

Virtuálne evolučné hospodárstvo (Simulácia podnikov a zamestnancov multiagentovým systémom)

Miroslav ČIMBORA*

Virtual Evolutionary Economy (Simulation of Companies and Employees in Multi-agent Simulation Model)

Abstract

This article is about how creates and uses simple computer simulation to investigate evolution of virtual economy.

Simulation model covers basic relationships between companies, employees and companies and their employees.

The simulation model represents simplified view on objective and complex reality in virtual world, but in this state we can use it to understand the problem area better already.

Keywords: *evolution, virtual economy, multi-agent system, computer simulation, artificial intelligence, society*

JEL Classification: A20

Úvod

Cieľom práce,¹ na základe ktorej bol spracovaný tento príspevok, bolo vytvoriť primitívnu počítačovú simuláciu,² pomocou ktorej by sa mohla či mala dať sledovať evolúcia virtuálneho hospodárstva. Zvláštnosťou prístupu je, že makroskopický ekonomický systém sa tvorí odspodu, nie však agregáciou, ako je to obvyklé v ortodoxnej ekonómii, ale na základe metafory s biologickou evolúciou

* Ing. Miroslav ČIMBORA, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra ekonómie a manažmentu, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava 1; e-mail: miroslavcimborafastmail.fm

¹ Práca sa opiera o výskumný projekt VEGA 1/223/04 – Zmluvné vzťahy a zvyšovanie konkurenčnej schopnosti v podmienkach európskej integrácie.

² Pomocou počítačov dokážeme vykonávať (to run, running program) počítačové programy. Tieto programy sú vopred zadefinovanou a zložito štruktúrovanou množinou operácií a akcií, ktorú počítač potom vykoná. Ak táto množina operácií a akcií je zadefinovaná tak, že sa snaží modelovať správanie rôznych systémov, hovoríme o počítačovej simulácii týchto systémov, ako aj ich správania.

vrátane javu prírodného výberu. Ide teda o úsilie simulovať vývoj jednoduchých podnikov, ich pracovníkov a zdokonaľovanie jednotlivých pracovníkov v nasledujúcich, po sebe idúcich a prekrywajúcich sa generáciách, ako by to bola biologická populácia určitého druhu (*species*).

Naznačená koncepcia vedie k tomu, že konvenčný ekonomický systém spočívajúci na mentálnych modeloch prevedených na abstraktné matematické formalizmy treba pokusne nahradiť populáciou agentov.³ V teórii distribuovanej umelej inteligencie sa takáto zmnožená entita nazýva *multiagentový systém*.⁴ Ďalším z cieľov bolo hľadať evolučnú stabilitu⁵ skúmanej populácie vo virtuálnej realite⁶ a pomocou experimentovania vo virtuálnom laboratóriu⁷ získať hlbšie poznatky o danej problematike.

Správanie jednotlivých agentov bolo, na lepšiu intersubjektívitu s čitateľmi, anticipované na základe odpozorovaných modusov správania ľudí a podnikov v reálnom živote. Tým sú však do modelu zavedené subjektívne predsudky a apriórne vedomosti a poznatky konštruktéra modelu, čo ho v značnej miere falzifikuje.

Využitie multiagentových počítačových simulácií pri skúmaní ekonomických javov a procesov je prezentované okrem iného aj v prácach [12 – 16].

1. Opis simulačného modelu

V nasledujúcej časti opisujeme správanie jednotlivých agentov vo vytvorenej počítačovej simulácii. Pretože vytvoriť simuláciu ekonomického systému, ktorý je čo najviac v súlade s objektívnou realitou, je časovo a kapacitne veľmi náročné, boli sme nútení zaoberať sa len obmedzenou časťou predmetnej virtuálnej reality.

³ *Agent* je entita, ktorá má vlastnú štruktúru a tomu zodpovedajúce svoje vlastné, svojské správanie. Prvotná predstava agenta a jeho správania sa väčšinou odpozorovala od správania organizmov, prípadne iných objektov reálneho sveta, napríklad človek, mravec, včela a podobne. Agent a jeho okolie – ostatní agenti vzájomne na seba pôsobia a ovplyvňujú svoje správanie. Tento vzor agenta a jeho správania je však len primitívnym východiskom simulačných modelov.

⁴ *Multiagentový systém* (MAS) je systém, kde vzájomne na seba pôsobia viacerí agenti. Správanie MAS sledujeme za pomoci výpočtovej techniky – počítačov a superpočítačov.

⁵ Stabilita v hlavnom prúde ekonómie sa popisuje ako situácia, kde sa po určitom období prechodovej dynamiky dosiahne stav, v ktorom sa rozhodnutia jednotlivých ekonomických agentov prestávajú meniť. Ak sa menia len v ohraničenom priestore alternatív, ide o *Ljapunovskú stabilitu*. Ak hovoríme namiesto o rozhodnutiach ekonomických agentov o celkovej populácii, jej veľkosti, vývoji a správaní, ide o *evolučnú stabilitu*.

⁶ Správanie objektov, ich vzťahov, ako aj javov v simulovanom prostredí za pomoci výpočtovej techniky.

⁷ Programový prostriedok (počítačový program), pomocou ktorého môžeme sledovať (simulovať) správanie objektov a ich vzťahov vo virtuálnej realite.

1.1. Agent – človek: jeho architektúra a anatómia

Agent – človek (ďalej len agent) je základným prvkom skúmaného systému – populácie. Agent po svojom vzniku má k dispozícii určitú životnú energiu, a to vecne v podobe štruktúrovaného portfólia, resp. v podobe peňazí uložených na bežnom účte v banke. Tým, že žije a vykonáva rozličné aktivity, táto energia sa spotrebúva, čo sa na účte prejavuje klesaním.

Počas svojho života, podobne ako v reálnom živote človeka, si môže agent svoju životnú energiu regenerovať. Napríklad tým, že bude pracovať v nejakom podniku, alebo bude podnikáť na „vlastnú päsť“. Za svoju prácu získa ako kompenzáciu mzdu, a výsledkom podnikania je zisk, úrok, renta a podobne. To sú príjmy na jeho účte a z nich si obstaráva svoje materiálne a servisné potreby. Ak jeho životná energia klesne na nulu, potom agent zaniká. Schopnosť agenta pracovať je reprezentovaná jeho tromi atribútmi.

- skúsenosť *pracovať ako robotník*,
- skúsenosť *pracovať ako riaditeľ podniku*,
- životný optimizmus vrátane vlastnosti *risk bearing*⁸ alebo *risk aversion*.⁹

Skúsenosťou *pracovať ako robotník* rozumieme kvantitu, pri štandardnej úrovni kvality, t. j. aký veľký výkon podá agent, keď bude pracovať ako robotník v nejakom podniku. Podobne je to aj so skúsenosťou *pracovať ako riaditeľ*. Tým, že agent pracuje na určitom poste, zdokonaľuje si prislúchajúcu skúsenosť.

Atribút *životný optimizmus* vyjadruje elán daného agenta žiť, pracovať. Čím je hodnota tohto atribútu väčšia, tým agent podáva väčšie výkony v práci. Všetky z uvedených atribútov môžu nadobúdať hodnoty v rozsahu 0 – 100 %. Čím je agent starší, tým je jeho životný optimizmus nižší. Pre jednoduchosť budeme uvažovať, že životný optimizmus klesá lineárne. Po vzniku agenta je jeho životný optimizmus rovný 100 %.

Agent na začiatku nie je zamestnaný v žiadnom podniku. V simulovanom prostredí jedinou možnosťou ako regenerovať životnú energiu agenta je zamestnať sa a pracovať v nejakom podniku. Preto agent, ak nie je zamestnaný, zisťuje na trhu práce, či niektorý z existujúcich podnikov nehľadá nového zamestnanca. Ak áno, potom sa v danom podniku zamestná.

Ak žiaden z podnikov nehľadá nového zamestnanca, potom agent vytvorí nový podnik, v ktorom sa automaticky stane jeho riaditeľom. Agent môže stratiť svoju prácu iba vtedy, ak zomrie.

⁸ *Znášanie rizika*. Znášanie rizika znamená, že agent je ochotný vytvoriť vlastný podnik a znášať riziko z toho plynúce.

⁹ *Averzia voči riziku*. Ak má agent averziu voči znášaniu rizika, potom sa snaží zamestnať v nejakom podniku, čo je pre neho menej rizikové ako vytvoriť vlastný podnik.

Ak sa agentovi podarí zväčšiť si svoju životnú energiu nad určitú hranicu, potom vzniká nový agent – potomok. Svojmu potomkovi odovzdá (presunie) potrebnú začiatočnú životnú energiu a odovzdá minimálne polovicu svojich skúseností (vedomostí). Presné množstvo odovzdávaných skúseností sa určuje v modeli náhodne.

1.2. Agent – podnik: jeho architektúra a anatómia

Agent – podnik (ďalej len podnik) zamestnáva agentov – ľudí. Každý podnik má jedného riaditeľa a maximálne piatich robotníkov. Podnik musí mať riaditeľa, aby mohol vyrábať. K svojej výrobe podnik okrem zamestnancov potrebuje aj externé zdroje. Tieto zdroje sú vyčerpateľné, a preto v danom čase, ak počet podnikov presahuje počet dostupných externých zdrojov, môže vyrábať len určité množstvo z podnikov. Svojou výrobou podnik regeneruje tieto externé zdroje. V simulovanom prostredí majú všetky podniky rovnakú šancu získať tieto externé zdroje.

Čím má podnik skúsenejších zamestnancov na daných miestach, tým väčší výkon podáva, a tým viac si zamestnanci môžu obnovovať svoju životnú energiu. Okrem skúseností jednotlivých zamestnancov je dôležité, s akými skúsenosťami a na akom poste daný zamestnanec v podniku pracuje.

Rozdelenie zamestnancov v podniku na jednotlivé miesta sa koná náhodne. V systéme vďaka obmedzenému množstvu zdrojov prežívajú len podniky s najlepším rozdelením zamestnancov na jednotlivé posty. V dôsledku toho sa celá populácia z generácie na generáciu zdokonaľuje.

Ak podnik príde o niektorého zo svojich zamestnancov, potom nevyužíva celú svoju produkčnú kapacitu a začína pracovať neefektívne. Preto sa pomocou trhu práce snaží získať nových zamestnancov na neobsadené posty.

Riaditeľ podniku získava za svoju prácu dvojnásobný plat oproti mzde obyčajného robotníka. Tento predpoklad sa prijal len pre názornejší a prehľadnejší výklad.

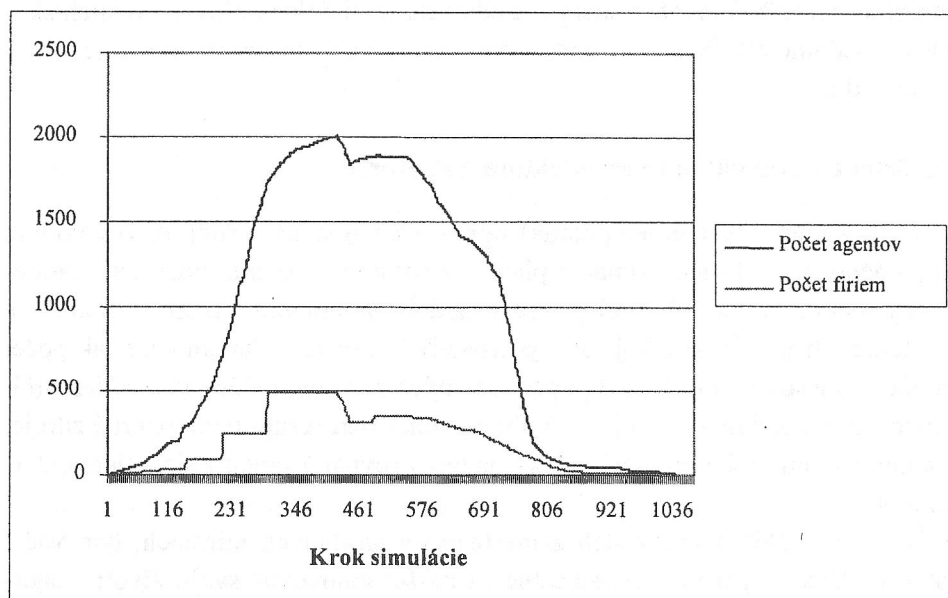
2. Interpretácia výsledkov simulácie

Po implementácii multiagentového systému, ako sme ho opísali v 1. časti, bola populácia evolučne nestabilná.¹⁰

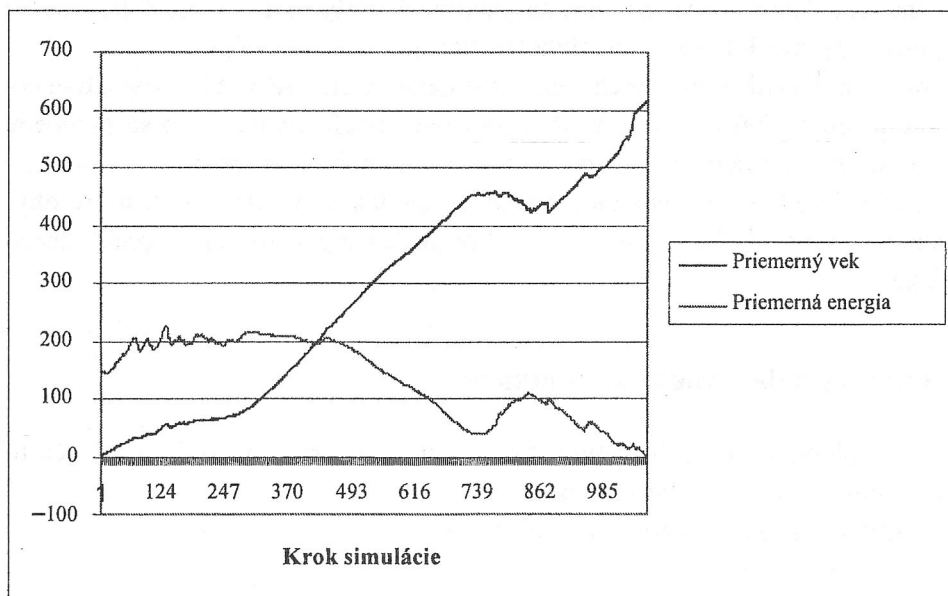
Priebeh simulácie znázorňujú grafy 1 – 3.

¹⁰ Počet jedincov populácie, ako aj ich jednotlivé vlastnosti sa nedokázali stabilizovať v určitých medziach počas evolučného procesu, populácia zanikla, preto hovoríme o evolučnej nestabilite.

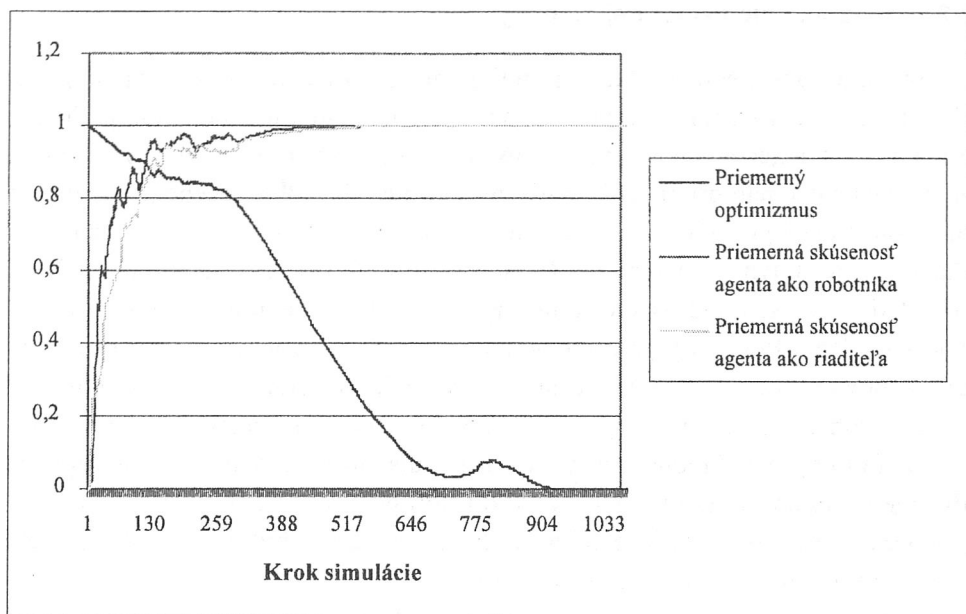
Graf 1



Graf 2



Graf 3



G r a f 1 znázorňuje, že po štarte simulácie sa začala populácia agentov značne rozrastať. Dosiahla svoje evolučné maximum,¹¹ ktoré predstavuje niečo vyše 2 000 agentov, pri danom množstve obmedzených zdrojov. Keďže každý agent zotráva na svojom pracovnom poste v podniku až dovtedy, kým nezanikne, narastá priemerný vek celej populácie. To má za následok klesanie celkového priemerného optimizmu populácie. Tým, že agenti si počas svojho života stále zdokonaľujú svoje skúsenosti a vekom ich nestrácajú, jedinou možnosťou je kontrolovať ich úpadok v starobe – životný optimizmus. Priebeh klesania životného optimizmu jedinca je pozvoľný. Vďaka týmto faktom sa nové generácie jedincov nedokážu oproti staršej generácii presadiť a zomierajú skôr, ako sa dokážu dostatočne zdokonaľiť – nazbierať skúsenosti, aby mohli staršej generácii konkurovať. Po určitom čase, ale klesne životný optimizmus celej populácie natoľko, že nedokáže získať dostatočnú životnú energiu pre vznik novej generácie – celá populácia vymiera.

2.1. Problém evolučnej nestability

V prvej fáze staršia generácia nedovolí novej generácii rozvinúť sa a v druhej fáze, keď by nová generácia bola konkurencieschopná, tak stará generácia už nemá dostatok energie a životného optimizmu, aby mohla vytvoriť novú generáciu.

¹¹ Populácia dosiahla maximum z hľadiska svojej veľkosti.

2.2. Zabezpečenie evolučnej stability

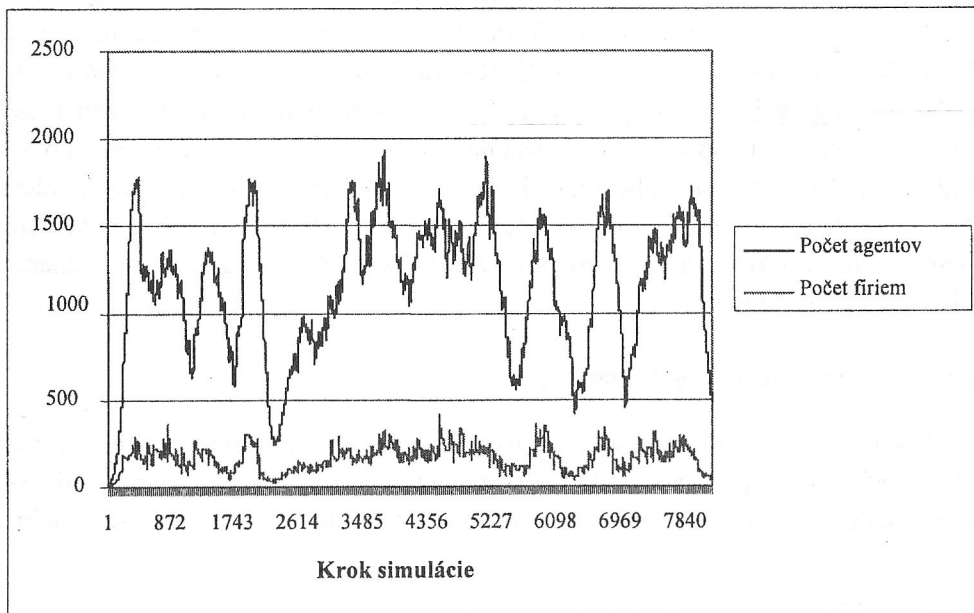
Aby sme zabezpečili evolučnú stabilitu, musíme zabezpečiť, aby staršia generácia nebola vo vyššom veku konkurencieschopná s novou generáciou jedincov, prípadne nová generácia jedincov musí prísť do konkurenčného prostredia až vtedy, keď bude naň pripravená. V reálnom živote je to zabezpečené prirodzeným starnutím staršej generácie. Toto starnutie je spojené s opotrebovaním organizmu. Ďalej je to dané tým, že v reálnom živote sa o nových jedincov starajú ich rodičia, pokiaľ tí nie sú schopní osamostatniť sa. Noví jedinci zbierajú skúsenosti napríklad v školách. Rodičia pomáhajú svojim potomkom – v našom modeli by sa to dalo reprezentovať tak, že agenti svojim potomkom budú presúvať určitú časť svojej životnej energie dovtedy, pokiaľ tí nie sú schopní sa postarať o seba sami.

Vzhľadom na jednoduchosť v našom simulačnom modeli stačí zabezpečiť, aby agenti po dosiahnutí určitého veku opustili podniky. Vtedy sa vytvoria nové pracovné miesta pre ďalšie generácie. Tento vek musí byť menší, ako je vek, keď agenti už nie sú schopní reprodukovať sa.

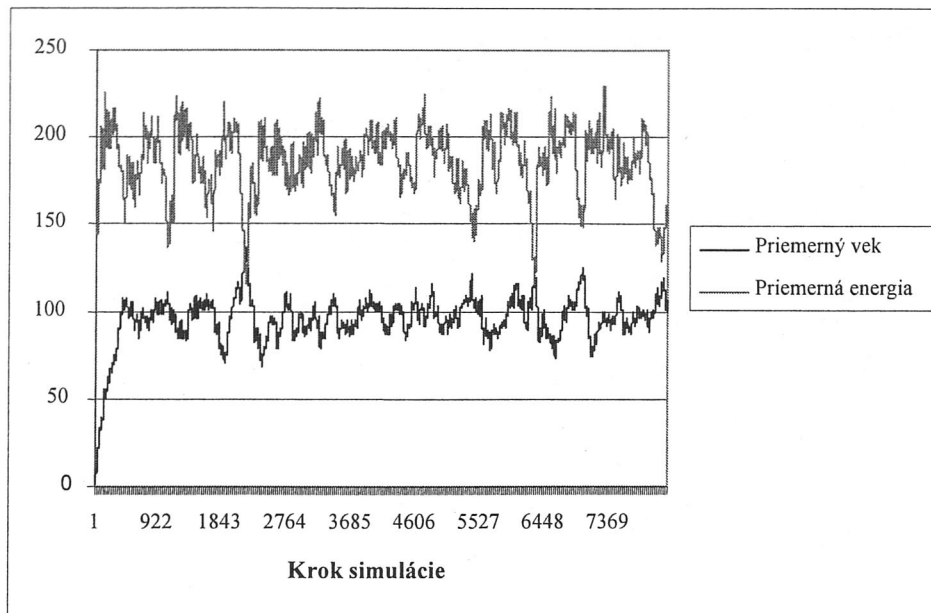
2.3. Interpretácia výsledkov simulácie po zabezpečení evolučnej stability

Po zavedení hraničného veku, ktorý môžu agenti dosiahnuť, sa populácia stala evolučne stabilnou. Priebeh simulácie je možné vidieť na nasledujúcich grafoch:

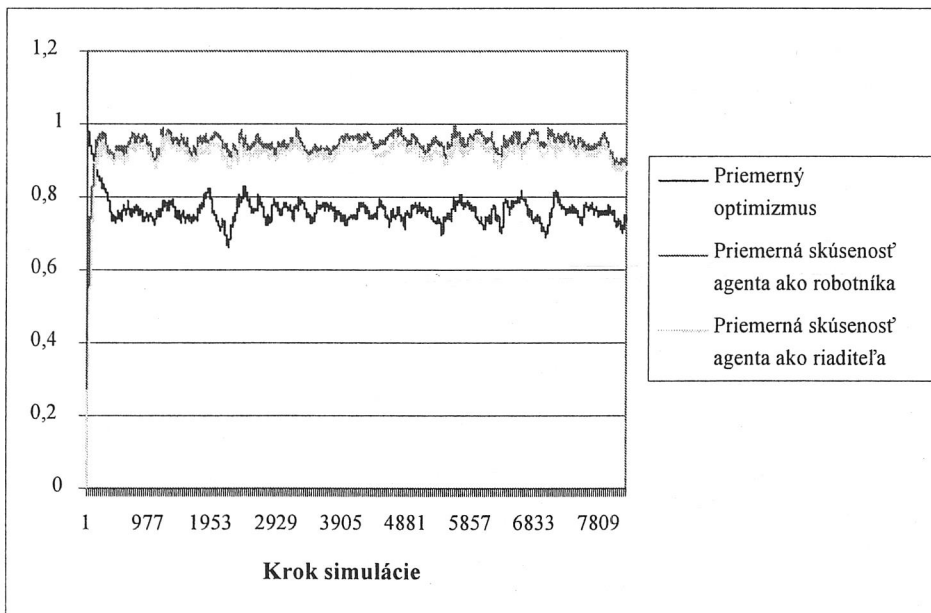
Graf 4



Graf 5



Graf 6



3. Parametre pre riadenie simulácie

Na obrázku 1 znázorňujeme parametre, ktorými používateľ môže kontrolovať parametre a priebeh simulácie.

Obrázok 1

Simulátor

Parametre agenta

Pociatocna energia agenta: 150.0

Potrebna energia na vytvorenie noveho agenta: 300.0

Maximalny vek agenta: 200

Minimalna energia potrebna pre zivot agenta: 0.0

Faktor klesania zivotneho optimizmu: 0.005

Parametre simulácie

Kolko agentov vygenerovat pri prvotnom spusteni simulacie: 110

Mnozstvo zdrojov: 100

Pocet krokov simulacie: 500

Spusti simulaciu

Pokracuj v simulacii

Uloz vysledky zo simulacie

Záver

Riešením daného problému sme boli nútení hľadať odpovede na množstvo otázok týkajúcich sa danej problematiky – spoločnosť, evolúcia, vzťahy v spoločnosti. Bolo potrebné danú problematiku hlbšie analyzovať a skúmať, zaoberať sa prípadmi, ako by sa systém asi správal, ak by sme implementovali iné, apriórne predpoklady o správaní agentov.

Bez použitia možnosti počítačovej simulácie a experimentovania by bolo len veľmi obtiažné, ak nie nemožné, nájsť na problémy niektoré odpovede, prípadne získať hlbšie poznatky.

Daný model predstavuje síce len veľmi zjednodušený pohľad na „objektívnu“ a komplexnú realitu vo virtuálnom režime, ale už v tejto podobe umožňuje lepšie chápať určité súvislosti ekonomickej evolúcie.

Táto práca však môže byť prospešná všetkým, ktorí sa pokúsia s výsledným produktom trochu experimentovať. Prípadne dokáže motivovať ďalších ľudí pri vytváraní podobných a stále komplexnejších modelov a simulácií, ktoré budú nápomocné lepšiemu pochopeniu fungovania a napredovania spoločnosti.

Vytváranie ekonomických a spoločenských modelov a experimentovanie s nimi má veľký význam aj pri štúdiu spoločenských vied, kde uľahčuje pochopiť jednotlivé súvislosti, ktoré sa dajú klasickým spôsobom len veľmi ťažko odovzdať záujemcom v štátnej správe, podnikateľom, vedeckým pracovníkom, študentom, ako aj záujemcom v širšej ekonomickej komunite.

Literatúra

- [1] ANDRÁŠIK, L.: Animated Selfcreative Economies. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 45, 1997, č. 1, s. 3 – 26.
- [2] ANDRÁŠIK, L.: Learning by Evolution. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 46, 1998, č. 1, s. 72 – 98.
- [3] ANDRÁŠIK, L.: Ekónómia v ústrety výzvam tretieho tisícročia. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 47, 1999, č. 5, s. 671 – 697.
- [4] ANDRÁŠIK, L.: Teória modelovania ekonomických systémov. [Prednášky.] Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Katedra ekonómie a manažmentu 2002.
- [5] ANDRÁŠIK, L.: Modelovanie ekonomických systémov. [Prednášky.] Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Katedra ekonómie a manažmentu 2003.
- [6] NÁVRAT, P.: Umelá inteligencia. [Prednášky.] Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Katedra informatiky 2002.
- [7] BIELIKOVÁ, M.: Princípy softvérového inžinierstva. [Prednášky.] Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Katedra informatiky 2001.
- [8] RUTH, M. – HANNON, B.: Modeling Dynamic Economic Systems. Berlin: Springer-Verlag 1997.
- [9] BÄCK, T.: Evolutionary Algorithms in Theory and Practice. Oxford: Oxford University Press 1996.
- [10] EDMONDS, B.: The Uses of Genetic Programming in Social Simulation: A Review of Five Books. *The Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2, 1999, č. 1.
- [11] HARTWICK, J. M. – OLEWILER, N. D.: The Economics of Natural Resource Use. Menlo Park, CA: Addison-Wesley 1998.
- [12] RUSSELL, S. – NORVIG, P.: Artificial Intelligence. New Jersey: Prentice Hall 1995.
- [13] LeBARON, B.: Agent-based Computational Finance: Suggested Readings and Early Research. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24, 2000, s. 679 – 702.
- [14] LeBARON, B.: A Builder's Guide to Agent-based Financial Markets. *Quantitative Finance*, 2001, č. 1, s. 254 – 261.
- [15] LeBARON, B.: Evolution and Time Horizons in an Agent Based Stock Market. *Macroeconomic Dynamics*, 2001, č. 5, s. 254 – 261.
- [16] MAES, P. – GUTTMAN, R. – MOUKAS, A.: Agents that Buy and Sell. *Communications of the ACM*, 42, 1999, č. 3, s. 81 – 91.