia na úrovni úloh*, ktorá predstavuje návrhársky princíp, v ktorom dochádza k dekompozícii komplexného systému na komponenty na báze úloh, ktoré sa majú dosahovať. Za plnenie elementárnych úloh sú zodpovedné elementárne komponenty.
3. *reaktivita*, je zásada, podľa ktorej je akt vykonaný systémom bezprostrednou reakciou na vnem stavu prostredia, kde sa nachádza.

K tomu ešte dodáva, že o „*správani konkrétneho agenta nerozhodujú iba jeho vlastné receptory a efekty a jeho architektúra, ale aj činnosť a počet ostatných agentov toho istého spoločenstva.*“ (Kelemen 2010, s. 306) Okrem činnosti a počtu agentov danej populácie má na agenta i celý multiagentový systém dopad priestorové rozloženie agentov, ich geometria a topológia.² Ako už bolo uvedené vyššie, multiagentové modely sú modelmi, ktoré explicitne distribuujú individua v priestore. Na problémy spojené s priestorovým usporiadaním multiagentových systémov reaguje prístup *časovaného*, resp. *oneskorovaného vkladania* (*delay-embedding approach*). Tento prístup vychádza z tzv. *Takensovej teóremy*³, nazývanej aj *teorémou časovaného vkladania*. Táto teória udáva podmienky, za ktorých chaotický dynamický systém môže byť rekonštruovaný zo sekvencie pozorovaní stavu dynamického systému. Poskytuje podmienky, za ktorých atraktor môže byť rekonštruovaný z pozorovaní daných generickou funkciou. V prípade prístupu, ktorý je tu predstavený, je možné pod týmto pojmom rozumieť „*geometriu vytvorenú z časových sérií*“ (Campbell, Pham, Tian 2005, s. 113), ktorá poskytuje teoretické základy pre analýzu časových radov generovaných nelineárnym deterministickým dynamickým systémom.

2. Možnosti simulácie v sociálnych vedách

Multiagentové modely predstavujú simulačné modely. So simuláciou sú spojené viaceré problémy a otázky, ktoré si vyžadujú bližšiu pozornosť. V súvislosti so simuláciou Axelrod [2005] tvrdí, že „*simulácia je mladá a rýchlo sa rozvíjajúca oblasť v sociálnych vedách.*“ (Axelrod 2005, s. 2) Pričom podľa neho sa simulácia ako vedecká metóda dostala do sociálnych vied už pred štyrmi dekadami, ale až posledných pätnásť rokov znamená pre túto oblasť rapídne tempo rozvoja.

Od možností, ktoré poskytujú simulácie pre rozvoj sociológie, sú závislé i na agentoch založené modely. Dôvodom je, že simulácia reprezentuje jednu zo základných

² Bližšie o otázkach významu veľkosti populácie agentov, topológii sietí agentov a o agentovej geometrii pozri Cioffi-Revilla, C. 2002.

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Delay_embedding_theorem.

charakteristických črt agentového modelovania. Schenk [2007] uvádza, že so simuláciami sa vo vedeckom skúmaní spájajú isté stereotypné predstavy. Identifikuje päť stereotypov súvisiacich s predstavou simulácii: 1. *simulácia je hrubý empirizmus*, 2. *simulácia je vždy ľahšia než uskutočnenie reálneho výskumu*, 3. *pri simuláciách je vždy možné vygenerovať žiaduce výsledky*, 4. *simulácie sú len simplifikáciami* a 5. *simulácie nie sú elegantné*. Zároveň, ale konštatuje, že simulácie predstavujú „*teoretickú analýzu v najpresnejšom zmysle*“. (Schenk 2007, s. 10) Zdôvodňuje to tým, modely založené na simulovaní sociálnej skutočnosti neprodukujú, ani negenerujú empirické údaje, ale iba teoretické predikcie.

Ako je naznačené v predchádzajúcich odstavcoch, pre pochopenie možnosti využitia multiagentových modelov v sociológii, je nevyhnutné uvedomiť si význam simulácie pre skúmanie na poli sociálnych vied. Pojem simulácie v súčasnej vede znamená proces vytvárania počítačových experimentov. „*Simulácia je proces navrhovania modelu reálneho systému a realizácia experimentov na danom modeli za účelom pochopenia správania systému a/alebo evaluácie rôznych stratégií operácií v systéme.*“ (Rigopoulos, Patlitzianas, Karadimas 2006, s. 243) Jedná sa o abstraktné modely, pričom je nevyhnutné predpokladať, že ako každá abstrakcia, ani výstupy simulačných modelov nikdy nedosiahnu úplnú mieru validity a komplexnosti. Dôvodom je, že pre nastavenie počiatočných podmienok, čiže počiatočného stavu a iniciáciu simulácie za účelom zobrazit' relevantným spôsobom reálny svet potrebujeme často spoľahlivé empirické údaje a teoretické predpoklady.

2.1. Simulácia – tretí spôsob ako robiť vedu

Simulácia je podľa Axelroda [2005] tretí spôsob ako robiť vedu. Prostredníctvom tohto tvrdenia poukazuje na skutočnosť, že simulácie by mala, alebo by mohla predstavovať metódu kontrastnú k dvom štandardným metódam – *indukcii* a *dedukcii*.

Dedukcia je vo všeobecnosti založená na odvodzovaní tvrdení z počiatočnej množiny tvrdení, ktoré sú chápané ako predpoklady, a zároveň za použitia daných pravidiel. Podľa Křemena (2007) je dedukcia „*primárne...natívnu záležitosťou ľudského vedomia.*“ U stochastických modelov, medzi ktoré patria i modely založené na agentoch, sa odvodzuje pravdepodobnostná distribúcia možných výsledkov (Burian 2007).

Ďalšou logickou metódou vo vede je indukcia, resp. induktívny prístup ku skúmaniu skutočnosti. V prípade indukcie ide o generalizovanie získaných empirických údajov. Snaha je orientovaná na vytvorenie takého modelu javu, ktorý by dokázal generovať tieto dáta v najvernejšej možnej podobe. Křemen (2007, s. 20) vymedzuje induktívny prístup, resp. indukciu vo vedeckom poznávaní, ako „*akt zovšeobecnenia, hľadania zákonitostí (znalostí) v dátach,...kedy z jedinečných tvrdení je vyvodený všeobecný záver.*“ Axelrod (2005)

explicitne vo svojom prístupe k simulácii ako tretej ceste robenia vedy vylučuje abdukciu. Následne ho táto skutočnosť vedie k dvom vymedzeniam vzťahu simulácie a vedy.

Po prvé, *simulácia ako tretí spôsob robenia vedy*. V tejto súvislosti konštatuje, že „*podobne ako dedukcia, aj simulácia začína s množinou explicitných predpokladov. Na rozdiel od dedukcie, neoveruje teorémy. Namiesto toho, simulácia generuje dáta, ktoré môžu byť analyzované induktívne.*“ (Axelrod 2005, s. 5) Treba pamätať na to, že simulácia na rozdiel od induktívneho prístupu neumožňuje merať priamo reálny svet, ale skôr svet virtuálny, vytvorený z množiny pravidiel.

Po druhé, je simulácia spôsobom uskutočňovania myšlienkových experimentov. Príčinou tohto použitia simulácie je skutočnosť, že predpoklady použité na simuláciu nejakého konkrétneho javu sú obvykle veľmi jednoduché, ale vedú často k neočakávaným dôsledkom. Takéto dopady rozsiahleho charakteru, ktoré vzišli z lokálnych interakcií agentov, bývajú označované ako emergentné vlastnosti systému.

Špecificky jednotlivé aspekty toho, čo bolo doteraz uvedené, platia aj pre agentové a multiagentové modely. Predovšetkým si treba uvedomiť, že aj v prípade modelov MAS je možné naraziť na štandardné metódy vedy. Multiagentový systém je založený na simulácii nejakej zvolenej sociálnej skutočnosti, či presnejšie výseku reality, ktorá je vo väčšine prípadov realizovaná za pomoci nejakej softwarovej aplikácie. Model je nevyhnutné spustiť dostatočne veľa krát, aby bola zachovaná podmienka veľkých čísiel, za účelom získania dostatočne objemného množstva údajov pre štatisticky spoľahlivý odhad distribúcie.

V prípade multiagentových systémov, ako tvrdí Burian, predstavujú predpoklady hodnoty parametrov modelu, zatiaľ čo pravidlá odvodzovania sú dané samotným modelom. V takomto ponímaní každé spustenie modelu chápe ako deduktívny proces (Burian 2007). Ako príklad multiagentových modelov, ktoré vychádzajú, resp. sú založené na deduktívnom prístupe, presnejšie hypoteticko-deduktívnom prístupe, sú podľa Buriana (2007) prognostické modely vývoja, dynamiky reálneho sociálneho systému.

Pri aplikácii induktívneho prístupu na multiagentové systémy sa snaha orientuje na dosiahnutie porovnateľnej distribúcie nejakých parametrov, ktoré sa nachádzajú v sociálnej realite príslušnej populácie, ktorá je modelovaná agentovým systémom. Agenti tohto modelu sa majú limitne bližieť svojou distribúciou parametrov a vlastností reálnej populácii. Model získaný týmto spôsobom má byť robustný, pretože v prípade širokého rozmedzia hodnôt iniciačných parametrov by sa výsledná distribúcia hodnôt nemala zásadným spôsobom odlišovať od reálnej.

Pri abdukcii je vopred známy výsledok a do určitej miery aj sám model. Skúmanie sa orientuje na získanie počiatočných predpokladov (parametrov), ktoré viedli k danému výsledku. V prípade multiagentových modelov to znamená, že sa hľadajú parametre vedúce k očakávanému správaniu. Ako príklady induktívneho alebo abduktívneho použitia multiagentových modelov uvádza Burian (2007) modelovanie šírenia správania, kde sa pre rôzne štruktúry sociálnych väzieb môže diferencovať dynamika takéhoto šírenia v sociálnom prostredí.

2.2. Funkcie simulácie

Na základe definície Bratleyho, Foxa a Schrageho [1987] vymedzil Axelrod [2005] sedem rôznych použití, na ktoré môže byť simulácia využitá. Podľa tejto definície „*simulácia znamená spustenie modelu systému s vhodnými vstupmi a pozorovanie korešpondujúcich výstupov.*“ (Bratley, Fox, Schrage 1987, s. ix) Týmto siedmimi možnosťami použitia, či presnejšie využitia simulácie na základe ich zámeru, účelu a cieľa sú: *predikcia, performácia, tréning, zábava, výchova, dôkaz (dokazovanie) alebo testovanie a objavovanie, resp. objavnosť.*

Prvou formou použitia simulácie podľa Axelroda je *predikcia*. V tomto prípade môže byť simulácia, ktorá obsahuje komplikované vstupy, použitá na vytvorenie konzekvencií, ktoré z nich vyplývajú. Tieto konzekvencie vznikajú v procese simulovania na základe zakomponovaných hypotetických mechanizmov. V takomto prípade predstavujú výstupné údaje, konzekvencie vzniknuté zo vstupných údajov a mechanizmov určujúcich procesy simulovaného javu – predikcie možných následných stavov daného javu, resp. systému.

Ďalším spôsobom použitia simulácie je *performácia*. Simulácie môžu podľa Axelroda plniť určité úlohy, ktorými sa imitujú niektoré techniky, procesy, či postupy uskutočňované ľuďmi. Umelá inteligencia môže simulovať napríklad ľudskú schopnosť percepcie, rozhodovania či sociálnej interakcie. Pomocou simulácií je možné uľahčiť navrhovanie nových techník.

Tretím spôsobom použitia simulácií je *tréning*. V súčasnosti sa týmto spôsobom využívajú simulácie v oblasti dopravy. Dobrým príkladom sú trenažéry v autoškole alebo letové simulátory v letectve. Dôvodom je možnosť zoznámiť sa s prostredím, v ktorom sa môže človek v reálnom svete ocitnúť a pritom mu v danej virtuálnej realite nehrozia riziká, ktoré by nevyhnutne viseli na človekom v realite. Simulátory sú schopné dynamickej interaktívnej reprezentácie určitého prostredia.

Štvrtou možnosťou ako použiť simulácie je *zábava*. Z vedeckého hľadiska je využitie simulácie na zábavu nezaujímavé. Napriek tomu poukazuje na široké možnosti kreativity vo vytváraní imaginárnych svetov, čo môže byť sekundárne zaujímavé aj pre sociálnych vedcov.

Piatym spôsobom, ktorý uvádza Axelrod, je použitie simulácie na *výchovu*. Podobne ako v prípade tréningu aj v prípade výchovného využitia simulácií ide o možnosť využitia výstupov a modelových situácií na rozvoj človeka v dynamickom interaktívnom prostredí virtuálnej reality. Dôraz sa v tomto prípade kladie na naučenie, resp. získanie zručností týkajúcich sa vzťahov a princípov prostredia pre seba.

Šiestym spôsobom ako využiť simuláciu je *testovanie a dokazovanie*. Simulácie sú schopné uskutočniť dôkaz existencie. Axelrod ako príklad uvádza známu Conwayovu *Hru o život (Game of Life)*, ktorá preukázala, že komplexné správanie môže byť výsledkom veľmi jednoduchých pravidiel. Je možné uskutočniť aj negatívny dôkaz podobne ako v prípade

negatívneho testu Giddensovej tézy o nevyhnutnosti praktického vedenia v sociálnom konaní aktérov.

Posledným, siedmym spôsobom, tak ako ich vymedzil Axelrod, je *objavnosť*. Tento spôsob použitia simulácie bol sociálnymi vedcami relatívne úspešne použitý pri odhaľovaní významných sociálnych vzťahov a princípov založených na veľmi jednoduchých modeloch. Je to preto, lebo jednoduchý model umožňuje ľahšie odkrývať a pochopiť jemné účinky, ktoré spôsobujú predpokladané mechanizmy.

Na záver Axelrod (2005) dodáva, že v rámci svojho vymedzenia spôsobov použitia simulácie uvádza, že vedeckú hodnotu majú iba tri z nich. Konkrétne predikcia, testovanie a objavovanie. Podobne ako Axelrod vytvoril aj Hartmann [Hartmann, S.; 1996] svoju klasifikáciu simulácií, resp. funkcií, ktoré simulácia plní vo vede. Na rozdiel od Axelroda sa zamerlal výhradne na funkcie simulácie pre vedecké účely. Vymedzil päť funkcií, ktoré simulácia môže plniť vo vedeckom skúmaní:

1. *Simulácia ako technika*, chápe sa tým detailné skúmanie dynamiky systému.
2. *Simulácia ako heuristický nástroj*, slúži na rozvoj a vývoj hypotéz, modelov a teórií. Dôvodom je, že simuláciou je možné analyzovať empiricky zistené výsledky za zmenených parametrov a vstupných podmienok, čo môže viesť k odkrytiu nových pravidielností, ktoré si budú vyžadovať nové skúmania, modely, hypotézy a teoretické uchopenie.
3. *Simulácia ako nahradenie experimentu*, zastáva funkciu numerických experimentov. Umožňuje zvládnuť situácie, ktoré nemôžu byť testované experimentálne v reálnom svete, bez ohľadu na to z akých dôvodov.
4. *Simulácia ako nástroj pre experimentátorov*, plní funkciu podporného nástroja na zvládanie experimentov. Umožňuje vybrať vhodné systémy a nastavenia, ktoré sa budú ďalej experimentálne skúmať, rovnako umožňuje analýzu výstupov experimentov.
5. *Simulácia ako pedagogický nástroj*, umožňuje dosiahnutie porozumenia procesom, ktoré skúmame.

3. Rozsah a oblasti aplikácie modelov typu ABM a MAS

Modely založené na agentoch sa v sociálnych vedách a v sociológii využili na relatívne široké spektrum problémov, čo dokazuje možnosti ich rozsiahlej a širokej aplikovateľnosti v tejto oblasti vedeckého skúmania. Schenk [2007] uvádza niekoľko nasledujúcich príkladov oblastí využitia týchto modelov v spoločenskovednom poznávaní sociálnej reality:

- 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 atď.)
- e) *vznik a dynamika sietí či skupín* (inovačné siete; symbiotické skupiny; emergencia sociálnych sietí; kompozitné davy; formovanie skupín; medziskupinové konflikty atď.)
- f) *dynamika kultúry a jazyka* (kultúrne diferencie; kultúrna transmisia; evolúcia jazyka; naratívna inteligencia a pod.)

Ďalej uvádza, že existujú agentové a multiagentové modely, ktoré nepochádzajú z týchto vymedzených oblastí. Sem patria podľa jeho slov napr. dynamika mládežníckych subkultúr, genderová stratifikácia, nové náboženské hnutia, sexuálna heterogenita, systémy manželstva, xenofóbia a sociálna uzavretosť atď. Je dobré poukázať na skutočnosť, že tieto modely sa nevyužívajú výhradne na modelovanie sociologických tém a oblastí, ale prenikajú aj do prostredia ekonomického, demografického a politologického modelovania a poznávania.

V tomto prostredí sa využívajú na modelovanie tém, ako sú evolučná ekonomika; doprava; lokalizované industriálne zhluky; využívanie hospodárskych zdrojov; trhy cenných papierov; extrémizmus; verejná politika; teroristické a antiteroristické organizačné štruktúry; politické postoje a volebné správanie; politika v oblasti zdravotného poistenia; etnická mobilizácia; záujmové skupiny. Mnohé z týchto modelov nemajú disciplinárne vyhranený charakter, ale premostujú jednotlivé vedné disciplíny, paradigmy a prístupy. Napĺňajú tým ideály interdisciplinárneho vedeckého skúmania. Súvisí to nepochybne so skutočnosťou, že tieto modely sú svojim založením, formou a pôvodom z prostredia prírodných a exaktných vied.

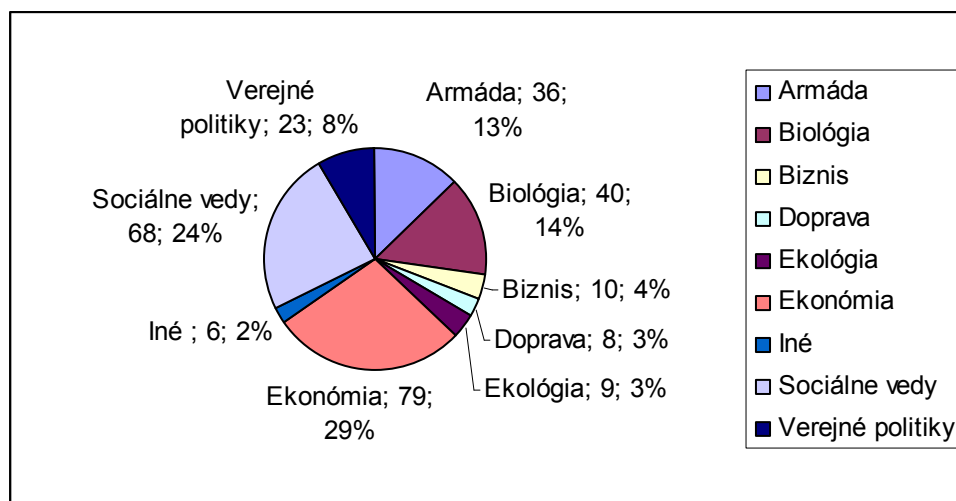
V súvislosti s rozšírenosťou agentového a multiagentového modelovania a simulačných metód v sociálnych vedách poukazuje Axelrod [2005] na skutočnosť, že podľa citačného indexu sociálnych vied za rok 2002 sa pojem simulácia objavil v názve v prípade 77 článkov, ktoré boli rozložené v 55 časopisoch. Pričom iba v prípade dvoch z nich boli publikované viac ako dva články so slovom simulácia v názve. Agentovému modelovaniu sa v sociálnej vede v roku 2002 venovalo 26 autorov, ktorí publikovali 17 príspevkov v 13 rôznych odborných časopisoch (Axelrod 2005).

Rozsahu využitia modelov typu ABM a MAS sa venuje štúdia Heatha, Hilla a Ciaralloa [2009], ktorý vo svojej práci mapujú desať rokov vývoja v tejto oblasti. Analyzujú obdobie od januára 1998 do júla 2008. Zamerali sa na analýzu publikovaných príspevkov v odborných periodikách, pričom analyzovali 279 publikovaných článkov,

v ktorých boli agentové modely vytvorené a použité k analýze. Na selekciu článkov použili autori službu poskytovanú OhioLINK Electronic Journal Center, ktorej databáza disponuje 7750 periodikami a databázu časopisu *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (JASSS). Články pochádzajú z 92 rôznych periodík a publikačných výstupov. Vo svojej analýze identifikovali viacero kategórií ako napríklad *oblasť štúdia, software, referencia na kompletný model, validačná technika a cieľ simulácie*. Pre potreby určenia využívania a aplikácie modelov ABM a MAS sú atraktívne iba oblasť štúdia, resp. oblasť v ktorej boli tieto modely využité a cieľ na ktorý boli použité z hľadiska simulácie.

Ako ukazuje Graf č. 1 najvýraznejšie sa tieto modely z hľadiska ich využitia v jednotlivých predmetných oblastiach využívali v ekonómii, sociálnych vedách a biológii. Vzhľadom na skutočnosť, že ekonomické vedy, sociálne vedy a verejné politiky majú k sebe veľmi blízko, treba poukázať na skutočnosť, že sumárne pokrývajú až 61% všetkých článkov, čiže vytvorených a použitých modelov typu ABM a MAS. Odkrýva sa tak dlh, ktorý má v súčasnosti voči tejto modelovacej metóde slovenská sociológia, kde je táto metóda v minimálnej miere reflektovaná a aplikovaná v praxi.

Graf č. 1: Zastúpenie modelov ABM a MAS podľa oblasti záujmu



Zdroj: Heath, B.; Hill, R.; Ciarallo, F. 2009.

Druhou oblasťou, ktorá je zaujímavá je využitie modelov typu ABM a MAS podľa toho, na aký účel slúži simulácia týmto typom modelu. Heath, Hill a Ciarallo [2009] identifikovali tri typy rolí, resp. účelov, či sledovaných úloh, ktoré plnia simulácie: *generátor, mediátor a prediktor*, ktoré sú vymedzené na základe úrovne porozumenia reálnemu systému.

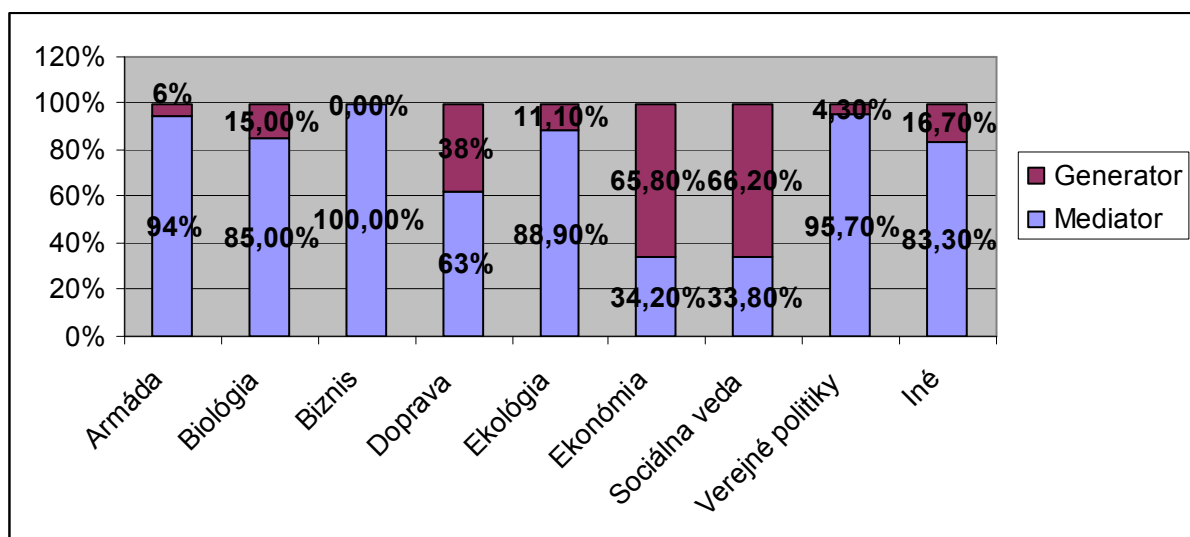
1. *Generátor* predstavuje simuláciu, kde poznanie reálneho systému je malé. Simulácia je determinovaná daným konceptuálnym modelom, ktorý je schopný generovať pozorovateľné správanie sa systému.

2. *Mediátor* predstavuje simuláciu, v ktorej konceptuálny model systému umožňuje reprezentovať daný systém a odкрыť systémové charakteristiky a správanie.
3. *Prediktor* predstavuje taký typ simulácie, v ktorom poznanie systému dosahuje vysokú úroveň a slúži primárne na odhad alebo predikciu správania sa systému v čase.

Voľba toho – ktorého typu simulácie kladie odlišné požiadavky na nastavenie parametrov modelu, pretože, ako je z definícií jednotlivých typov zrejme, vyžadujú iný rozsah znalostí o reálnom objekte, reálnom systéme.

Z daných údajov vyplýva, že najviac zastúpeným typom modelov a simulácií založených na agentoch plní úlohu mediátora. Identifikovali ich až v 168 prípadoch, čo predstavuje 60,2%, modely, ktoré plnia úlohu generátorov boli zastúpené v 111 prípadoch, čo predstavuje 39,8% a predikčné modely neboli medzi analyzovanými modelmi zastúpené vôbec. Z čoho je možné usudzovať, že modely založené na agentoch a autori, ktorí sa nimi zaoberajú, buď ešte nedisponujú dostatočnou technickou výbavou, alebo existujú zásadné nedostatky v teoretickej oblasti, ktoré neumožňujú navrhnuť takéto modely. Prípadne analyzovaný výsek z odbornej praxe nie je dostatočne pokrytý touto štúdiou. Pri porovnaní so zastúpením jednotlivých typov simulácií podľa úlohy, ktorú plnia, a oblasti, v ktorej boli aplikované, je možné z Grafu č. 2 vidieť, že využitie mediáčného typu modelov je výrazne zastúpené hlavne v prípade armádnych modelov a modelov verejných politík, ale predovšetkým v prípade obchodu.

Graf č. 2: Typ simulácie podľa úlohy modelu a oblasti aplikácie



Zdroj: Heath, B.; Hill, R.; Ciarallo, F. 2009.

Schenk v nadväznosti na Sawyera [2003b] a Macyho s Willerom [2002] poukazuje z hľadiska aplikácie týchto modelov v sociologickom skúmaní na dve základné kategórie. Ide o *modely vzniku sociálnych štruktúr*, u Sawyera *modely emergencie sociálnych štruktúr* a o

modely vzniku sociálneho poriadku, u Sawyera *modely emergencie noriem*, ktoré sú od počiatkov sociológie jej výsostnými témami.

Sawyer (2003b, s. 333) tvrdí, že „*artificiálne (umelé) spoločnosti poskytujú sociológom nástroj na vysvetlenie tranzície od mikroúrovne k makroúrovni.*“ Ukazuje, že simulácie multiagentovými systémami, v jeho ponímaní označované ako artificiálne spoločnosti, často začínajú simuláciu sociálnej skutočnosti bez toho, aby obsahovali sociálnu štruktúru. Následne takáto hierarchická a diferencovaná štruktúra populácie emerguje v priebehu simulácie. Ako jeden z prvých príkladov uvádza Schellingovu šachovnicovú simuláciu rezidenčnej segregácie z roku 1971, alebo Axelrodovu umelú spoločnosť z roku 1995, ktorou simuloval emergentné vznikanie nových politických aktérov, akýchsi nadnárodných entít, ktoré sú schopné kontrolovať zdroje v globálnom meradle.

V druhom prípade využitia agentových modelov v sociológii, poukazuje Sawyer [2003b] na klasickú parsonsovskú otázku sociálneho poriadku, ktorá znie „*Prečo a za akých podmienok individua sa vzdávajú autonómie a moci v prospech makrosociálnych entít?*“ (2003b, s. 335) Odpoveď, ktorú ponúkajú podľa neho multiagentové systémy, spočíva v tom, že v architektúre týchto modelov sa nachádza autonómia a otázky kooperácie a koordinácie. Ďalej uvádza, že mnoho štúdií zaoberajúcich sa skúmaním kooperácie v prostredí MAS, je založených na implementácii *iteratívnej dilemy vážna* (IPD). V IPD agenti interagujú v opakujúcich sa procesoch hry. Agenti sú schopní si pamätať konanie druhých agentov v predchádzajúcom priebehu hry. V IPD agenti sú schopní kooperácie bez toho, aby disponovali predprogramovanými normami kooperácie. Artificiálne spoločnosti, systémy typu MAS, podľa Sawyera [2003b] predstavujú čistú formu metodologického individualizmu, pretože vysvetľujú sociálne javy v pojmoch individuí a ich interakcií. Makrosprávanie, ktoré vzniká, emerguje, je vysvetľované simuláciou, resp. jej priebehom a výslednými stavmi systému.

Prvé vymedzenie aplikovateľnosti multiagentového modelovania v sociológii bolo orientované na určenie okruhov, presnejšie oblastí skúmania. Modelovanie sa v tomto ponímaní zaoberá tým, čo má byť modelované (vymedzenie témy, sociálneho problému). V druhom prípade sa poukazuje na využitie multiagentového modelovania podľa typu, alebo charakteru javu zo štruktúrneho pohľadu. V treťom prípade sa pozornosť orientuje podľa toho, ktorým smerom je zameraný výskum prostredníctvom týchto modelov. Z tretieho pohľadu je možné identifikovať štyri oblasti, kategórie, v rámci ktorých existuje možnosť aplikácie multiagentových modelov.

Prvým okruhom je aplikácia MAS na testovanie sociologických hypotéz a teórií. Je to vzťah medzi multiagentovými modelmi a sociologickou teóriou. Testovanie sociologických teórií patrí medzi dve hlavné funkcie, ktoré tieto metódy plnia vo vzťahu k sociologickej teórii. Druhou funkciou týchto modelov je, že slúžia ako nástroj na rozvíjanie a výstavbu teórie.

V prípade, že modelová simulácia slúži na testovania sociologickej teórie, sa musí dbať na to, či a akým spôsobom teóriu preniesť do modelu. Akým spôsobom ju formalizovať. Tento problém vyvstáva väčšinou v prípade nepresných a neúplných teórií deskriptívnej alebo diskurzívnej povahy. Ak sa multiagentový systém využíva na simulovanie sociologickej teórie, ktorá je týmto modelom testovaná, musí sa dbať na zachovanie jej vnútorných explicitných a implicitných predpokladov. Prvky teórie sú algoritmizované, tzn. upravené do podoby algoritmov pre správanie agentov. Na základe predpokladov vyplývajúcich z teórie, sa realizuje parametrizácia a kalibrácia systému.

Neustále treba pamätať na to, že testovanie v prostredí MAS nemá empirický charakter. Schenk (2007) poznamenáva, že „*simulácia môže empiricky validizovať teóriu len v tej miere, v akej je sama empiricky validna... 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.*“ Príkladom takejto aplikácie multiagentového modelovania je negatívny test Giddensovej tézy o nevyhnutnej úlohe praktického vedomia pri vzniku sociálnych štruktúr (Sawyer 2003b).

Pri tejto aplikácii multiagentového modelovania môže byť daná sociologická teória falzifikovaná⁴ dvoma spôsobmi:

- a) V prvom prípade je teória falzifikovaná, ak jej explicitné a implicitné predpoklady, ktoré predstavujú pravidlá pre nastavenie a fungovanie systému a správanie a konanie agentov v ňom, definujú výsledný stav alebo množinu stavov. A zároveň modelové výstupy, tzn. údaje a výstupné stavy dané simuláciou alebo množinou simulácií, nezodpovedajú očakávaným výsledným stavom. V tomto prípade je teória falzifikovaná na základe jej vnútornej logiky, tzn. a priori. Multiagentové modely môžu v prípade simulácií teoretických predpokladov vypovedať o bezrozmernosti vstupov a výstupov týchto predpokladov teórie.
- b) V druhom prípade sa teória testuje spôsobom, ktorý predpokladá modelovanie jej predpokladov. Hľadá sa odpoveď na otázku: čo by malo podľa teórie platiť pre sociálny systém? Následne dochádza k porovnaniu modelových dát s dátami empirickými. Teória v tomto prípade falzifikovaná, ak sa modelové dáta nezhodujú s empiricky nameranými dátami.

Druhý okruh aplikácie MAS v sociológii predstavuje, využitie týchto modelov k budovaniu sociologickej teórie z modelu. V tomto prípade môžu multiagentové modely slúžiť buď na zdokonaľovanie už existujúcich sociologických teórií, alebo na odvodzovanie validných implikácií z modelu. Umožňuje to formalizovaný a idealizovaný charakter modelu, ktorý simuluje rôzne situácie. Z týchto simulácií je možné indikovať invarianty systému a identifikovať procesy, ktoré by inak ostali skryté.

⁴ Pri testovaní sociologických teórií multiagentovými modelmi sa dá hovoriť iba o možnosti falzifikácie danej teórie, pretože multiagentové modely nie sú schopné ju verifikovať. Je to dané tým, že neumožňujú získavať a merať primárne empirické dáta. Umožňujú ich nanajvýš spracovávať a analyzovať, nie však produkovať. Z tohto dôvodu multiagentové modely zodpovedajú Popperovej koncepcii vývoja vedeckého poznania, založenom na falzifikovaní dosiahnutého stupňa poznania.

Po tretie, model sa dá použiť na prognostické účely. V tomto prípade plní prognostickú funkciu. Umožňuje to fakt, že model na základe algoritmov a parametrov odvodených z teórie alebo z empirických dát, dokáže simulovať rôzne varianty budúcich stavov systému. Tým anticipuje možné stavy budúceho vývoja simulovaného objektu sociálnej reality. Z takto získaných obrazov vývoja, vývojových trajektórií je možné vytvoriť prognózu.

Štvrtým okruhom aplikácie multiagentového modelovania je jeho využitie na analýzu alebo odhad dopadov intervencií do sociálneho systému. Táto možnosť aplikácie multiagentového modelovania má blízko k sociálnej politike, pretože jej môže pomáhať identifikovať dosahy a dopady politických intervencií na populáciu.

Modely tohto typu to umožňujú tým, že simulujú podvojne vývoj systému. V prvom prípade simulujú vývoj bez intervencie a v druhom prípade na základe manipulácií so vstupnými parametrami modelového systému, simulujú vývoj po intervencii. Umožňujú tak anticipovať dosahy reforiem.

Záver

Multiagentové modelovanie je v súčasnosti široko využívaná metóda, ktorá má interdisciplinárny charakter. Výraznejší rozvoj zaznamenala v 90. rokoch 20. storočia, čo súvisí s nástupom osobných počítačov a rozvojom informačných technológií a počítačovej vedy. Rozširovanie tejto metódy modelovania neobišlo ani sociológiu. Na druhú stranu, treba konštatovať, že na Slovensku nie je v oblasti sociológie a ostatných sociálnych vied dostatočne reflektovaná a využívaná. Pričom táto metóda modelovania poskytuje vykryštalizovaný metodologický aparát vhodný na skúmanie dynamických sociálnych systémov.

Na agentoch založené modely majú tú nespornú výhodu, že umožňujú simulovať správanie a konanie sociálnych aktérov na základe vcelku jednoduchých pravidiel, ktoré ale môžu viesť v významným efektom na úrovni systému. Ako bolo uvedené vyššie multiagentové modely ako simulačné modely môžu plniť viaceré funkcie a tým prispieť k rozvoju a zvyšovaniu vedeckej úrovne poznania sociológie. Kľúčovou vlastnosťou týchto modelov je, že môžu fungovať ako myšlienkové experimenty na základe empirických dát a tým uľahčovať teoretickú prácu. Takisto môžu dobre poslúžiť ako nástroje na testovanie sociologických teórií a hypotéz, či na prognostické účely.

V tomto príspevku bol ukázaný potenciál týchto modelov pre ďalší rozvoj sociológie ako vedy. Pretože je to v rámci slovenskej sociológie téma v podstate neznáma, obsahuje tento príspevok aj relatívne rozsiahly úvod do toho, čo sú a ako fungujú modely založené na agentoch. Ukazuje sa, že využiteľnosť a aplikovateľnosť tejto metódy modelovania je široká, čo dokazuje rozsah tematických oblastí, na ktoré bola doteraz táto metóda aplikovaná.

Predpokladmi na aplikáciu tejto metódy na sociálnu skutočnosť, ktorú ma model reprezentovať, je vyjadriteľnosť komponentov skúmaného objektu sociálnej reality prostriedkami agentového systému.

Literatúra:

1. AXELROD, R. (2005): Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences in: RENNARD, J.-P., (ed.): *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Managment*; Hersey, PA: Idea Group. Dostupné na: <<http://www.cscs.umich.edu/pub/papers/AdvancingArtofSim.pdf>>.
2. AXTELL; R.; (2000): Why agents? On the varied motivations for agent computing in the Social Sciences; Center on Social and Economic Dynamics; Working Paper No. 17. Dostupné na: <<http://www.umass.edu/economics/publications/2007-10.pdf>>.
3. AXTELL, R.; AXELROD, R.; EPSTEIN, J. M.; COHEN, M. D. (1996): Aligning Simulation Models: A Case Study and Results. Dostupné na: <<http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/dockingsimmodels.pdf>>
4. BONABEAU, E. (2002): Agent-based modeling: Methods and Techniques for simulating human systems in: PNAS; vol. 99; 14. May 2002; s. 7280 – 7287. Dostupné na: <<http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7280.full.pdf+html>>.
5. BRATLEY, P.; FOX, B.; SCHRAGE, L. (1987): A Guide to Simulation. Second Edition; New York: Springer-Verlag.
6. BURIAN, J. (2007): Multiagentní modely sociálních organizací in: MARKŮ, P. (ed.) *Kognice 2007*; Olomouc: Univerzita Palackého. Dostupné na: <http://eldar.cz/honza/articles/burian_agents.doc>.
7. BURIAN, J. (2008a): Multiagentní model transakčních nákladů na finančních trzích in: KVASNIČKA, V.; KELEMEN, J.; POSPÍCHAL, J.(eds.): *Kognice a umělý život VIII*. Opava: Slezská univerzita. Dostupné na: < http://eldar.cz/honza/articles/burian_ace_fin_market_tc.doc >.
8. BURIAN, J. (2008b): Myšlení modelů in: KVASNIČKA, V.; KELEMEN, J.; POSPÍCHAL, J. (eds.): *Modely mysle*; Bratislava. Dostupné na: <http://eldar.cz/honza/articles/burian_mysleni_modelu_final.doc>.
9. CAHLÍK, T. a kol.(2006): Multiagentní přístupy v ekonomii. Praha: Karolinum 2006.
10. CAILLOU, P.; CURCHOD, C.; BAPTISTA, T. : Simulation of the Rungis Wholesale Market: lessons on the calibration, validation and usage of a Cognitive Agent-based Simulation. Dostupné na: <<http://www.lri.fr/~caillou/articles/RungisIATv7.pdf>>.
11. CAMPBELL, A.; PHAM, B.; TIAN, Y.-C. (2005): A Delay-Embedding Approach to Multi-Agent System Construction and Calibration. Dostupné na: <<http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/campbell.pdf>>.

12. CIOFFI-REVILLA, C. (2002): Invariance and universality in social agent-based simulations; in: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America; Vol. 99; p. 7314 – 7316. Dostupné na:
<<http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7314.full.pdf+html>>.
13. HEATH, B.; HILL, R.; CIARALLO, F. (2009): A Survey of Agent-Based Modeling Practices (January 1998 to July 2008) in: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 11, č. 1, 5. Dostupné na:
<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/1/5.html>>.
14. KELEMEN, J. (1994): Strojovia a agenty. Bratislava: Archa.
15. KELEMEN, J. (2010): Myslenie a stroj. Bratislava: Kalligram.
16. KŘEMEN, J. (2007): Modely a systémy. Praha: Academia.
17. MACY, M. W.; WILLER, R. (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. Cornell University 2001; Annual Review of Sociology, No. 28, p. 143 – 166. Dostupné na:
<http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/Macy_Factors_2001.pdf>.
18. MATHIAS, M. (2009): Metodologické problémy multiagentového modelovania v sociológii. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Filozofická fakulta.
19. RIGOPOULOS, G.; PATLITZIANAS, K.D.; KARADIMAS, N. V. (2006): Modeling consumer behavior towards payment system selection using multiagent based simulation. Dostupné na:
<http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200603C039.pdf>.
20. SAWYER, R. K. (2002): Nonreductive Individualism, Part I. – Supervenience and Wild Disjunction in: *Philosophy of the Social Sciences*, Vol. 32, No. 4, p. 537 – 559. Dostupné na: <<http://artsci.wustl.edu/~ksawyer/PDFs/nri1.pdf>>.
21. SAWYER, R. K. (2003a): Nonreductive Individualism, Part II. – Social Causation in: *Philosophy of the Social Sciences*, Vol. 33, No. 2, p. 203 – 224. Dostupné na: <<http://artsci.wustl.edu/~ksawyer/PDFs/nri2.pdf>>.
22. SAWYER, R. K. (2003b): Artificial Societies. Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory in: *Sociological Methods & Research*, Vol. 31, No. 3, p. 325 – 363. Dostupné na: <<http://artsci.wustl.edu/~ksawyer/PDFs/as.pdf>>.
23. SAWYER, R. K. (2004): Social Explanation and Computational Simulation in: *Philosophical Explorations*, Vol. 7, No. 3. Dostupné na:
<http://artsci.wustl.edu/~ksawyer/PDFs/Social_explanation.pdf>.
24. SCHENK, J. (2007): Multiagentové modelovanie ako metodologická inovácia in: *Filozofia*, č. 9, s. 777-789.
25. ŠEBEJ, P.: Niekoľko drobných poznámok o agentových systémoch. Dostupné na:
<<http://vivatvivat.szm.com/part3965.htm>>.
26. WINDRUM, P.; FAGIOLO, G.; MONETA, A. (2007): Empirical Validation of Agent-Based Models: Alternatives and Prospects; in: *Journal of Artificial Societies and*

Social Simulation Vol. 10, No. 2, 8. Dostupné na:
<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/2/8.html>>.

ENCYKLOPEDICKÉ ODKAZY: Delay-embedding theorem. Dostupné na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Delay_embedding_theorem; (14.12.2009).

Possible Applications of Multi-agent modeling in Sociology

Abstract

This work draws attention to introduction of method of Multiagent-based modeling, which represents methodological innovation in the field of sociological research. The work as a whole has an ambition to understand and identify main possibilities of use that Multiagent-based modeling can have in sociology. In effort to contribute, even if in small scale, to ambition of the field to increase its scientific potential and possibilities of building scientific sociological knowledge. This work introduces domains of application of Multiagent-based modeling in sociology. Also, this draws attention to simulation as a scientific tool. Part of this work is analysis of current development of this method in the field of Social Science.

Key words: agent, agent-based modeling, multiagent model, multiagent system, simulation, social simulation, social system.