UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Finanční trhy a jejich modelování

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Rostislav Vodák, Ph.D.**

Vypracovala: **Bc. Olga Gelová**

Studijní program: N1103 Aplikovaná matematika

Studijní obor: Aplikace matematiky v ekonomii

Forma studia: prezenční

Rok odevzdání: 2019

BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

Autor: Bc. Olga Gelová

Název práce: Finanční trhy a jejich modelování

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky

Vedoucí práce: RNDr. Rostislav Vodák, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2019

Abstrakt: Má diplomová práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická, která je věnována několika způsobům, jak můžeme nahlížet na finanční trhy a jejich modelování. Seznámíme se se dvěma protichůdnými teoriemi, behaviorální ekonomií a teorií efektivních trhů. Dále se dozvíme více o inflaci i o stochastických procesech, které jsou při modelování finančních trhů, přesněji, při modelování tržní ceny akcie, využívány. Část druhá je zaměřena na praktickou část, ve které se budeme věnovat několika úpravám modelu z [14], s pomocí programu MATLAB. Cílem je vyzkoušet si některé úpravy, které by mohly realističtěji modelovat skutečné finanční trhy.

Klíčová slova: teorie efektivních trhů, behaviorální ekonomie, stochastický proces, inflace, tržní cena akcie, agenti (investoři)

Počet stran: 64

Počet příloh: 1

Jazyk: český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author: Bc. Olga Gelová

Title: Financial markets and their modeling

Type of thesis: Master's

Department: Department of Mathematical Analysis and Applications of Mathematics

Supervisor: RNDr. Rostislav Vodák, Ph.D.

The year of presentation: 2019

Abstract: My diploma thesis is divided into two parts. The first part is the theoretical part, which is devoted to several ways we can look at the financial markets and their modeling. We deal with two contradictory theories, behavioral economics and the theory of efficient markets. We also learn more about inflation and stochastic processes that are used in modeling the financial markets, more precisely, when modeling the market price of the stock. The second part is focused on the practical part, in which we deal with several modifications of the model [14] with the help of the MATLAB program. The aim is to test some adjustments that could realistically model real financial markets.

Key words: Efficient Market Hypothesis, Behavioral economics, stochastic processes, inflation, market price of the stock, agents (investors)

Number of pages: 64

Number of appendices: 1

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením pana RNDr. Rostislava Vodáka, Ph.D. s použitím uvedené literatury.

V Olomouci dne

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu RNDr. Rostislavu Vodákovi, Ph.D. za jeho trpělivost, čas a vstřícnost při psaní této práce. Také bych ráda poděkovala i mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

Obsah

Úvod

Tématem mé diplomové práce jsou *Finanční trhy a jejich modelování*. Investoři vystupující na finančních trzích touží po snadno nabytém bohatství. Pro investory je to velice silný motiv, který způsobuje neustálý přísun nového kapitálu na finanční trhy. Spekuluje se o tom, že 80% kapitálu na finančních trzích je využíváno k spekulativním účelům, a pouhých 20% kapitálu, podporuje reálnou ekonomiku. Položme si nyní otázku, kde se berou na finančním trhu stále nové peníze? Na finančních trzích jsou dva typy investorů, úspěšní a neúspěšní investoři. Odpověď na otázku by možná zněla tak, že úspěšní investoři znovu reinvestují své vydělané peníze a neúspěšní investoři vkládají peníze nové.

Finanční trhy lze dělit na akciový trh, dluhopisový, komoditní a devizový, a mnoho dalších dle různých kategorií. V mé práci budu pracovat s akciovým trhem, kde *akciový trh* je trh s akciovými cennými papíry, což jsou cenné papíry s nekonečnou dlouhou splatností.

Hlavním cílem mé diplomové práce bude otestovat úpravy modelu z [14] tak, že ve výpočtech cen akcií budou zahrnovat pouze aktuální náladu investorů místo změny nálady investorů. Tyto úpravy by mohly realističtěji popisovat chování finančních trhů. Budu se dívat na vývoj cen akcií, na náladu investorů a jejich aktivitu na trhu. V první verzi modelu bude cílem modelovat každoroční příchod pozitivně naladěných investorů na trh akcií. V druhé verzi modelu budu modelovat každoroční příchod pozitivně naladěných investorů a zároveň odchod negativně naladěných investorů z trhu akcií. Cílem třetí verze bude modelování procentuálního nárůstu pozitivně naladěných investorů, což by mělo simulovat inflaci. Takto upravené modely porovnám s původním modelem z [14].

Má diplomová práce je rozdělena do šesti kapitol. V prvních pěti kapitolách se budu věnovat teoretickým poznatkům. První dvě kapitoly jsou zaměřeny na dvě protichůdné teorie finančních trhů, na *Teorii efektivních trhů*, která je úzce spojena s neoklasickou ekonomií a tvrdí, že investoři na trhu se chovají racionálně a na *Behaviorální ekonomii*, která tvrdí, že se lidé rozhodují na základě emocí a jejímž hlavním předpokladem je tzv. omezená racionalita. Pojem omezená racionalita zavedl americký vědec Herbert A. Simon, který tím chtěl vysvětlit iracionální rozhodování. Pro porovnání těchto dvou finančních teorií jsem vymezila celou třetí kapitolu. Čtvrtá kapitola je věnována *Inflaci*, kde vám ukážu různá pojetí definic, jak ji lze měřit, a s jakými druhy inflací se lze setkat v praxi. V páté kapitole vás seznámím se *Stochastickým procesem*, který budu využívat k modelování tržní ceny akcie, a s důležitými definicemi, které jsou s ním velice úzce spojeny. Šestá kapitola bude věnována praktické části, ve které se zaměřím především na úpravu původního modelu z [14], jehož cílem bylo věrohodněji zachytit vývoj ceny akcie.

1 Teorie efektivních trhů

V této kapitole se seznámíme s *Teorií efektivních trhů*, která se zabývá chováním kurzů cenných papírů, především akcií. Pod pojmem *efektivní trh* si můžeme představit trh, na kterém ceny plně odrážejí všechny dostupné informace. *Tržní cena akcie* je podle této teorie objektivní hodnota, která je ovlivněna nově dostupnými informacemi, lze tedy říci, že je zcela nepředvídatelná. Chování akciových trhů je tak zcela náhodné. *Akcie*, jinými slovy dlouhodobý cenný papír obchodovatelný na trhu, jsou správně oceněny v každém časovém období, tudíž mezi tržní a vnitřní hodnotou nenajdeme žádný rozdíl.

V následujících podkapitolách se zaměříme na historii této teorie, seznámíme se se základními souvisejícími pojmy, vymezíme formy efektivnosti, charakteristiky a základní předpoklady. Přitom využíváme těchto zdrojů [1], [2].

1.1 Historie

Do našeho podvědomí se název Teorie efektivních trhů dostal zřejmě až díky práci Eugena Famy[1] koncem 60. let minulého století, který jako jeden z prvních použil ve své práci slovní spojení „efektivní trhy“, „tržní efektivita“. V roce 1970 definoval efektivní trh jako *„trh, na kterém ceny vždy plně reflektují dostupné informace“.*

Je zřejmé, že tato výše zmiňovaná definice, nemůže na žádném reálném trhu platit a to z toho důvodu, že se získáváním informací a jejich zpracováním vždy souvisí určité náklady. Další definice, s kterou se můžeme setkat, je od A. Jensena[2], který tvrdí: *“Trh je efektivní ve vztahu k množině informací, jestliže je nemožné dosáhnout ekonomického zisku obchodováním na základě této množiny informací.”* Eugena Fama také vymezil tři formy efektivity, o kterých se dozvíme více v následující podkapitole s názvem *Formy efektivnosti*.

[1] Eugene Francis Fama (1939) je americký ekonom, který se proslavil prací oceňování aktiv a Teorií efektivních trhů. V roce 2013 sdílel Nobelovu cenu za ekonomickou vědu společně s Robertem Shiller a Larsem Peterem Hansenem.
[2] Arthur Jensen (1923 – 2012) byl americký psycholog a profesor pedagogické psychologie na Kalifornské univerzitě v Berkeley. Jensen byl známý svou prací o diferenciální psychologii.

1.2 Charakteristiky efektivních trhů

V této podkapitole se podíváme na charakteristické rysy již zmíněné teorie. Budeme čerpat z těchto zdrojů [3], [12], [16], [17], [19].

Teorie efektivních trhů se zaměřuje na sledování tržních cen akcií, které jsou v každém okamžiku správně oceněny. Správné ocenění vychází se správného vyhodnocení veškerých veřejných informací. Tržní ceny se s každým uveřejněním nové informace mění zcela neočekávaně. Tyto náhodně uveřejněné nové informace způsobují nefunkčnost technické analýzy, a to z toho důvodu, že se cena mění flexibilně, tudíž jsou historická data pro aktuální cenu irelevantní.

Teorie efektivních trhů tvrdí, že schopnější investoři, mající více znalostí a zkušeností s obchodováním na trhu, nebudou schopni dosáhnout lepších výsledků (dlouhodobějších), než ti méně schopní investoři. Tím je myšleno, že znalosti investorů jsou zahrnuty v ceně aktiva. Jinými slovy, žádný investor na efektivním trhu není schopen dlouhodobě a opakovaně dosahovat nadprůměrného výnosu.

Základní poznatky Teorie afektivních trhů:

- **Racionální[3] investoři**, kteří racionálně oceňují cenné papíry.
- **Iracionální[4] investoři,** jejichž transakce jsou čistě náhodné.

Základní filozofické myšlenky Teorie efektivních trhů:

- Není možné dosahovat dlouhodobých lepších výsledků, než jakých dosahuje trh, vzhledem ke správnému ocenění aktiv. Pokud je lepších výsledků dosaženo, tak pouze čistou náhodou.
- Změna míry volatility, která se neustále mění, je považována za riziko, nikoliv pravděpodobnost ztráty vloženého peněžního kapitálu.
- Nákup široké části trhu je považován za nejlepší investiční strategii.

[3] Pod racionálním chováním si lze představit rozhodování na základě rozvahy, případně rozumných cílů a účelů a důvodů.
[4] Iracionální chování je tzv. vymykající se rozumu.

1.3 Formy efektivnosti

V této podkapitole si uvedeme rozdělení informací, získané na trhu, do tří skupin a zaměříme se na formy efektivnosti, které lze rozdělit do tří forem: slabá, středně-silná a silná forma. Přitom budeme využívat těchto zdrojů [17], [19], [20].

Veškeré informace, které lze získat na trhu (o společnosti, ekonomikách, odvětvích atd.) je možné rozdělit do tří skupin:

- Aktuální veřejné informace = jsou to veškeré informace dostupné široké veřejnosti
- Neveřejné informace
- Historická data = dávají informace o minulém vývoji kurzů cenných papírů

Slabá forma

Tato forma efektivnosti zahrnuje veškerá historická data, která jsou zahrnuta do cen akcií. Vývoj cen akcií v budoucnu je tudíž nemožné odhadnout.

Středně-silná forma

Tato forma zahrnuje nejen historická data, ale i současné (aktuální) veřejné informace o sledovaných společnostech a ekonomikách, např. účetních zprávách firem, informace o kurzových řadách, stavu ekonomiky, politických a přírodních událostech atd. Proto není možné setkat se na trhu se špatně oceněnými akciemi.

Silná forma

Tato forma vyjadřuje situaci, kdy akciové kurzy zahrnují veškeré informace, které lze získat na trhu, tzn. veřejného, historického i neveřejného charakteru.

1.4 Důležité předpoklady

Zde popíšeme základní předpoklady pro fungování na efektivním trhu s využitím následujících zdrojů [16], [17].

- **Ziskový motiv investorů** je důležitý pro zefektivnění trhu, neboť umí velice rychle identifikovat a eliminovat případné odchylky akciových kurzů od jejich vnitřní hodnoty.

- Co nejbližší posun k **tvrdě konkurenčnímu trhu s velkým počtem nezávislých investorů**, kteří mají rovnoprávný přístup k obchodním systémům, informacím a technologiím.

- Velmi důležitý je **volný, nepřetržitý tok** včasných, všem dostupných, adekvátních, korektních **informací** o firmách, domácí ekonomice, odvětví, ale i zahraničních trzích a ekonomikách.

- **Kvalitní infrastruktura na trhu,** která je nezbytná pro fungování efektivního trhu, nejčastěji transparentní a pružný obchodní systém, systém regulace a kontroly.

- Trh musí být **likvidní,** neboť pouze na likvidním trhu lze zabezpečit **prudké, adekvátní a hladké** promítání nových informací do kurzů cenných papírů.

- **Kvalitní právní legislativa** je víceméně samozřejmostí, a to z toho důvodu, že vybudovává právního prostředí. Také přesně vymezuje práva a povinnosti institucí a objektů na trhu.

2 Behaviorální ekonomie

V této kapitole se podíváme na definici behaviorální ekonomie, jak vznikala, jak se vyvíjela v průběhu let a jací jsou její zakladatelé. Seznámíme se s důležitými předpoklady, na kterých staví. Přitom budeme využívat těchto zdrojů [4], [21], [22], [23], [24].

2.1 Definice

Přesná definice, která by vymezovala přesný pojem behaviorální ekonomie, neexistuje. Významní ekonomové, zabývající se behaviorální ekonomií za hlavní definující znak považují koncept *omezené racionality*.[5] **Behaviorální ekonomie** je směr, který se snaží doplnit ekonomii o psychologický realismus. Pokud se bavíme o finančním trhu, behaviorální ekonomie se zabývá chováním účastníků na trhu. Říká, jak už jsme zmiňovali v předchozí větě, účastníci trhu se nechovají racionálně. Zkoumá způsob lidského rozhodování a vliv na jednání člověka v případě, že bude platit předpoklad omezené racionality.

Tento směr lze definovat také jako aplikaci poznatků psychologie do ekonomie. Z toho plyne, že nepoužívá pouze experimenty pro analýzu trhu, ale může využívat i počítačových simulací či fyziologických údajů testovaných subjektů. Tuto ekonomii lze chápat, dle této definice, jako tzv. experimentální ekonomii. Ta je často kritizována, protože se zaměřuje pro svůj výzkum pouze na jednu cílovou skupinu, a to na studenty vysokých škol.

2.2 Vznik, vývoj a její zakladatelé

I přesto, že se mnozí významní ekonomové zabývali psychologickými aspekty lidského rozhodování, např. Smith[6], Pareto[7] a jiní, za zakladatele behaviorální ekonomie

[5] Pro vysvětlení pojmu omezená racionalita. Neumožňuje jedinci se ve většině případů optimálně rozhodnout.
[6] Adam Smith (1723 – 1790) byl skotský ekonom a filosof a také zakladatelem moderní ekonomie. Zabýval se paradoxem hodnoty. Mezi jeho známá díla patří *Teorie mravních citů* nebo *Bohatství národů*.

koncem 60. let se pokládají Amos Tversky a Daniel Kahneman. V roce 1948 se Tversky ve své práci zabýval otázkami behaviorální teorie rozhodování. O pár let později zkoumal, spolu s D. Kahnemanem, jevy, které jsou obvykle přítomny při rozhodování ekonomických agentů. Pod těmito jevy si lze představit dostupnost, nadměrná sebedůvěra či ukotvení. Zjistili, že se lidé při rozhodování řídí pravidly matematické logiky, přitom využívají intuitivní postupy a různé mentální zkratky. Veškeré poznatky a výsledky publikovali v roce 1974 v článku *Judgement under uncertainty: Heuristics and Biases* v prestižním časopise Science.[8]

Amos Tversky a Daniel Kahneman publikovali řadu dokumentů, které zjevně podkopaly myšlenky o lidské povaze, které drží hlavní ekonomie. Jsou možná nejlépe známé pro vývoj teorie vyhlídek (Kahneman & Tversky, 1979), což ukazuje, že rozhodnutí nejsou vždy optimální. Naše ochota riskovat je ovlivněna způsobem, jakým jsou vybírány možnosti, to znamená, že je závislý na kontextu. Podívejme se na následující klasický problém s rozhodováním:

Které z následujících možností byste preferovali?

1.

A) Vítězství ve výši 250 dolarů, vs.

B) 25% šanci vyhrát 1000 dolarů a 75% šanci nevyhrát nic?

2.

C) Ztráta 750 dolarů, oproti

D) 75% šanci ztratit 1000 dolarů a 25% šanci neztratit nic?

Tversky a Kahnemanovy práce ukazují, že odpovědi jsou různé, pokud jsou volby zarámovány jako zisk (1) nebo ztráta (2). V případě prvního typu rozhodnutí se větší část lidí rozhodne pro jistější alternativu A), zatímco u druhého problému je pravděpodobné, že si lidé vyberou nejistější variantu D). Stává se to proto, že se nám jisté ztráty nelíbí natolik, jako jistý ekvivalentní zisk.

---

[7] Vilfredo Federico Damaso Pareto (1848 – 1923) byl italský ekonom, politolog a sociolog. Nejznámnější je *Paretovo pravidlo* neboli *pravidlo 80/20* (například 80 % zisku pochází jen z 20 % produktů) a Paretův diagram (kombinace sloupcového a čárového grafu).

[8] TVERSKY, A. a D. KAHNEMAN. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*. 1974-09-27, iss. 4157 [cit. 2018-09-15]. DOI: 10.1126/science.185.4157.1124. Dostupné z: http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.185.4157.1124.

Dlouho před Tverskym a Kahnemanovým dílem se myslitelé z 18. a 19. století již zajímali o psychologické základy ekonomického života. Důležitost psychologicky informované ekonomiky se později promítla do konceptu "omezené racionality". Podle tohoto názoru rozhodnutí nejsou vždy optimální, jak už víme z předchozí kapitoly. Existují omezení pro zpracování lidských informací kvůli omezením znalostí (nebo informací) a výpočetních kapacit (Simon, 1982, Kahneman, 2003). Lidé jsou "ekologicky racionální", když co nejlépe využívají omezené možnosti zpracování informací, uplatňují jednoduché a inteligentní algoritmy, které mohou vést k téměř optimálním závěrům (Gigerenzer & Goldstein, 1996). Zatímco myšlenka lidských hranic racionality nebyla radikálně novým myšlením v ekonomice, výzkumný program Tverskyho a Kahnemanovy "heuristiky a předsudků" dělal důležité metodologické příspěvky, protože obhajoval přísný experimentální přístup k pochopení ekonomických rozhodnutí založených na měření skutečných rozhodnutí za různých podmínek. O třicet let později se jejich myšlení dostalo do hlavního proudu, což vedlo k rostoucímu zhodnocení ve vědecké, veřejné a komerční sféře.

2.3 Základní předpoklady a koncepty

V této podkapitole budeme využívat následující zdroje [5], [6], [25].

Behaviorální ekonomie staví na těchto předpokladech a konceptech:

- Nedostatečné zpracování informací
- Neegoistické chování [9]
- Blahobyt, etika, emoce
- Nestabilní sociální preference
- Rozhodování za rizika a nejistoty
- Omezená racionalita
- Neracionální očekávání

[9] Postoj a jednání, které se zaměřuje na nesobeckost, dobročinnost a nezištnost druhého člověka.

3 Srovnání finančních teorií

V této kapitole se podíváme na srovnání dvou finančních teorií, o kterých jsme se dozvěděli v předchozích dvou kapitolách. Jedná se o *Teorii efektivních trhů* a *Behaviorální finanční teorii*. Využili jsme tyto zdroje [16], [3].

Jedním z hlavních rozdílů těchto teorií je v chování investorů (agentů) na trhu. Teorie efektivních trhů má **racionálně** chovající se investory. Investoři se tedy rozhodují na základě nějaké rozvahy, případně rozumných cílů, účelů a důvodů. Naopak Behaviorální teorie má **iracionálně** chovající se investory. Iracionální chování je takové, které se vymyká rozumu a neumožňuje jedinci se ve většině případů optimálně rozhodnout.

Dalším rozdílem, pokud se bavíme o ocenění cenných papírů, je takový, že zastánci Teorie efektivních trhů jsou naprosto přesvědčeni o správnosti cen, a tudíž vůbec nepředpokládají, že by došlo k ocenění chybnému. Naopak zastánci Behaviorální teorie, díky iracionálnímu chování agentů na trhu, jsou přesvědčeni o nalezení nějakých špatně oceněných cenných papírů. Čím vyšší je iracionalita na trhu, tím je stále vyšší pravděpodobnost nalezení špatně oceněných cenných papírů.

Aby v praxi správně fungovala Teorie efektivních trhů, je zapotřebí, aby byly společně splněny všechny níže uvedené podmínky. Teorie tvrdí, že důležitými aspekty k dosažení vysoké efektivity trhů jsou:

- Nízké transakční náklady
- Vysoká likvidita trhu
- Pravdivé a rychle dostupné informace
- Kvalitní právní regulace

Zastánci Behaviorální teorie ale tvrdí, že není možné společně všechny tyto podmínky uskutečnit, a to vzhledem k lidskému chování.

4 Inflace

V této kapitole se seznámíme s pojmem inflace, kterou budeme chtít zahrnout do modelu v praktické části práce. Zjistíme, s jakými druhy inflace se můžeme setkat v praxi, jak ji můžeme měřit a jaké má dopady na ekonomiku. Využíváme přitom vlastní zdroj [7], a jiné zdroje.[10]

4.1 Definice a měření inflace

Je faktem, že pojem inflace je ve většině případů chápán lidmi jako zdražování, znehodnocování úspor nebo naší měny apod. Ve skutečnosti pojem inflace může být definován několika způsoby. **Inflaci** lze definovat jako *nárůst cenové hladiny*, kde pod pojmem **cenová hladina** si lze představit *průměrnou úroveň cen statků v běžném období ve srovnání s cenami základního období*. Změna této cenové hladiny se pak projevuje zmíněným zdražováním, jinými slovy, rostou ceny spotřebních výrobků a služeb nebo zlevňováním (ceny klesají).

Jinou definici uvádí nositel Nobelovy ceny za ekonomii, Milton Friedman, který říká: *Inflace je peněžním fenoménem, který vzniká v důsledku toho, že množství peněz na trhu roste rychleji než produkce*. Inflaci lze chápat i jako *proces, kdy měna ztrácí svou hodnotu na trhu a dochází ke snížení její kupní síly*.

Úhrnná změna cenové hladiny, která je vyjádřená v procentech a charakterizuje intenzitu jejího zvýšení nebo snížení se nazývá **míra inflace**. Tu lze měřit pomocí indexu spotřebitelských cen (za sledované období k základnímu období) CPI dle vzorce

$$MI_t = \frac{CPI_t - CPI_{t-1}}{CPI_{t-1}} * 100, \tag{4.1}$$

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{1_i} * q_{0_i}}{\sum_{i=1}^{n} p_{0_i} * q_{0_i}} * 100, \tag{4.2}$$

[10] JUREČKA, V.: *Úvod do ekonomie*, učební text pro studenty neekonomických oborů, 3. vydání, Ostrava 2011, Paul A. Samuelson a William D. Nordhaus, *Ekonomie*, 18. vydání, Nakladatelství Svoboda, Praha 2007, PAVELKA, T. *Makroekonomie*. 3. vyd. Praha: Melandrium, 2007. 127 s. ISBN 80-86175-58-4.

kde

MI_t … roční míra inflace ve sledovaném období

CPI_t … index spotřebitelských cen ve sledovaném období

CPI_{t-1} … index spotřebitelských cen v předchozím období

CPI … index spotřebitelských cen za sledované období k základnímu období [11]

p_{1_i} … cena *i*-tého zboží (služby) sledovaného (běžného) roku

p_{0_i} … cena *i*-tého zboží (služby) základního roku

q_{0_i} … množství *i*-tého zboží (služby) na výdajích základního období

Jak už jsme se dozvěděli, inflace má mnoho definic. S jejím pojmem souvisí i mnoho dalších pojmů, např. deflace, desinflace, akcelerovaná inflace, míra inflace atd. Pokud *dochází k poklesu cenové hladiny*, mluvíme o **deflaci**. *Roste-li míra inflace*, jde o **akcelerovanou inflaci** a opakem je **desinflace**, tedy *snižování míry inflace.*

Je nutno zmínit, že inflace má negativní, ale i pozitivní dopady na ekonomiku. Pojďme se podívat, co vše může inflace ovlivňovat:

Negativní dopady

- Mzdy a platy jsou negativně ovlivňovány inflací. Důvodem je snížení kupní síly.
- Ve firemním rozhodování vytváří nejistotu cenový vývoj. Nejistota vede k orientaci investorů na krátkodobé finanční investice.
- Postihuje příjemce stálých nominálních příjmů (důchodci) – valorizace fixně stanovených důchodů.
- Omezuje vývoz zboží (dražší vlastní zboží pro danou zemi, než dovážené zboží).
- Vliv na vztah mezi věřitelem a dlužníkem. Dlužník získává a věřitel ztrácí, jelikož míra inflace je vyšší než nominální úroková míra.
- Postihuje sociálně slabší skupiny obyvatelstva.
- Znehodnocování úspor (snížení kupní síly peněz).
- Pokles reálného důchodu (pokud nižší nárůst mezd než inflace).

[11] CPI = Index spotřebitelských cen (Consumer Price Index). Je to cenový index s váhami základního období, který měří čistý cenový pohyb. Jsou využívány k valorizaci mezd a pro účely výpočtu důchodů a sociálních příjmů.

Pozitivní dopady

- Výhodné pro dlužníky (vyšší platy, stejná úroková sazba).
- Inflace podporuje účinnost měnové politiky (nízké úrokové sazby).
- Tobinův efekt = mírná míra inflace vede ke zvýšení investic do ekonomiky a zároveň vede k většímu hospodářskému růstu.
- Vliv na pracovní trh (určitá míra inflace vede k dosažení rovnováhy na trhu).

4.2 Druhy inflace

Nyní uvedeme druhy inflace, s kterými se lze setkat, pouze ve zkratce. Pokud byste se chtěli dozvědět více, odkazuji na svou bakalářskou práci pod názvem Inflace, kde se dozvíte o inflaci podrobněji.

Poptávková inflace známá jako inflace tažená poptávkou, tj. ceny jsou takzvaně taženy nahoru vysokou poptávkou.

Nákladová inflace známá jako inflace tlačená náklady. Je způsobena růstem nákladů na práci, kapitál a přírodní zdroje. Pokud se ceny spotřebních statků zvýší, dojde ke zvýšení mezd, které zvyšují výrobní náklady. Ve výsledku dochází k růstu cenové hladiny.

Plíživá inflace známá jako pomalý růst cenové hladiny. Tato inflace je řádově jednociferná.

Pádivá inflace je vyjádřena dvojcifernými až trojcifernými čísly. Pokud se zcela rozvine, může dojít k vážným ekonomickým problémům. Peníze zde ztrácí velmi rychle svou hodnotu.

Hyperinflace představuje prudký růst cenové hladiny a tím dochází k znehodnocování peněz. Její míra inflace je extrémně vysoká. Ceny rostou o tisíce, miliony či dokonce o biliony procent ročně.

Anticipovaná (očekávaná) inflace probíhá podle očekávání ekonomických subjektů.

Neanticipovaná (neočekávaná) inflace probíhá nepředvídatelně. Komplikuje situaci ekonomických subjektů, např. firmám klesají výnosy z investic.

5 Stochastický proces

K popisu náhodných jevů měnících se v čase, budeme využívat náhodné neboli stochastické procesy. S jejich aplikací se můžeme setkat například v biologii, fyzice, ekonomii, psychologii apod. Nejvyužívanějším procesem je tzv. Brownův pohyb, který budeme využívat pro modelování tržní ceny akcie v podkapitole 5.2. Pro zpracování této kapitoly používáme tyto zdroje [8], [9], [10], [11], [12], [26].

5.1 Definice

Pod pojmem stochastický proces si lze představit každou veličinu, jejíž hodnoty se v čase náhodně mění. Pojďme si nyní nadefinovat pojmy, které jsou s ním spojeny. Je to náhodná veličina, náhodný proces, náhodná procházka a Brownův pohyb.

Náhodnou veličinu v daném pravděpodobnostním prostoru jde zavést jako reálnou funkci na množině všech možných výsledků náhodného pokusu, tj. na Ω. Pod pravděpodobnostním prostorem si lze představit uspořádanou trojici (Ω, A, P), ale můžeme se setkat i s názvem Kolmogorovovo pravděpodobnostní pole.

Definice 5.1.1 *Nechť je dán pravděpodobnostní prostor* (Ω, A, P). *Reálnou funkci* **X**: $\Omega \rightarrow \mathbb{R}$ *nazveme **náhodnou veličinou**, jestliže pro každé* $x \in \mathbb{R}$ *platí* $\{\omega \in : X(\omega) \leq x\} \in$ **A.** *Množinu* $M \subset \mathbb{R}$ *všech hodnot náhodné veličiny* **X** *nazýváme obor hodnot náhodné veličiny* **X**.

Definice 5.1.2 *Nechť je dán pravděpodobnostní prostor* (Ω, A, P) *a množina* $\mathbf{T} \subset \mathbb{R}$. ***Náhodným procesem*** *nazýváme množinu* $\{X_t, t \in \mathbf{T}\}$ *, kde* X_t *jsou náhodné veličiny* z (Ω, A, P). *Prvky z množiny* **T** *se obvykle interpretují jako čas.*

V případě, že platí $\mathbf{T} = \mathbb{Z}$ *nebo* , $\mathbf{T} = \mathbb{N} + \{0\}$, *hovoříme o náhodném procesu s diskrétním časem, popř. o časové řadě. V případě, že je* **T** *intervalem reálných čísel, hovoříme o procesu se spojitým časem.*

Pod názvem **Náhodná procházka** si lze představit provádění náhodných kroků. Ta je potřebná pro definování Brownova pohybu. Příkladem může být právě vývoj cen akcií v čase nebo třeba pohyb molekul v kapalině. Tento termín používáme v matematice, ve fyzice nebo ji lze aplikovat v ekonomii. Někdy je také nazývána jako chůze opilce. Pojďme si vysvětlit co si pod náhodnou procházkou, respektive chůzí opilce, představit v praxi.

Příklad: Opilec jde z hospody domů. Každý jeho krok je buď směrem šikmo dopředu a doprava s pravděpodobností p nebo dopředu a doleva s pravděpodobností *1 - p*. Jeho chůze začíná uprostřed silnice, která je široká tak, že do strany udělá pouze jeden krok a dalším krokem by se ocitl v příkopu. Z příkopu by už nevstal a procházka by tím končila. Otázky by vyvstávaly: Jaká je pravděpodobnost, že spadne do pravého (levého) příkopu? Je vůbec jisté, zda skončí v příkopu? Kolik kroků by stihl udělat, než by skončil v příkopu?

Speciálním případem stochastického procesu je tzn. Brownův pohyb.

Definice 5.1.3 *Stochastický proces* **W** = $\{W_t;\ t \geq 0\}$ *nazveme* ***Brownovým pohybem****, jestliže platí:*

1. $W_0 = 0$,
2. *rozdíl* $W_{t+\Delta t} - W_t$ *je náhodná veličina s normálním rozdělením N* (0, Δt),
3. *pro každou posloupnost* $0 < t_1 < t_2 < \ldots < t_n$ *jsou přírůstky Brownova pohybu* $W_{t_{i+1}} - W_{t_i}$, *kde i* = 0, 1, …, n – 1, *vzájemně nezávislé náhodné veličiny.*

Stochastický proces lze vytvořit jako funkci Brownova pohybu. Zápis je pomocí stochastické diferenciální rovnice

$$dX_t = \mu dt + \sigma dW_t, \tag{5.1.1}$$

kde μ představuje *trend* procesu X_t a σ představuje *volatilitu*. Oba tyto parametry jsou konstantní. Trend udává směr vývoje hodnot (růst, pokles, a jiné) a volatilita představuje oscilování hodnot kolem trendu.

5.2 Modelování tržní ceny akcie

V této podkapitole si ukážeme jeden ze způsobů, jak lze modelovat vývoj tržní ceny akcie s využitím Brownova pohybu.

Pokud budeme chtít obchodovat s akciemi na trhu, musíme počítat s cenou, která je aktuální na finančním trhu. Pro modelování ceny akcie je nejvhodnější využít Brownův pohyb, s kterým jsme se již seznámili v předchozí podkapitole s názvem *Definice*. Na začátku je zapotřebí si zopakovat pro připomenutí několik základních pojmů. **Akcie** je dlouhodobý cenný papír obchodovatelný na trhu, jehož majitelem je akcionář, který vložil do společnosti určitý podíl majetkového kapitálu. Ceny akcií, podle Teorie efektivních trhů, lze popsat jako tzv. „náhodné procházky“[12] časem. To nám říká, že změny cen jsou nepředvídatelné, jelikož se změny vyskytují v reakci na ryze novou informaci, a právě tím, že je nová, tak není předvídatelná. **Cena akcie** je tržní hodnota, za kterou je obchodována na trhu.

Vývoj tržní ceny akcie S_t v čase t (t > 0) lze popsat pomocí stochastického procesu

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t, \qquad (5.2.1)$$

kde μ a σ jsou konstanty. Konstanta μ představuje spojitou míru výnosnosti (tzv. trend), která plyne ze změn tržní ceny akcie a konstanta σ riziko kolísání tržní ceny akcie (tzv. volatilita, oscilace). Dále dW_t představuje malou změnu v Brownově pohybu v dalším časovém období.

Rovnici (5.2.1) lze dále upravit do následujícího tvaru (pro vyjádření trendu a volatility):

$$\frac{dS_t}{S_t} = d(ln\, S_t) = \mu dt + \sigma dW_t, \qquad (5.2.2)$$

Nechť označíme $d(lnS_t) = d(Y_t)$. Dále používáme tato označení $f(S_t) = lnS_t = Y_t$, $f'(S_t) = [lnS_t]' = \frac{1}{S_t}$, $f''(S_t) = \left(\frac{1}{S_t}\right)' = -\frac{1}{S_{t^2}}$. Pomocí Taylorova rozvoje máme:

$$dY_t = \frac{1}{1!} f'(S_t) dS_t + \frac{1}{2!} f''(S_t)(dS_t)^2 =$$

[12] Pod názvem Náhodná procházka si lze představit provádění náhodných kroků. Příkladem může být právě vývoj cen akcií v čase nebo třeba pohyb molekul v kapalině. Tento termín používáme v matematice, ve fyzice nebo ji lze aplikovat v ekonomii.

$$= \frac{1}{S_t}(S_t \mu dt + S_t \sigma dW_t) + \frac{1}{2}\left(-\frac{1}{{S_t}^2}\right)(S_t \mu dt + S_t \sigma dW_t)^2 =$$

$$= \mu dt + \sigma dW_t - \frac{1}{2}\frac{1}{{S_t}^2}\left[{S_t}^2 \mu^2 (dt)^2 + 2{S_t}^2 \mu dt\, \sigma dW_t + {S_t}^2 \sigma^2 (dW_t)^2\right] =$$

$$= \mu dt + \sigma dW_t - \frac{1}{2}\sigma^2 dt =$$

$$= \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right) dt + \sigma dW_t,,$$

kde tento výraz $\mu^2 (dt)^2 + 2{S_t}^2 \mu dt\, \sigma dW_t$, díky nabývajícím malým hodnotám, při výpočtu zanedbáme.

$$\underbrace{\left(\mu - \tfrac{1}{2}\sigma^2\right) dt}_{\text{trend}} \quad + \quad \underbrace{\sigma\, dW_t}_{\text{volatilita}}$$

Tento proces převádí rovnici (5.2.1) na rovnici (5.1.1).

6 Model

Tato kapitola obsahuje praktickou část, kde se seznámíme s Δσ – modelem z [14], který ve výpočtu ceny akcií využívá změnu nálady investorů, a náš nově namodelovaný σ - model, který ve výpočtu ceny akcií využívá aktuální náladu investorů. Následně tyto modely porovnáme. V následujících podkapitolách si pak představíme jejich úpravy s cílem modelovat příchod optimistických investorů a odchod pesimistických investorů s tím, že příchod optimistických investorů by mohl do modelu zahrnout i inflaci. Při modelování využíváme programu MATLAB. Pro popis Δσ - modelu využíváme tyto zdroje [13], [14], [15], [18].

6.1 Δσ - model

Model pracuje s diskrétním časem o krocích délky h. Tato délka je zvolena tak, aby odpovídala jednomu obchodnímu dni. Předpokládáme M investorů se stejnou váhou na trhu během n-tého časového intervalu. Na konci n-tého intervalu je tržní cena označována $p(n)$. Bez újmy na obecnosti budeme předpokládat $p(0) = 1$.

Každý investor je charakterizován svojí náladou na trhu. Nálada i-tého investora může být pozitivní nebo negativní. Pozitivní náladu lze chápat tak, že investor očekává růst cen akcií a tedy bude chtít nakupovat. V opačném případě očekává pokles cen akcií, tudíž se bude chtít snažit co nejvíce prodat. Pozici i-tého investora v n-tém časovém intervalu lze reprezentovat pomocí dvou stavů. Stav $s_i(n)$ = 1 označuje pozici *long*, která vyjadřuje optimistickou (pozitivní) náladu investora vzhledem k tržní situaci. Stav $s_i(n) = -1$ označuje pozici *short*, ta vyjadřuje pesimistickou (negativní) náladu na trhu. Celkovou průměrnou náladu všech M investorů v n-tém intervalu lze vyjádřit pomocí vzorce

$$\sigma(n) = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} s_i(n) \tag{6.1.1}$$

Změnu tržní nálady vyjádříme jako rozdíl mezi aktuální náladou a náladou předchozí pomocí proměnné

$$\Delta\sigma(n) = \sigma(n) - \sigma(n-1) \tag{6.1.2}$$

Jak bylo uvedeno výše, tržní cena je označena $p(n)$. Pro její výpočet na konci n-tého časového intervalu používáme následující vzorec

$$p(n+1) = p(n)\exp(\sqrt{h}\,\Delta W(n) + \kappa\,\Delta\sigma(n)), \qquad (6.1.3)$$

kde $\Delta\sigma(n)$ je změna tržní nálady, parametr $\kappa > 0$ vyjadřuje intenzitu nálady na trhu, $\sqrt{h}\,\Delta W(n) \sim N(0, h)$.

Co budeme potřebovat, abychom měli model ucelený, je to, že musíme specifikovat, kdy má i-tý agent přepnout svoji náladu na trhu. Toho se dosáhne zavedením prahových hodnot pro nečinnost H_i (inaction) a zbabělost C_i (cowardice), kde $i = 1, \ldots, M$. Prahové hodnoty, jsou hodnoty, při jejichž překročení investor mění svoji náladu na trhu.

Nechť P_i je cena, s jakou si i-tý investor naposledy změnil pozici a náhodně si vygeneroval hodnotu H_i (inaction) z rovnoměrného rozdělení na intervalu [0.1, 0.3]. Interval nečinnosti je dán vzorcem $[P_i / (1 + H_i), P_i (1 + H_i)]$, přičemž nečinností se rozumí, že investor nezmění svoji náladu na trhu. Pokud současná cena $p(n)$ nezůstane v intervalu nečinnosti, investor přepne náladu. Interval nečinnosti se tedy aktualizuje při každé změně nálady.

Při simulaci jsou prahové hodnoty C_i vybrány z rovnoměrného rozdělení na intervalu [0.001, 0.004]. Volba rovnoměrného rozdělení se provádí čistě z důvodu jednoduchosti. Při realizaci v programu MATLAB jsme narazili na problém, že nelze přímo vygenerovat náhodnou hodnotu z rovnoměrného rozdělení na intervalu [0.001, 0.004]. Program umožňuje pouze interval [0, 1]. Z tohoto intervalu jsme si vygenerovali hodnotu z_i, kterou jsme použili v následujících vzorcích pro stanovení prahových hodnot

$$C_i = 0.001 + 0.003\,z_i \qquad (6.1.4)$$

$$H_i = 0.1 + 0.2\,z_i \qquad (6.1.5)$$

Předpokládáme, že čím více je investor zbabělejší, tím má menší interval nečinnosti, proto používáme stejné z_i pro stanovení prahových hodnot ve vzorcích (6.1.4) a (6.1.5).

Úroveň zbabělosti (cowardice) pro i-tého investora je náhodně vygenerována z intervalu [0, 1]. V čase n je definována a aktualizována následovně

$$c_i\,(n+1) \begin{cases} c_i\,(n) + h\,|\sigma(n)|\,, & \text{pokud } s_i\,(n)\,\sigma(n) < 0 \\ c_i\,(n) & \text{jinak} \end{cases} \tag{6.1.6}$$

Pokud $c_i\,(n)$ překročí hodnotu C_i , investor přepne svoji náladu. Jestliže $\sigma(n) > 0$, většina investorů musí být ve stavu *long* a menšina ve stavu *short* ($s_i\,(n) = -1$). Tím pádem bude mít menšina dle vzorce (6.1.6) tendenci podvolit se většině v průběhu času.

Když agent změní svoji náladu, vygeneruje se nová dvojice prahových hodnot pro cenu, $c_i\,(n)$ se vynuluje a proces se opakuje (obecněji mohou být prahové hodnoty průběžně aktualizovány). Abychom lépe pochopili přepnutí prahové hodnoty $c_i\,(n)$, vysvětlíme si ji na následujícím příkladu. Pokud máme investora (agenta), který na trhu bude pouze nakupovat akcie, tudíž bude ve stavu *long*, ale větší část bude ve stavu *short*, jeho strach $c_i\,(n)$ se bude tak dlouho zvětšovat, až dosáhne své prahové hodnoty C_i . Tímto se investor přepne z pozice *long* na pozici *short* a ztratí veškerý svůj strach $c_i\,(n) = 0$. Jedná se o tzv. modelování **stádního efektu**.[13]

Tento model pracuje s následujícími číselnými parametry a proměnnými. Počet účastníků *M* = 10 000. Stojí za zmínku, že charakteristiky modelu jsou nezávislé na *M* - je to důležitá vlastnost, která není vždy sdílena jinými modely heterogenních agentů. Simulace probíhá na 10 000 časových úsecích, což odpovídá přibližně čtyřiceti let obchodování. Hodnota h je zvolena 4×10^{-5}. To odpovídá diskrétnímu časovému kroku (jednomu dni obchodování). Simulace pomocí výše uvedených parametrů naznačují, že hodnota κ = 0.2 má za následek to, že ceny silně korelují s tokem informací, ale výrazně se liší v období extrémních tržních sentimentů.[14]

Shrnutí předem zadaných parametrů můžeme vidět v následující tabulce

PARAMETRY	POPIS	HODNOTY
M	počet investorů	10 000
κ	celková tržní intenzita	0.2
n	počet dní	10 000
h	rozptyl informačního toku	0.00004

[13] Stádní efekt nebo stádový efekt znamená, že investoři mají tendenci spíše přistupovat na názory, které viděli u ostatních.

[14] Tržní sentiment lze chápat jako náladu na trhu, která se promítne do ceny akcie. To znamená, že agenti mají takový názor, který je založen na tom, spíše co cítí než na tom, co vidí. Tvrzení: „Kupuj pověry, prodávej fakta“. Zdroj: www.xtb.com

6.2 σ - model

Jak už víme z předchozí kapitoly, původní Δσ – model pracuje se změnou tržní ceny akcie $\Delta\sigma(n)$. Pro její výpočet tedy využívá vzorec

$$\Delta\sigma(n) = \sigma(n) - \sigma(n-1), \qquad (6.2.1)$$

který zahrnuje ve výpočtu jak aktuální náladu investora, tak i předchozí náladu. Náš nový model bude pracovat pouze s aktuální náladou - $\sigma(n)$, tj. namísto $\Delta\sigma(n)$ budeme používat $\sigma(n)$. Otázka zní, proč je tomu tak? Proč v našem modelu pracujeme pouze s aktuální náladou investorů na trhu? Vysvětlíme si na následujícím příkladu.

Modelový příklad 1

Nechť máme M = 10 000 investorů. Všech deset tisíc je rozhodnuto nakupovat a nehodlá změnit svoji náladu na trhu ať se děje, co se děje. Vypočítáme si celkovou náladu na trhu $\sigma(n)$, $\sigma(n-1)$ a změnu tržní nálady pomocí vzorce (6.1.1)

$$\sigma(n) = \frac{10^4}{10^4} = 1$$

$$\sigma(n-1) = \frac{10^4}{10^4} = 1$$

$$\Delta\sigma(n) = 1 - 1 = 0$$

Otázka zní, co se stane s cenou akcie?

Už ze zadání tohoto příkladu bychom předpokládali, že pokud deset tisíc investorů z deseti tisíc nakupuje, tak cena přirozeně poroste. Podívejme se na výpočet ceny. U Δσ – modelu po dosazení získáme

$$p(n+1) = p(n)\exp\left(\sqrt{h}\,\Delta W(n) + \kappa\,\Delta\sigma(n)\right) = p(n)\exp\left(\sqrt{h}\,\Delta W(n)\right),$$

což znamená, že nová cena se zvýší s pravděpodobností 0.5 a s pravděpodobností 0.5 cena klesne.

U σ – modelu máme

$$p(n+1) = p(n)\exp\left(\sqrt{h}\,\Delta W(n) + \kappa\,\sigma(n)\right) = p(n)\exp\left(\sqrt{h}\,\Delta W(n) + \kappa\right).$$

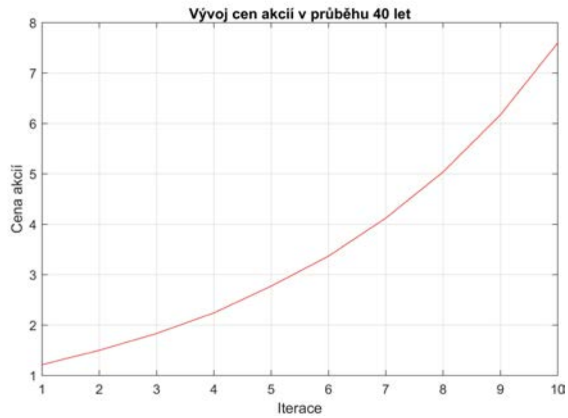
Pokud by byl parametr κ zvolen dostatečně vhodně tak, aby v drtivé většině případů převýšil náhodně vygenerovanou hodnotu, cena by měla rostoucí trend.

Jak vidíme u Δσ – modelu, cena náhodně skáče nahoru i dolů. V našem novém modelu, pokud pracujeme pouze s aktuální náladou na trhu $\sigma(n)$, se cena zvýší. Cena by se měla odvíjet podle toho, jestli investoři nakupují nebo prodávají na trhu. Když drtivá část prodává, cena klesá, pokud nakupuje, cena poroste. Což je přesně to, co bychom očekávali. Tento fakt není v původním modelu zahrnut.

Nyní si ukážeme změnu cen akcií názorně na následujících grafech. Na *Obrázku 1* je zobrazen vývoj cen akcií u Δσ – modelu během čtyřiceti let. Je vidět, že cena v průběhu těchto let dokonce klesne, což je způsobeno náhodností. To bychom neočekávali, když všichni investoři na trhu chtějí akcie nakupovat. V tomto případě by cena měla růst. Podívejme se tedy na O*brázek 2,* kde je zobrazen vývoj cen u nového σ – modelu. Už po deseti dnech můžeme zaznamenat opravdu výrazný růst ceny. To odpovídá tomu, co jsme si dokázali v předchozím modelovém příkladu.

Proto v další kapitole budeme pracovat s naším novým σ – modelem a srovnáme jej s Δσ – modelem a podíváme se na rozdíly mezi nimi.

Obrázek 1: Vývoj cen akcií u $\Delta\sigma$ – modelu



Obrázek 2: Vývoj cen akcií u σ – modelu

6.3 Stanovení κ

V průběhu zkoumání a testování Δσ – modelu jsme zjistili, že značný dopad na výsledky modelu má velikost parametru κ. Ta nám přímo úměrně ovlivňuje intenzitu nálady na trhu. Proto se na parametr κ podíváme trochu blíže. Otázka zní, jak parametr κ vhodně zvolit, aby náhodná veličina nebyla utlačována a naopak, aby člen s parametrem κ nebyl vůči náhodné veličině bezvýznamný. V tomto původním modelu byl parametr volen 0.2. Nyní si ukážeme na následujících příkladech, jakým způsobem lze vypočítat parametr κ.

Příklad 1

Volme 55% agentů nakupujících akcie na trhu a 45% prodávajících. Stanovme si, že v 1 z 10 případů cena klesne z důvodu náhodné veličiny, ačkoliv měla narůst. K tomuto využijeme kvantil normálního rozdělení u. Parametr κ lze vyjádřit z následujícího vzorce

$$\sqrt{h}\, randn() + \kappa\, \sigma(s), \qquad (6.3.1)$$

kde $randn()$ v programu MATLAB značí funkci, která náhodně vygeneruje náhodnou hodnotu z normovaného normálního rozdělení.

Platí

$$\sqrt{h}\, u(0.1) + \kappa\, \sigma(s) = 0$$

$$\kappa = \frac{-\sqrt{h}\ u(0.1)}{\sigma(s)}$$

$$\sigma(s) = \frac{55 - 45}{100} = \frac{1}{10} = 0.1$$

Z vlastnosti kvantilu normálního rozdělení se střední hodnotou v nule máme

$$\kappa = \frac{\sqrt{h}\ u(0.9)}{0.1} \doteq 0.0811$$

Z toho plyne, že z 90% případů by cena měla růst a z 10% klesat. Ačkoliv jsme si zvolili 55% nakupujících agentů a případ, kdy v 1 z 10 dojde k opačnému jevu (tj. pokles ceny), lze tyto parametry měnit.

Zkusme nyní ověřit, jak by to pro vypočítaný parametr κ bylo v případě, kdybychom volili 100% agentů, kteří nakupují akcie.

$$\kappa = 0.0811$$

$$\sigma(s) = \frac{100 - 0}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$0.0811 = \frac{-\sqrt{0.00004}\ u(x)}{1}$$

$$u(x) \doteq -12.8230$$

$$x \doteq 6.0917 \times 10^{-38}$$

Z výpočtu jsme zjistili, že přibližně v 6 případech ze 100×10^{38} případů bude cena klesat, což se při 100% nakupujících investorů **jeví** jako rozumná hodnota parametru κ.

Příklad 2

Volme 55% agentů nakupujících akcie na trhu a 45% prodávajících. Stanovme si, že v 3 z 10 případů cena klesne z důvodu náhodné veličiny, ačkoliv měla narůst. K tomuto využijeme kvantil normálního rozdělení u. Parametr κ vyjádříme z vzorce (6.3.1).

$$\kappa = \frac{-\sqrt{h}\ u(0.3)}{\sigma(s)}$$

$$\sigma(s) = \frac{55 - 45}{100} = \frac{1}{10} = 0.1$$

Z vlastnosti kvantilu normálního rozdělení se střední hodnotou v nule máme

$$\kappa = \frac{\sqrt{h}\ u(0.7)}{0.1} \doteq 0.0332$$

Z toho plyne, že v 70% případů by cena měla růst a v 30% případů klesat. Ačkoliv jsme si zvolili 55% nakupujících agentů a případ, kdy v 3 z 10 dojde k opačnému jevu (tj. pokles ceny), lze tyto parametry měnit.

Zkusme nyní ověřit, jak by to pro vypočítaný parametr κ bylo v případě, kdybychom volili 100% agentů, kteří nakupují akcie.

$$\kappa = 0.0332$$

$$\sigma(s) = \frac{100 - 0}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$0.0332 = \frac{-\sqrt{0.00004}\ u(x)}{1}$$

$$u(x) \doteq -5.2494$$

$$x \doteq 7.6306 \times 10^{-8}$$

Z výpočtu jsme zjistili, že přibližně v 8 případů ze 100 miliónů případů bude cena klesat, což se při 100% nakupujících investorů **jeví** jako potenciálně správná hodnota parametru κ.

Příklad 3

Oproti *Příkladu 1* známe parametr κ. Budeme chtít zjistit, v kolika případech z 10 000 případů dojde k poklesu ceny akcie. Volme 51% agentů nakupujících akcie na trhu a 49% prodávajících. Stanovme si $\kappa = 0.002$.

$$\kappa = 0.002$$

$$\sigma(s) = \frac{51 - 49}{100} = \frac{2}{100} = 0.02$$

$$0.002 = \frac{-\sqrt{0.00004}\ u(x)}{0.02}$$

$$u(x) \doteq -0.0063$$

$$x \doteq 0.4975$$

Z výpočtu jsme zjistili, že v 4 975 případech z 10 000 případů bude cena klesat. Opět ověříme, jak by to pro parametr κ o hodnotě 0.002 bylo v případě, kdybychom volili 100% agentů, kteří nakupují akcie.

$$\kappa = 0.002$$

$$\sigma(s) = \frac{100 - 0}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$0.002 = \frac{-\sqrt{0.00004}\ u(x)}{1}$$

$$u(x) \doteq -0.3162$$

$$x \doteq 0.3759$$

Zjistili jsme, že v 3 759 případech z 10 000 případů bude cena klesat, což se při 100% nakupujících investorů také **jeví** jako správná hodnota parametru κ.

6.4 Verze modelu

V předchozích podkapitolách bylo cílem upravit původní $\Delta\sigma$ – model tak, že ve výpočtech cen akcií využíval pouze aktuální náladu investorů, a následně porovnat tyto modely mezi sebou. K tomu jsme sestavili vzorec pro výpočet parametru κ. Zjistili jsme, že velikost tohoto parametru ovlivňuje, jak se promítne nálada investorů do cen akcií na trhu.

Jak už plyne z názvu podkapitoly, hlavní náplní je otestovat několik verzí modelu za použití programu MATLAB. Důležitým předpokladem je generování stejné sekvence náhodných čísel. Algoritmus pro generování pseudonáhodných čísel využívá příkaz *s = RandStream ('mlfg6331_64','Seed', 1).* Tento příkaz používáme, abychom se vyhnuli falešně pozitivním výsledkům a abychom dosáhli adekvátního srovnání modelů. Všechny později zmíněné verze pracují s diskrétním časem o krocích délky h = 0.00004. Simulace probíhají na 10 000 časových úsecích, což odpovídá období čtyřiceti let. Cílem je zjistit, jak se vyvíjí cena na trhu v závislosti na zvoleném modelu a zároveň se podíváme na náladu investorů a na jejich aktivitu na trhu. Tyto simulace pro nový σ – model porovnáme s původním $\Delta\sigma$ – modelem.

Na veškerých následujících grafech se zaměříme na:

- **vývoj cen akcií v průběhu 40 let –** tyto grafy znázorňují tržní ceny akcií měnící se v závislosti na tom, v jaké pozici (*long* či *short*) se zrovna investoři nachází. Pokud by se většina investorů nacházela v pozici *long* (ve stavu + 1), spekulovali bychom o vzestupu cen, naopak, u investorů v pozici *short* (ve stavu - 1) bychom spekulovali o poklesu.

- **náladu investorů na trhu v průběhu 40 let -** tyto grafy popisují průměrnou náladu investorů na trhu na konci každého dne.

- **aktivitu investorů na trhu v průběhu 40 let –** tyto grafy popisují aktivitu investorů na finančních trzích (v procentech). Tato aktivita vyjadřuje, kolik procent investorů změní svoji pozici (ze stavu *long* do stavu *short*, nebo naopak) na konci každého dne.

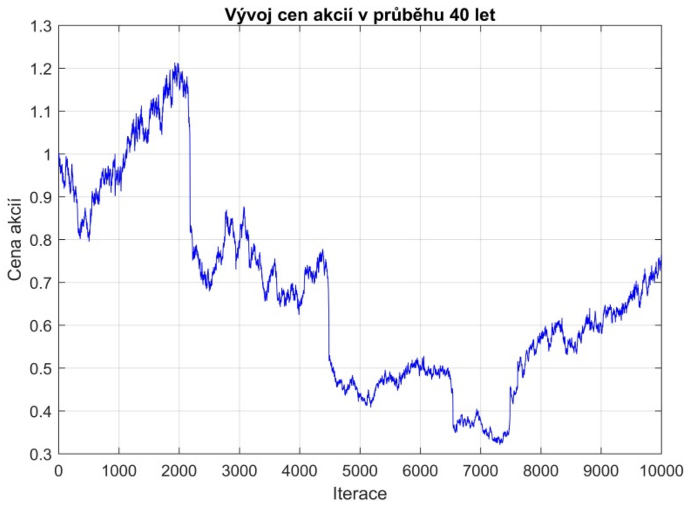
První verze modelu

Cílem je modelovat každoroční příchod pozitivně naladěných investorů. Nejdříve si zvolíme parametry, poté vyslovíme naše očekávání a na závěr srovnáme Δσ – model se σ – modelem vzhledem k ceně akcií.

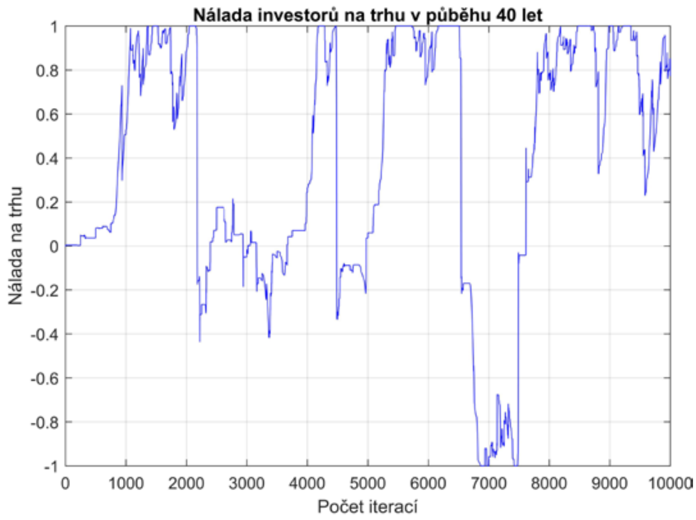
Náhodně zvolíme 10 000 investorů, kteří buď nakupují akcie, nebo prodávají. Pracujeme s celkem 10 000 iteracemi a každý rok (250. iterace) přijde na trh 500 nových investorů s cílem nakupovat akcie. Tedy všichni noví investoři se budou nacházet v pozici *long*.

Naše **očekávání**: u vývoje cen akcií po uplynutí jednoho roku by cena měla vyskočit nahoru díky přidání pozitivních investorů na konci prvního roku. U dalších následujících zbývajících roků očekáváme totéž, co po prvním roce.

Nejprve se podíváme na původní **Δσ – model** (modrá barva) z [14], který pracuje se změnou tržní ceny akcie $\Delta\sigma(n)$ a využívá pro výpočet vzorec (6.2.1). Poté se podíváme na simulace u **σ – modelu** (červená barva) a v závěru oba modely srovnáme.



Obrázek 7a: $\Delta\sigma$ – *model s* $\kappa = 0.2$



Obrázek 7b: $\Delta\sigma$ – *model s* $\kappa = 0.2$

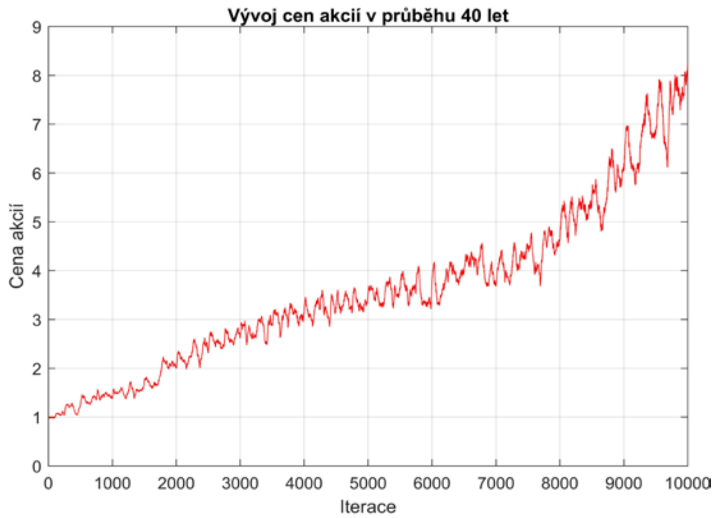
Obrázek 7c: $\Delta\sigma$ – *model s* $\kappa = 0.2$

Na předchozích třech obrázcích jsme si vyobrazili **Δσ – model.** Nyní si více přiblížíme, co můžeme vidět na těchto grafech. *Obrázek 7a* znázorňuje vývoj cen akcií během čtyřiceti let u původního modelu. Osa x znázorňuje počet iterací. Celkový počet těchto iterací je 10 000, to odpovídá období 40 let. Na ose y je znázorněn vývoj cen akcií. Vidíme, že tento graf nemá rostoucí trend. Co bychom očekávali, je naopak rostoucí tendence vývoje cen akcií během těchto let. Ceny akcií, i přes rostoucí počet pozitivních investorů, klesají. Jsou zde výrazné propady na trhu. Nesmíme zapomenout na volbu parametru, která je zde 0.2.

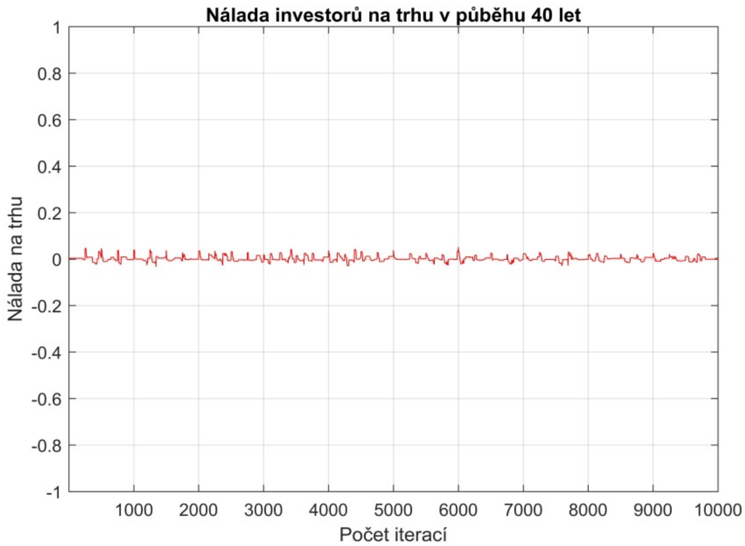
Na *Obrázku 7b* je popsána nálada investorů na trhu. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje průměrnou náladu investorů. Na počátku vývoje půlka investorů nakupuje a druhá půlka prodává. Před čtvrtým rokem (1 000. iterace) chtějí všichni investoři nakupovat. To znamená, že ze začátku jsou investoři náhodně rozhozeni, ale postupně je na vrcholu nabýváno **stádního efektu**. Buď jsou skoro všichni investoři naladěni pozitivně, nebo negativně.

Aktivita investorů na trhu je znázorněna na *Obrázku 7c*. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y představuje průměrnou aktivitu investorů. Aktivitou se myslí, jak často investoři mění svoji náladu na trhu. Přibližně do 1 000. iterace se aktivita pohybuje kolem nuly, tudíž jde o období, kdy investoři nemění svoji náladu. Viditelné kmitání znázorňuje časté změny nálady u investorů.

Nyní se podívejme na vývoj cen akcií u nového **σ – modelu**, který je znázorněn na následujících grafech vyobrazený červenou barvou.



Obrázek 8a: σ – model s κ = 0.2



Obrázek 8b: σ – model s κ = 0.2

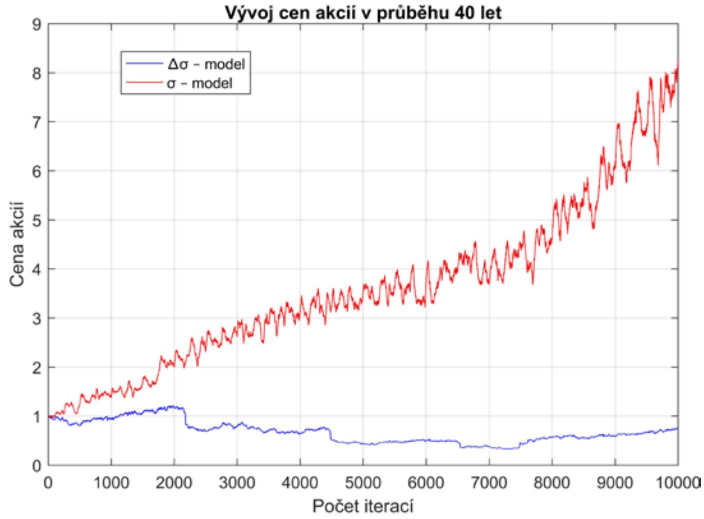
Obrázek 8c: σ – model s κ = 0.2

Na *Obrázku 8a* sledujeme vývoj cen akcií během čtyřiceti let s hodnotou parametru 0.2. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje vývoj cen akcií. Je vidět, že cena, dle našeho očekávání, stále roste po dobu čtyřiceti let. Samozřejmě dochází k přepnutí nálady investorů, a z toho důvodu právě nakupují či zrovna prodávají akcie. Dochází k viditelnému oscilování ceny. Pro potlačení těchto skoků bychom museli použít nějakého tlumícího efektu, který nám ale není znám.

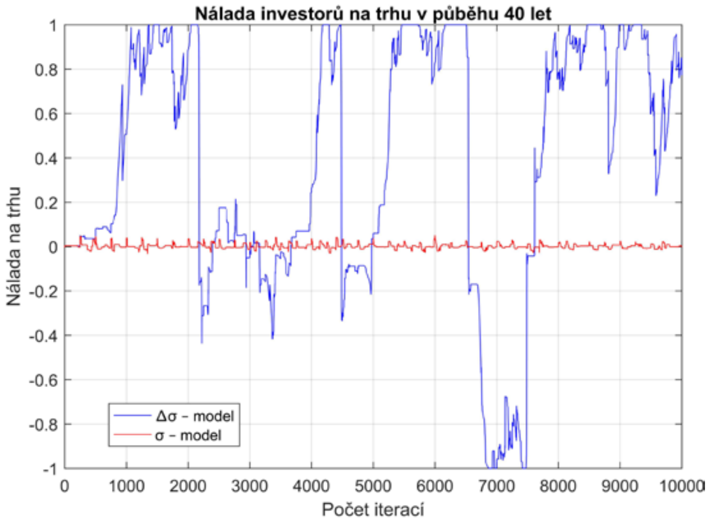
Na *Obrázku 8b* je popsána nálada investorů na trhu. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y průměrnou náladu investorů. Při použití parametru o hodnotě 0.2 nálada osciluje kolem nuly a vývoj ceny je teda tažen spíše náhodně vygenerovanými čísly než náladou.

Obrázek 8c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Na ose x vidíme počet iterací a na ose y průměrnou aktivity investorů. Přepnutí nálady není tak výrazné jako u původního modelu. Jsou zde méně viditelné změny nálady. Nacházíme období, kdy investoři mění náladu a také období, kdy se skoro nic neděje.

Pro lepší viditelnost rozdílu, na následujících obrázcích, spojíme tyto modely do jednoho grafu s parametrem κ o hodnotě **0.2**. U původního $\Delta\sigma$ – modelu, na rozdíl od nového modelu, je hlavní výhodou stádní efekt, který můžeme vidět na *Obrázku 9b* a s tím spojené náhlé propady a nárůsty cen na trhu (*Obrázek 9a*). Nevýhodou je absence růstového trendu (*Obrázek 9a*), což nás překvapilo, protože jsme očekávali nárůst cen během těchto let, jelikož přišlo na trh pět set nových investorů s cílem nakoupit akcie. Nový σ – model má výhodu v rostoucím trendu, jak můžeme vidět na *Obrázku 9a*, ale nevýhodou je silná oscilace a absence stádního chování (*Obrázek 9b*).



Obrázek 9a: Porovnání modelů s $\kappa = 0.2$



Obrázek 9b: Porovnání modelů s $\kappa = 0.2$

Obrázek 9c: Porovnání modelů s $\kappa = 0.2$

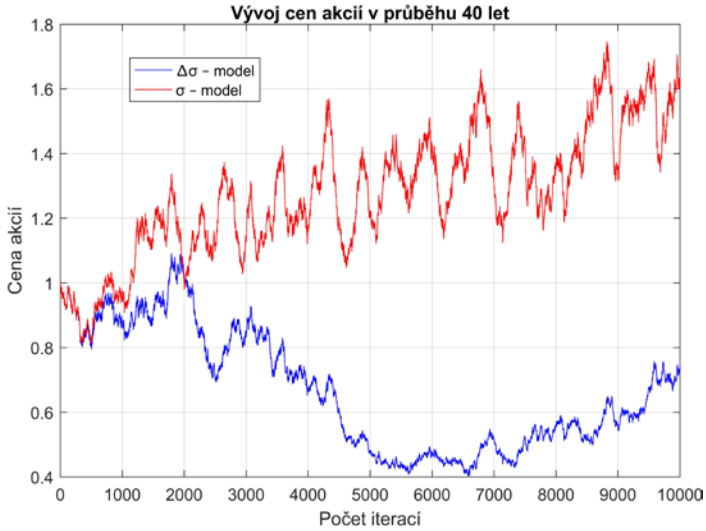
V podkapitole 6.3 jsme zjistili, že značný dopad na výsledky modelu má velikost parametru κ. Ta nám přímo úměrně ovlivňuje intenzitu nálady na trhu. Proto se podíváme i na výsledky s použitím jiných hodnot parametru (0.002 a 0.0811), jejichž výpočet jsme si již ukázali na příkladech v této podkapitole.

Pojďme se nyní podívat na další grafy o těchto parametrech a pro lepší viditelnost rozdílu provedeme srovnání obou modelů vyobrazeny do jednoho grafu. Osa x nám bude u těchto grafů vždy znázorňovat počet iterací. Postupně se podíváme na tři grafy, kde osa y bude znázorňovat vývoj cen akcií, průměrnou náladu investorů a jejich aktivitu.

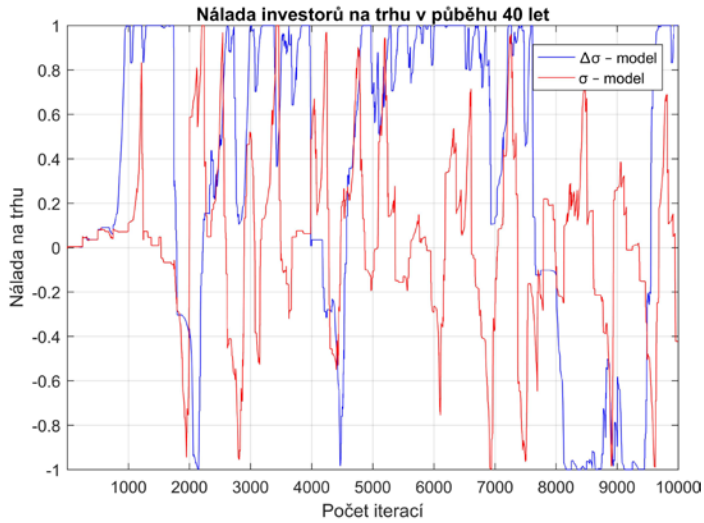
Jako první se podíváme na *Obrázky 10a*, *10b* a *10c*, kde pracujeme s parametrem κ o hodnotě **0.002**, tudíž v porovnání s předchozími obrázky, které využívaly parametr o hodnotě 0.2, je intenzita vývoje cen viditelně menší. Na *Obrázku 10a* můžeme vidět vývoj cen akcií v průběhu čtyřiceti let. Nový σ – model splňuje naše očekávání a to takové, že cena roste v průběhu těchto let stále nahoru za předpokladu přírůstku pětiset nových investorů na trhu. Oscilaci zde také vidíme, ale je výrazně lepší. Bohužel původní Δσ – model nesplňuje naše očekávání. Jeho nevýhodou je tedy nerostoucí trend. Vidíme, že cena klesá i za předpokladu navýšení investorů s optimistickou náladou. Naopak jeho výhodou jsou náhlé propady a nárůsty cen.

Obrázek 10b znázorňuje průměrnou náladu investorů na trhu. U Δσ – model lze zaznamenat stádní chování. Čeho si můžeme hned povšimnout, je to, že během prvních dvou let (500. iterace) se nedělo téměř nic. Nálada investorů u obou modelů se pohybuje kolem nuly. Když bychom se ale podívali zpětně na *Obrázek 9b*, zaměřili se na σ – model, tak intenzita přepnutí nálady je výrazně <u>větší</u> u parametru s hodnotou 0.002 než u parametru s hodnotou 0.2. Což je naprosto v pořádku, neboť intenzita ovlivňuje náladu. Pro parametr κ = 0.002 je stádní chování vidět i u σ – modelu.

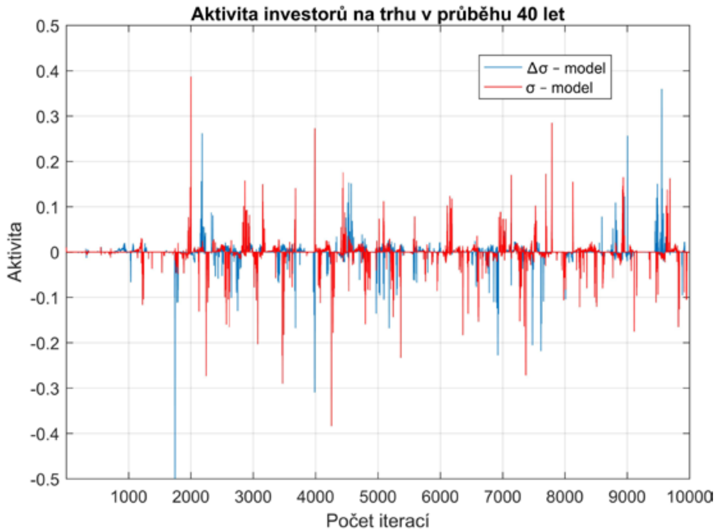
Na dalším grafu (*Obrázek 10c*) je znázorněna jejich aktivita na trhu v průběhu čtyřiceti let. Nacházíme období, kdy investoři výrazně mění svoji náladu a také období, kdy se skoro nic neděje. Například během prvních čtyř let se aktivita investorů nikam neprojevuje, pohybuje se kolem nuly.



Obrázek 10a: Porovnání modelů s κ = 0.002



Obrázek 10b: Porovnání modelů s κ = 0.002

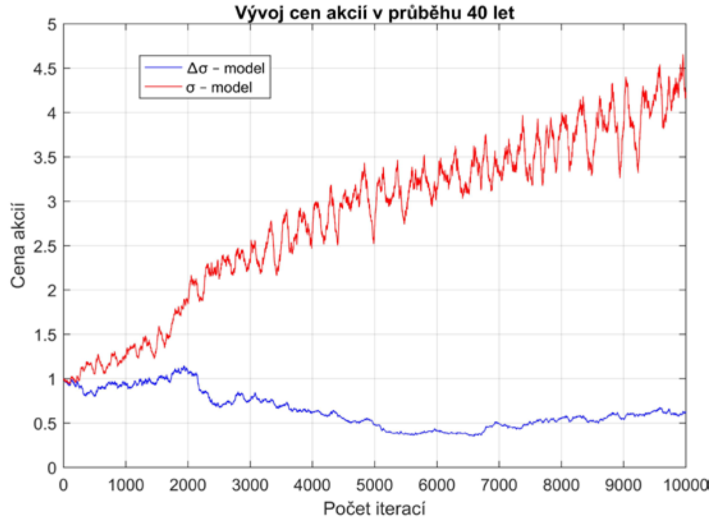


Obrázek 10c: Porovnání modelů s κ = 0.002

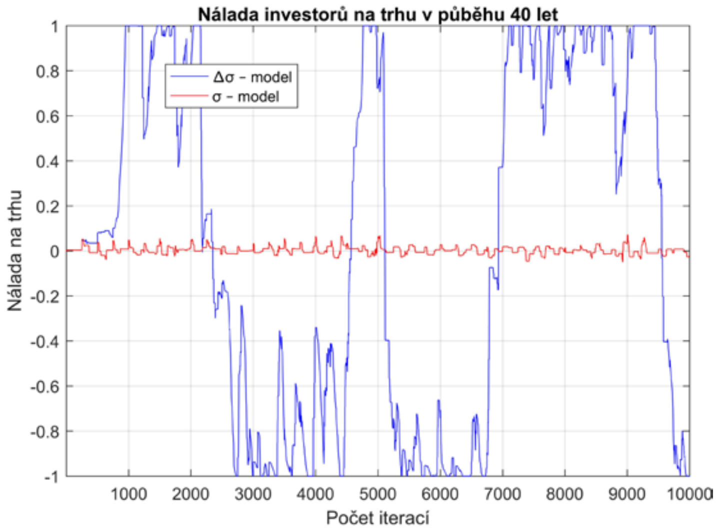
Na následujících třech *Obrázcích 11a, 11b* a *11c* pracujeme s parametrem o hodnotě **0.0811**. Na *Obrázku 11a* můžeme vidět opět vývoj cen akcií v průběhu čtyřiceti let. Nový σ – model splňuje naše očekávání, ale co se týče oscilací, jsou větší než na *Obrázku 10a*. Pro jejich ztlumení bych doporučila nějakého tlumícího efektu, jak už jsme si již zmiňovali výše. Δσ – model nesplňuje naše očekávání, jelikož má nerostoucí tendenci vývoje cen akcií. Vidíme, že cena klesá i za předpokladu navýšení investorů s optimistickou náladou. Naopak jeho výhodou jsou náhlé propady a nárůsty cen.

Obrázek 11b znázorňuje průměrnou náladu investorů na trhu. Stádní efekt lze zaznamenat opět u Δσ – modelu. U našeho σ – modelu je nálada investorů nijak výrazně neprojevuje a mírně osciluje kolem nuly.

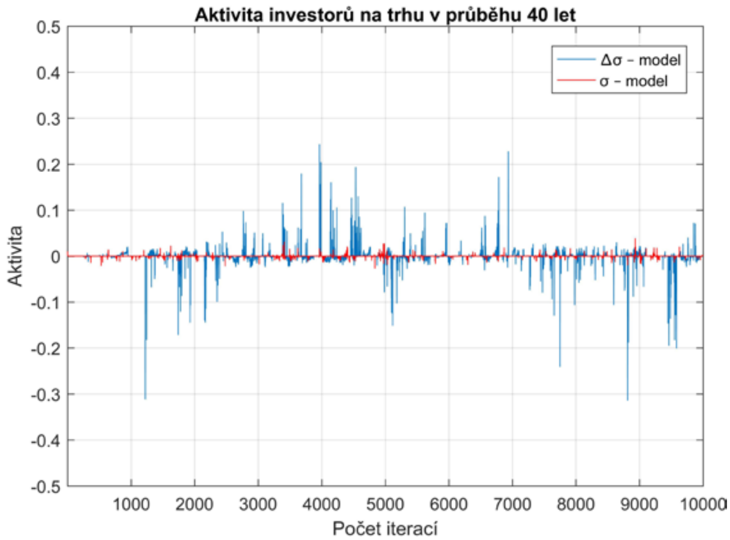
Průměrnou aktivita investorů vidíme na *Obrázku 11c*, kde během prvních čtyř let nedochází k téměř žádné změně. Později se vyskytuje spousta období, kdy investoři výrazně a často mění svoji náladu.



Obrázek 11a: Porovnání modelů s κ = 0.0811



Obrázek 11b: Porovnání modelů s κ = 0.0811



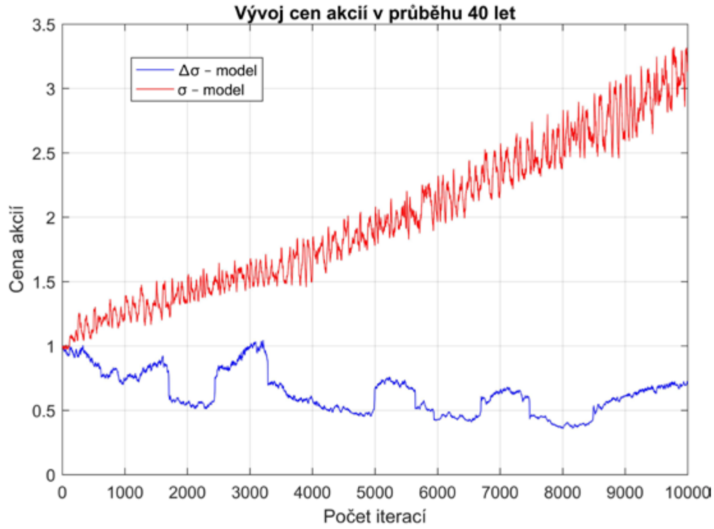
Obrázek 11c: Porovnání modelů s κ = 0.0811

Druhá verze modelu

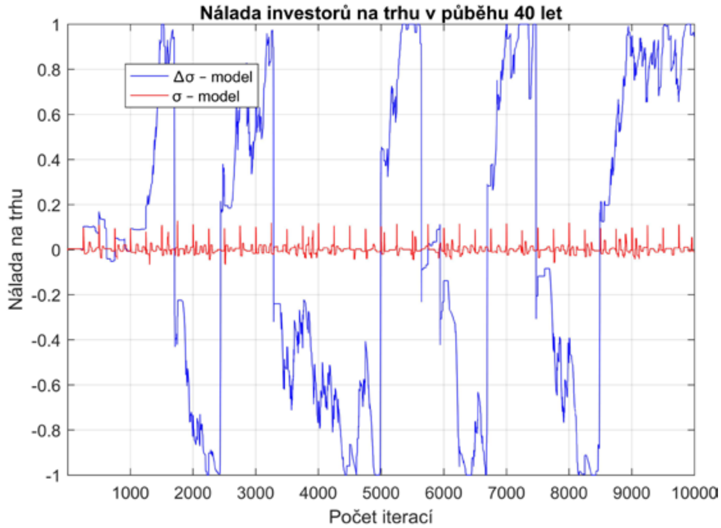
Cílem je modelovat každoroční příchod pozitivně naladěných investorů a současně odchod negativně naladěných investorů z trhu. Nejdříve si zvolíme parametry, poté vyslovíme naše očekávání a na závěr srovnáme $\Delta\sigma$ – model se σ – modelem vzhledem k ceně akcií.

Náhodně zvolíme 10 000 investorů. Pracujeme opět s 10 000 iteracemi (období čtyřiceti let). Naším úkolem je nyní otestovat, jak se vyvine cena v průběhu čtyřiceti let, pokud zcela náhodně přijde na trh 500 nových pozitivních investorů s cílem nakoupit a odejde z trhu 500 negativních, kteří chtějí prodat své akcie. Tato změna se provádí po každém jednom roku (po 250 iterací).

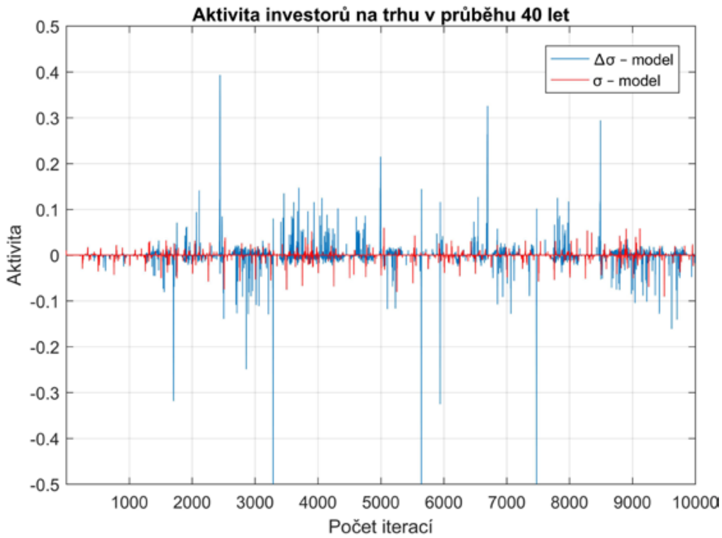
Naše **očekávání**: Z logické úvahy víme, pokud bude na trh přicházet každý rok 500 nových investorů, kteří budou chtít nakupovat akcie, a zároveň odejde z trhu 500 investorů, kteří chtějí prodávat akcie, cena logicky poroste nahoru. Tuhle úvahu bychom čekali na základě výsledků prvního modelu. Ani teď tomu nebude jinak. Po uplynutí jednoho roku by cena měla vyskočit nahoru, díky přidání pozitivních investorů a zároveň odebrání negativních investorů na konci prvního roku. U dalších následujících zbývajících roků očekáváme totéž, co po prvním roce. Předpokládáme v této verzi, že růst ceny bude poněkud vyšší než u první verze modelu.



Obrázek 12a: Porovnání modelů s κ = 0.2



Obrázek 12b: Porovnání modelů s κ = 0.2



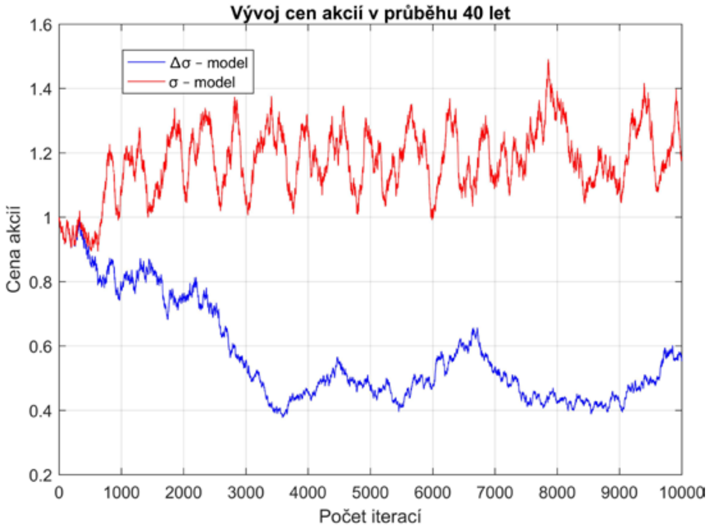
Obrázek 12c: Porovnání modelů s κ = 0.2

Na předchozích třech grafech porovnáváme původní $\Delta\sigma$ – model s novým σ – modelem s hodnotou parametru κ = **0.2**. Na *Obrázku 12a* porovnáváme tyto modely a zkoumáme, jak se vyvíjí ceny akcií na trhu. Na ose x je zobrazen počet iterací a na ose y vývoj cen akcií. Vzhledem k naší úpravě modelu, by cena měla stále růst směrem nahoru a to rychleji v porovnání s první verzí. U σ – modelu je splněno toto očekávání, což je výhodou. Nevýhodou je výrazné oscilování. Když se podíváme na $\Delta\sigma$ – model, cena klesá směrem dolů a jsou vidět propady na trhu. Ty jsou způsobeny náhlými změnami nálady investorů. Výhodou pro $\Delta\sigma$ – model jsou již zmíněné propady a nárůsty cen a nevýhodou nedosažení rostoucího trendu.

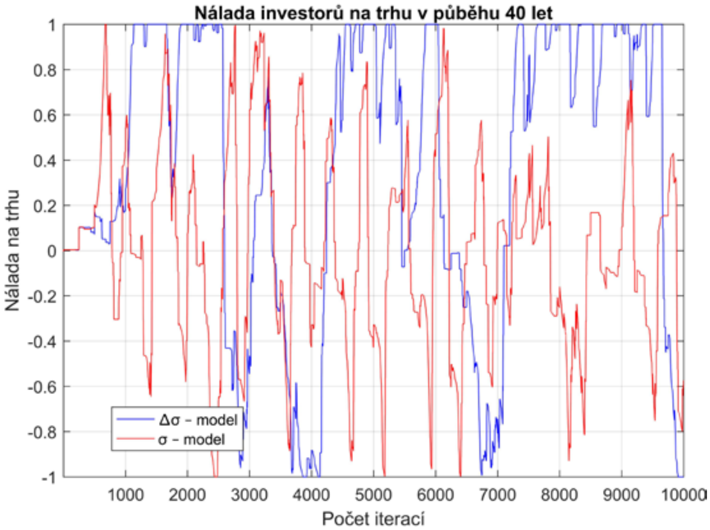
Průměrnou náladu investorů můžeme vidět na *Obrázku 12b.* Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje průměrnou náladu investorů. U původního modelu je postupně dosaženo stádního efektu, což je jeho výhodou, kdežto u nového modelu se nálada pohybuje kolem nuly.

Obrázku 12c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y představuje průměrnou aktivitu investorů. Aktivitou se myslí, jak často investoři mění svoji náladu na trhu. Změna nálady investorů u σ – modelu osciluje kolem nuly, naopak u $\Delta\sigma$ – modelu jsou tyto změny nálady výraznější. Najde se zde i takové období, kdy investoři nemění svoji náladu vůbec.

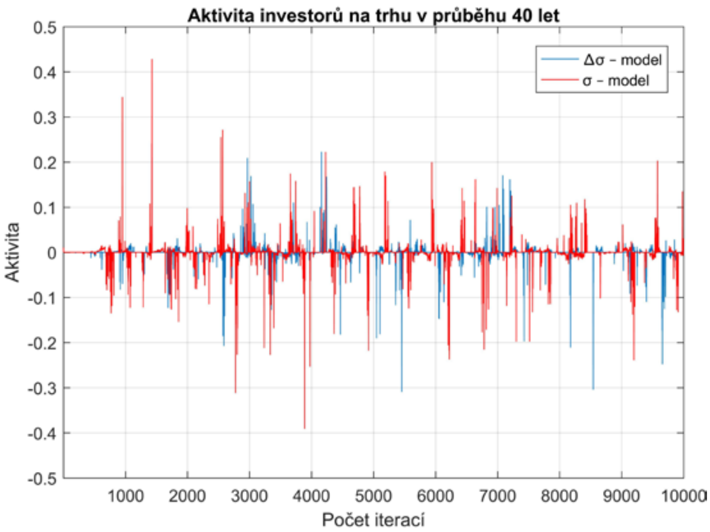
Na dalších obrázcích porovnáme oba modely s hodnotou parametru 0.002 a 0.0811. Tato hodnota má značný dopad na výsledky modelu, protože nám ovlivňuje intenzitu nálady na trhu. Pojďme se na ně podívat.



Obrázek 13a: Porovnání modelů s κ = 0.002



Obrázek 13b: Porovnání modelů s κ = 0.002

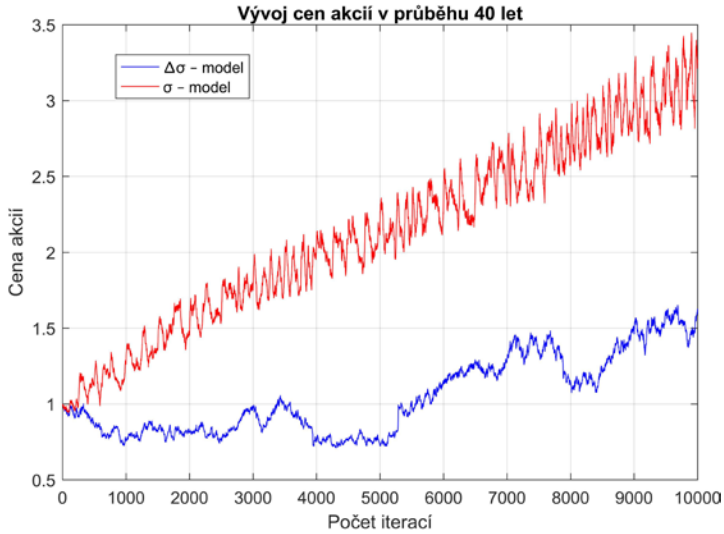


Obrázek 13c: Porovnání modelů s κ = 0.002

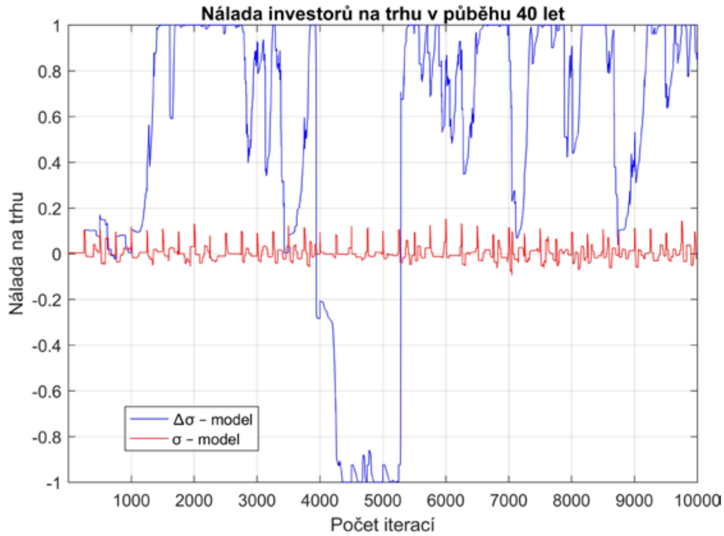
Na předchozích *Obrázcích 13a, 13b* a *13c* máme vyobrazeny modely s parametrem κ = **0.002**. Na *Obrázku 13a* sledujeme vývoj cen akcií během čtyřiceti let. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje vývoj cen akcií. Je vidět, že cena, dle našeho očekávání, stále mírně roste (ne nijak výrazně) po dobu čtyřiceti let u σ – modelu. Samozřejmě dochází k přepnutí nálady investorů, a z toho důvodu právě nakupují či zrovna prodávají akcie. U tohoto modelu dochází k oscilování ceny, které je ale na rozdíl od *Obrázku 12a* menší. Intenzita je tady ovlivněna malou volbou parametru κ = 0.002. Původní Δσ – model má nevýhodu v absenci rostoucího trendu. Jeho výhodou jsou nárůsty cen a náhlé propady.

Na *Obrázku 13b* je popsána nálada investorů na trhu. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y průměrnou náladu investorů. U Δσ – modelu vidíme, že i tady se setkáváme se stádním chováním investorů na trhu. Nový σ – model, na rozdíl od *Obrázku 12b*, neosciluje kolem nuly. Tyto změny v náladě investorů jsou ovlivněny malou volbou parametru κ. Jen pro parametr κ = 0.002 je stádní chování vidět i u σ – modelu.

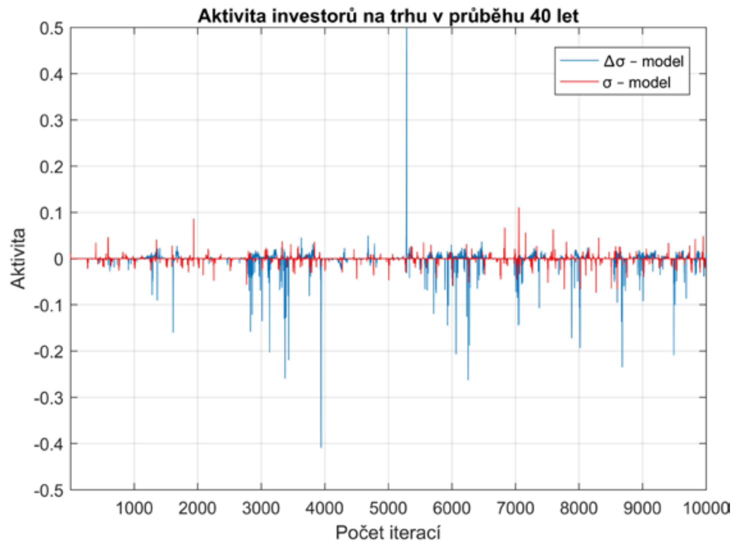
Obrázek 13c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Na ose x vidíme počet iterací a na ose y průměrnou aktivity investorů. Jsou zde méně viditelné změny nálady. Nacházíme období, kdy investoři mění náladu a také období, kdy se skoro nic neděje.



Obrázek 14a: Porovnání modelů s $\kappa = 0.0811$



Obrázek 14b: Porovnání modelů s $\kappa = 0.0811$



Obrázek 14c: Porovnání modelů s $\kappa = 0.0811$

Nyní si porovnáme modely s parametrem κ = **0.0811**, které jsou vyobrazeny na následujících *Obrázcích 14a, 14b* a *14c*. U vývoje cen akcií (*Obrázek 14a*) předpokládáme růst ceny, jelikož přijde na trh několik set nových pozitivně naladěných investorů a zároveň odejdou z trhu investoři, kteří mají negativní náladu. Na ose x je znázorněn počet iterací a na ose y zmiňovaný vývoj cen akcií. σ – model vypadá přívětivě vzhledem k očekávání. Výhodou je tedy rostoucí trend. Co se nám ale nelíbí, je oscilace. Co je důležité si povšimnout, že intenzita nálady je výrazněji větší pro tento parametr κ nežli pro 0.002. U $\Delta\sigma$ – modelu je tendence vývoje rostoucí a dalo by se říci, že vykazuje poměrně dobré výsledky. Výhodou $\Delta\sigma$ – model jsou náhlé propady, nárůsty cen akcií a tentokrát i rostoucí trend.

Na *Obrázku 14b* je popsána průměrná nálada investorů na trhu. Opět se u $\Delta\sigma$ – modelu vyskytuje stádní efekt. Nálada u nového σ – modelu je oscilující kolem nuly.

Průměrnou aktivitu investorů můžeme vidět na *Obrázku 14c*, kde probíhá změna nálady a tím k přepnutí investora. Oproti *Obrázku 13c* nacházíme mnohem více období, kdy investoři nemění svoji náladu, ale najdou se tu i období, kdy investoři svoji náladu změní.

Třetí verze modelu

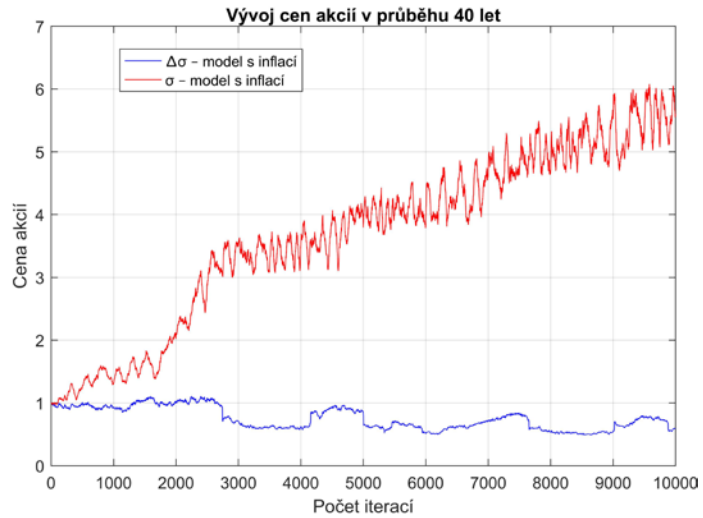
Cílem je modelovat inflaci každoročním procentuálním přidáváním pozitivně naladěných investorů. Nejdříve si zvolíme parametry, poté vyslovíme naše očekávání a na závěr srovnáme $\Delta\sigma$ – model se σ – modelem vzhledem k ceně akcií.

Simulace provádíme s 10 000 investory, kteří buď nakupují akcie, nebo prodávají. Pracujeme s celkem 10 000 iteracemi a každý rok (250 iterace) jsou prováděny změny. Změny se týkají procentuálního navýšení pozitivně naladěných investorů, které představuje inflaci.

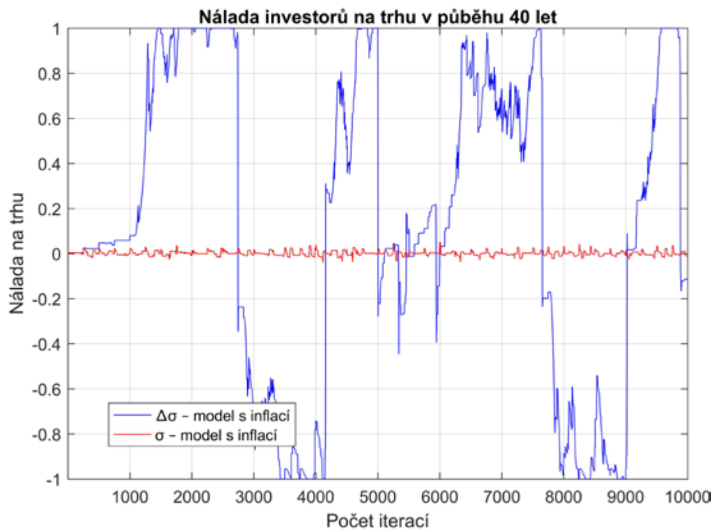
Naše **očekávání**: Co bychom očekávali, že s pravidelným každoročním procentuálním nárůstem investorů, cena bude samozřejmě růst stále nahoru. Pojďme si tedy vyzkoušet porovnat model se zahrnutím inflace a model bez inflace.

Aktuální výše inflace pro rok 2018 je **2.3%**, z toho důvodu budeme přidávat 2.3% investorů z celkového počtu investorů, kteří chtějí nakupovat akcie a změny provedeme po každém roce (po 250 iterací).

Co si vyzkoušíme porovnat u této verze modelu je $\Delta\sigma$ – model **se** zahrnutí **inflace** a σ – model **se** zahrnutím **inflace**. Podíváme se na vývoj cen akcií v průběhu čtyřiceti let, na náladu investorů a na jejich aktivitu na trhu. Parametr κ volíme 0.2, 0.002 a 0.0811. Co bychom od inflace očekávali, je to, že ceny akcií porostou. Pojďme se tedy podívat na následující grafy a porovnat je.



Obrázek 15a: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.2



Obrázek 15b: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.2

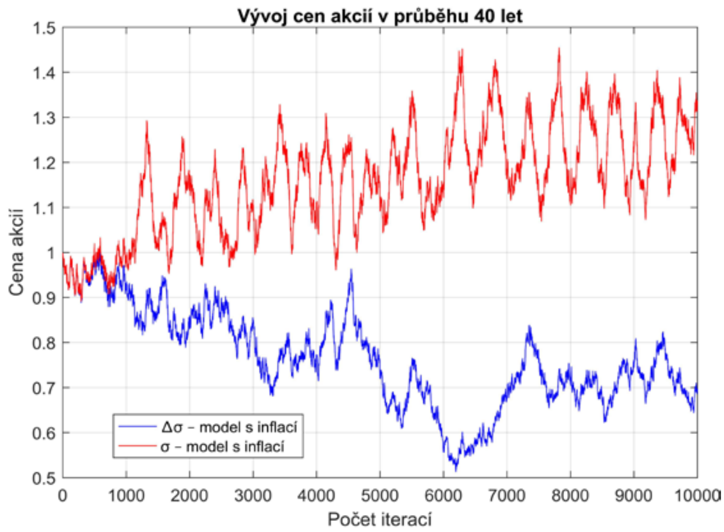
Obrázek 15c: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.2

Pokud se podíváme na *Obrázek 15a*, vidíme vývoj cen akcií během čtyřiceti let, kde porovnáváme původní model a model nový se zahrnutím inflace do modelu s parametrem κ = **0.2**. Osa x popisuje počet iterací a osa y vývoj těchto cen. Čeho si lze povšimnout u $\Delta\sigma$ – modelu je to, že i přes zahrnutí inflace se vývoj cen akcií nijak výrazně nezměnil. Naopak, vývoj cen dokonce mírně klesal s výraznými propady nálady na trhu. Co lze také vypozorovat jsou viditelné oscilace u σ – modelu, které v průběhu čtyřiceti let stále zesilují.

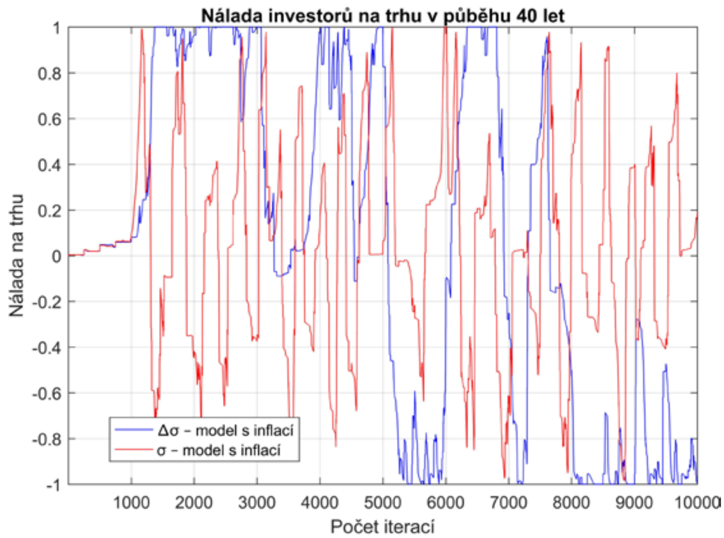
Na *Obrázku 15b* se průměrná nálada investorů u σ – modelu pohybuje kolem nuly. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje průměrnou náladu investorů. U původního modelu je postupně dosaženo stádního efektu, což je jeho výhodou.

Obrázek 15c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Na ose x vidíme počet iterací a na ose y průměrnou aktivitu investorů. Přepnutí nálady není tak výrazné jako u původního modelu. Jsou zde méně viditelné změny nálady. Nacházíme období, kdy investoři mění náladu a také období, kdy se skoro nic neděje.

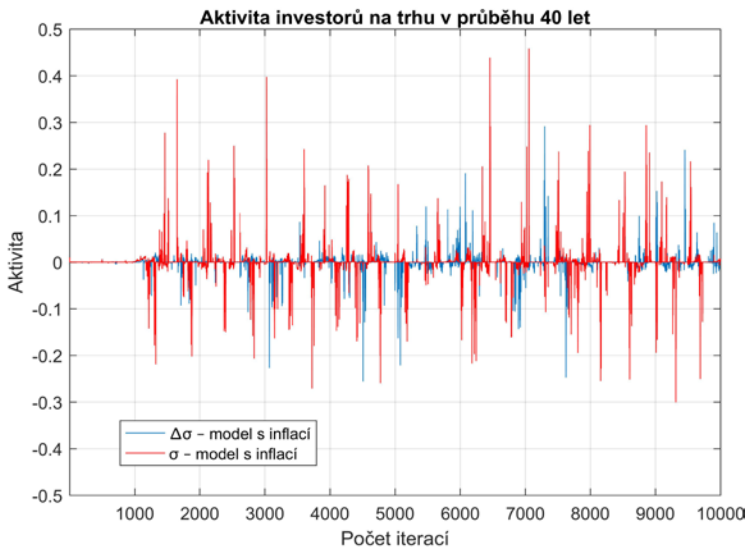
Na dalších obrázcích si prohlédneme oba modely zahrnující inflaci s hodnotou parametru 0.002 a 0.0811. Tyto hodnoty mají značný dopad na výsledky modelu, protože nám ovlivňují intenzitu nálady na trhu.



Obrázek 16a: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.002



Obrázek 16b: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.002

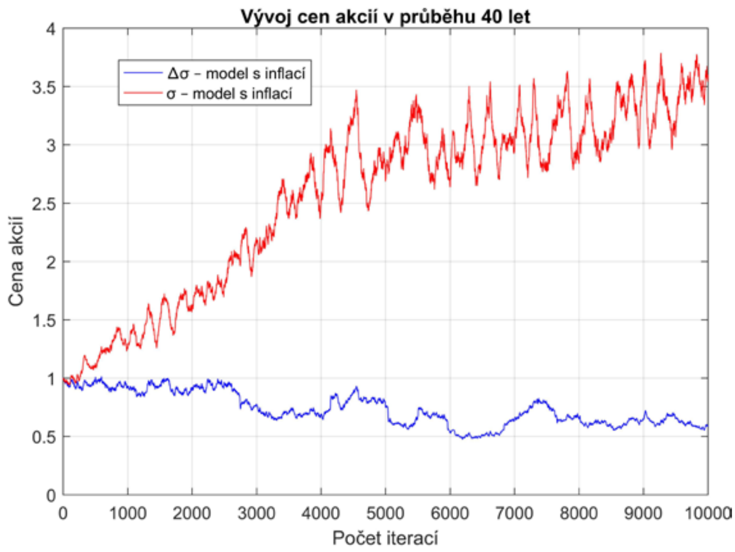


Obrázek 16c: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.002

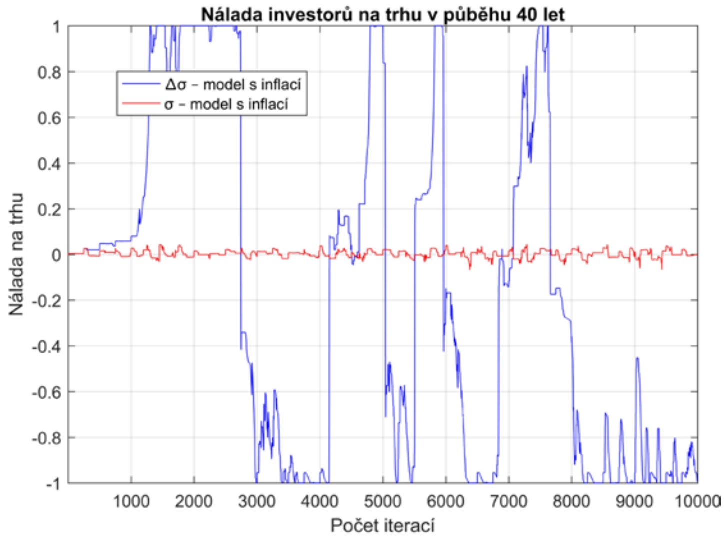
Obrázky 16a, 16b a *16c* znázorňují porovnání $\Delta\sigma$ – modelu a σ – modelu s použitím parametru κ = **0.002**. *Obrázek 16a* znázorňuje vývoj cen akcií během čtyřiceti let, kde porovnáváme původní model a model nový se zahrnutím inflace do modelu. Osa x popisuje počet iterací a osa y vývoj těchto cen. Výhodou σ – modelu je opět rostoucí trend, nevýhodou je vyskytující se oscilace. U původního $\Delta\sigma$ – modelu jsou výhodou náhlé propady a nárůsty cen, ale bohužel nevýhodou je absence rostoucího trendu. Intenzita je ovlivněna malou volbou parametru $\kappa = 0.002$. Dalo by se říct, že parametr $\kappa = 0.002$ se nejvíce přibližuje modelování skutečného trhu dle grafického zobrazení.

Na *Obrázku 16b* je popsána nálada investorů na trhu. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y průměrnou náladu investorů. U $\Delta\sigma$ – modelu vidíme, že i tady se setkáváme se stádním chováním investorů na trhu. Nový σ – model, na rozdíl od *Obrázku 15b*, neosciluje kolem nuly. Tyto změny v náladě investorů jsou ovlivněny malou volbou parametru κ. Jen pro parametr $\kappa = 0.002$ je stádní chování vidět i u σ – modelu.

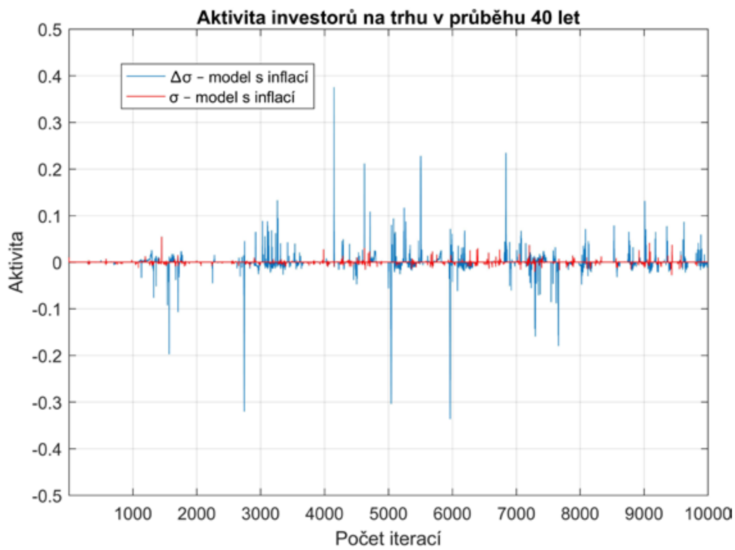
Obrázek 16c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Na ose x vidíme počet iterací a na ose y průměrnou aktivity investorů. Viditelné kmitání znázorňuje časté změny nálady u obou modelů. Nacházíme období, kdy investoři mění náladu a také období, kdy se skoro nic neděje. U obou modelů nacházíme období, kdy se zrovna nic neděje. Během prvních čtyř let se nálada u obou modelů pohybovala kolem nuly.



Obrázek 17a: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.0811



Obrázek 17b: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.0811



Obrázek 17c: Porovnání modelů se zahrnutím inflace s κ = 0.0811

Obrázky 17a, 17b a *17c* znázorňují porovnání $\Delta\sigma$ – modelu a σ – modelu s použitím parametru κ = **0.0811**. *Obrázek 17a* znázorňuje vývoj cen akcií během čtyřiceti let, kde porovnáváme původní model a model nový se zahrnutím inflace do modelu. Osa x popisuje počet iterací a osa y vývoj těchto cen. U $\Delta\sigma$ – modelu, i přes zahrnutí inflace, cena stále během těchto let mírně klesá. To je tedy nevýhodou tohoto modelu. Výhodou ale můžou být náhlé propady a nárůsty cen akcií. Nový σ – modelu má výhodou v tom, že zachycuje rostoucí trend, ale značná nevýhoda je v oscilaci. Ta zesiluje v průběhu narůstání počtu let.

Na *Obrázku 17b* se průměrná nálada investorů u σ – modelu pohybuje kolem nuly. Osa x znázorňuje počet iterací a osa y znázorňuje průměrnou náladu investorů. U původního modelu je postupně dosaženo stádního efektu, což je jeho výhodou.

Obrázek 17c znázorňuje aktivitu investorů na trhu. Na ose x vidíme počet iterací a na ose y průměrnou aktivitu investorů. Přepnutí nálady není tak výrazné jako u původního modelu. Vidíme malé změny nálady u σ – modelu. Nacházíme období, kdy investoři mění náladu a také období, kdy se skoro nic neděje (ve většině případů). U σ – modelu se aktivita investorů pohybuje kolem nuly.

Závěr

Tématem mé diplomové práce bylo modelování finančních trhů. Klíčovým faktorem bylo pochopit již sestavený $\Delta\sigma$ - modelu z [14] a navázat na diplomovou práci s názvem *Modelování finančních trhů* od slečny Mgr. Anety Václavkové [17] a následně naprogramovat jeho úpravy v programu MATLAB.

Při modelování $\Delta\sigma$ - modelu jsem ale zjistila, že tento model, z kterého jsem měla vycházet, nezahrnoval důležitý předpoklad pro náš výzkum a to takový, že *cena by se měla odvíjet podle toho, jestli investoři nakupují nebo prodávají své akcie*. Cena se měnila jen podle toho, jak investoři měnili svoji náladu na trhu. Proto jsem namodelovala nový σ - model, který ve výpočtu ceny akcie zahrnoval pouze σ, nikoli $\Delta\sigma$. Další zjištění se týkalo stanovení hodnoty celkové intenzity nálady. $\Delta\sigma$ - model měl pevně daný parametr $\kappa = 0.2$. V průběhu testování modelů jsem zjistila, že jej musíme přenastavit. Důvodem byla vyskytující se oscilace, absence stádního efektu a rostoucího trendu u našeho σ - modelu. K tomu nám posloužila hypotéza, díky níž vyvstal vzorec pro výpočet parametru κ.

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo otestovat různé verze tohoto nového σ – modelu a následně porovnat s původním $\Delta\sigma$ – model. Vyzkoušela jsem namodelovat tři verze modelu.

V první verzi jsem modelovala každoroční příchod pozitivně naladěných investorů na trh. Sledovala jsem, co se stane s cenou akcie, pokud by na trh přišli tito noví agenti s prvotním cílem nakupovat akcie. Přirozeně bych očekávala stále rostoucí vývoj ceny akcie. To se v našem případě u σ - modelu potvrdilo, zatímco původní verze vykazovala náhodné skoky ceny nahoru a dolů, cena dokonce po čtyřiceti letech poklesla.

V druhé verzi jsem testovala model s každoročním příchodem pozitivně naladěných investorů a zároveň s odchodem negativně naladěných investorů. V tomto případě vzrostl počet pozitivních investorů, a kvůli tomu nebylo pochyb, že cena bude stále růst. Došla jsem teda opět ke stejným výsledkům jako v První verzi modelu.

V třetí verzi modelu jsem modelovala každoroční 2.3% nárůst investorů z celkového počtu 10 000 investorů. Sledovala jsem, jak se vyvíjela cena akcie, pokud jsem každý rok přidávala 2.3%. Takovýto model představoval inflaci. Inflace způsobuje nárůst ceny, tudíž mé očekávání na výsledky modelu jsou takové, že ceny akcií by měly během čtyřiceti let stále růst. U mého σ – modelu se očekávání, která byla stejná jako u První a Druhé verze modelu, potvrdila.

Ve všech verzí modelu jsem pracovala s pseudonáhodnými čísly, abych se vyhnula případným falešně pozitivním výsledkům.

Z předchozích poznatků vyplývá, že oba tyto testované modely mají své výhody i nevýhody. Hlavní výhodou původního $\Delta\sigma$ – model je stádní efekt a s tím spojené náhlé propady a nárůsty cen na trhu, což je pro akciové trhy typické. Naopak jeho nevýhodou je absence růstového trendu. Nový σ – model má výhodu v růstovém trendu, ale nevýhodou je absence stádního chování a objevila se také oscilace cen. Proto by bylo vhodnější se dále zaměřit na tento model a pokusit se o nějaký tlumící efekt, který by zamezil jeho oscilaci. Co se týče konkrétních hodnot parametrů κ, hodnota 0.002 nejvíce odpovídá chování skutečného finančního trhu.

Díky tomuto tématu na diplomovou práci jsem se naučila pracovat s programem MATLAB, za což jsem velice ráda do budoucna, a také jsem si prohloubila znalosti z předmětu Finanční matematika 1 a 2.

Literatura

Seznam použité literatury:

[1] FAMA, Eugene F. Efficient Capital Markets: *A Review of Theory and Empirical Work*. The Journal of Finance. 1970, 383-417.

[2] JENSEN, Michael C.: *Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency*. Journal of Financial Economics. 1978, 6(2/3), 95-101.

[3] GLADIŠ, Daniel.: *Naučte se investovat. 2*. rozš. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1205-9

[4] Suchomelová, A.: *Behavioral Economics And Its Application to Marketing*, 2015.

[5] DIACON, P., G. DONICI a L. MAHA. *Perspectives of Economics – Behavioural Economics*. *Theoretical & Applied Economics*. 2013, iss. 7 [cit. 2018-13-27]. Dostupné z: EBSCOhost. str. 27–32 a str. 30–31

[6] WRIGHT, J. D. a D. H. GINSBURG. *Behavioral Law And Economics: Its Origins, Fatal Flaws, And Implications For Liberty*. Northwestern University Law Review. 2012, iss. 3

[7] Gelová, O.: *Inflace*, Olomouc, 2016, [cit. 2018-25-10].

[8] Cipra, T. *Matematika cenných papírů*, 1. Vyd. Praha: HZ, 2000. ISBN 80 – 86009-35-1.

[9] Bohanesová, E.: *Finanční matematika2: Stochastický proces, Brownův pohyb,* [cit. 2018-15-10]. Dostupné z: http://elearning-math.upol.cz/pluginfile.php

[10] Bohanesová, E.: *Finanční matematika2: Modelování tržní ceny akcie,* [cit. 2018-20-10]. Dostupné z: http://elearning-math.upol.cz/pluginfile.php

[11] Hron, K., Kunderová, P..: *Základy počtu pravděpodobnosti a metod matematické statistiky*, Univerzita Palackého v Olomouci, 2013.

[12] Robert, J. Shiller: *Investiční horečka: Iracionální nadšení na kapitálových trzích.* Grada publishing, 2005. ISBN 978-80-247-2482-9.

[13] Cross, R., Grinfeld, M., Lamba, H., Seaman, T.: *A Threshold Model of Investor Psychology*, 2005.

[14] Cross, R., Grinfeld, M., Lamba, H., Seaman, T.: *Stylized facts from a threshold-based heterogeneous agent model*, 2007.

[15] Lamba, H.: *Implausible equilibrium solutions in economics and finance.*

[16] Jarosil, P.: *Teorie efektivního trhu a Behaviorální finanční teorie v praxi*, Praha, 2013.

[17] Václavková, A: *Modelování finančních trhů*, Olomouc, 2017.

[18] Šmejkalová, N: *Modelování cen akcií pomocí multiagentního přístupu*, Olomouc, 2017.

Internetové zdroje:

[19] Teorie efektivních trhů, [online], [cit. 2018-06-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_efektivních_trhů.

[20] Teorie efektivních trhů, [online], [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1456/podzim2009/MPF_ACP1/um/studijni_text_12.pdf.

[21] Adam Smith, [online], [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Adam_Smith.

[22] Vilfredo Pareto, [online], [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wi ki/Vilfredo_Pareto.

[23] Behaviorální ekonomie, [online], [cit. 2018-14-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Behavior%C3%A1ln%C3%AD_ekonomie.

[24] An Introduction to Behavioral Economics, [online], [cit. 2018-16-09]. Dostupné z: https://www.behavioraleconomics.com/resources/introduction-behavioral-economics/

[25] Altruismus, [online], [cit. 2018-16-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Altruismus

[26] Náhodný proces, [online], [cit. 2018-16-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1hodn%C3%BD_proces

Přílohy

Seznam souborů pro program MATLAB:

- *delta_sigma_model*
- *sigma_model*
- *cena_n*
- *cena_ns*
- *cowardice_n*
- *prepnuti_n*
- *prepnuti_nalady*
- *nahodne_prepnuti*
- *vypocet_sigmy_n*

Popis:

- *delta_sigma_model* – původní model od Lamby pro spuštění programu, každý uživatel musí nejprve nastavit vstupní parametry, mezi které patří: počet agentů, počet iterací, počáteční cena, celkovou tržní intenzitu, délku diskrétního časového kroku, prahové hodnoty a jiné.
- *sigma_model* – nový model, kde uživatel musí nejprve nastavit vstupní parametry.
- *cena_n* – funkce pro výpočet tržní ceny akcie na konci *n*-tého intervalu podle vzorce (6.1.3) pro náhodná čísla.
- *cena_ns* - funkce pro výpočet tržní ceny akcie na konci *n*-tého intervalu podle vzorce (6.1.3) pro pseudonáhodná čísla.
- *cowardice_n* – funkce, která popisuje úroveň přepnutí investorů v čase, pokud bude překročena prahová hodnota.
- *prepnuti_n* – funkce popisuje přepnutí *i*-tého investora na trhu.
- *vypocet_sigmy_n* – funkce, která popisuje náladu na trhu.

Funkce pro spuštění programů pro jednotlivé verze modelu:

1. verze modelu

- *delta_sigma_model*
- *sigma_model*
- *cena_ns*
- *cowardice_n*
- *prepnuti_n*
- *vypocet_sigmy_n*

2. verze modelu

- *delta_sigma_model*
- *sigma_model*
- *cena_ns*
- *cowardice_n*
- *prepnuti_n*
- *vypocet_sigmy_n*

3. verze modelu

- *delta_sigma_model*
- *sigma_model*
- *cena_ns*
- *cowardice_n*
- *prepnuti_n*
- *vypocet_sigmy_n*