

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



MAKROEKONÓMIA ZDOLA NAHOR

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2015

Bc. Ján CHUDÝ

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

MAKROEKONÓMIA ZDOLA NAHOR

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program: Ekonomická a finančná matematika

Študijný odbor: 9.1.9 Aplikovaná matematika, 1114

Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky

Vedúci práce: Doc. RNDr. Ján Boďa, CSc

Bratislava 2015

Bc. Ján CHUDÝ

Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracovala samostatne za pomoci konzultácií a uvedených bibliografických odkazov.

Bratislava 2015

.....

Chudý Ján

Pod'akovanie

Týmto spôsobom chcem poďakovať vedúcemu diplomovej práce Doc. RNDr. Jánovi Boďovi, CSc. za ochotu, podnetné pripomienky a pomoc pri tvorbe tejto práce.

Abstrakt

CHUDÝ, Ján: Makroekonómia zhora nadol [Diplomová práca], Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky; školiteľ: Doc. RNDr. Ján Boďa, CSc., Bratislava, 2015, 49 s.

Práca je venovaná modelovaniu ekonomiky pomocou subjektov, správajúcich sa podľa teórie ekonomického agenta. Pracovali sme hlavne s dvomi typmi subjektov, firmy, tvoriace ponuku práce aj tovaru a spotrebiteľia, ktorí sú predstaviteľmi dopytu. Model sme tvorili v prostredí programu Matlab a popisovali jeho čiastkové ekonomické ukazovatele ale aj vytvorenú virtuálnu ekonomiku ako celok porovnávali so skutočnými dátami.

Kľúčové slová: agent, model, spotrebiteľ, firma, trh práce, trh tovarov, interakcia, zisk, počiatočný kapitál, homogénny produkt

Abstract

CHUDÝ, Ján: Macroeconomics from the bottom up [Master thesis], Comenius University in Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Applied Mathematics and Statistics; supervisor: Doc. RNDr. Ján Bod'a, CSc., Bratislava, 2015, 49 p.

This thesis is dedicated to modeling of economics using subjects created on theory of economic agent. We work mainly with subjects of two kind- companies, which create supply for the model and consumers, who generate a demand. We build the model in Matlab environment and describing its partial economic indicators but also we compare whole economic model with indicators obtained from the real dataset.

Keywords: agent, model, consumer, company, labor market, goods market, interaction, profit, starting capital, homogeneous

OBSAH

ÚVOD	10
1. AGENT BASED MODELY	11
1.1 Ekonomický agent	11
1.2 Bottom up model	12
1.2.1 BAM a jeho prostredie	13
1.2.2 Priebeh udalostí	15
1.2.3 Trh práce	16
1.2.4 Trh peňazí	18
1.2.5 Trh tovarov	20
1.2.6 Bankrot a R&D	23
2. Vlastný model	25
2.1 Populácia modelu	25
2.2 Tvorba modelu	26
2.2.1 Priebeh jednej periódy	26
2.2.2 Inicializácia modelu	27
2.2.3 Spustenie modelu a prvá iterácia	28
2.2.4 Priebeh a zmeny v modeli v ostatných iteráciách	31
3. VÝSLEDKY A DISKUSIA	36
3.1 Závislosť výstupov	36
3.2 Analýza citlivosti	38
3.3 Okunov zákon	41
3.3.1 Model a reálne dáta	42
3.3.2 Presnosť regresie	44
ZÁVER	45
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	46

PRÍLOHY 47

ÚVOD

Práca je venovaná modelovaniu ekonomiky, ktorá je pre štandardne uvažujúceho ekonóma prinajmenšom netypická. Nebudeme sa pozerat' na ekonomiku ako na celok, ale budeme ju študovať, ako veľký súbor zložený z mnohých malých komponentov. Ekonomiku nebudeme silene nútiť do správania aké by bolo pre nás žiaduce, ale necháme ju ako celok nájsť svoju vlastnú cestu k stabilnému stavu. Venovať sa budeme predovšetkým mikroekonomickým komponentom a interakciám medzi nimi. Celkový obraz makroekonomických veličín dostaneme až ako vrcholný výstup. V práci narábame len s dvomi najmenšími jednotkami celkového systému, ktorými sú spotrebiteľia a firmy.

Prvá kapitola je zameraná na teoretický podklad práce. Načrtáme teóriu ekonomického agenta, ktorú možme označiť za základný kameň našej ďalšej práce. Túto teóriu budeme ďalej rozvíjať popisom modelu BAM, ktorý je inšpiráciou nami skonštruovaného modelu v kapitole 2. Model BAM nebudeme popisovať do úplne podrobných detailov, ale iba tak, aby sme na ňom vysvetlili princípy modelovania ekonomiky ako systému individuálne sa rozhodujúcich subjektov. V skratke rozoberieme trhy a účastníkov modelu ale výstupy a spoľahlivosť vynecháme. Spomenieme tiež spôsob krachovania a obnovovania firiem a načrtáme aj R&D, ktoré boli v modeli úspešne implementované.

Druhá kapitola popisuje model, ktorý sme aj svojpomocne skonštruovali v programe MATLAB. Vysvetľujeme zmysel a zdôvodňujeme výber účastníkov, ktorými sú kapitálová firma, firmy produkujúce tovar a spotrebiteľia resp. robotníci. Píšeme o interakciách týchto subjektov v systéme ako celku a ich očakávanom správaní. Podrobne sa venujeme procesu tvorby a predpokladom fungovania nášho modelu. Popisujeme tu všeobecný priebeh jedného ekonomického obdobia ale aj celého modelu od zadania vstupných dát, cez prispôsobovanie sa modelu generovaniu vlastných vstupných dát až po fungovanie modelu ako celku.

Posledná kapitola je zameraná na vyhodnotenie výstupov a celkového spracovania modelu. Nerozoberáme len jeden zvolený prípad vhodne navolených vstupných dát, ale popisujeme aj to, či model generuje realisticky sa správajúcu ekonomiku. Vyhodnocujeme výstupné makroveličiny a ich vývoj v rámci jedného vzorového modelu, ale aj ich rozdielne sa správanie v závislosti od voľby vstupov. Na záver ešte jednu náhodne vygenerovanú vzorku dát porovnáme s reálnym datasetom prostredníctvom koeficientov okunovho zákona.

1. AGENT BASED MODELY

Ekonomika ako celok je zložená z mnohých malých komponentov, ktoré medzi sebou komunikujú a vykonávajú akcie s myšlienkou, že nimi budú ovplyvnené iba oni, no následky takýchto akcií formujú ekonomiku ako celok a vplyv na výsledné formovanie celého systému môže mať aj najnepodstatnejšia maličkosť. Modely, ktoré budeme popisovať v ďalších kapitolách, budú založené na teórii ekonomických agentov na rozdiel od dokonale optimalizujúceho spotrebiteľa s nekonečnou výpočtovou a optimalizačnou kapacitou. Túto problematiku ako prví vo svojich prácach priniesli M. Minsky (1986), Churchland a Sejnowsky (1992) a Clark (1997). Ich hypotézou je, že je úplne zavádzajúce modelovať ľudskú myseľ ako nejaké logicky sa správajúce zariadenie spojené so zdrojom obrovského množstva dát. Proces prirodzeného výberu vďaka jeho dopytu pre veľmi rýchle reakcie v reálnych situáciách, ktoré sú takpovediac hrou o holý život, prinútil ľudskú myseľ vyvinúť sa úplne odlišne, ako centrálny počítač riešiaci maximalizačné problémy.[1] Takýto prístup je možné využiť jedine pri problémoch, kde poznáme všetky možné výstupy spolu s ich pravdepodobnosťami, to je však v rozpore s reálnym svetom.

Budeme konštruovať náš vlastný model ekonomiky, v ktorom budú vystupovať ako agenti spotrebiteľia a firmy. Tomuto modelu je venovaná druhá kapitola práce. V tejto kapitole podrobne rozoberieme model skonštruovaný ekonómami Domenico Delli Gatti, Saul Desiderio, Edoardo Gaffeo, Pasquale Cirillo a Mauro Gallegati v práci *Macroeconomics from the bottom up (BAM)*.

Využitie ekonomických agentov by nám malo vytvoriť virtuálnu ekonomiku, ktorej správanie sa pokúsime nastaviť takým spôsobom, aby výstup tvorený agregátnymi veličinami bol čo najbližší reálne pozorovateľnému vývoju týchto veličín v skutočnej ekonomike.

1.1 Ekonomický agent

V práci sa často stretáme s pojmom ekonomický agent. V tejto kapitole si podrobne vysvetlíme, čo tento pojem interpretuje a tiež si vysvetlíme správanie týchto subjektov v našom modeli.

Ekonomickým agentom nazývame subjekt, ktorý sa správa omnoho viac ako obyčajný človek, než ako dokonale automatizovaný stroj s nekonečnou výpočtovou kapacitou a snahou dokonale optimalizovať svoju činnosť za účelom dosiahnutia ekvilibria. Tento subjekt manipuluje so svojim vlastným priestorom problémov nachádzajúcim sa v neustále sa meniacom prostredí, pričom jeho rozhodnutia ovplyvňujú jeho budúcnosť (napr. Uzatváranie kontraktov s rôznou expiračnou dobou). Týmto procesom sa učí a kognitívne rozvíja, pričom pri stretnutí sa s novým problémom zaktivuje doposiaľ získané skúsenosti pre vhodné riešenie. Je však riadený jednoduchými pravidlami, ktoré mu umožnia ľahko a efektívne sa prispôbiť okolitému svetu, pretože komplexné riešenie zložitého analytického problému by mu zabralo priveľa času. Je nutné tiež vyzdvihnúť autonómnosť agentov, ktorá je jednou z najdôležitejších vlastností. Aj práve vďaka autonómnosti, je možné vymodelovať ekonomiku ako komplexný adaptabilný systém.[1]

Veľké množstvo práve takto sa správajúcich agentov nám vytvorí decentralizovanú ekonomiku, ktorá je zložená z veľkého počtu autonómnych racionálnych ekonomických procesorov, takpovediac inteligentných ľudských bytostí, ktoré využívajú jednoduché pravidlá na určovanie cien, dopytu, produkcie, spotreby. Ich vzájomné interakcie a komunikácia im týmto spôsobom umožňujú dosahovanie čo najväčšieho bohatstva. Práve táto decentralizácia, ktorá pripomína skutočný konkurenciou poháňaný trh, funguje ako kolektívny algoritmus distribujúci prostriedky a riešiaci komplexné, veľmi zložité problémy, ktoré sú mimo kognitívnych možností a taktiež aj mimo všeobecného povedomia jedincov v prostredí.[1]

1.2 Bottom up model

Model BAM je konštruovaný práve z agentov, ktorých sme popísali v predchádzajúcej časti. Sú nimi spotrebitelia (domácnosti), firmy (producenti) a banky. Navyiac sú tam pridané trhy homogénneho produktu, trh práce, trh s finančnými prostriedkami a obchodné procesy odohrávajúce sa na týchto trhoch. Na každom z nich sa nachádza odlišný druh agentov, ktorí sa snažia robiť jeho prieskum za účelom čo najvýhodnejšieho získania na ňom obchodovanej komodity. Domácnosti sa snažia robiť prieskum trhu práce, aby sa dokázali zamestnať za čo najvyššiu mzdu a trhu homogénneho produktu za účelom čo najvýhodnejšieho nákupu. Firmy sa ako producenti snažia o zmapovanie trhu finančných prostriedkov, aby získali čo najvýhodnejšie kapitál na svoj rast a produkciu tovaru. Na trh tovarov vstupujú iba ponukou

výrobku a nastavením svojej ceny. Banky vstupujú iba na finančný trh a to nastavovaním úroku, ktorý je vlastne cenou za požičaný kapitál. Na žiadnom trhu agenti nerobia dokonalý prieskum. Vždy si vyberajú len určité náhodné množstvo subjektov, od ktorých sa snažia získať ponúkanú komoditu.[2]

Dôležitou súčasťou tohto procesu je tiež bankrot firiem, resp. bank. finančná situácia, v ktorej sa nachádzajú a hrá výraznú rolu na každom trhu. V prípade, že sa kumulatívny zisk nejakej z nich dostane do červených čísel, takže produkuje miesto zisku stratu, subjekt vyhlasuje bankrot a odchádza z trhu. Pre udržanie nemenného množstva agentov v modeli, je nutné, aby na trh vstúpil nový subjekt, ktorého hodnota však bude menšia ako priemerná hodnota subjektov rovnakého typu. Vďaka týmto charakteristikám by mal byť BAM model obrazom reálnej ekonomiky, so všetkými jej náležitosťami ako sú napr. fluktuácie agregátnej ponuky. BAM teda vytvára virtuálny svet, ktorý zachytáva pravidla agregátnej ponuky vďaka interakciám veľkého množstva agentov, ktorí sú navzájom prepojení svojim správaním, napriek autonómnosti každého z nich.[1]

1.2.1 BAM a jeho prostredie

Za účelom vytvorenia vhodného prostredia pre tvorbu BAM modelu, sú agenti vyskytujúci sa vo virtuálnom svete rozčlenení na triedy a každá trieda je definovaná pre ňu vlastnými charakteristikami. Tie majú všetci jej členovia spoločné, no každý člen s nimi zaobchádza autonómne voči ostatným.

Na zadefinovanie prostredia teda potrebujeme tri základné zložky:

1. *Súbor agentov*, ktorí model populujú. Každý z nich bude mať priradenú svoju triedu, na základe svojej makroekonomickej funkcie na trhu. Tried v prostredí je iba malé množstvo, v tomto prípade tri, avšak každá je zložená z N agentov, kde N býva štandardne veľmi vysoké. Toto nastavenie parametrov zaručí dostatočnú populáciu virtuálneho sveta.[2]
2. *Podrobné definovanie jednotlivých tried agentov*. Každá trieda ma spoločné typy stavových premenných. Tieto sú spoločné pre celú skupinu a charakterizujú jej subjekty individuálne v každej perióde. Pre úplnú definíciu potrebujeme tiež poznať možné akcie členov. Tie budú opäť pre celú skupinu spoločné, vykonávať ich bude každý agent individuálne podľa jemu vlastných preferencií. Celá trieda je tak zložená zo štrukturálne veľmi podobných subjektov s obdobnými makroekonomickými vlastnosťami a jednotliví členovia sú odlišiteľní iba pomocou malého množstva mikroekonomických charakteristík.

Firmy ako jednotky, ktoré využívajú produkčné vstupy na výrobu finálneho výrobku, sú charakterizované svojou veľkosťou (počet zamestnancov), finančnou kondíciou a technológiou. Domácnosti, ponúkajúce pracovnú silu a spotrebúvajúce tovar, sú heterogénne vďaka statusu zamestnanosti, veľkosti príjmov a hodnote úspor. Banky sú charakterizované vlastným vnútorným finančným stavom. Rozdelenie tried takýmto spôsobom vytvorí dostatočnú heterogenitu celého prostredia.[1]

3. *Interakcie členov skupín*, ktoré tvoria vzájomne prepojenia členov vo vnútri triedy ale zároveň aj tried medzi sebou. [2]

V modeli teda budeme využívať 3 triedy agentov:

1. **Pracovníci (spotrebiteľia)**, táto trieda je najpočetnejšia a členovia sú indexovaní $j=1, \dots, J$
2. **Firmy (Producenti)**, stredne početná trieda indexovaná $i=1, \dots, I$
3. **Banky**, trieda zastúpená najnižším počtom členov indexovaných $k=1, \dots, K$

Subjekty v jednotlivých triedach sa rozhodujú v diskretnom časovom horizonte $t=1, \dots, T$. Ich rozhodnutia ovplyvňujú stavové premenné (kapitál, produktivita) a sú vykonávané na základe riadiacich premenných (cena, množstvo). Každé jedno rozhodnutie je realizované na jednom z troch trhov:

1. **Trh práce**, firmy tu ponúkajú pracovné príležitosti, na ktoré majú pracovníci možnosť reagovať a uchádzať sa tak o miesto u niektorého producenta.
2. **Trh tovarov**, tento trh je stretom ponuky zo strany producentov, ktorí ponúkajú svoj homogénny produkt a dopyt vytvárajú spotrebiteľia, uchádzajúci sa o kúpu tohto produktu.
3. **Finančný trh**, je stretom ponuky na strane bánk, ktoré ponúkajú voľne finančné prostriedky firmám. Dopyt je prezentovaný firmami, ktoré majú snahu získať finančné prostriedky na ďalší rozvoj za čo najlepšiu cenu. Cena je tvorená úrokom.[2]

V predchádzajúcej časti sme už naznačili, že agenti sa budú vyhýbať komplexnej optimalizácii svojho úžitku kvôli nedostatočnej výpočtovej schopnosti jednotlivcov. Preto sa aj na týchto trhoch budú riadiť racionálne na základe nedokonalých informácií. Táto nedokonalosť vzniká neúplným prieskumom trhu, kde kontaktuje len niekoľko členov druhej triedy vystupujúcej na trhu. Každá akcia preto nie je výsledkom optimalizácie, ale adaptívneho správania sa.[1]

Model BAM je založený na dvoch pilieroch. Za prvé, pravidlá individuálneho správania a trhových transakcií vznikli na základe štúdií správania sa domácností a podnikov. V modeli BAM sa opierali najmä o „Occam’s Razor“, čo je princíp šetrnosti, hospodárnosti. Spomedzi konkurenčných hypotéz má byť vybratá tá, ktorá má najmenej a najjednoduchšie predpoklady. Za druhé, nebudeme predpokladať centralizovaný mechanizmus riešenia, ale necháme agentov sa samostatne adaptívne vyvíjať.[2]

1.2.2 Priebeh udalostí

Model beží nasledovným krokovým udalostí:

1. Všetky firmy na trhu si určia veľkosť produkcie pre nasledujúci časový horizont. Týmto rozhodnutím im vzniká aj dopyt po konkrétnom množstve pracovníkov, ktorých budú na výrobu potrebovať. Na základe predpokladaného dopytu si každá firma určí svoju vlastnú cenu, za ktorú bude na konci periódy tovar predávať. Veľkosť dopytu je generovaná adaptívne na základe predchádzajúcich období.
2. Firmy a spotrebitelia vstúpia na pracovný trh. Každý pracovník má snahu zamestnať sa za čo najvýhodnejších platových podmienok, preto oslovuje konečný počet M firiem, v prípade, že ešte nikdy nepracoval. V opačnom prípade sa uchádza o zamestnanie najprv u predchádzajúceho zamestnávateľa a až potom oslovuje $M-1$ ďalších firiem. Oslovovanie prebieha zostupne podľa platových ponúk. Firmy zverejnia platové ponuky okamžite pri vstupe na trh spolu s množstvom pracovníkov, o ktoré majú záujem. Kontrakt medzi oboma stranami je uzavretý na δ periód.
3. Firmy a banky vstupujú na finančný trh. Každá firma si má na základe odhadnutých nákladov záujem požičať chýbajúci kapitál na vyplatenie miezd pracovnej sily, poprípade na ďalší rozvoj a rast. Situácia na finančnom trhu je veľmi podobná tej na pracovnom trhu. Firmy oslovujú konečný H počet bánk, v prípade, že so žiadnou nemali doposiaľ uzatvorenú zmluvu, zostupne podľa výšky ponúkaného úroku. Pokiaľ mala firma skúsenosť s nejakou z bánk oslovuje ju ako prvú a až potom oslovuje zvyšných $H-1$ bánk. Banky si z uchádzačov vytvoria rebríček podľa solventnosti a úver je poskytnutý zostupne až do vyčerpania úverových finančných prostriedkov. Úrok jednotlivých finančných inštitúcií je odvodený od exogénne danej úrokovej miery (napr. trhová úroková miera).

Firmy, ktoré nemajú dostatočné množstvo financií ani po pôžičke zredukujú množstvo zamestnancov na hodnotu, ktorú sú schopné zaplatiť. Zvyšní skončia ako nezamestnaní.

4. Firmy začnú produkovať homogénny tovar. Táto akcia trvá celú periódu.
5. Ukončenie výroby má za následok otvorenie trhu s homogénnym produktom. Spotrebiteľia tu oslovujú konečný počet firiem za účelom získať produkt za čo najnižšiu cenu. Uchádzať sa začnú najprv u firmy s najvýhodnejšou cenou a v prípade neúspechu pokračujú s oslovovaním zostupne podľa ponuky. U niektorých firiem sa môže objaviť previs dopytu, tieto predajú všetok tovar. V prípade, že niektorá z firiem registruje nedostatok dopytu, tak sa prebytočného tovaru zbaví bez dodatočných nákladov na likvidáciu.
6. Firma určí hodnotu hrubého zisku. Z tohto zisku je banke uhradený vypožičaný kapitál spolu s úrokmi zaň. Po vyrovnaní dlhu banke sú v prípade pozitívneho výnosu vyplatené dividendy vlastníkom firmy.
7. Výnos dosiahnutý po odpočítaní miezd, pôžičiek a dividend je určený na navýšenie vlastného kapitálu firmy. Vlastný kapitál je kumulatívna suma ziskov dosahovaných počas predchádzajúcich období. V prípade pozitívnej bilancie firmy a banky ostávajú na trhu, budú vykonávať svoje poslanie aj v nasledujúcej perióde. Pri negatívnej hodnote vlastného kapitálu inštitúcia vyhlasuje bankrot a opúšťa virtuálnu ekonomiku.
8. Nové inštitúcie prichádzajú na trh nahradiť tie zbankrotované. Ich počet je identický s počtom odídených pre zachovanie rovnakej populácie v modeli, avšak každá z nich je menšia ako je priemerná veľkosť rovnakého subjektu na trhu. [1], [2]

1.2.3 Trh práce

V modeli BAM je produkcia každej firmy i ako funkcia jedinej premennej, ktorou je počet zamestnancov L_i . Produkčná funkcia v čase t má nasledovný tvar:

$$Y_{it} = \alpha_{it} L_{it}$$

V tejto rovnici α_{it} predstavuje produktivitu pracovnej sily. Napriek tomu že ju považujeme za konštantu, tento koeficient môže mať charakter premennej závislej technického rozvoja a vyspelosti danej firmy.[1] Predchádzajúca rovnica je rozhodujúca pre

určenie reálneho dopytu i -tej firmy po množstve pracovnej sily potrebnej na výrobu očakávaného množstva homogénneho produktu. Firma si určí dopyt po pracovnej sile ako:

$$L_{it}^D = \frac{Y_{it}^D}{\alpha_{it}}$$

Na základe výstupu z rovnice tejto rovnice firma zverejní počet otvorených pracovných pozícií pre nasledujúce časové obdobie, ktoré majú doplniť základňu zamestnancov, aby bola schopná splniť produkčný plán Y_{it}^D . Výška ponúkanej mzdy je závislá od aktuálneho stavu zamestnancov. V prípade, že firma požadovanú výrobu dokáže pokryť vlastnými zamestnancami, platová ponuka sa nemení oproti predchádzajúcemu obdobiu. V opačnom prípade, pokiaľ firma musí prijať dodatočných zamestnancov platová ponuka sa posunie smerom nahor náhodne pre každú firmu.[2] Tento proces je popísaný rovnicami:

$$V_{it}^D = \max\{L_{it}^D - L_{it}^0; 0\}$$

L_{it}^0 - počet zamestnancov už zamestnaných vo firme

L_{it}^D - odhadovaný počet zamestnancov v nasledujúcom období odvodený z rovnice (2)

V_{it}^D - počet voľných pracovných miest

Pre platové podmienky platí:

$$V_{it} = 0 \Rightarrow W_{it}^b = \max\{\widehat{W}_t; W_{it-1}\}$$

$$V_{it} > 0 \Rightarrow W_{it}^b = \max\{\widehat{W}_t; W_{it-1}(1 + \varepsilon_{it})\}$$

W_{it}^b -ponúkaná mzda pre obdobie t firmou i

\widehat{W}_t -minimálna mzda v ekonomike

ε_{it} - konštanta, ktorá definuje nárast mzdy pre nasledujúce obdobie[2]

Proces samotného výberu prebieha nasledovne. Po zverejnení množstva voľných pracovných pozícií sa uchádzači o prácu začnú aplikovať. O novovzniknuté pracovné miesto sa môže uchádzať iba subjekt, ktorý má v danom okamihu vypršaný pracovný kontrakt. Týmto spôsobom sa vylúči možnosť úväzku vo viacerých firmách súčasne a zároveň

vyhľadávanie si práce v období trvania jeho kontraktu. Jeden pracovník môže mať maximálne jeden kontrakt. Nezamestnaní poradie firiem, do ktorých sa rozhodnú aplikovať o prácu, určia podľa výšky ponúkaného platu a v tomto poradí aj tieto firmy navštevujú. Taktiež je možné pozorovať loajalitu voči predchádzajúcemu zamestnávateľovi, ktorá sa prejavuje oslovením predchádzajúceho zamestnávateľa pri hľadaní práce ako prvého. V prípade neúspechu u posledného zamestnávateľa, kontrakt podpíšu so subjektom, ktorý je v rebríčku najvyššie a v čase návštevy kandidáta má ešte stále otvorenú pozíciu.[1]

V ekonomike je nastavená aj dolná hranica pre výšku mzdy, ktorou je minimálna mzda. Tá zabraňuje firmám posúvanie ceny práce príliš nízko. Taktiež konštanta ε_{it} je volená z rovnomerného rozdelenia $(0, h_\varepsilon)$, čo priamo zabraňuje posúvaniu ceny smerom nadol.

Podpisom kontraktu sa zamestnanec zaviazá minimálne na vopred stanovenú periódu t . Na druhej strane firma nemôže kontrakt vypovedať bez významného dôvodu, ktorým je jedine bankrot alebo nedostatok vlastného kapitálu na pokrytie platových podmienok.

1.2.4 Trh peňazí

Trh peňazí je miesto v modeli BAM, kde dochádza k priamej interakcii medzi bankovými subjektami a firmami. Každá firma i sa vyznačuje pri vstupe na tento trh v perióde t vlastným kapitálom A_{it} , ktorý je rovný sume čiastkových ziskov z predchádzajúcich $t-1$ periód a zvyšku počiatočného kapitálu, s ktorým firma na trh vstupovala. K vstupe na tento trh dochádza v prípade, že kapitál A_{it} je nedostatočný na pokrytie predpokladaných plátov W_{it} potrebných na vyplatenie zamestnancov pracujúcich vo firme počas tejto periódy. V takomto prípade firma požiada jednu z K bánk o pôžičku vo výške $B_{it} = W_{it} - A_{it}$. Rovnica dopytu po pôžičke sa dá zapísať nasledujúcim vzťahom:

$$B_{it} = \max\{W_{it} - A_{it}, 0\}$$

Nedokonalosť informácie na trhu a výška tranzakčných nákladov nútia firmu len k čiastočnému prieskumu trhu. Každá firma i navštíví vo svojej snahe o čo najvýhodnejšie získanie dodatočného kapitálu $H < K$ bánk. V prípade, že banka s najvýhodnejšími podmienkami nemá už dostatok finančných zdrojov na poskytnutie potrebného kapitálu v plnej výške, firma si môže svoj úver rozložiť medzi viacero bankových subjektov, aby svoj dopyt naplnila.[1]

Banky taktiež reagujú na rastúci dopyt po finančných prostriedkoch a preto svoj kapitál určený na pôžičky v každej perióde navyšujú. Úverový kapitál k -tej banky C_k je v perióde t navyšený o násobok vlastného kapitálu E_{kt} . Jeho veľkosť môžeme zapísať nasledovne:

$$C_{kt} = E_{kt}/v$$

$v \in (0; 1)$ je tzv. koeficient kapitálovej požiadavky

Pre zjednodušenie modelu je v homogénne pre všetky banky na trhu a je fixne určené kontrolnými orgánmi. Túto úlohu v BAM splňa vláda. [2]

Cenu za vypožičaný kapitál tvorí tak ako v reálnej ekonomike úrok r_{it}^k , ktorý je poskytnutý firme i bankou k na jedno produkčné obdobie t . Tento úrok je vlastne navyšená prirodzená úroková miera r^* , ktorú určuje centrálna banka. Reálnu úrokovú mieru poskytnutú k -tou bankou i -tej firme môžeme vzhľadom k prirodzenej úrokovej miere r^* zapísať ako funkciu 2 premenných[2]:

1. Φ_{kt} je náhodnou premennou patriacou rovnomernému rozdeleniu na intervale $(0, h_\Phi)$, ktorá predstavuje individuálnosť banky podmienenú okolnosťami na trhu. Každý bankový subjekt ju má nastavenú individuálne avšak z pohľadu všetkých firiem je konštantná bez ohľadu na finančné zdravie ľubovoľnej z nich.[2]
2. $\mu(l_{it})$ kde $l_{it}=B_{it}/A_{it}$ je premennou, ktorá skúma práve finančné zdravie firmy. Čím je požadovaný úver vyšší vzhľadom na vlastný kapitál firmy, tým bude aj cena vo forme úroku pre túto firmu vyššia. Banky sa snažia požičať finančné prostriedky, s čo najvýhodnejšou návratnosťou, vzhľadom k finančnej situácii na trhu.[2]

$$r_{it}^k = r^*(1 + \Phi_{kt}\mu(l_{it}))$$

Banka môže z poskytnutej pôžičky dostať výplatu po skončení periódy v dvoch výškach:

$$A_{it+1} > 0 \Rightarrow B_{it}(1 + r_{it}^k)$$

$$A_{it+1} < 0 \Rightarrow R_{it+1}$$

R_{it+1} je suma, ktorú banka obdrží v prípade, že čisté imanie firmy i je záporné a firma je nútená vyhlásiť bankrot.[1],[2]

Tak ako na pracovnom trhu aj na finančnom trhu môžu nastať nasledovné situácie:

1. *Previs na strane dopytu*, niektoré banky, hlavne tie s nízkou ponúkanou úrokovou mierou, majú priveľký dopyt po ich finančných prostriedkoch a nedokážu požičať všetkým uchádzajúcim sa firmám.[2]
2. *Previs na strane ponuky*, niektoré banky kvôli privysokkej úrokovej miere nemajú dostatok uchádzačov o svoj úverový kapitál a môžu nastať aj situácie, kde týmito bankami nebude poskytnutý ani jeden úver.[2]

V prípade, že sa firme nepodarí vypožičať si celú potrebnú sumu, potrebnú na produkciu predpokladaného množstva homogénneho produktu t.j. nemá dostatočné financie na zaplatenie zamestnancou, prepustí nadbytočnú pracovnú silu s nulovými nákladmi.[2]

1.2.5 Trh tovarov

Trh tovarov je miesto stretnutia firiem, ktoré prinesením homogénneho produktu vytvárajú stranu ponuky. Strana dopytu je tvorená spotrebiteľmi, ktorí prejavujú záujem o kúpu tohto tovaru za obdržané mzdy. Tento trh je v modeli BAM charakteristický nedokonalou informáciou na strane spotrebiteľov a nerovnakosťou cien na strane producentov. Táto asymetrickosť informácie a rôznorodosť cien výrazne odlišuje trh tovarov v modeli od trhu dokonale konkurenčnej ekonomiky.

Firmy pri vstupe na trh majú možnosť manipulovať s množstvom ponúkaného homogénneho tovaru a s cenou za jednotku tovaru. Napriek homogénnosti tovaru je cena nastavená individuálne pre každú firmu, čo prispieva k vytvoreniu reálnejšie sa správajúceho trhu, než je dokonale konkurenčný a dochádza k situáciám, kde spotrebiteľ nakupuje za najvýhodnejšiu cenu. Hoci má každá firma možnosť manipulovať rovnako s cenou aj množstvom, prieskumy ukazujú, že takéto správanie za účelom prispôbeniu sa ekonomickému cyklu je pre firmy necharakteristické. Preto firma pohne vždy maximálne s jednou z týchto premenných, pričom pravdepodobnosť zmeny je rovnaká tak pre cenu, ako pre kvantitu. V skutočnej ekonomike sa však firmy omnoho radšej prispôbujú množstvom pokiaľ ide o znižovanie. K znižovaniu cien dochádza iba zriedkavo.[1]

Ako sa firma rozhodne upraviť svoje riadiace premenné je priamo závislé od signálov, ktoré firma dostane z trhu a taktiež jej momentálnej finančnej situácie. Informácia, na základe ktorej sa firma rozhoduje je teda zložená z dvoch komponentov:

1. Previs dopytu/ponuky v predchádzajúcom období. V tomto komponente firma prihliada na svoj výsledok predaja v predchádzajúcej perióde. Firma tu rozlišuje 2 situácie. Prvá je, ak vyrobené množstvo nebola schopná predat' t.j. $S_{it-1} > 0$. V takomto prípade bola firma nútená naskladnený tovar zlikvidovať bez dodatočných nákladov. Možnosť uskladniť tovar a predat' ho v budúcich periódach sa neuvažuje. Druhá situácia popisuje práve opačnú alternatívu, t.j. $S_{it-1} \leq 0$. Táto alternatíva zachytáva previs dopytu, a teda množstvo tovaru uvedeného na trh firmou i v perióde $t-1$ nebolo dostatočné. Pri prvej variante bude cena resp. množstvo tovaru klesať, pričom cena neklesne nikdy pod hodnotu priemerných nákladov. V opačnej variante bude cena alebo množstvo produkcie rásť. [1], [2]
2. Rozdiel priemernej ceny na trhu voči cene, ktorú žiadala v predchádzajúcej perióde i -ta firma. Vzhľadom k tomu, že presné ceny homogénneho produktu sú súkromnou informáciou firmy, tieto údaje nie sú ostatným firmám známe. Všetky firmy svoju cenu odvádzajú od priemernej ceny, ktorá bola zverejnená pre všetky. V prípade, že rozdiel $P_{it-1} - P_{t-1} > 0$, firma je nútená nastaviť cenu nižšie alebo znížiť vyrábanú kvantitu. Výhodnejším riešením je zníženie ceny, ktoré zabráni migrácii zákazníkov ku konkurencii. Zníženie sa opäť môže pohybovať až po hranicu priemerných nákladov. V prípade, že rozdiel je negatívny, firma zvýši objemy výroby alebo cenu produktu. [1], [2]

Tieto signály priamo implikujú štyri možné situácie a ich riešenia, ktoré môžu firmu postihnúť:

1. Cena, za ktorú producent ponúka svoj produkt je nad úrovňou priemernej ceny a produkované množstvo je vyššie ako dopyt. V takejto situácii sa firma rozhodne znížiť cenu a ponechať produkciu.[1]
2. Cena, za ktorú producent ponúka svoj produkt je pod úrovňou priemernej ceny a produkované množstvo je nižšie ako dopyt. V takejto situácii sa firma rozhodne zvýšiť cenu a ponechať produkciu.[1]
3. Cena, za ktorú producent ponúka svoj produkt je pod úrovňou priemernej ceny a produkované množstvo je vyššie ako dopyt. V takejto situácii sa firma rozhodne ponechať cenu a znížiť produkciu. Alternatíva by bola tiež ešte výraznejšie zníženie ceny, to by však oberalo firmu o zisk.[1]
4. Cena, za ktorú producent ponúka svoj produkt je nad úrovňou priemernej ceny a produkované množstvo je nižšie, nanajvýš rovné dopytu. V takejto situácii sa firma

rozhodne ponechať cenu a zvýšiť produkciu. V opačnom prípade by firma odháňala svojich zákazníkov ku konkurencii.[1]

Prvé dve situácie možno matematicky zapísať:

$$P_{it}^s = \begin{cases} \max\{P_{it}^l, P_{it-1}(1 + \eta_{it})\} & S_{it} = 0, P_{it-1} \geq P_{t-1} \\ \max\{P_{it}^l, P_{it-1}(1 - \eta_{it})\} & S_{it} > 0, P_{it-1} < P_{t-1} \end{cases}$$

$\eta_{it} \in (0, h_\eta)$ je náhodná premenná z rovnomerného rozdelenia

P_{it}^l je cena, ktorou firma pokryje svoje priemerné náklady

$$P_{it}^l = (W_{it} + \sum_k r_{kit} B_{kit}) / Y_{it}$$

Situácia 3 a 4 zas matematicky vyzerá:

$$D_{it}^e = \begin{cases} Y_{it-1}(1 + \rho_{it}) & S_{it-1} = 0, P_{it-1} \geq P_{t-1} \\ Y_{it-1}(1 - \rho_{it}) & S_{it-1} > 0, P_{it-1} < P_{t-1} \end{cases}$$

$\rho_{it} \in (0, h_\rho)$ je náhodná premenná z rovnomerného rozdelenia [1]

Keďže trh tovarov je decentralizovaný, zákazník dosahuje nulové transakčné len pri skúmaní neúplného (lokálneho) trhu. V opačnom prípade by tieto náklady boli neúnosné. Toto je hlavný dôvod, prečo pri hľadaní najvýhodnejšieho nákupu robí spotrebiteľ j v perióde t iba čiastočný prieskum trhu, teda navštívi Z firiem z množiny všetkých. Celý mechanizmus vyhľadávania a výberu sa riadi nasledujúcimi krokmi:

1. Spotrebiteľia vstupujú na trh postupne a ich poradie je v každej perióde nahodné.
2. Každý spotrebiteľ má možnosť preskúmať ceny Z firiem. Medzi týmito firmami nesmie nikdy chýbať čo do produkcie najväčšia navštívená firma v predchádzajúcej perióde. Zvyšných $Z-1$ je vybraných čisto náhodne z množiny všetkých zvyšných firiem. V tomto správaní možno pozorovať preferencie pre väčšie firmy.
3. Na základe cien si spotrebiteľ vytvára rebríček firiem, pričom jeho preferenciou je u firmy s najnižšou cenou utrátiť časť jeho finančných prostriedkov zložených zo mzdy z periódy $t-1$ a z naakumulovaných úspor z predchádzajúcich období.
4. V prípade, že firma s najnižšou cenou nedokáže naplniť jeho dopyt, snaží sa zvyšok tovaru nakúpiť u firmy s druhou najnižšou cenou a takto postupuje, až kým neminie finančné prostriedky určené na nákup.

5. Ak ani všetkých Z firiem lokálneho trhu nedokáže naplniť jeho dopyt, spotrebiteľ si nedobrovoľne odloží finančné prostriedky na budúce periódy, avšak za tieto neutŕži žiaden úrok.[2]

Proces popísaný vyššie vytvára medzi agentmi pohybujúcimi sa v modeli sieť, ktorá sa s časom neustále mení. Nastávajú situácie, kde firma s nízko nastavenou cenou má omnoho viac záujemcov o svoj produkt a ziskava tak voči konkurencii dominantné postavenie na trhu. Po uzavretí trhu tovarov firma zbilancuje, koľko sa jej podarilo predáť a za akú cenu. Tovar, ktorý firma nepredá sa zlikviduje bez dodatočných nákladov a firme poslúži len na odhadnutie budúcej produkcie.[1]

1.2.6 Bankrot a R&D

Po uzatvorení všetkých troch spomenutých trhov firma na konci periódy zbilancuje svoj zisk π_{it-1} . V prípade, že je táto hodnota pozitívna, vyplatí dividendy akcionárom s hodnotou DIV_{it-1} . Táto hodnota je vypočítaná ako fixné percento δ zo zisku. Zvyšný zisk sa pripočíta ku vlastnému kapitálu firmy.

$$A_{it} = A_{it-1} + \pi_{it-1} - DIV_{it-1} = A_{it-1} + \pi_{it-1}(1 - \delta)$$

V prípade, že táto hodnota nedokáže pokryť očakávané budúce výdavky, firma začne hľadať banku ochotnú jej požiť potrebný kapitál. Jej šance sú nepriamoúmerné pomeru odhadovanej pôžičky a jej vlastného kapitálu. V prípade, že jej vlastný kapitál klesne do záporných hodnôt, je firma nútená vyhlásiť bankrot a opustiť trh. Vlastný kapitál sa teda stáva rozhodujúcim kritériom pre posudzovanie zdravia firmy a toho, či firma opúšťa trh alebo ostáva v ekonomike.[1], [2]

Prípad bankrotu je v tejto časti zaujímavejší, pretože to má za následok dve veci:

1. Na trh vstupuje okamžite po odchode skrachovanej firmy nová firma, ktorá ju nahradí, avšak jej kapitál je menší, ako priemerná hodnota kapitálu firiem v ekonomike.
2. Banka, ktorá bola v danej perióde veriteľom odchádzajúcej firmy týmto utŕži stratu. Najhoršou variantou tejto situácie je, keď banka utŕži tak veľké straty, až sa stane insolventnou. V takomto prípade do hry vstupuje vláda, ktorá musí banku vykúpiť z jej dlhov, a to jej nahradením kópiou ľubovoľnej existujúcej banky. Pre kapitál banky platí:

$$E_{kt} = E_{kt} + \sum_{i \in \Theta} r_{kit-1} B_{kit-1} - BD_{kt-1}$$

Θ predstavuje pôžičky poskytnuté bankou k

r_{kit-1} je úrok, za ktorý si firma i požičala od banky k finančné prostriedky na periódu t

$BD_{kt-1} \leq \sum_{i \in \Theta} r_{kit-1} B_{kit-1}$ sú úvery, ktoré firmy neboli schopné splatiť banke k v perióde t [2]

Opačná alternatíva k bankrotu firiem nastáva, keď firmy produkujú zisk. Ten môže byť až taký, že im umožní investovať do svojho rozvoja. Firmy tak môžu použiť časť utŕžených finančných prostriedkov na vedu a výskum (R&D). Takýmto spôsobom si môžu znížiť náklady na produkovanie množstva homogénneho produktu, resp. zvýšiť množstvo vyprodukovaného tovaru za jednu finančnú jednotku. V reálnej ekonomike môžeme pozorovať, že každá vyspelá a rozvinutá firma investuje nemalé množstvo finančných prostriedkov práve do tohto sektoru. [1]

V modeli popísanom v diele *Macroeconomics from the Bottom-up* sa R&D podieľa na zvýšení produktivity práce. Tá sa z periódy na periódu vyvíja náhodným procesom, ktorý je možné popísať vzťahom:

$$\alpha_{it+1} = \alpha_{it} + Z_{it}$$

Z_{it} je náhodná premenná z exponenciálneho rozdelenia, ktorej moment μ_{it} priamo zachytáva intenzitu R&D na produkcii. Znamená to, že čím vyššie sú výdavky firmy na R&D, tým výraznejší rast produktivity práce do budúcnosti firma očakáva. Za predpokladu, že σ_{it} poukazuje na podiel zisku π_{it} , potom pre tento parameter platí rovnosť:

$$1/\mu_{it} = P_{it} Y_{it} / \sigma_{it} \pi_{it}$$

Za účelom reálnejšieho správania firiem, t.j. aby firma s väčším finančným zdravím (pomer úverov a vlastného kapitálu) investovala väčšie percento profitu do vedy a výskumu, je premenná σ_{it} modelovaná exponenciálnou závislosťou s počiatočnou hodnotou rovnou $\sigma_{it}(0) = 10\%$. Vzhľadom na to, že sú to výdavky, ktoré firma čerpá priamo zo zisku, rovnica pre kapitál bude v modeli uvažujúcom R&D sa musí tiež modifikovať. Tá bude tiež priamo závisieť od premennej σ_{it} . [1] Platí:

$$A_{it} = A_{it-1} + \pi_{it-1}(1 - \delta)(1 - \sigma_{it})$$

2. Vlastný model

Táto kapitola popisuje náš vlastný model, v ktorom sa pokúšame simulovať relatívne jednoduchú, no za to čo najreálnejšie správajúcu sa ekonomiku. Na ňom sme pozorovali vývoj jednotlivých ukazovateľov ako HDP, miera nezamestnanosti...

Model sme sa snažili zostaviť na záklatoch teórie ekonomických agentov popísanej v časti 1.1. Vyhli sme sa tak simuláciám s dokonale racionálnym spotrebiteľom maximalizujúcim svoj úžitok a viac sme sa priblížili k takpovediac ľudskému riešeniu situácií na trhu. Týmto prístupom sme sa síce priblížili k modelu BAM, avšak abstrahovali sme od účasti bankových subjektov v ekonomike. Týmto sme sa snažili uprieť firmám možnosť pracovať s cudzím kapitálom a spoliehať sa jedine na svoju vlastnú produkciu a správnosť rozhodnutí o narábaní s vlastným kapitálom, aby boli schopné prežiť.

2.1 Populácia modelu

Na vytvorenie populácie modelu sme použili 3 druhy ekonomických agentov. Títo majú poslúžiť dostatočne na vytvorenie populácie a taktiež na to, aby sa tento model priblížil realite.

Najpočetnejšou skupinou sú aj v našom modeli *spotrebitelia*. Táto trieda tvorí približne 90 až 95% z celkového množstva subjektov v modeli. Takéto vysoké percento sme volili, aby v ekonomike bola možnosť vzniku firiem s väčšou variabilitou zamestnancov. Percento sme nenastavili fixne, ale nechali si možnosť s ním manipulovať prostredníctvom voľby presného počtu subjektov na trhu, aby sme mali väčšiu voľnosť pri vytváraní simulácií. Úlohou tejto triedy vytvoriť dopyt pre výrobky firiem, ale taktiež vytvoriť pracovnú silu nutnú na chod ekonomiky.

Druhou skupinou agentov sú *firmy produkujúce homogénny produkt*. Táto skupina takmer úplne pokryje zvyšnú časť populácie modelu. Jej úlohou je výroba homogénneho produktu, ktorý budú neskôr spotrebitelia nakupovať. Vytvárajú tak pracovné miesta pre zamestnancov, ktorým za ich prácu poskytujú mzdu. Ich výroba a predaj je kľúčom k tvorbe HDP v modeli.

Poslednou skupinou je jediná *firma vyrábajúca kapitálové prostriedky* pre zvyšné firmy, aby svoj hmotný kapitál mohli rozširovať a tým spôsobom dosahovať medziobdobový rast. Na výrobu hmotného produktu totiž nie je potrebná iba pracovná sila, ale aj stroje. Táto firma má charakter monopolu. Nemá konkurenciu na trhu a jej zisk bude neustále rásť, kvôli tomu, že firmy sú nútené z dôvodu amortizácie kapitálu neustále investovať do strojov.

2.2 Tvorba modelu

Podkapitola je zameraná na postup, akým sme pristupovali k tvorbe samotného modelu. Budeme sa venovať hlavným interakciám medzi účastníkmi ekonomiky a ich vzájomnému prepojeniu. Popíšeme, ako sme sa pokúsili tieto charakteristiky preniesť do simulácií a aké makroekonomické veličiny sú týmto správaním definované.

2.2.1 Priebeh jednej periódy

Na začiatku sme definovali, aké udalosti budú prebiehať v každom časovom období a v akom poradí budú tieto situácie nastávať. Sled udalostí v našom modeli je teda nasledovný:

1. Firmy, ktoré sú na trhu si určia výšku produkcie tovaru, ktorý budú počas tejto periódy produkovať. Súčasne si s očakávanou výškou dopytu určia aj cenu, za ktorú ho budú predávať.
2. Následne si firmy spočítajú pred vstupom na trh práce a kapitálu, koľko zamestnancov a kapitálu budú potrebovať na výrobu odhadnutej produkcie.
3. Firmy doplnia potrebný kapitál, potrebný k produkcii. Dopĺňa len v rámci jej finančných prostriedkov tak, aby bola schopná najat' aj potrebnú pracovnú silu na obsluhu strojov.
4. Firmy vstúpia na pracovný trh a nastane najímanie pracovnej sily. Pri vstupe zverejnia ponúkaný plat za prácu.
5. Pracovná sila sa začne aplikovať na otvorené pracovné pozície. Uchádzači sa aplikujú vždy najprv do firiem s lepšou ponúknutou mzdou.
6. Firmy vyplatia zamestnancov po najatí vopred, na začiatku periódy.
7. Prebehne produkcia a otvorí sa trh tovarov. Na tomto trhu firmy zverejnia množstvo homogénneho produktu, ktorý sa pokúšajú predat' a prislúchajúcu cenu za jednotku tvaru.
8. Spotrebitelia navštevujú firmy a snažia sa čo najvýhodnejšie nakúpiť za zarobenú mzdu a úspory.

9. Uzavrie sa trha firma začne bilancovať svoj zisk, resp. stratu.
10. Podľa výšky zisku firma buď vyplatí dividendy alebo vyhlási bankrot.

2.2.2 Inicializácia modelu

Model inicializujeme vhodným zadaním počiatočných vstupov, ktoré takpovediac naštartujú celú ekonomiku. S týmito hodnotami dokážeme pred štartom simulácie pohybovať, aby sme čo najlepšie napodobnili realitu, a sú nastavené tak, aby na začiatku boli všetci na rovnakej štartovacej čiare. Možnosť pohybovať týmito vstupmi si nechávame aj preto, aby sme mohli pozorovať, ako výrazne je ekonomika citlivá na zmeny, s ktorými spustíme simulácie. V priložených prílohách je viditeľné, ako aj malá zmena počiatočnej hodnoty dokáže vyformovať diametrálne odlišne sa správajúcu ekonomiku. Ďalej už do priebehu nebudeme zasahovať a necháme systém rozvíjať sa na základe náhodných procesov a zároveň závislostí a prepojenosti medzi jednotlivými agentmi. Niektoré vstupy majú charakter globálnych premenných a nebudú sa meniť počas celého trvania simulácie. Sú nimi predovšetkým hraničné hodnoty pre zmeny modelovaných veličín. Vzhľadom na to, že reálna zmena je modelovaná náhodnou premenennou, vývoj modelu to nijako neovplyvní. Tabuľka popisuje, ktoré hodnoty na začiatku nastavíme my:

Premenná	Význam
T	Počet periód v simulácii
J	Počet spotrebiteľov na trhu
I	Počet firiem produkujúcich homogénny product
M	Počet navštívených firiem pri hľadaní práce
Z	Počet navštívených firiem pri hľadaní lacnejšieho tovaru
A(c)	Počiatočný kapitál každej firmy
D(c)	Počiatočný dopyt
W	Počiatočná mzda
P(c)	Počiatočná cena homogénneho tovaru
a(period)	Amortizácia hmotného kapitálu
A	Produktivita
$\delta(\text{div})$	Podiel zisku použitý na vyplatenie dividend
$\rho(D)$	Maximálna zmena dopytu
$v(p)$	Maximálna zmena ceny
$\chi(w)$	Maximálna zmena mzdy

Tabuľka 1. Vstupné premenné modelu

2.2.3 Spustenie modelu a prvá iterácia

Po navolení počiatočných hodnôt môžeme pristúpiť k samotnému spusteniu. Prvá iterácia je mierne odlišná od ostatných, preto teraz bližšie popíšeme, ako presne prebieha a aké prepojemia v nej účastníci naviažu.

Pri spustení si všetky firmy nastaví svoj počiatočný kapitál na rovnakú úroveň, ktorú zadáme my. To isté platí aj pre očakávaný dopyt, výšku mzdy, cenu tovaru, ktoré budú vyrábať. Určia si počet zamestnancov, ktorých budú potrebovať pre výrobu tovaru. Veľkosť pracovnej sily je funkciou očakávaného dopytu a produktivity pracovnej sily. Pri vstupe na trh majú všetky firmy 0 zamestnancov, čo znamená, že v systéme je 100 % nezamestnanosť. Populácia vo forme spotrebiteľov žije iba z úspor, ktoré sú každému pridelené náhodne. Predpokladáme však, že celá populácia má snahu sa zamestnať a zároveň všetky firmy majú snahu naplniť svoju pracovnú kapacitu, aby dokázali výrobou naplniť očakávaný dopyt. Preto firmy, rovnako ako uchádzači o prácu sa rozhodnú vstúpiť na trh práce. Priložený kód zachytáva práve interakcie na trhu práce.

```
for i=1:J
    m(i,:)=datasample(V_ind,M,'Replace',false); %nahodny vyber
end
m_w=sort(w(m),2,'descend');%matica zoradenych vyplat, kde nezamestnany posielal ziadost

%M ziadosti o pracu zaslaných do firiem
for i=1:J
    for j=1:M
        for k=1:M
            if m_w(i,j)==w(m(i,k)) && V(m(i,k))>0
                V(m(i,k))=V(m(i,k))-1;
                J_hlada=J_hlada-1;
                PP(i,1)=PP(i,1)+m_w(i,j);
                theta(i,1)=randi(12);
                theta(i,2)=m(i,k);
                m_w(i,:)=zeros([1,M]);
            end
        end
    end
end
end
```

Obr. 1. Trh práce

Prvú akciu tu podniknú firmy, ktoré zverejnia množstvo voľných pracovných miest, ktoré otvárajú pre túto periódu a taktiež mzdu, ktorú za prácu ponúkajú. Teraz je rad na uchádzačoch o miesto, ktorí navštívia presne M firiem a informujú sa v nich o mzde a o tom, či ponuka je práce ešte platná. Tieto firmy si usporiadajú zostupne, a pokúsia sa zamestnať

v tej, ktorá je v rebríčku čo najvyššie. Firma pri zamestnaní každého uchádzača zníži množstvo otvorených ponúk o jednu a rovnako množstvo nezamestnaných klesne o jedného uchádzača. V tomto procese platí, že kto prvý príde, ten prvý berie. Každý uchádzač pri uzatvorení zmluvy dostane kontrakt na konkrétny počet períód. Tento je pre všetkých zamestnaných nerovnaký, aby na koci každej períódy nevznikla situácia, že na trhu je opäť úplná nezamestnanosť. Pri obdržaní kontraktu je zamestnancovi vyplatená mzda vopred. Firma si tak splní svoje záväzky už vopred a na konci períódy po prebehnutí výroby bude len inkasovať. Tiež je to poisťka proti tomu, aby pri prípadnom krachu firmy nedošlo k okradnutiu robotníka. Jej finančný kapitál sa tak zníži o výšku mzdy. Po tomto sa trh práce uzatvára, my poznáme počet nezamestnaných, počty pracovníkov na jednu firmu a zbytkový kapitál na účtoch firiem. Firmy tak môžu priamo prejsť k svojej hlavnej úlohe, ktorou je výroba.

Pred spustením samotného výrobného procesu firmy ešte musia určiť skutočné množstvo, ktoré budú produkovať. Ich doterajšie rozhodnutia sa totiž rozvíjali jedine na základe odhadov, ako napr. dopyt. Skutočné množstvo však závisí aj od hmotného kapitálu a pracovnej sily, ktorou skutočne disponujú. Kapitál je v prvej iterácii dostatočný, avšak pracovná sila je závislá od ich úspešnosti na trhu práce. Preto prepočítajú pomocou produktivity práce možnú reálnu produkciu a až potom prejdú k výrobe samotnej. Výroba trvá celú jednu períodu a je zakončená prechodom na trh tovarov. Na tomto trhu sa úlohy účastníkov vymenia. Zamestnanci v úlohe zákazníkov tu budú svoj finančný kapitál míňať a firmy v úlohe predajcov kapitál zvyšovať. Na obrázku nižšie je možné vidieť kód, ktorý zachytáva intarakcie na tomto trhu.

```

for i=1:J
    z(i,:)=datasample(V_ind,Z,'Replace',false); %nahodny vyber
end
z_p=sort(p(z),2,'ascend');%matica zoradenych cien

%priebeh trhu s tovarom
SA=PP;
Scrap=Y;
for i=1:J
    for j=1:Z
        for k=1:Z
            if z_p(i,j)==p(z(i,k)) && Scrap(z(i,k))>0 && SA(i)>=p(z(i,k))
                pomocna=min(floor(SA(i)/p(z(i,k))),Scrap(z(i,k)));
                Scrap(z(i,k))=Scrap(z(i,k))-pomocna;
                A(z(i,k))=A(z(i,k))+p(z(i,k))*pomocna;
                SA(i)=SA(i)-p(z(i,k))*pomocna;
            end
        end
    end
end
end
end

```

Obr.2. Trh tovarov

Priebeh interakcií na tomto trhu je veľmi podobný tomu pracovnému. Prvé sú na rade opäť firmy, ktoré zverejnia cenu a dispozičné množstvo tovaru. Táto informácia (hoci ju firma poznala od počiatku periódy) bola doteraz tajná. Zákazníci začnú s prieskumom trhu. Každý navštívi Z firiem, v ktorých sa informuje o cene a množstve tovaru, ktoré má firma na sklade. Vytvorí rebríček, tak ako pri trhu práce a zaujímať sa bude o tovar s najnižšou cenou, keďže predpokladáme, že kvalita tovaru sa pre jednotlivé firmy nelíši. Záujem o kúpu prejaví firme s najnižšou cenou a tá pokiaľ ešte disponuje tovarom na predaj jej záujem opätuje. V takomto prípade prebehne transakcia a kapitál firmy sa zvýši, zatiaľ čo ten spotrebiteľov klesne. Nemôže nastať situácia, že niekto by kupoval takpovediac na dlh. Znamená to, že nikto nemôže nakupovať nad mieru svojho disponibilného kapitálu. Aj tu platí pravidlo prvenstva na právo nakupovať. Po tom, ako zákazníci vyčerpajú svoj kapitál na nakupovanie, resp. naplnia svoj dopyt po tovare alebo vyčerpajú možnosť uchádzať sa o kúpu inej firmy sa trh uzatvorí. Firmy si vypočítajú množstvo, ktoré predali, lebo toto bude kľúčové pre určenie budúceho očakávaného dopytu. Pokiaľ nastala situácia, že nepredali všetok tovar, tak ho jednoducho zlikvidujú. Tiež určia svoj zisk, ktorým navýšia vlastný kapitál. V prípade, že ten je v čiernych číslach, firma vyplatí dividendy. Tieto sú distribuované medzi spotrebiteľov náhodne. Nie je presne určené, kto je vlastník firmy, preto je celá výška dividend jednej firmy vyplatená niektorému z J spotrebiteľov na trhu. Je pripočítaná priamo k jeho finančnému

kapitálu. Po tomto všetkom sa uzatvára perióda a každému zamestnanému sa z jeho kontraktu odráta jedna perióda. Pokiaľ bol jeho kontrakt uzavretý iba na jedno časové obdobie, prichádza o zamestnanie a v ďalšej perióde znova vstúpi na pracovný trh. Spočítame HDP ekonomiky za túto periódu ako súčin ceny s predaným množstvom a zaznamenáme sumarizáciu pre celú periódu.

2.2.4 Priebeh a zmeny v modeli v ostatných iteráciách

Fungovanie modelu v nasledujúcich iteráciách je výrazne odlišné od tej prvej. Hoci trhy práce a tovarov sa správajú rovnako ako v prvej perióde, o firmách to už platí menej. Zatiaľ čo v prvej perióde sme im nastaviť dopyt a cenu mohli my, zvolením vstupných dát v nasledujúcich obdobiach sú ponechané takpovediac samé na seba. Ich vlastné rozhodovanie sa v otázkach očakávaného dopytu a ceny budú kľúčovým aspektom ich prežitia na trhu. Tieto rozhodnutia robí každá firma autonómne na základe jej vlastných skúseností na trhu. Reakcia a odhad týchto veličín je priamo závislý iba na úrovni priemernej ceny a reálneho dopytu po jej produkte v predchádzajúcej perióde. Spôsob, akým s nimi firma manipuluje je podobný ako v BAM modeli popísanom v prvej kapitole:

A. $D_{it}^d = Y_{it-1}$

$$P_{it} = P_{it-1}(1 + v_{it}) \quad v_{it} \in (0; v)$$

Firma sa rozhodne zvýšiť cenu, ak minulú periódu bola jej cena pod úrovňou priemernej a jej produkcia bola nižšia, ako reálny dopyt po jej výrobkoch.

B. $D_{it}^d = Y_{it-1}$

$$P_{it} = P_{it-1}(1 - v_{it}) \quad v_{it} \in (0; v)$$

Firma sa rozhodne znížiť cenu, ak minulú periódu bola jej cena nad úrovňou priemernej a jej produkcia bola tiež vyššia, ako reálny dopyt po jej výrobkoch. [2]

C. $D_{it}^d = Y_{it-1}(1 - \rho_{it}) \quad \rho_{it} \in (0; \rho)$

$$P_{it} = P_{it-1}$$

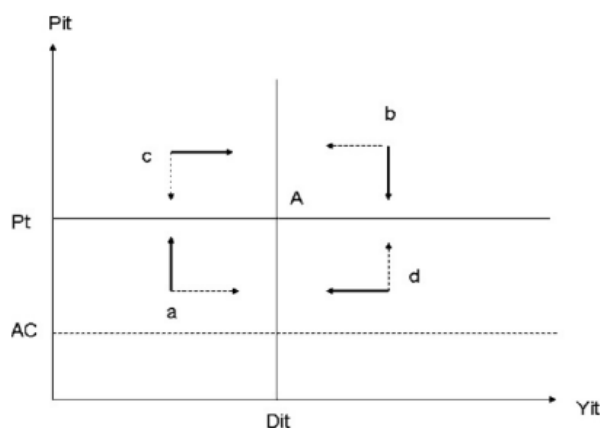
Firma sa rozhodne pre zníženie produkovaného množstva v prípade, ak cena, za ktorú minulú periódu predávala, bola nižšia ako priemerná a aj napriek tomu bol dopyt po jej produktoch nižší, než jej reálna produkcia.[2]

$$D. D_{it}^d = Y_{it-1}(1 + \rho_{it}) \quad \rho_{it} \in (0; \rho)$$

$$P_{it} = P_{it-1}$$

Firma sa rozhodne pre navýšenie produkovaného množstva v prípade, ak cena, za ktorú minulú periódu predávala bola vyššia ako priemerná a dopyt po jej produktoch bol rovnaký, resp. vyšší než jej reálna produkcia.[2]

Nasledujúci obrázok zachytáva práve tieto 4 situácie.



Obr. 3. Rozhodovací proces

V predchádzajúcich odstavcoch hovoríme o rozhodnutiach o zmene produkcie napriek tomu, že firma ešte stále odhaduje iba očakávaný dopyt. Je to preto, lebo odhad dopytu je totožný s určením si predbežnej produkcie. Či sa firme toto rozhodnutie podarí naplniť, je závislé na jej úspešnosti na trhu práce a kapitálu. Jednotlivé narasty, resp. úbytky na produkcii, či cene modelujeme náhodnými premennými v_{it} a ρ_{it} , ktoré patria rovnomernému rozdeleniu na intervale $(0; v)$, resp. $(0; \rho)$. Je nutné poznamenať, že firma na začiatku periódy utrpela aj stratu na hmotnom kapitále. Ten sa po prejdení jedného obdobia amortizoval. Môžeme to prezentovať, že niektoré stroje sa pri výrobe zničili. Firma, ktorá vyrába homogénny produkt, tak pred výrobným procesom bude musieť doplniť nielen pracovnú silu, ale aj hmotný kapitál. Pred vstupom na trhy kapitálu a práce si najprv určí potrebné množstvá, ktoré bude musieť doplniť. Tieto množstvá sú navzájom závislé, firma na výrobu potrebuje aj stroje, aj robotníkov a nemôže minúť viac, ako je jej vlastný finančný kapitál. Kapitálová firma sa v tomto procese správa odlišne. Má omnoho väčšiu informáciu o trhu a jej odhad

dopytu a k nemu potrebnej pracovnej sily si určí odlišne. Je totiž informovaná o predpokladanom záujme o kapitál zo strany firiem.

$$D_{t|t+1}^d = \sum_{i \in I} D_{Kit}$$

D_{Kit} je množstvo kapitálu určené na výrobu odhadnutého množstva homogénneho tovaru firmou i v perióde t . Táto informácia jej poskytne odhad pre očakávaný dopyt. Na základe toho si vytvorí obraz o potrebnej pracovnej sile. V našom modeli sme uvažovali o potrebe dvoch robotníkov na výrobu jedného stroja. Svoj dopyt po pracovnej sile sa tak vyjadrí ako dvojnásobok očakávaného dopytu po jej strojoch.

$$L_{t|t+1}^d = 2D_{t|t+1}^d$$

Tesne pred vstupom firiem a robotníkov na trh práce prebehne ešte proces prepúšťania. Ten nastáva z 2 dôvodov.

1. Prvým je nedostatok finančných prostriedkov na udržanie množstva zamestnancov, ktorých už firma má. V takomto prípade bez ďalších rozhodovaní prepustí potrebný počet.
2. Druhým dôvodom je, že niektorým zamestnancom vypršal kontrakt. V prípade, že firma túto pracovnú silu bude aj naďalej potrebovať, ponúkne im nový kontrakt za rovnakú mzdu. Toto riešenie nesie svoje výhody pre obe strany. Firma tak zvyšuje jej pravdepodobnosť naplnenia pracovných kapacít. Robotník týmto vyjadruje jednak svoju lojalitu k firme a tiež týmto vymieňa istotu pracovnej pozície za možnosť nájdenia lepšie plateného miesta.

Trh práce bude tiež mierne odlišný od prvej iterácie. Hlavný rozdiel je v tom, že sa výrazne zmenší. Vstúpiť naň môžu iba nezamestnaní a firmy, ktoré majú nenaplnené pracovné kapacity. Tieto sa snažia pritiahnúť záujemcov na lepšiu platovú ponuku. Každá z nich preto zvýši ponúkanú mzdu o ňou zvolené percento. Táto zmena sa dotýka aj zamestnancov s uzatvoreným kontraktom. Má to tiež vplyv na trh práce, na ktorom tak vznikne väčšia súťaž v porovnaní s prvou iteráciou, kde mzda bola rovnaká pre všetky firmy a uchádzač sa tak zamestnal u prvej s otvorenou pozíciou. Pravidlá na tomto trhu sa však v porovnaní s prvou iteráciou nezmenia vôbec a proces prebehne úplne rovnako. Po jeho uzavretí firmy vyplatia zamestnancom mzdy vopred. Táto položka sa im odčíta z vlastného kapitálu. Vidíme tiež mieru nezamestnanosti za túto periódu a celkový kapitál, ktorým robotnícka vrstva disponuje.

Na rad prichádza firma na výrobu strojov. Tá spúšťa výrobný proces ako prvá a ostatné firmy čakajú, kým im nedodá stroje potrebné na výrobu. Firma vyrobí len toľko strojov, koľko jej umožní jej pracovná sila. Tie budú rozdistribuované medzi firmy, ktoré o ne prejavili záujem. V tejto distribúcii opäť platí, kto prvý príde, ten prvý berie a nemusí tak vyjsť na všetky firmy. Cenu za jeden stroj si kapitálová firma určí minimálne na úrovni jej nákladov na jeho výrobu. Pokiaľ je však dvojnásobok priemernej hodnoty produktivity vyšší, nastaví ako cenu ten.

$$p_{IK} = 2\max\{w_{IK}, \bar{p}\bar{a}\}$$

Tu sa úloha kapitálovej firmy končí, tak tá hneď urobí bilanciu za celú periódu a utfžený zisk pripočíta k vlastnému kapitálu. Firmy teraz môžu určiť už skutočné množstvo, ktoré budú produkovať ako:

$$Y_{it} = \min\{L_{it}; K_{it}\}$$

V tomto okamihu prebehne výroba a firmy s robotníkmi sa môžu opätovne stretnúť na trhu tovarov. Jeho charakter sa v porovnaní s prvou iteráciou vôbec nezmení a je popísaný v časti 2.2.3. Navyiac je pridaná iba podmienka o počte navštívených firiem. Tá hovorí, že pokiaľ je množstvo firiem, ktoré vôbec vyprodukovali tovar v tejto perióde nižšie ako to, ktoré mal zákazník v pláne navštíviť, tak jednoducho navštívi všetky. Táto podmienka nájde uplatnenie jedine pri krajných situáciách, kde množstvo firiem, ktoré museli vyhlásiť bankrot je prívysoke.

```

Z=data(5);
if sum(Y)~=0
    if Z>=length(V_ind)
        Z=length(V_ind);
    end
end
end

```

Obr. 4 Firmy po bankrote

Po uzavretí trhu s tovarom si každá firma zapamätá množstvo, ktoré bola schopná predať a začne s bilancovaním periódy. Spočíta svoj zisk a priráta ho k svojmu ostávajúcemu kapitálu. Objavujú sa aj situácie, kde je kapitál firmy aj po tomto bilancovaní nulový. V takomto prípade firma do výroby investovala všetko čo mala, no nenašla ani jedného

záujemcu o jej produkt. Je nútená vyhlásiť bankrot a opustiť trh. Jej pozíciu nezaujme žiadna nová firma, počet aktívnych firiem sa nám tak zníži o jednu. Tento prístup sme zvolili, aby sme mohli sledovať, či sa objaví situácia, že na trhu ostane iba jedna obrovská firma a ten sa tak stane monopolný.

Pri uzatváraní periódy sa každému zamestnanému robotníkovi odpočíta z kontraktu jedna perióda, spočíta sa HDP a uložia sa záznamy o počínaní ekonomiky počas tejto periódy. Tie neskôr využijeme na vyhodnocovanie celého modelu (Kapitola 3). V poslednej perióde T sa systém uzatvorí úplne a vráti výstupy o produktivite celého modelu za celé časové obdobie.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Táto kapitola je zameraná na reálne vyhodnotenie nášho modelu prostredníctvom výstupov vo forme reálnych makroveličín a ich správaniu sa vzhľadom na voľbu počiatočných premených. Tie sa budeme snažiť navoliť tak, aby sa model svojím správaním čo najviac priblížil realite. Tiež sa budeme pozerat' na viditeľnosť korelácií medzi jednotlivými výstupmi. Sledovať budeme predovšetkým HDP, nezamestnanosť, priemernú mzdu v ekonomike, vývoj cien a dopytu a tiež si všimneme, akým spôsobom si firmy rozdelia trh.

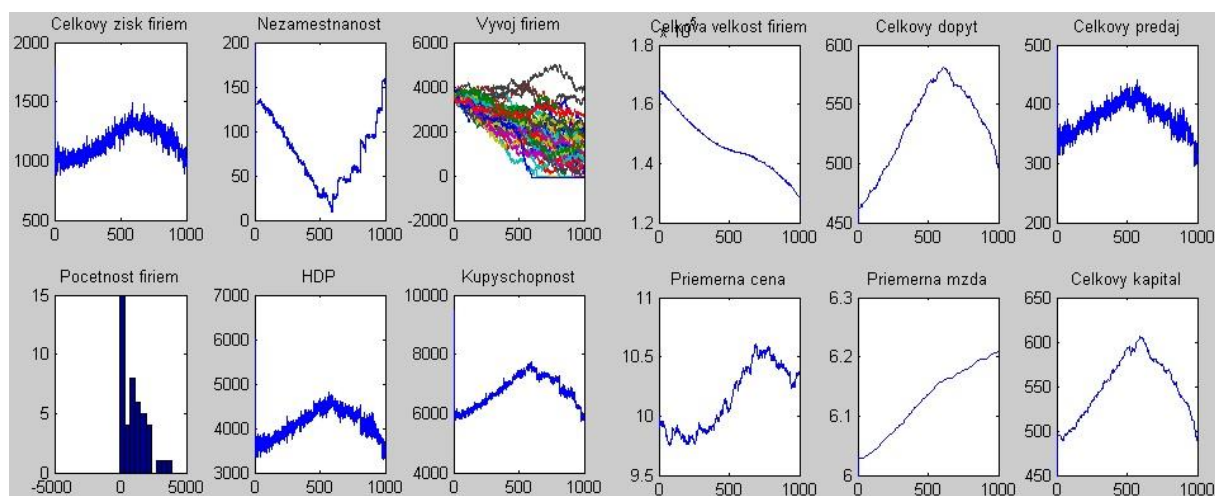
3.1 Závislosť výstupov

Vezmime si teraz jeden systém so špecificky navolenými vstupnými hodnotami a poďme poukázať, ako veľmi je viditeľná prepojenosť jednotlivých ekonomických ukazovateľov. Ako príklad z praxe môžeme uviesť, že stačí jedna mylná informácia o tom, že banka je vo finančných ťažkostiach a celý trh začne panikáriť a snažiť sa dostať svoje vklady od banky späť. Práve toto dostane banku do skutočných finančných problémov a môže ju to priviesť až ku krachu. To spôsobí hystériu na celom bankovom trhu a tá sa potom prenesie aj na firmy a spotrebiteľov. Môžeme vidieť, že jedna zlá informácia dostala celú ekonomiku do problémov. Teraz na našom výstupe ukážeme, že to platí aj na náš model. Vzorovo to popíšeme na modeli s nasledovne zvolenými inputmi:

	pociatocne hodnoty
T	1000
J	650
I	45
M	4
Z	4
A(c)	3500
D(c)	10
w	6
p(c)	10
a(period)	40
alfa	1
delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100

Obr. 5 Vstupy modelu

Vstupy sme navolili tak, aby firmy mali možnosť rásť, preto na začiatku očakávame vyššiu nezamestnanosť, ktorá snáď klesne počas ďalších iterácií. Každý robotník bude oboznámený s len 4 firmami pri svojich pokusoch o nájdenie si zamestnania, resp. pokuse nakúpiť. Firmám sme nastavili relatívne vysoký počiatočný kapitál, ktorý im má poslúžiť predovšetkým na prvé periody, počas ktorých sa celý systém iba stabilizuje. Počet období sme zvolili rovný 1000. Takáto dĺžka by mala byť viac než dostatočná na zachytenie vývoja celého systému. Model sme tvorili s ideou, že jedna perióda bude predstavovať jeden mesiac, no pri nastavení počtu období na 1000 môžeme pokojne uvažovať o jednej perióde ako o jednom dni, čo poskytne horizont približne 3 rokov. Pre našu voľbu sme dostali nasledovný výstup.



Obr. 6 Prvý model

Vo výstupe modelu sú uvedené ekonomické ukazovatele ako HDP, nezamestnanosť, kúpyschopnosť (reprezentuje všetok finančný kapitál vlastnený robotníckou vrstvou), priemerná cena homogénneho produktu v ekonomike, veľkosť dopytu po homogénnom produkte a priemerná mzda v ekonomike. Navyiac je pridané rozloženie firiem pri uzatvorení systému, vývoj každej firmy na trhu, zisk a predaj firiem a ich celkový kapitál.[4]

Pri pohľade na HDP pozorujeme, že na počiatku mala ekonomika tendenciu rásť, tomu zodpovedajú aj ukazovatele zisku, kúpyschopnosti a dopytu. Porovnanie s grafom priemernej ceny nám hovorí, že v počiatku sa firmy úspešne snažili zvyšovať svoj zisk navyšovaním produkovaného množstva a až neskôr začnú navyšovať aj cenu. Toto sa odrazí aj na poklese nezamestnanosti nakmer na 0. Táto prosperita pokračuje až do približne polovice sledovaného obdobia. Tam dosahuje ekonomika svoj vrchol a tak, ako aj v reálnom svete, v ktorom pozorujeme fungovanie v cykloch, začne klesať. Tento pokles je štandardne sprevádzaný nárastom miery nezamestnanosti, ktorý pozorujeme aj v našom modeli. Zisk, dopyt, kúpyschopnosť klesajú, no tiež firmy, ktoré sú aj naďalej nastavené na rastovú ekonomiku, na tieto ukazovatele zareagujú až neskôr. Tým sa dajú vysvetliť aj naďalej rastúce ceny. No pokles kúpyschopnosti spôsobí nedostatočný predaj tovaru a kapitál firiem začne klesať, preto sú nútené znížiť cenu, no to ekonomiku nedokáže naštartovať a tá aj naďalej upadá. Na grafe s priemernou mzdou tiež pozorujeme, že jej rast sa spomalí počas obdobia úpadku. Týmto sú postihnutí všetci účastníci trhu a mnoho firiem v tomto období vyhlási bankrot a ekonomika sa ocitá na dne. Na konci pozorovaného obdobia to pozorujeme u tretiny firiem. Ak sa na celé obdobie pozeráme ako na celok, môžeme ho prirovnať k jednému celému ekonomickému cyklu so všetkými svojimi fázami – RAST, VRCHOL, POKLES, DNO.[7]

3.2 Analýza citlivosti

V predchádzajúcej časti sme popisovali vzájomné závislosti jednotlivých ukazovateľov a popísali sme fungujúci model ako celok. V tejto časti ukážeme, či a ako veľmi je náš model citlivý na nastavenia jeho počiatočných vstupov. Vytvoríme 3 modely, ktoré budú mať mierne pozmenené inputy a budeme sledovať, ako sa táto zmena prejavila na fungovaní celého systému. Odzrkadlí to diverzitu ekonomiky vzhľadom na jej štartovaciu pozíciu. Na rozdiel od štandardných modelov uvidíme, že systémy nedokonvergujú k rovnakému ekvilibriu, čo je opäť zhodné s reálnym správaním. Nebudeme popisovať senzitivitu na všetky vstupy, v prílohách je však možné nájsť viacero modelov, na ktorých je tiež možné pozorovať, že

systém je na svoju počiatocnú pozíciu mimoriadne citlivý. Pre našu analýzu si vezmeme nasledovné 3 modely (poradie modelov bude rovnaké na všetkých obrázkoch).

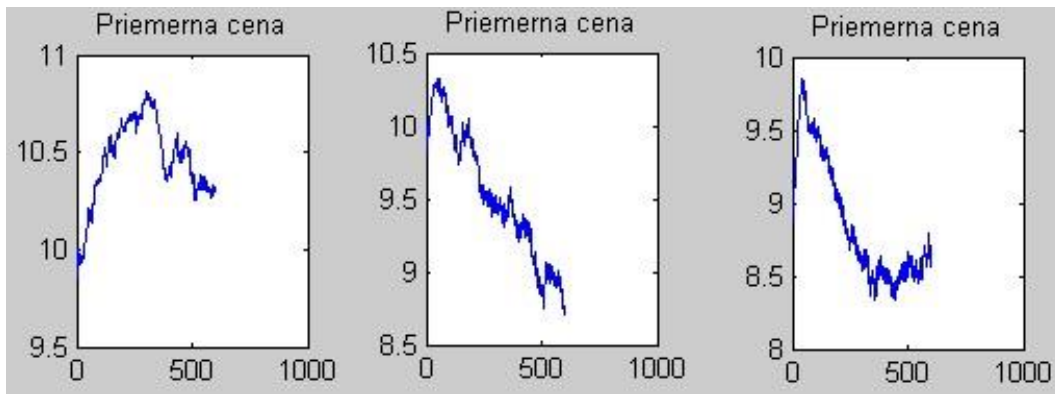
	pociatocne hodnoty		pociatocne hodnoty		pociatocne hodnoty
T	600	T	600	T	600
J	650	J	650	J	650
I	55	I	55	I	55
M	3	M	3	M	3
Z	5	Z	5	Z	5
A(c)	2500	A(c)	2500	A(c)	2500
D(c)	10	D(c)	10	D(c)	10
w	6	w	7	w	7
p(c)	10	p(c)	10	p(c)	9
a(period)	40	a(period)	40	a(period)	40
alfa	1	alfa	1	alfa	1
delta(div)	0.3000	delta(div)	0.3000	delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200	ro(D)	0.0200	ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200	ni(p)	0.0200	ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100	xi(w)	0.0100	xi(w)	0.0100

Model 1
Model 2
Model 3

Obr. 7. Vstupy analýzy

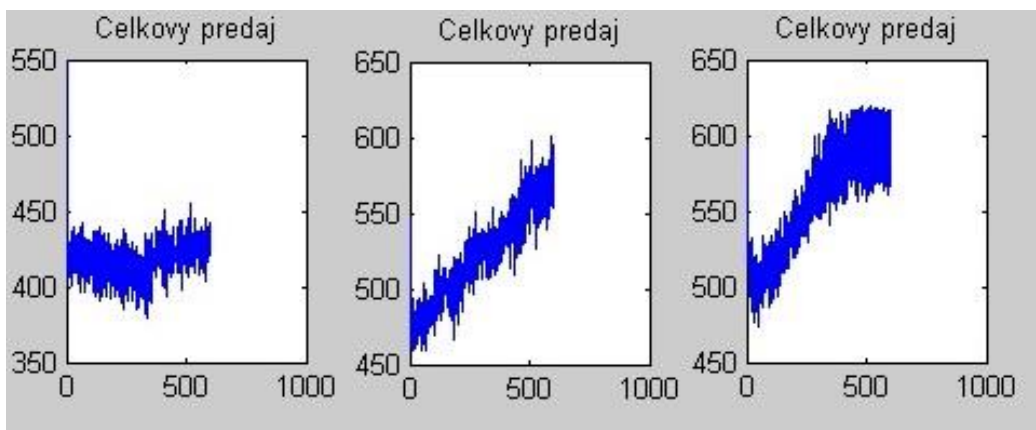
V týchto modeloch sme pracovali so zmenou počiatocnej ceny a mzdy. Všetky boli nastavené na počiatocný kapitál 2500 a v porovnaní s modelom v časti 3.1 sme zmenili aj počet firiem na trhu a premenné zachytávajúce ochotu robiť prieskum trhu. Týmto prístupom sa snažíme ukázať, že model vracia zmysluplné výstupy pre veľkú množinu vstupov.

Ako prvú sme skúmali cenu. Pozorovať tento ukazovateľ sme sa rozhodli hlavne pre to, že sme práve s jej počiatocnou hodnotou manipulovali. Na obr. 8 pozorujeme diametrálne odlišné správanie sa modelov. Najodlišnejší je Model 1, to však môže byť dôsledkom zmeny mzdy, ktorá v ňom bola nastavená na inú hodnotu. Preto by sme mohli povedať, že voľba mzdy ovplyvňuje vývoj cien výraznejšie, než zmena počiatocnej ceny samotnej. Pri zvyšných 2 modeloch dokonca pozorujeme, že sa dostali na podobnú úroveň cenovej hladiny, hoci na priebehoch grafov pozorujeme určité odlišnosti.



Obr.8 Priemerna cena porovnávaných modelov

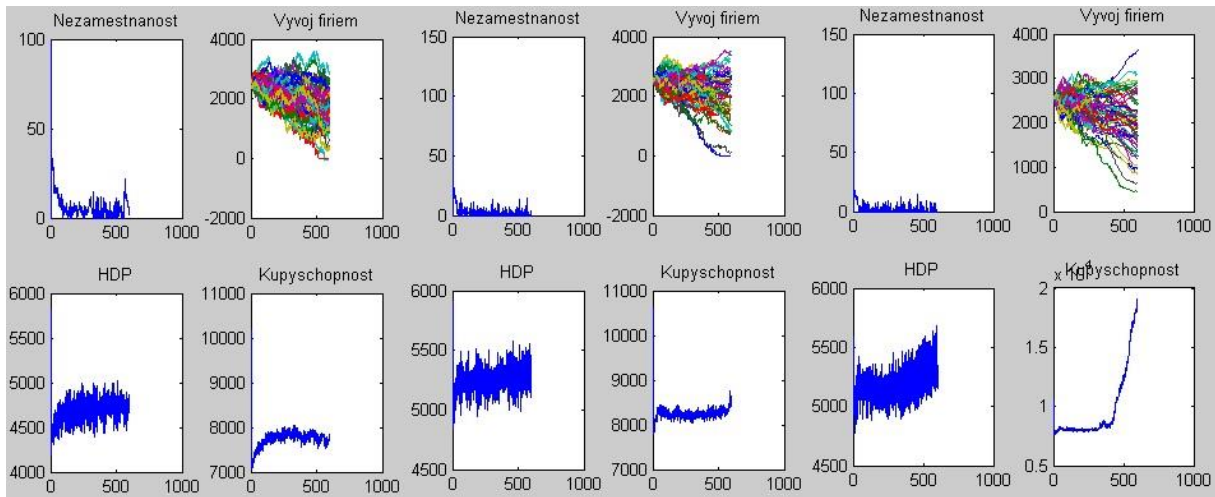
Po preskúmaní a pozorovaní týchto odlišností na cene, sme sa rozhodli preskúmať, ako bol týmito zmenami ovplyvnený predaj produktu, ktorý by mal byť od ceny priamo závislý. Toto tvrdenie sa nám potvrdilo a na obr. 9 vidíme, že grafy sú takmer prevráteným obrazom ceny. Opäť vidíme, že zmena ceny až tak veľmi predaj neovplyvnila, ale výška mzdy o to viac. Poukazuje to práve na schopnosť systému reagovať na vplyvy, ukryté v pozadí dokonca viac než na tie priame.



Obr. 9. Celkový predaj porovnávaných modelov

Pri predchádzajúcich pozorovaniach sme skúmali iba jednotlivé ukazovatele. Teraz sa však pozrieme na ekonomiku ako celok prostredníctvom makroukazovateľov ako HDP a nezamestnanosť a rozoberieme dopad zmien počiatočných podmienok globálne. Tie sú viditeľné na obr. 10. Z grafov je opäť viditeľná veľmi výrazná odlišnosť práve modelu 1. HDP tohto modelu je výrazne nižšie a miera nezamestnanosti vyššia, hoci táto rozdielnosť je už menej viditeľná. Modely 2 a 3 sú mierou nezamestnanosti takmer vyrovnané, ale HDP má pre oba odlišný trend, hoci hladina pri ukončení simulácií je približne vyrovnaná. Odlišnosť trendu sa dá vysvetliť ako dôsledok kúpyschopnosti, ktorá v Modeli 3 veľmi rýchlo rastie a to

sa odráža aj na raste HDP. Objem peňazí v tejto ekonomike je najväčší, o cene z predchádzajúceho odstavca vieme, že je nízka a práve to rozbieha ekonomiku tohto modelu. Mohli by sme ho prirovnať k veľmi rýchlo sa rozvíjajúcej sa krajine. Veľmi zaujímavé je tiež porovnanie vývoja jednotlivých firiem. Medzi modelmi 1 až 3 pozorujeme výrazný nárast ich diverzity a zatiaľ čo v modeli 1 už máme aj krachujúce, v modeli 3 je na trhu stále rovnaké množstvo výrobcov, ako pri sporení simulácie a sú rovnomerne rozložené na trhu. Toto len potvrdzuje označenie modelu ako rozvíjajúcej sa ekonomiky.



Obr. 10. Celkové porovnanie ekonomík

3.3 Okunov zákon

V tejto kapitole sa budeme venovať okunovmu zákonu a výpočtu jeho koeficientov pre náš model. Okunov zákon pomenovaný po ekonómovi Arturovi Okunovi zaoberajúcej sa závislosťami nezamestnanosti a HDP v americkej ekonomike. Tento ukazovateľ popisuje práve lineárnu závislosť nezamestnanosti a HDP. Štandardne je definovaný ako zmena miery nezamestnanosti je rovná polovici prírastku HDP zníženej o 3%. Zapisujeme:

$$\Delta u = \frac{1}{2} (\Delta HDP - 3\%)$$

Δu je percentuálny prírastok nezamestnanosti

ΔHDP je percentuálny prírastok HDP [5]

Pre realitu to však mnohokrát neplatí, preto sa koeficienty určujú na základe dát pochádzajúcich zo skutočnej ekonomiky. V takomto prípade treba určiť koeficienty α a β pre

okunov zákon, ktorý je nimi zapísaný ako štandardná lineárna závislosť medzi nezamestnanosťou a HDP [3].

$$\Delta u = \alpha + \beta \Delta HDP$$

3.3.1 Model a reálne dáta

Teraz koeficienty okunovho zákona a celú regresiu vyjadríme pre jednu vzorovú simuláciu ekonomiky generovanú našim modelom a porovnáme výstupné koeficienty s niektorými skutočnými ekonomikami. Pre reálne dáta koeficienty počítať nebudeme, ale náš výstup porovnáme s koeficientmi z Tabuľky 2 (horné číslo prezentuje koeficient β). Ten pochádza z [3]. Autori tejto práce používali reálne dáta na porovnanie pravdivosti predikcií HDP a nezamestnanosti pre krajiny G7. V práci sa snažili ukázať, že predikcie poskytnú rovnaké hodnoty koeficientov pre okunov zákon ako reálne údaje. Z tohto dôvodu museli spočítať aj koeficienty pre reálne údaje. Koeficienty boli určené pre 23-ročnú periódu zloženú z mesačných meraní.

Country	Data
United States	-0.50*** (0.07)
Japan	-0.11*** (0.03)
Germany	-0.08 (0.06)
France	-0.27** (0.08)
Italy	-0.16 (0.10)
United Kingdom	-0.35*** (0.07)
Canada	-0.43*** (0.05)

Tabuľka 2 Okunove koeficienty pre G7

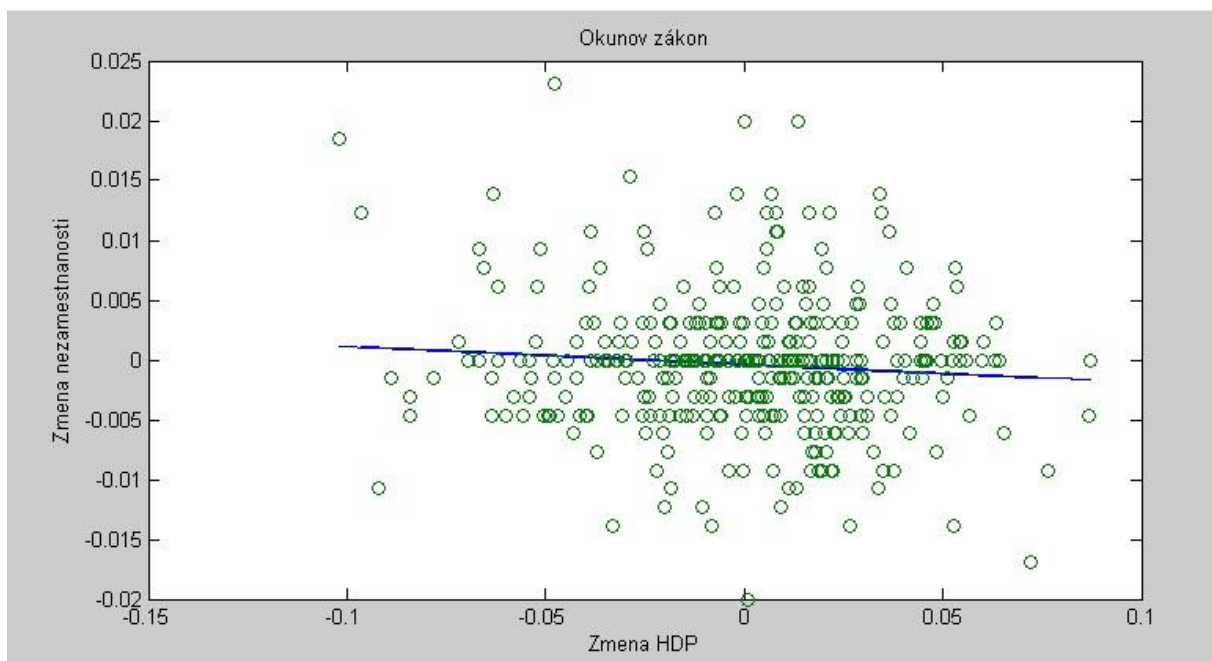
Pre samotné určenie koeficientov pre náš model si dáta mierne upravíme. Doteraz sme uvažovali nezamestnanosť v HDP v absolútnych hodnotách, teraz si tieto hodnoty prevedieme na percentuálne zmeny. Tiež zúžime množstvo použitých údajov o prvých 50 hodnôt, pretože tieto hodnoty sú ešte stále ovplyvnené počiatkovou voľbou vstupov a preto by mohli posunúť

reálne hodnoty koeficientov pre model. Pre takto zvolené údaje môžeme určiť potrebné koeficienty. Na simuláciu sme zvolili nasledovný model:

	pociatocne hodnoty
T	400
J	650
I	45
M	3
Z	5
A(c)	3500
D(c)	10
w	7
p(c)	9
a(period)	40
alfa	1
delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100

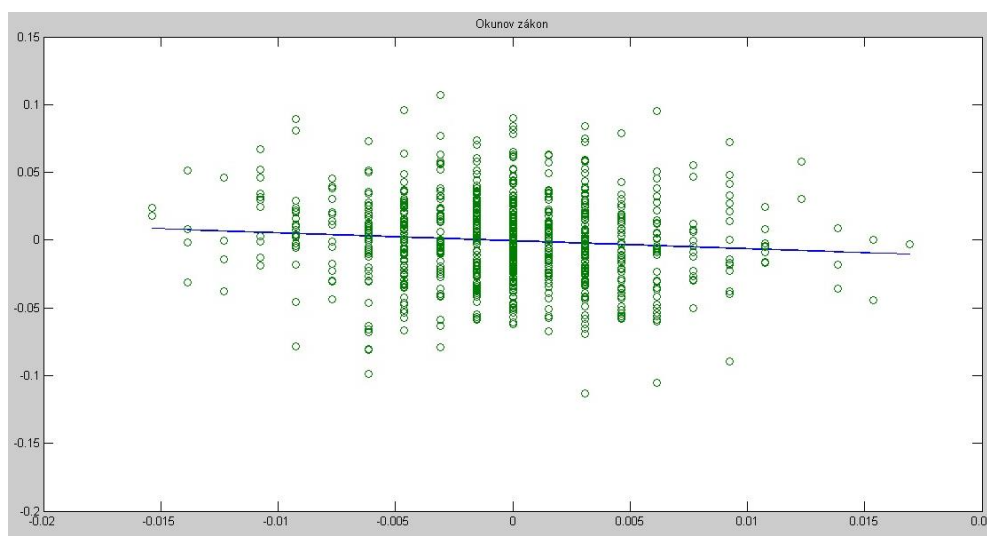
Obr. 11 Vstupy pre model s okunovým zákonom

Náš model vrátil pre koeficienty takéto hodnoty: $\alpha = -0,015$; $\beta = -0,0004$. Teraz sa pozrime na hodnoty z obrázku. Vidíme, že všetky hodnoty tak ako aj naša pre parameter β vychádzajú záporné. Najbližšie sa dostávame k Nemecku, ktoré má tento koeficient zo všetkých ekonomík najnižší. Koeficient nám nevyšiel síce rovnaký, no aj tak už len samotná záporná hodnota menšia ako 1 naznačuje, že systém má snahu správať sa ako reálna ekonomika.



3.3.2 Presnosť regresie

Pre vytvorený model, ktorý sme porovnávali s reálnymi výstupmi jeho celkovú presnosť. Bolo to preto, lebo túto informáciu považujeme za zavádzajúcu. Pri žiadnom z pokusov o výpočet koeficientov sa nám nepodarilo presiahnuť presnosť 15 %. To je možné pozorovať aj na mračne bodov generovanom dátami v predchádzajúcej kapitole. Z obr. 2 je vidieť aj voľným okom, že je veľmi široké a spôsobuje to nepresnosť modelu. Pri vyrátaní koeficientu determinácie vyšla hodnota $RSQ=0,0076$, čo zodpovedá presnosti len 0,76 %. Na prvý pohľad sa tak odhad javí ako nepresný, no tento predpoklad je mylný. Pri určení presnosti modelu pracujeme s reziduami datasetu, o ktorých sa predpokladá, že sú nezávislé, a že pochádzajú z normálneho rozdelenia. To však pre náš v tomto prípade nemôže platiť, pretože dataset pochádza z modelu s výraznými spätnými väzbami, a teda údaje musia vykazovať výraznú závislosť. [4]



Obr. 13 Rozšírenie mračna dát pri modeli s vyšším počtom iterácií

Ako príklad môžeme uviesť t model s rovnakými vstupnými parametrami ako v časti 3.3.1, avšak skonštruovaný pomocou 800 iterácií. Tento model má síce údaje usporiadané súmernejšie, no celé mračno dát je omnoho väčšie a teda aj model je menej presný. Koeficient determinácie vyšiel rovný 0.0005, čo je presnosť len 5 stotín percenta. Na obr.13 je zachytený model práve pre 800 iterácií.

ZÁVER

Cieľom práce bolo modelovať ekonomiku a jej makroekonomické ukazovatele odlišne, zdola nahor, prostredníctvom teórie ekonomického agenta. Táto metóda modelovania je relatívne nekonvenčná a svoju popularitu si ešte iba získava. Preto istým nepriamym cieľom bolo aj poukázať, že tento postoj k modelovaniu je nielen inovatívny, ale aj funkčný. Ciele sme sa snažili naplniť nielen v teoretickej rovine, ale aj praktickou ukážkou. Model sme vytvorili na vlastných úvahách o fungovaní ekonomiky na jej najmenších komponentoch a prenesení akcií týchto činiteľov do obrazu ekonomiky ako jedného veľkého celku.

Model, ktorý sme skonštruovali je len veľmi veľkým zjednodušením praxe. Nie je možné dokonale popisovať ekonomiku s tak výrazne obmedzenými typmi účastníkov. Absencia trhu peňazí a konkurenčného prostredia pre firmy produkujúce kapitál je prinajmenšom značná. No ako môžeme pozorovať napríklad na modeli 3 v časti 3.2, aj takto zúžený pohľad môže produkovať veľmi zaujímavé výstupy. Hospodárstvo v tomto modeli nielenže vyzerá reálne, ale dokážeme ho celkom presne prirovnať k tzv. emerging markets ekonomikám, teda veľmi rýchlo sa rozvíjajúcim krajinám. Taktiež porovnanie okunových koeficientov pre generované modely vypovedá o tom, že model, keď nie priamo kopíruje, tak aspoň veľmi dobre napodobňuje reálnu ekonomiku.

V neposlednom rade sme sa venovali aj citlivosti nášho modelu na jednotlivé vstupy. Tam sa nám správnosť modelovania pomocou ekonomických agentov tiež potvrdila. Mohli sme totiž pozorovať nielen priamu citlivosť na zmenu zvoleného parametra, ale predovšetkým výraznú citlivosť na tzv. nepriame alebo skryté podnety. Práve výrazný trend zachytávania týchto zmien môžeme pozorovať v súčasnosti v oblastiach risk managementu.

Prácu môžeme uzavrieť tak, že náš model má ešte stále výrazné nedostatky, na ktorých by sa dalo pracovať, no napriek tomu sa správa prinajmenšom racionálne. Ako návrh na vylepšenie by sme mohli uviesť napr. pridanie bankových inštitúcií alebo zvýšenie sofistikovanosti firiem investovaním napr. do R&D, tak ako to bolo v modeli BAM. Tieto úpravy by však vyžadovali aj výrazne lepšiu úroveň programovania v Matlab-e.

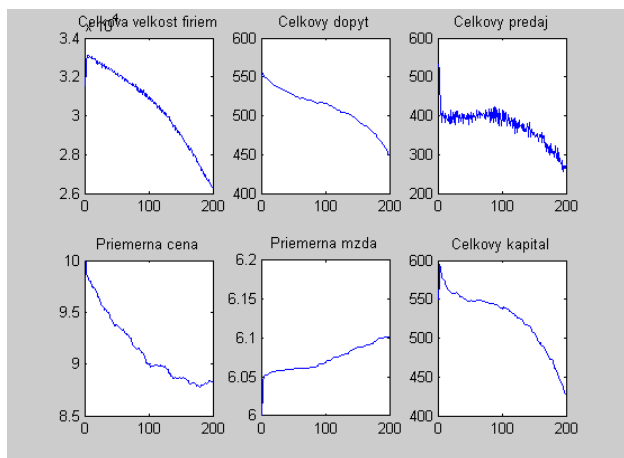
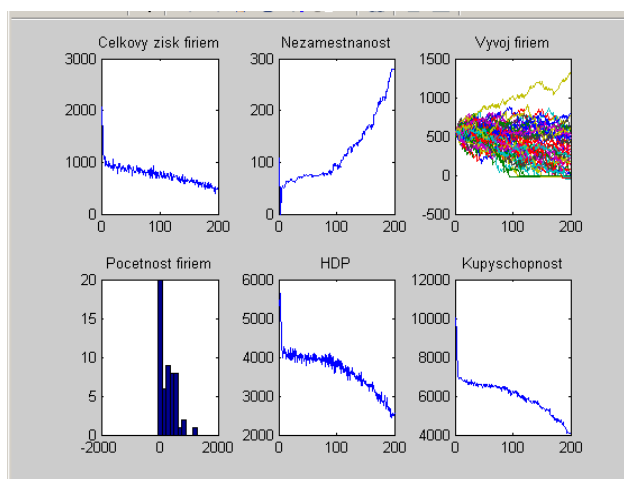
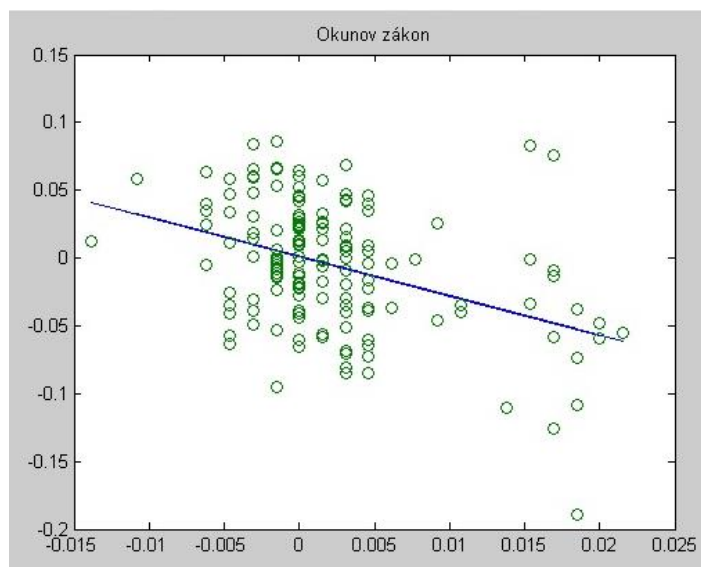
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] GATTI, Domenico Delli, et al. *Macroeconomics from the Bottom-up*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [2] Mlynarčíková, B., *Makroekonómia heterogénny subjektov*, diplomová práca, FMFI UK, Bratislava, 2013, dostupné na internete
- [3] BALL, Laurence; JALLES, João Tovar; LOUNGANI, Prakash. Do forecasters believe in Okun's Law? An assessment of unemployment and output forecasts. *International Journal of Forecasting*, 2015, 31.1: 176-184.
- [4] Boďa J.: *Osobné konzultácie*, FMFI UK, Bratislava 2014-2015
- [5] Vavreková, M., *Okunov zákon – Empirická analýza pre vybranú ekonomiku*, bakalárska práca, Prírodovedecká fakulta MU, Brno, 2012, dostupné na internete (29.4.2015)
- [6] WEISBERG, Sanford. *Applied linear regression*. John Wiley & Sons, 2005.
- [7] KING, Robert G.; REBELO, Sergio T. Resuscitating real business cycles. *Handbook of macroeconomics*, 1999, 1: 927-1007.

PRÍLOHY

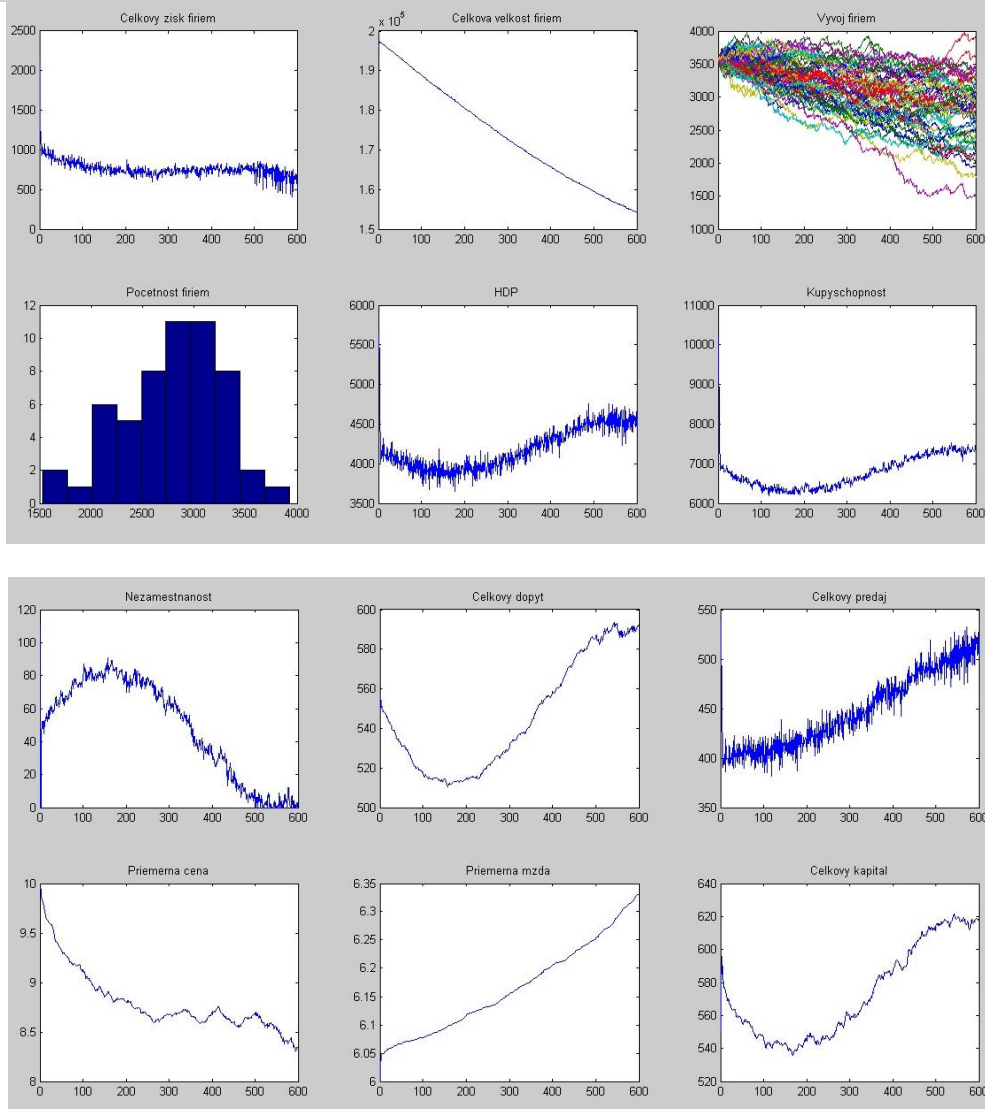
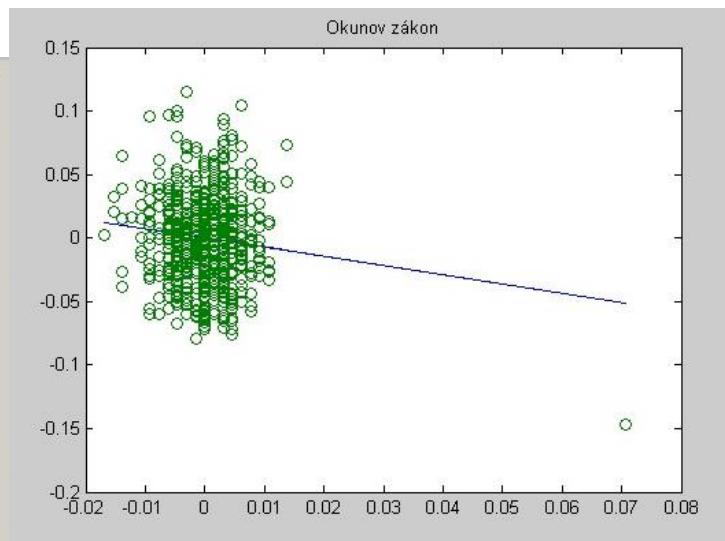
Ďalšie modely: *Model 1*

	pociatocne hodnoty
T	200
J	650
I	55
M	2
Z	2
A(c)	500
D(c)	10
w	6
p(c)	10
a(period)	40
alfa	1
delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100



Model 2

	pociatocne hodnoty
T	600
J	650
I	55
M	2
Z	2
A(c)	3500
D(c)	10
w	6
p(c)	10
a(period)	40
alfa	1
delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100



Model 3

	pociatocne hodnoty
T	400
J	650
I	55
M	2
Z	2
A(c)	3000
D(c)	10
w	6
p(c)	10
a(period)	40
alfa	1
delta(div)	0.3000
ro(D)	0.0200
ni(p)	0.0200
xi(w)	0.0100

