

**Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta ekonomická**

**OCEŇOVÁNÍ PODNIKU A VÝZKUM
PREDIKCE POHYBU CEN JEHO AKCIÍ**

Ing. Mgr. Milan Svoboda

**disertační práce
k získání akademického titulu doktor
v oboru Podniková ekonomika a management**

**Školitel: doc. RNDr. Ing. Ladislav Lukáš, CSc.
Katedra ekonomie a kvantitativních metod**

Plzeň 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma:

" Oceňování podniku a výzkum predikce pohybu cen jeho akcií "

vypracoval samostatně, za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

V Plzni dne 20. 8. 2014

.....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat doc. RNDr. Ing. Ladislavu Lukášovi, CSc. za cenné rady a podněty, které mi pomohly při zpracování této práce.

Anotace

Téma této disertační práce je: "Oceňování podniku a výzkum predikce pohybu cen jeho akcií". Cílem práce je aplikování Markovových řetězců ke stochastickému modelování krátkodobé predikce pohybu cen akcií a použitelnost těchto predikčních modelů pro aktivní obchodování na akciových trzích. Práce je rozčleněna do tří částí. V první části se práce jsou stručně popsány přístupy, které jsou používány k oceňování akcií (podniku). Ve druhé části je popsána metodika výzkumu včetně dat, na nichž je výzkum prováděn. Ve třetí nejrozsáhlejší části práce jsou popsány jednotlivé modely, na modelech splňujících zvolená kritéria jsou definovány obchodní strategie a pro tyto strategie je spočítáno dosažené zhodnocení, které je porovnáváno s pasivní obchodní strategií.

Klíčová slova: Oceňování akcií, analýza Markovových řetězců, matice pravděpodobnosti přechodu, obchodní strategie.

Annotation

The topic of this dissertation is "Business valuation and its share price movement prediction research". The aim of this paper is application of Markov chains to stochastic modelling of short-term prediction of share price movement and applicability of these prediction models for active trading at share markets. The paper is divided into three parts. The first part is dedicated to the concise description of approaches which are used for valuations of (business) shares. The second part describes the research methods including the data the research has been carried out with. The most extensive third part is focused on the description of particular models. On the models which meet the chosen criterions the trading strategies are defined and for these strategies the achieved revaluation is calculated, which is in addition compared to a passive business strategy.

Key words: Valuation of shares, Markov chain analysis, transition probability matrix, trading strategies.

Resumen

El tema de esta disertación es “La valuación de empresas y la investigación de la predicción del movimiento de precio de sus acciones”. El objeto de este trabajo es aplicar cadenas de Markov a la modelación estocástica de la predicción temporal del movimiento de acciones y también utilizar estos modelos de predicción en negocio activo en los mercados de acciones. El trabajo está dividido en tres partes. En la primera parte se describen concisamente los enfoques que se utilizan para evaluar acciones (de empresas). En la segunda parte están caracterizados los métodos de la investigación incluyendo los datos con los que se ha realizado la investigación. En la tercera, la más extensa parte se describen modelos particulares. En los modelos que cumplen los criterios elegidos se determinan las estrategias comerciales y para estas estrategias se calcula la valorización conseguida que se compara con la estrategia comercial pasiva.

Palabras clave: valorización de acciones, análisis de cadenas de Markov, matriz de la probabilidad de transición, estrategias comerciales.

Seznam tabulek

Tabulka 2.1	Vyplácené dividendy	50
Tabulka 2.2	Ilustrace vztahů P_t , Y_t a K_t	51
Tabulka 3.1	Pravděpodobnosti přechodu v modelu 1.....	53
Tabulka 3.2.	Pravděpodobnosti přechodu pro model 2	55
Tabulka 3.3	Složky stacionárního vektoru	56
Tabulka 3.4	Relativní četnost jednotlivých stavů.....	57
Tabulka 3.5	Matice pravděpodobnosti přechodu pro náhodně generovaný MŘ.....	57
Tabulka 3.6	Hodnoty statistiky pro jednotlivé stavy v náhodně generovaném MŘ.....	58
Tabulka 3.7	Hodnoty testové statistiky pro jednotlivé stavy v modelu 2.....	59
Tabulka 3.8	Pravděpodobnosti přechodu pro model 3	60
Tabulka 3.9	Pravděpodobnosti přechodu pro model 3 po vyfiltrování	61
Tabulka 3.10	Průměrná pravděpodobnost poklesu.....	62
Tabulka 3.11	Průměrný počet výskytů jednotlivých stavů.....	63
Tabulka 3.12	Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k=0,6$	66
Tabulka 3.13	Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,0$	67
Tabulka 3.14	Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,4$	68
Tabulka 3.15	Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,8$	69
Tabulka 3.16	Souhrnné výsledky obchodních strategií	75
Tabulka 3.17	Modifikace 1 - zhodnocení obchodních strategií pro $k = 1,0$	79
Tabulka 3.18	Souhrnné výsledky modifikované strategie 1	83
Tabulka 3.19	Modifikace 2 - zhodnocení obchodních strategií pro $k = 1,0$ a $\gamma = 1,5$...	85
Tabulka 3.20	Souhrnné výsledky modifikované strategie 2 pro vybrané modely.....	86
Tabulka 3.21	Modifikace 3 - zhodnocení obchodních strategií pro $k = 1,0$	88
Tabulka 3.22	Souhrnné výsledky modifikované strategie 3.....	90
Tabulka 4.1	Směrodatná odchylka pravděpodobností přechodu	93
Tabulka 4.2	Rozdíly ve směrodatných odchylkách	96
Tabulka 4.3	Průměrná pravděpodobnost poklesu pro modely $k \cdot s_{t,21}$	97
Tabulka 4.4	Průměrný počet výskytů jednotlivých stavů na modelech $k \cdot s_{t,21}$	98
Tabulka 4.5	Pravděpodobnosti přechodu pro $k=1,2$	99
Tabulka 4.6	Souhrnné výsledky pro strategie modelované na $s_{t,21}$	100
Tabulka 4.7	Zhodnocení obchodních strategií na modelech $s_{t,21}$	102
Tabulka 4.8	Souhrnné výsledky obchodních strategií na modelech $k \cdot s_{t,10}$	106

Tabulka 4.9	Zhodnocení obchodních strategií na modelech $s_{t,10}$	107
Tabulka 4.10	Souhrnné výsledky obchodních strategií na modelech $s_{t,30}$	109
Tabulka 5.1	Roční zhodnocení modelových portfolií	112
Tabulka 5.2	Dosažená zhodnocení portfoliových obchodních strategií	113
Tabulka 5.3	Průměrné zhodnocení vybraných obchodních strategií	114
Tabulka 5.4	Dosažené zhodnocení po započítání poplatků	116

Seznam grafů

Graf 1.1	Rozdělení nasimulovaných současných hodnot	30
Graf 1.2	Odhad vývoje ceny elektrické energie	32
Graf 1.3	Skutečný vývoj ceny elektrické energie	32
Graf 1.4	Vývoj ceny akcie ČEZ.....	33
Graf 2.1	Zhodnocení akcií v období 2006 -2012.....	49
Graf 2.2	Zhodnocení akcií včetně dividend v období 2006 -2012	50
Graf 3.1	Vývoj zhodnocení akcií O2 pro vybrané obchodní strategie	71
Graf 3.2	Vývoj zhodnocení akcií ČEZ pro vybrané obchodní strategie.....	72
Graf 3.3	Vývoj zhodnocení akcií KB pro vybrané obchodní strategie.....	74
Graf 3.4	Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie O2.....	81
Graf 3.5	Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ	81
Graf 3.6	Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie KB	82
Graf 3.7	Modifikace 2 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ	87
Graf 3.8	Modifikace 3 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ	89
Graf 3.9	Modifikace 3 - porovnání vybraných strategií pro akcie O2.....	90
Graf 4.1	Vývoj klouzavé směrodatné odchylky denních změn cen akcií.....	92
Graf 4.2	Pravděpodobnosti přechodu mezi vybranými stavy v jednotlivých letech	94
Graf 4.3	Pravděpodobnosti přechodu mezi vybranými stavy definováno na $s_{t,21}$	95
Graf 4.4	Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie O2.....	104
Graf 4.5	Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie ČEZ.....	105
Graf 4.6	Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie KB	105
Graf 5.1	Vývoj zhodnocení modelových portfolií.....	111

Obsah

Úvod.....	11
1 Oceňování podniku	14
1.1 Fundamentální analýza.....	15
1.1.1 Majetkové ocenění podniku.....	15
1.1.2 Metody založené na analýze trhu.....	17
1.1.3 Výnosové modely	18
1.2 Psychologická analýza	35
1.3 Technická analýza.....	36
1.4 Teorie efektivních trhů	37
1.5 Shrnutí.....	38
2 Metodika	40
2.1 Markovovy řetězce.....	40
2.2 Metodika výzkumu.....	45
2.3 Datová základna	47
2.3.1 Vybrané společnosti.....	47
2.3.2 Vývoj cen sledovaných akcií	49
3 Homogenní modely.....	53
3.1 Modely stavového prostoru.....	53
3.1.1 Model stavového prostoru 1	53
3.1.2 Model stavového prostoru 2	55
3.1.3 Model stavového prostoru 3	59
3.2 Obchodní strategie	64
3.2.1 Obchodní model 1.....	66
3.2.2 Obchodní model 2.....	67
3.2.3 Obchodní model 3.....	68
3.2.4 Obchodní model 4.....	69
3.3 Grafická analýza vybraných výsledků	70
3.3.1 Akcie O2	70

3.3.2	Akcie ČEZ	71
3.3.3	Akcie KB	73
3.4	Souhrnné výsledky	75
3.5	Modifikované obchodní strategie.....	77
3.5.1	Modifikovaná strategie 1	78
3.5.2	Modifikovaná strategie 2	84
3.5.3	Modifikovaná strategie 3	87
3.6	Homogenní modely – shrnutí.....	91
4	Adaptivní modely	92
4.1	Adaptivní modely stavového prostoru	97
4.2	Obchodní strategie	100
4.2.1	Strategie definované na $s_{t,21}$	100
4.2.2	Strategie definované na $s_{t,10}$	106
4.2.3	Modely definované na $s_{t,30}$	108
4.3	Adaptivní modely - shrnutí	109
5	Modelové portfolio	110
5.1	Výnosy portfolií	110
5.2	Transakční náklady	115
	Závěr	118
	Použité zdroje	121

Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku oceňování podnikových akcií a výzkum predikce pohybu cen těchto akcií. K vybudování podniku a jeho rozšiřování je potřeba kapitál (peníze). Jednou z možností, jak si podnik může opatřit kapitál, je vydání akcií veřejnou nabídkou prostřednictvím burzy. Tyto akcie jsou pak na burze obchodovány. Potenciální akcionáři (investoři) řeší otázky, jaká je správná cena akcie a jaká akcie přinese největší zhodnocení. Situace je o to složitější, že podnikové akcie nenakupují pouze dlouhodobí investoři, ale i krátkodobí investoři, takzvaní spekulanti. Zatímco dlouhodobí investoři sledují dlouhodobý zisk v podobě dividend nebo dlouhodobého růstu ceny akcie, spekulanti jsou zaměřeni na krátkodobé zisky, které realizují prostřednictvím cenových výkyvů.

Jednotliví investoři pro odhad budoucí ceny akcie mohou použít několik přístupů. Tyto přístupy můžeme z metodologického hlediska rozdělit do čtyř základních skupin:

- fundamentální analýza,
- technická analýza,
- psychologická analýza,
- teorie efektivních trhů.

Cena akcie se na burze vytváří kontinuálním způsobem na základě vzájemné interakce mezi poptávkou a nabídkou. Tato nabídka a poptávka je generována různými typy investorů. Tito investoři mají různé investiční horizonty, používají rozličné metody pro odhad budoucích příjmů, jež jim poplynou z vlastnictví akcií, mají odlišnou averzi k riziku, různou výši kapitálu. Každý investor sleduje své záměry a má různé důvody pro nákup či prodej dané akcie. Nabídka či poptávka po dané akcií nemusí být vytvářena jen z důvodu subjektivní představy některého účastníka na trhu o podhodnocenosti nebo nadhodnocenosti dané akcie, ale i z mnoha jiných důvodů, jako například potřeba obstarání si peněz, modifikace investiční strategie, získání nového kapitálu sekundární veřejnou nabídkou, nucené nákupy či prodeje při obchodech s vypůjčenými aktivy, výkup akcií samotnou akciovou společností, atd. Současné působení těchto mnoha faktorů má za následek to, že cenu akcie na burze můžeme považovat za náhodnou veličinu.

Cíle práce

Teoretickým východiskem pro definování cílů práce je předpoklad, že cena akcie kolísá kolem své neznámé rovnovážné hodnoty. O podstatě tohoto kolísání se vedou diskuze, proto uvádíme tři z možných zdrojů tohoto kolísání:

- 1) Metody fundamentální analýzy, především dnes nepoužívanější výnosové modely, které jsou po teoretické stránce velice dobře propracované, nejsou schopny jednoznačně ocenit podnik. Výsledné ocenění akcií (podniku) stojí na předpokladech budoucího vývoje. Budoucí vývoj však nejsme schopni dostatečně dobře predikovat a tedy, co oceňovatel, to jiné nastavení parametrů oceňovacího modelu. Nemáme jednu hodnotu, ale určité rozpětí těchto hodnot a v tomto rozpětí cena akcie kolísá.
- 2) Na trhu není žádná nová informace. Kolísání je způsobeno nerovnováhou mezi poptávkou a nabídkou, která je vytvářena z jiných důvodů než subjektivní představy některého účastníka na trhu o podhodnocenosti nebo nadhodnocenosti dané akcie. Prodávající, chce-li prodat, musí nabídnout slevu a tím vychýlí cenu z rovnovážné polohy. Čím více se cena vychýlí od své rovnovážné polohy, tím se stává pro více investorů podhodnocena, což vyvolá zvýšenou poptávku a následný růst ceny a posun zpět k rovnovážné poloze.
- 3) Byla zveřejněna nová informace mající vliv na vnitřní hodnotu akcie. Akcionáři tuto informaci vyhodnocují s různou rychlostí, význam této informace a její dopad na vnitřní hodnotu akcie vnímají subjektivně. Vedle racionálního vyhodnocování dopadu informace zde působí faktory psychologické a technické (nastavení automatických obchodních příkazů). To má za následek, že reakce na tuto informaci je nejprve neadekvátní, přehnaná a později přichází korekce.

Hlavním cílem této disertační práce je stochastické modelování krátkodobého pohybu cen akcií s využitím teorie Markovových řetězců a nalezení takových predikčních modelů, které by byly využitelné k tvorbě obchodních strategií pro aktivní obchodování na burze.

Dílčí cíle práce jsou:

- ukázat, že oceňovací modely fundamentální analýzy, v závislosti na zvolených předpokladech modelu, které nelze jednoznačně určit, poskytují široké rozpětí výsledných cen,
- rozporovat teorii efektivních trhů, neboť podle této teorie vykonávají trhy náhodnou procházku a predikovatelnost jejich pohybu je nemožná,
- nalézt vhodné modely stavového prostoru, ve kterých se budou vyskytovat stavy s vysokou pravděpodobností přechodu do požadovaných stavů,
- definovat na vybraných modelech vhodné obchodní strategie, které budou překonávat pasivní strategii "kup a drž".

Metodika práce

Práce je tematicky rozčleněna do tří částí. V první části práce budou stručně charakterizovány jednotlivé přístupy k oceňování akcií. Více prostoru budeme věnovat fundamentální analýze a hlavně výnosovým metodám, které se dnes nejvíce používají k ocenění podniku. Popíšeme, z jakých principů tyto metody vycházejí a ukážeme na praktická úskalí, které tyto metody přinášejí. Druhá část práce je věnována metodice výzkumu. V krátkosti se zde zmíníme o teorii Markovových řetězců, zmíníme se o datové základně, na které budeme výzkum provádět a o postupu při zpracování dat a propočítávání jednotlivých modelů. Třetí nejobsáhlejší praktická část práce je věnována výzkumu. Jsou zde navrhovány a propočítány jednotlivé modely. Na nejvhodnější modely jsou pak aplikovány obchodní strategie a propočítána a diskutována jejich úspěšnost.

1 Oceňování podniku

Aby mohl podnik zahájit svou činnost, potřebuje mít finanční zdroje (kapitál). Kapitál členíme na vlastní a cizí. Financování podniku cizím kapitálem je financování dluhem. Dluh na jedné straně pomáhá zvyšovat efektivitu vlastního kapitálu, na druhé straně vystavuje podnik zvýšenému riziku. Z dluhu musí podnik pravidelně platit úroky a to i v době, kdy se firmě nedaří. Dluh se také musí v určité době splatit. Splacení dluhu se často řeší novým dluhem (podnik vydá nové dluhopisy a ze získaných peněz splatí stávající), ale opět v době, kdy se podniku nedaří, je nový dluh drahý (vyšší úroková sazba) nebo podniku nejsou věřitelé vůbec ochotni půjčit. O tom, jak dluhové financování zhoršuje situaci podniku v okamžiku, kdy se neplánovaně sníží příjmy, ilustrují případy problémů některých leteckých společností po 11. září 2011 (pokles poptávky po letecké přepravě) nebo současné problémy NWR (vlastník OKD, pokles cen uhlí). Je-li společnost financována převážně vlastním kapitálem, má mnohem větší šanci tuto nepříznivou dobu překonat. Je to dáno tím, že vlastní kapitál podnik nemusí vracet a v době, kdy se podniku nedaří, nemusí ani vyplácet akcionářům dividendy.

Co však vede domácnosti k investování do akcií? Vedle "bezrizikových", ale také nízkovýnosových možností vkladů u bank, je jednou z dalších možností investování do akcií. Při investování do akcií mohou akcionáři realizovat dva druhy výnosů. Prvním výnosem jsou dividendy. Dividenda je akcionářům vyplacený podíl na zisku. Druhým výnosem pro akcionáře může být příjem z prodeje akcie, kdy prodá za vyšší cenu, než byla cena nákupní. Spekulanti mohou samozřejmě vydělávat i při poklesu ceny, takzvaným nákupem nakrátko. Pokud očekávají pokles ceny akcie, akcie si půjčí a vzápětí prodají, následně počkají na pokles ceny, levněji nakoupí a následně akcie vrátí. Jak ale určit, které akcie jsou vhodné k nákupu? Jaké je "správná cena" akcie (podniku)? Jakým směrem se bude cena akcie pohybovat?

Jak již bylo řečeno v úvodu, k oceňování akcií a odhadu budoucího vývoje ceny může investor použít několik přístupů (fundamentální analýza, technická analýza, psychologická analýza, teorie efektivních trhů). Nyní jednotlivé přístupy stručně popíšeme.

1.1 Fundamentální analýza

Jedná se nejkompexnější přístup k objasnění pohybu cen akcií. Pod pojmem fundamentální analýza si lze představit rozsáhlý soubor metod sledující jediný cíl, a to jak správně stanovit hodnotu podniku. Pro stanovení správné ceny jsou využívány podnikové faktory (účetní údaje, firemní plány, kvalita managementu, atd.), odvětvové faktory (analýza konkurenčního prostředí, legislativní a ekonomické prostředí, rychlost technologických změn a z toho vyplývající investiční náročnost, atd.) a makroekonomické faktory (úrokové míry, měnové kurzy, inflace, nezaměstnanost, růst ekonomiky, atd.).

Klíčovým pojmem ve fundamentální analýze je termín vnitřní hodnota akcie. Vnitřní hodnota představuje správnou (férovou) cenu, za níž by měla být akcie nyní obchodována. Je-li cena na burze nižší než její vnitřní hodnota, je akcie podhodnocena a její cena by v budoucnu měla růst. Je-li cena na burze vyšší než její vnitřní hodnota, je akcie nadhodnocena a její cena by v budoucnu měla klesat.

Metody fundamentální analýzy (oceňování podniku) jsou teoreticky velmi podrobně rozpracovány a v literatuře dobře popsány. V této práci čerpáme hlavně z následujících zdrojů Damodaran (2006), Kislíngrová (2001), Mařík (2007 a 2011), Veselá (2003). Ze široké škály metod a přístupů se v této práci zmíníme o třech, pro nás podstatných, metodách:

- ocenění podniku na základě analýzy majetku (majetkové ocenění),
- ocenění podniku na základě analýzy trhu (relativního oceňování),
- ocenění podniku na základě analýzy výnosů (výnosové metody).

O prvních dvou metodách se zmíníme jen velmi stručně, třetí metodě, jakožto dnes nejpoužívanější metodě pro cílování cen akcií, se budeme věnovat více.

1.1.1 Majetkové ocenění podniku

Majetkové nebo také bilanční modely vycházejí z účetních výkazů. Majetková hodnota podniku je definována jako součet všech individuálně oceněných položek majetku. Od tohoto součtu je odečten součet všech individuálně oceněných závazků. Podle toho, jakým způsobem a v jaké situaci oceňujeme podnik, rozlišujeme následující základní metody:

- metoda účetní hodnoty,
- metoda substanční, věcné hodnoty,
- metoda likvidační hodnoty.

Metoda účetní hodnoty

Účetní hodnota společnosti je určena jako rozdíl mezi aktivy společnosti a cizím kapitálem. Pokud tuto hodnotu vydělíme počtem akcií, získáme účetní hodnotu jedné akcie (BV book value). Proti použití účetní metody existuje množství výhrad:

- účetní hodnota pracuje v historických cenách, což většinou neodpovídá reálné ceně podniku v současnosti,
- účetní hodnota vůbec nic nevyovídá o budoucích ziscích společnosti,
- metoda je velmi citlivá na používanou účetní metodiku a principy,
- v účetní rozvaze obvykle nebývá zahrnut nehmotný majetek, který v současnosti tvoří významnou část podnikových aktiv.

Tato metoda se k přímému ohodnocení nepoužívá, nabízí však jeden užitečný pohled. Účetní hodnota je nominálním vyjádřením původního rozsahu investovaného kapitálu (vlastní jmění). Pro akcionáře je žádoucí, aby cena akcie na trhu byla větší než její účetní hodnota.

Metoda substanční

Tato metoda by nám měla dát odpověď na otázku, kolik by nás stálo vybudování stejného podniku dnes. Metoda vychází z účetní hodnoty podniku, ale jednotlivé položky, které jsou v účetní hodnotě zahrnuty, se přeceňují na aktuální reprodukční ceny stejného nebo obdobného majetku. Od této hodnoty odečteme dluhy. Dále k takto upravené účetní hodnotě je nutno připočítat hodnotu nehmotného majetku, který není vykazován v bilanci. Patří sem například hodnota kvalifikace zaměstnanců, úroveň podnikové kultury, hodnota patentů, kvalita managementu, atd.

Pokud bychom byli schopni určit substanční hodnotu podniku, můžeme pak na tuto hodnotu pohlížet jako na horní mez pro ocenění podniku. Nikomu by se při racionálním přístupu nevyplatilo za podnik platit víc, než na kolik by přišlo vybudování zcela totožného podniku.

Metoda likvidační

Podstata likvidační metody hodnoty podniku spočívá ve zjištění hodnoty majetku podniku k určitému okamžiku, kdy se předpokládá ukončení činnosti podniku. Likvidační hodnota představuje množství peněz, které zůstane vlastníkům, pokud rozprodá podnik veškerá svá aktiva, uhradí všechny své závazky a likvidační náhrady. Likvidační hodnotu lze chápat jako dolní mez pro ocenění podniku. Při racionálním přístupu, pokud by tržní cena klesla pod likvidační hodnotu, by bylo výhodné podnik koupit a provést likvidaci, neboť výnos z likvidace by převyšoval kupní cenu.

1.1.2 Metody založené na analýze trhu

Jedná se o relativně jednoduché metody, které jsou drobnému akcionáři nejbližší. Podstata těchto metod spočívá v tom, že hodnota oceňované společnosti se odvodí od hodnoty srovnatelné společnosti. Postup při stanovení ceny společnosti se provádí v následujících krocích:

1. Potřebujeme nalézt podniky srovnatelné s oceňovaným podnikem. Hledané podniky by kromě toho, že jsou obchodovatelné na kapitálových trzích, měly být s oceňovaným podnikem srovnatelné z hlediska výnosnosti a rizika. Šance najít takový podnik je malá. Proto tato dvě základní hlediska nahrazujeme několika dílčími hledisky, jako jsou: obor podnikání, velikost firmy, míra zadlužení, struktura odběratelů a dodavatelů, používané technologie, atd.
2. Hodnotu srovnatelného podniku musíme převést na normované (standardizované) ukazatele. V literatuře (např. Mařík 2007) bývá tento ukazatel nazýván násobitel. Pro normování se používá podíl a hodnota podniku (akcie) je vyjádřena jako násobek vybrané vztahové veličiny (např. zisku). Jinak řečeno, násobitel je poměr hodnoty podniku k nějaké vztahové veličině.

$$\text{Násobitel} = \frac{\text{hodnota}}{\text{Vztahová veličina}}$$

3. Porovnat standardizované veličiny srovnatelného a oceňovaného podniku.

Mezi nejčastěji používané násobitele patří:

$$P/E \text{ poměr} = \frac{\text{cena akcie}}{\text{zisk na akcii}} ,$$

$$P/EBIT \text{ poměr} = \frac{\text{cena akcie}}{\text{zisk na akcii před úroky a daní}} ,$$

$$P/CF \text{ poměr} = \frac{\text{cena akcie}}{\text{cash flow na akcii}} ,$$

$$P/D \text{ poměr} = \frac{\text{cena akcie}}{\text{dividenda na akcii}} ,$$

$$P/BV \text{ poměr} = \frac{\text{cena akcie}}{\text{účetní hodnota na akcii}} .$$

Výpočet hodnoty oceňovaného podniku (akcie) po vybrání násobitele a zjištění jeho hodnoty u srovnatelných podniků je jednoduchý:

$$H_A = \text{Vztahová veličina}_{OP} \cdot \text{Násobitel} .$$

Vybereme-li například jako násobitele P/E, určíme hodnotu akcie oceňovaného podniku následovně:

$$H_A = \text{Zisk}_{OP} \cdot P/E_{PP} ,$$

kde: H_A je vypočítaná hodnota akcie oceňovaného podniku,

Zisk_{OP} je zisk na akcii pro oceňovaný podnik,

P/E_{PP} je průměrná hodnota násobitele podobných podniků.

1.1.3 Výnosové modely

Jedná se o velkou skupinu modelů (metod), které mají v investiční praxi významné místo. Tyto modely respektují dva základní ekonomické poznatky:

- časovou hodnotu peněz,
- hodnota aktiva je dána očekávaným užitkem, který nám aktivum přináší.

Užitek je v případě držení akcie dán volnými peněžními toky (free cash flow), který podnik vytváří a může rozdělit mezi investory.

V literatuře (např. Kislingerová 2003) bývají tyto modely označovány zkratkou DCF (discounted cash flow). Princip těchto modelů spočívá v tom, že současná hodnota podniku je dána součtem současných hodnot budoucích výnosů (volných peněžních toků). Hodnotu podniku můžeme obecně vyjádřit následujícím vztahem:

$$H_0 = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^{t_i}}, \quad (1.1)$$

- kde H_0 je současná hodnota aktiva,
 CF_i je hodnota i -tého volného (disponibilního) finančního toku, který nastane v čase t_i ,
 t_i je doba v letech a zlomcích roku, která uplyne mezi okamžikem nákupu akcie a okamžikem, kdy je vyplacena i -tá dividenda,
 r je kalkulovaná (požadovaná) diskontní míra,
 n je počet let existence podniku, v praxi se obvykle předpokládá, že podnik bude existovat nekonečně dlouho.

1.1.3.1 Vymezení finančních toků

Nyní se zaměříme na čitatele zlomku ve vzorci 1.1 a blíže budeme konkretizovat, co lze dosadit za finanční tok. Za finanční tok z hlediska stanovení ceny podniku můžeme považovat:

- a) volný peněžní tok pro vlastníky a věřitele, to znamená volný peněžní tok do podniku jako celku, označujeme zkratkou FCFF (Free Cash Flow to the Firm),
- b) volný peněžní tok pouze pro vlastníky FCFE (Free Cash Flow to the Equity),
- c) za finanční tok můžeme považovat dividendu, v takovém případě mluvíme o diskontním dividendovém modelu DDM (Dividend Discount Model),
- d) ekonomickou přidanou hodnotu EVA (Economic Value Added), představuje peněžní tok po započtení implicitních nákladů akcionáře, vychází z čistého ekonomického zisku.

Dále se podíváme na konkrétní vymezení jednotlivých variant finančních toků. Při určení finančních toků vycházíme z provozního zisku před úroky a daní (dle Kislingarová 2003), ačkoli jiné prameny uvádějí, že jde o zjednodušený postup. Toto zjednodušení však nemá žádný vliv na cíl, který sledujeme. Při vymezení finančních toků se některé proměnné vyskytují opakovaně, jejich význam je vysvětlen pouze poprvé.

ad a) Volný peněžní tok pro vlastníky a věřitele je hodnota, která může být rozdělena mezi akcionáře a věřitele po zajištění nezbytně nutných provozních a investičních výdajů. $FCFF$ je možné stanovit následujícím způsobem:

$$FCFF_t = EBIT_t(1-d_t) + O_t - \Delta WC_t - I_t, \quad (1.2)$$

kde $FCFF_t$ je volný peněžní tok pro vlastníky a věřitele,
 $EBIT_t$ (Earnings Before Interest and Tax) je provozní zisk před úroky a daní,
 d_t je sazba daně z příjmů právnických osob,
 O_t jsou odpisy a ostatní náklady, které v daném období nemají charakter výdajů,
 ΔWC_t je změna čistého pracovního kapitálu,
 I_t jsou investice (brutto).

ad b) Vhodnou následující úpravou $FCFF$ získáme volný peněžní tok pro vlastníky.

$$FCFE_t = FCFF_t - U_t(1-d_t) - SCK_t + NCK_t, \quad (1.3)$$

kde $FCFE_t$ je volný peněžní tok pro vlastníky,
 U_t jsou zaplacené úroky z cizího kapitálu snižené o daňový štít,
 SCK_t jsou splátky cizího kapitálu (dluhu),
 NCK_t je nově získaný cizí kapitál (dluh).

ad c) Dividenda je obvykle vyplácena z čistého zisku ($EBIT$ snížen o vyplacené úroky a odvedenou daň). Firmy obvykle zveřejňují svou daňovou politiku, tj. výplatní poměr, který stanovuje, jak velká část zisku bude vyplácena akcionářům. Dividenda je dále zdaněna srážkovou daní. Výši vyplacené dividendy lze tedy vyjádřit následujícím způsobem:

$$D_t = (p_t (EBIT_t - U_t)(1 - d_t))(1 - d_{s,t}), \quad (1.4)$$

kde D_t jsou vyplacené dividendy,

p_t je výplatní poměr,

$d_{s,t}$ je srážková daň.

ad d) Ekonomickou přidanou hodnotu *EVA* určíme jako rozdíl mezi provozním ziskem po zdanění a součinem vážených kapitálových nákladů a výší investovaného kapitálu, což můžeme vyjádřit následujícím způsobem:

$$EVA_t = NOPAT_t - WACC_t \cdot K_t, \quad (1.5)$$

kde $NOPAT_t$ (Net Operating Profit After Tax) je provozní zisk po zdanění,

K_t je celkový investovaný kapitál (vlastní i úročený cizí kapitál),

$WACC_t$ (Weighted Average Cost of Capital) jsou průměrné (vážený průměr) kapitálové náklady, které počítáme podle vztahu:

$$WACC_t = r_{d,t}(1 - d_t) \frac{CK_t}{K_t} + r_{e,t} \frac{VK_t}{K_t}, \quad (1.6)$$

kde $r_{d,t}$ jsou průměrné náklady na cizí kapitál,

CK_t je používaný cizí úročený kapitál,

$r_{e,t}$ jsou náklady na akciový kapitál respektive požadovaná míra výnosnosti,

VK_t je vlastní kapitál.

1.1.3.2 Dvoufázová metoda

Problémem je, jak odhadovat budoucí finanční toky po celou dobu životnosti podniku. Je samozřejmě nemožné odhadovat finanční toky pro jednotlivá léta. Tento problém bývá řešen použitím tzv. dvoufázové metody. Principem této metody je, že budoucí období je rozděleno na dvě části (fáze). První fázi tvoří období, ve kterém jsme schopni vypracovat prognózy finančních toků pro jednotlivé roky. Délka této fáze závisí na konkrétních podmínkách u jednotlivých podniků. Jako vhodnou délku období první fáze uvádějí evropští autoři délku 3 až 6 let, naproti tomu američtí autoři uvádějí 8 až 15 let (Mařík 2007). Hodnota podniku za období ve druhé fázi, se v literatuře označuje jako pokračující hodnota. Pro její stanovení využíváme průměrné tempo růstu. Pokud bude-

me očekávat, že finanční toky porostou po dobu následujících n let tempem q , bude současná hodnota budoucích finančních toků dána níže uvedenou rovnicí:

$$H_0 = \frac{FC_1}{(1+r)} \cdot \left[1 + \frac{(1+q)}{(1+r)} + \frac{(1+q)^2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{(1+q)^{n-1}}{(1+r)^{n-1}} \right] \quad (1.7)$$

Výraz uvedený v hranaté závorce je součtem geometrické posloupnosti s kvocientem $\frac{(1+q)}{(1+r)}$. Za předpokladu, že $r > q$ a pokud je dostatečně velké n (blíží se k nekonečnu),

pak s využitím vztahu pro součet členů nekonečné geometrické posloupnosti dostaneme vztah:

$$H_0 = \frac{FC_1}{(1+r)} \cdot \frac{-1}{\frac{1+q}{1+r} - 1} \quad (1.8)$$

a po algebraických úpravách dostaneme pro pokračující hodnotu podniku vzorec (Gordonův):

$$H_0 = \frac{FC_1}{(r-q)} \quad (1.9)$$

H_0 je diskontovaná hodnota k okamžiku ukončení první fáze, tedy v čase T a FC_1 je finanční tok v roce $T+1$. Diskontováním pokračující hodnoty do současnosti $T=0$ a přičtením diskontovaných finančních toků za období první fáze dostaneme následující vztah pro hodnotu podniku s použitím dvojfázové metody:

$$H_0 = \sum_{i=1}^T \frac{FC_i}{(1+r)^i} + \frac{FC_{T+1}}{(r-q)(1+r)^T} \quad (1.10)$$

kde T je délka první fáze v letech.

Musíme ještě odhadnout finanční tok v roce $T+1$, tedy v roce, pro který už nemáme určenou prognózu finančního toku. Jednou z možností je, pokud finanční tok v roce T není ovlivněn nějakými mimořádnými událostmi, odhadnout peněžní tok v čase $T+1$

jako $FC_{T+1} = FC_T \cdot (1+q)$. Následným dosazením do vztahu 1.10 dostáváme pro hodnotu podniku s využitím dvojfázové metody vztah:

$$H_0 = \sum_{i=1}^T \frac{FC_i}{(1+r)^i} + \frac{FC_T \cdot (1+q)}{(1-q)(1+r)^T} . \quad (1.11)$$

Pro úplnost ještě uvedeme, že někdy bývá druhá fáze rozdělena na dvě a to v případě, kdy v průběhu druhé fáze očekáváme změnu tempa růstu. V takovém případě hovoříme o třífázovém modelu.

1.1.3.3 Odhad tempa růstu q

Tempo růstu q je důležitý parametr, který výrazně ovlivňuje výsledné ocenění podniku. Ke stanovení tempa růstu existují tři základní přístupy:

- a) z historických údajů,
- b) na základě analýzy vnitřních předpokladů,
- c) kvalifikovaný odhad analytiků.

ad a) Při tomto přístupu vycházíme z časové řady historických temp růstu. K odhadu budoucího tempa růstu q použijeme střední hodnotu (geometrický průměr nebo medián). Předpokladem pro použití této metody je očekávání, že i budoucí vývoj bude podobný vývoji minulému. Jinak řečeno, že nedošlo ke změnám ve vnitřním i vnějším prostředí podniku. V současnosti tyto předpoklady v rychle se měnícím prostředí (technologie, konkurence, legislativa,...), bývají málokdy splněny.

ad b) Tento přístup, na rozdíl od předešlého, nehledí do minulosti, ale do budoucnosti. Sledujeme rozhodnutí podniku, která do jisté míry předurčují jeho budoucí vývoj. V tomto přístupu se zabýváme tím, co stojí za růstem volných finančních toků. Obecně můžeme říct, že jedním z předpokladů růstu finančních toků je výše čistých investic a jejich rentabilita, což jsou faktory, které může podnik ovlivnit. Rentabilitu čistých investic r_I vypočítáme:

$$r_I = \frac{\text{celkový přírůstek provozního zisku po daních}}{\text{přírůstek celkového investovaného kapitálu v předchozím roce}} .$$

Upravíme-li Gordonův vzorec 1.9 o čisté investice a jejich rentabilitu, dostáváme například pro metodu FCFF následující vztah pro pokračující hodnotu:

$$H_0 = \frac{PVT_{T+1} \cdot \left(1 - \frac{q}{r_I}\right)}{r - q}, \quad (1.12)$$

kde PVT_{T+1} je čistý provozní zisk.

Vzorce 1.9 a 1.12 jsou po obsahové stránce stejné, druhý však vyjadřuje faktory růstu hodnoty podniku. Podíl q/r_I z dlouhodobého hlediska odpovídá tzv. míře investic, což je vlastně podíl čistých investic na upraveném provozním zisku:

$$\text{míra investic} = \frac{\text{čisté investice}}{PVT} = \frac{q}{r_I}$$

ad c) Další možností, jak odhadnout tempo růstu podniku je využít kvalifikovaný názor analytiků. Odhady analytiků vychází z historických dat, vnitřního stavu podniku (zadluženost, investice, management, ...), jeho okolí (vývoj odvětví, konkurence, technologie) a makroekonomického prostředí (legislativa, nezaměstnanost, úrokové sazby, ...). Při odhadu tempa růstu podniku je tedy posuzováno velké množství faktorů a z tohoto pohledu by tyto expertní odhady, alespoň v krátkodobém horizontu, měly mít větší vypovídací schopnost.

Pro určení pokračující hodnoty podniku existují i jiné postupy, které nejsou založené na tempu růstu podniku. Tyto postupy jsou založeny na předpokladu, že podnik by byl po skončení první fáze prodán jinému subjektu za tržní cenu. Tržní hodnota na konci první fáze bývá stanovena pomocí násobitele (např. P/E, P/D, ...). Cena podniku se odhadne jako násobek předpokládaného zisku (dividendy, ...) v posledním roce první fáze. Hodnotu násobitele stanovíme na základě znalosti násobitele (poměrů) srovnatelných společností nebo přímo daného podniku k datu ocenění.

1.1.3.4 Diskontní míra

Nyní se podíváme na jmenovatele ve vzorci 1.1. Stejně jako tempo růstu q i výše diskontní míry má významný dopad na výsledné ocenění hodnoty podniku. Volba konkrétního postupu pro určení diskontní míry závisí na použité variantě finančního toku

v čitateli vzorce 1.1. V případě, že v čitateli použijeme FCFE nebo EVA, tedy finanční tok plynoucí vlastníkům i věřitelům, bude jako diskontní míra použita WACC. Pokud v čitateli budeme mít FCFE nebo dividendy, tedy finanční tok plynoucí pouze vlastníkům, musíme použít diskontní míru r_e .

Stanovení požadované míry výnosnosti r_e

Ke stanovení požadované míry výnosnosti investice lze použít více postupů, zde popíšeme dva přístupy:

- a) CAPM (Capital Asset Pricing Model),
- b) stavebnicový model.

ad a) Model CAMP odvozuje očekávanou střední výnosnost cenného papíru (akcie) od očekávané bezrizikové výnosnosti a průměrné prémii za riziko. Podle tohoto vztahu platí:

$$r_e = r_f + \beta(r_m - r_f), \quad (1.13)$$

- kde r_e je požadovaná míra výnosnosti oceňovaného podniku (akcie),
 r_f je bezriziková úroková míra,
 β je koeficient beta oceňovaného podniku (akcie),
 r_m je očekávaná výnosnost celého trhu.

Požadovaná míra výnosnosti dané akcie je tedy závislá na bezrizikové výnosové míře, prémii za tržní riziko a koeficientu β , který se jako jediný váže k dané akci. β udává citlivost jednotlivých cenných papírů na pohyby trhu jako celku (tržního indexu). Je-li $\beta > 1$ je akcie rozkolísanější nežli trh (index). To znamená, že pokud index například vzroste (poklesne) o 1%, akcie vzroste (poklesne) o více než 1%. Koeficient β pro akcii A spočítáme podle následujícího vztahu:

$$\beta_A = \frac{\text{cov}(r_A, r_m)}{s_m^2} \quad (1.14)$$

- kde s_m^2 je rozptyl výnosnosti tržního portfolia,
 $\text{cov}(r_A, r_m)$ je kovariance mezi výnosem papíru A a tržním portfoliem.

CAPM staví na určitých teoretických předpokladech, která jsou v praxi těžko realizovatelná a lze je zjednodušeně shrnout takto: akciový trh je dokonalý a investoři jsou homogenní, mají stejný investiční horizont – jedno období. Z praktického hlediska je větším problémem než nenaplnění těchto předpokladů určení bezrizikové výnosové míry (jaké dluhopisy a s jakou splatností), výnosu tržního portfolia (jaký index) a koeficientu β (za jak dlouhé období budeme β počítat). Obvykle při jejich stanovení vycházíme z historických údajů, ale musíme mít na zřeteli, že historické údaje nemusí odrážet budoucí vývoj. Dalším problémem hlavně u velkých firem je, že v daných indexech mají velkou váhu a tím dochází ke zkreslení, neboť pohyb indexu je částečně tvořen pohybem dané akcie. Je zřejmé, že i přes relativně jednoznačně stanovený postup určení diskontní míry má oceňovatel prostor pro subjektivní nastavení parametrů výpočtu. Můžeme tedy říct, že co oceňovatel to trochu jiná diskontní míra.

ad b) Stavebnicová metoda spočívá v tom, že k bezrizikovému výnosu jsou přičítány další přírážky za jednotlivá rizika. Obvykle se pracuje se třemi skupinami rizik (obchodní riziko, finanční riziko a riziko vyplývající ze snížené likvidity). Pak tedy pro požadovanou míru výnosnosti dostaneme vztah:

$$r_e = r_f + r_o + r_{fin} + r_l, \quad (1.15)$$

kde r_f je bezriziková výnosová míra,
 r_o je přírážka za obchodní riziko,
 r_{fin} je přírážka za finanční riziko,
 r_l je přírážka za riziko snížené likvidity.

Při výpočtu rizikové přírážky za jednotlivé skupiny můžeme postupovat následujícím způsobem. Nejprve vymezíme rizikové faktory v každé skupině, určíme váhu jednotlivých faktorů, stanovíme maximální možnou přírážku k bezrizikovému výnosu, faktory ohodnotíme stupněm rizika, jednotlivé stupně rizika oceníme určitou přírážkou a následně váženým průměrem určíme přírážku za danou skupinu. Z popisu postupu je zřejmé, že se jedná o ryze subjektivní metodu.

Průměrné náklady kapitálu WACC

Průměrné náklady kapitálu počítáme podle vzorce 1.6. WACC jsou váženým aritmetickým průměrem požadované míry výnosnosti vlastního kapitálu (nákladů na vlastní kapitál viz výše) a nákladů na cizí kapitál r_d . Váha je určena poměrem mezi cizím a vlastním kapitálem, tedy kapitálovou strukturou podniku. Náklady na cizí kapitál určíme opět jako vážený aritmetický průměr, kde váhy jsou tentokrát velikosti jednotlivých dluhů. Při výsledném stanovení nákladů na cizí kapitál opět hraje roli subjektivní přístup oceňovatele. Záleží na tom, zda při určení poměru mezi cizím a vlastním kapitálem bude vycházet ze současné struktury kapitálu nebo z odhadované budoucí struktury kapitálu, jak nastaví váhy a úrokové míry při výpočtu nákladů na cizí kapitál (současné úrokové míry nebo budoucí úrokové míry, současná struktura dluhu nebo budoucí struktura dluhu, jak se vypořádat s pohyblivě úročenými dluhy).

Dvoufázové propočty modelů

Pro úplnost ještě uveďme jednotlivé varianty dvojfázových modelů:

$$H_{FCFF} = \sum_{i=1}^T \frac{FCFF_i}{(1+WACC)^i} + \frac{FCFF_T \cdot (1+q)}{(WACC-q) \cdot (1+WACC)^T}, \quad (1.16.a)$$

$$H_{FCFE} = \sum_{i=1}^T \frac{FCFE_i}{(1+r_e)^i} + \frac{FCFE_T \cdot (1+q)}{(r_e-q) \cdot (1+r_e)^T}, \quad (1.16.b)$$

$$H_{DIV} = \sum_{i=1}^T \frac{D_i}{(1+r_e)^i} + \frac{D_T \cdot (1+q)}{(r_e-q) \cdot (1+r_e)^T}, \quad (1.16.c)$$

$$H_{EVA} = K_0 + \sum_{i=1}^T \frac{EVA_i}{(1+WACC)^i} + \frac{EVA_T \cdot (1+q)}{(WACC-q) \cdot (1+WACC)^T}. \quad (1.16.d)$$

1.1.3.5 Použitelnost diskontních modelů

V předchozí části bylo zmíněno, že nastavení parametrů v diskontních modelech, i přes propracovanou metodiku, je vždy ovlivněno subjektivním přístupem oceňovatele. Nyní se zaměříme na to, jak volba parametrů v modelu ovlivní výsledné ocenění akcie (podniku). Nebudeme izolovaně zkoumat vliv jednotlivých parametrů, ale simulací odhad-

neme rozdělení současné hodnoty podniku. Simulaci provedeme za velice jednoduchých předpokladů. Simulaci budeme provádět pohledem drobných akcionářů, kteří chtějí investovat do akcií jistého podniku a mají jen základní podnikové a makroekonomické informace, které čerpají z běžných sdělovacích prostředků. Pro jednoduchost předpokládejme, že naši akcionáři budou mít jen krátký investiční horizont tři let a po třech letech akcie prodají. Akcionáři mají k dispozici následující informace. V letošním roce společnost vykazala *EBIT* ve výši 10 pj (peněžních jednotek) a management očekává, že v dalších třech letech bude roční tempo růstu *EBIT* v rozmezí 0% - 5%. Úrokové platby v následujících letech jsou konstantní ve výši 2 pj a podnik bude mít neměnnou dividendovou politiku s výplatním poměrem v rozmezí 50% - 60% z čistého zisku. Daňová sazba z příjmů právnických osob bude stabilní ve výši 20%. Budoucí akcionáři dále předpokládají, že v blízké době může dojít ke zvýšení úrokových sazeb a odhadují, že v následujícím tříletém období by se mohli úrokové sazby z termínovaných bankovních vkladů, což pro ně představuje bezrizikový výnos, pohybovat v rozmezí 1,0% - 1,5% p.a. Srážkovou daň z termínovaných vkladů stejně jako z dividend nebudeme při úvahách uvažovat. Riziková přírážka u podobně rizikových aktiv se pohybuje v rozmezí 5,0% - 5,5%. Budoucí akcionáře samozřejmě zajímá, jaká je správná cena akcie. Vzhledem k daným podmínkám potenciální akcionáři pro výpočet správné ceny akcie zvolí diskontní dividendový model (vzorec 1.16.c), který s přihlédnutím k časovému horizontu investice upravíme na následující tvar:

$$H_0 = \sum_{i=1}^3 \frac{D_i}{(1+r_e)^i} + \frac{P_3}{(1+r_e)^3} . \quad (1.17)$$

Pro jednoduchost počítáme, že první dividenda bude vyplacena rok po koupi akcie, dále budou dividendy vypláceny v ročních intervalech a po třech letech v okamžiku výplaty poslední dividendy akcionář akcie prodá za cenu P_3 . Prodejní cena akcie je jedním z důležitých faktorů pro výsledné "správné" ocenění akcie. Akcionáři odhadují, že poměr ceny akcie a vyplacené dividendy bude přibližně stejný. Tedy, že bude platit:

$$\frac{P_0}{D_0} \cong \frac{P_3}{D_3} . \quad (1.18)$$

Současná tržní cena akcie je $P_0 = 55$ pj a dividenda je $D_0 = 3,52$ pj, při výplatním poměru 55% ($D_0 = (10 - 2) \cdot (1 - 0,2) \cdot 0,55 = 3,52$). Nyní už máme všechny potřebné informace, abychom mohli spočítat současnou "správnou" hodnotu akcie. Ještě před

samotnou simulací provedeme nejprve výpočet optikou akcionáře pesimisty a optimisty, čímž získáme interval, ve kterém se budou simulace nacházet. Pesimista ve svých úvážích počítá s nejhorsším scénářem, který při jeho investici může nastat, tedy s nulovým růstem EBIT, výplatním poměrem ve výši 50% a tudíž s konstantní dividendou 3,2 pj, která indikuje dle vztahu 1.18 budoucí prodejní cenu P_3 ve výši 50 pj. Dále počítá s 1,5% výnosem z termínovaných vkladů a akcii považuje za rizikovější, tudíž vyžaduje rizikovou přírážku ve výši 5,5%. Dosazením do vztahu 1.17

$$P_0 = \sum_{i=1}^3 \frac{(10-2) \cdot (1-0,2) \cdot 0,5}{(1+0,015+0,055)^i} + \frac{50}{(1+0,015+0,055)^3} = 49,21 ,$$

získáme současnou hodnotu akcie 49,21 pj. To znamená, že současná tržní cena je z pohledu akcionáře pesimisty nadhodnocena.

Podívejme se, jak by akcii ocenil akcionář optimista, který naopak počítá s nejlepším možným scénářem, tedy očekává 5% roční růst EBIT, 60% výplatní poměr a diskontuje sazbu 6% (2,0% + 4%). V tomto případě akcionář očekává dividendu ve třetím roce ve výši 4,60 pj, která indukuje cenu P_3 ve výši 71,82. Po dosazení do vztahu 1.17

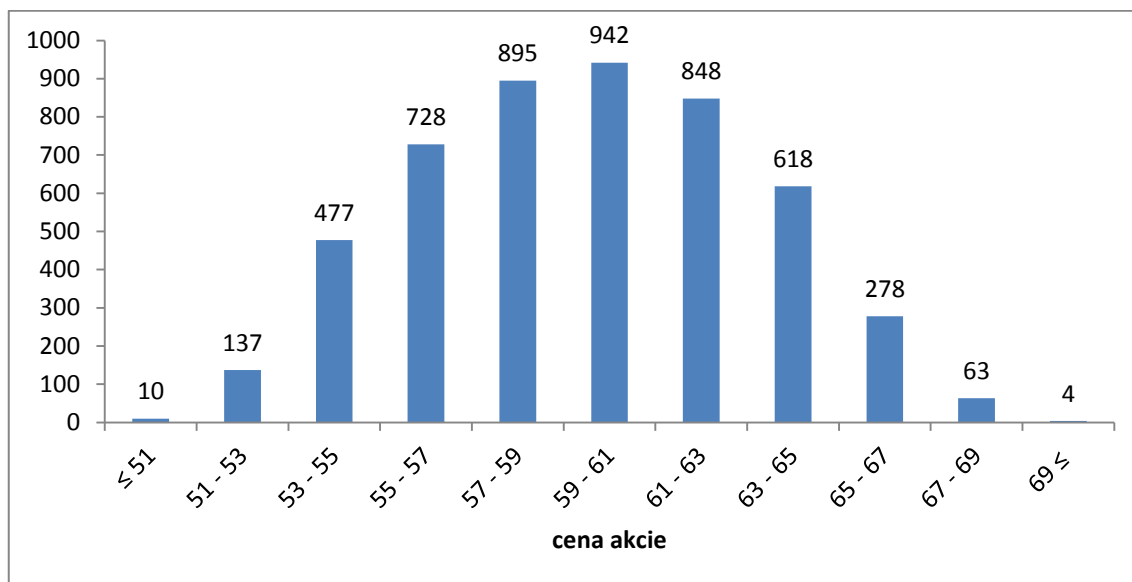
$$P_0 = \sum_{i=1}^3 \frac{[10 \cdot (1+0,05)^i - 2] \cdot (1-0,2) \cdot 0,6}{(1+0,06)^i} + \frac{86,82}{(1+0,06)^3} = 71,87 ,$$

nám vychází současná hodnota akcie na 71,87 pj. Z ocenění je zřejmé, že akcionář optimista vidí současnou tržní cenu akcie jako podhodnocenou.

Vidíme, že i přes relativně malé rozpětí vstupních parametrů, získáváme dosti rozdílné současné hodnoty. Rozdíl je 22,66 pj, což je 46% bereme-li jako základ pesimistickou variantu. Pesimistická a optimistická varianta ocenění vymezila interval, ve kterém se budou současné hodnoty akcie nacházet při zadaných vstupních parametrech. Nás teď bude zajímat, jaké rozdělení současné hodnoty akcie získáme. Simulaci provedeme při následujících podmínkách. Očekávání investorů ohledně ročního růstu EBIT, výplatního poměru, bezrizikového výnosu a rizikové přírážky jsou náhodné veličiny s následujícími rozděleními. Roční tempo růstu EBIT má rozdělení $N[0,025;0,0097^2]$, bezriziková úroková míra má rozdělení $N[0,0125;0,00097^2]$, riziková přírážka má rozdělení $N[0,055;0,00194^2]$ a výplatní poměr má rozdělení $R[0,5;0,6]$. U normálně rozdělených parametrů při simulaci náhodně generujeme pouze kvantily v intervalu (0,005; 0,995),

což dostatečnou přesností odpovídá danému rozpětí vstupních parametrů z pesimistické a optimistické varianty. Celkem nasimulujeme 5000 případů. Rozdělení současných hodnot zobrazeno v grafu 1.1.

Graf 1.1 Rozdělení nasimulovaných současných hodnot



Zdroj: výpočet autora

Z grafu, vidíme, že přibližně 90% hodnot se pohybuje v rozpětí od 53 pj do 65 pj. Rozdíl je 12 pj, což je přibližně 22% rozdíl, bereme-li jako základ nižší cenu. Ještě řečeno jinak, přibližně 90% nasimulovaných ocenění podniku se pohybuje v intervalu průměrné ocenění $\pm 10\%$ z průměrného ocenění tj. interval $(\bar{P}_0 - 0,1\bar{P}_0; \bar{P}_0 + 0,1\bar{P}_0)$.

V předchozí úvaze jsme se zabývali rozdělením výsledných ocenění akcií při použití jednoduchého diskontního modelu v závislosti na náhodně generovaných vstupních parametrech z relativně úzce nastavených intervalů, ve kterých se parametry modelu mohou pohybovat. Nyní se zaměříme na úspěšnost ocenění profesionálních analytiků investičních společností. Úspěšnost budeme posuzovat na analýze společnosti ČEZ ze dne 17. 6. 2010, kterou vydala makléřská společnost CYRRUS. Pro výpočet byl použit model DCF ve verzi FCFE. Tento model vycházel z určitých předpokladů a ocenil jednu akcii společnosti ČEZ na 1002 Kč. My se zaměříme na to, jak se odhady vybraných parametrů modelu lišily od následného skutečného vývoje. Odhady některých ukazatelů hospodaření firmy ČEZ vidíme na obrázku 1.1.

Obrázek 1.1 Ocenění společnosti ČEZ ze dne 17.6.2010

CYRRUS		ČEZ				
Marek Hatlapatka analytik hatlapatka@cyrrus.cz		NA STARTU NOVÉ ETAPY				
ČEZ, a.s. Výroba a distribuce elektrické energie Datum vydání analýzy: 17.6.2010 Datum vydání předchozí analýzy: 13.8.2009 Nové doporučení: AKUMULOVAT Cílová cena CZK: 1 002 CZK Předchozí doporučení: DRŽET Předchozí cílová cena CZK: 980 CZK		2008	2009	2010e	2011e	2012e
Tržby (mld. CZK)		184,0	196,4	195,0	198,6	207,9
EBITDA (mld. CZK)		88,7	91,1	89,1	90,7	97,2
Čistý zisk (mld. CZK)		47,4	51,9	48,7	50,1	51,3
Zisk na akcii (CZK)		86,5	96,6	90,7	93,4	95,6
Dividenda na akcii (CZK)		50,0	53,0	52,9	55,5	56,7
Dividendový výnos (%)		5,4%	5,8%	5,8%	6,0%	6,2%
ROE (%)		27,1%	29,8%	24,1%	23,8%	23,0%
P/E (x)		10,1	9,0	9,6	9,3	9,1
EV/EBITDA (x)		6,6	6,5	6,6	6,5	6,0
P/BV (X)		2,7	2,4	2,3	2,2	2,1
		Zdroj: ČEZ, CYRRUS				

zdroj: www.cyrrus.cz/zpravodajstvi/analýzy

Z obrázku je patrné, že pro rok 2011 odhadoval analytik společnosti CYRRUS ukazatel EBITDA na úrovni 90,7 miliard (mld) a čistý zisk na úrovni 50,1 mld. Skutečné hospodářské výsledky firmy za rok 2011 jsou uvedeny na obrázku 1.2.

Obrázek 1.2 ČEZ: Flash analýza výsledků hospodaření za 4Q/FY2011

CYRRUS		ČEZ 4Q2011								
ČEZ		28. února 2012								
Flash analýza výsledků hospodaření za 4Q/FY 2011		Marek Hatlapatka Analytik hatlapatka@cyrrus.cz +420 538 705 743								
(mil. CZK)	4Q2011	4Q2011e CYRRUS	Tržní konsensus	4Q2010	y/y	FY2011	FY2011e CYRRUS	Tržní konsensus	FY2010	y/y
Výnosy	59 199	57 211	56 449	54 460	8,7%	209 761	207 773	206 788	198 848	5,5%
EBITDA	24 895	23 032	22 826	21 825	14,1%	87 312	85 449	85 243	88 848	-1,7%
Provozní zisk	18 023	15 971	15 783	14 933	20,7%	61 542	59 490	59 302	64 788	-5,0%
Zisk před zdaněním	17 822	16 576	16 337	10 082	76,8%	51 952	50 706	50 467	58 680	-11,5%
Čistý zisk pro akcionáře	14 300	13 544	13 274	7 054	102,7%	40 756	40 000	39 730	47 051	-13,4%
Čistý zisk na akcii (EPS)	26,7	25,4	24,9	13,1	103,5%	76,3	75,0	74,5	88,1	-13,4%
		*tržní konsensus dle průzkumu ČEZ								
		Zdroj: ČEZ, CYRRUS								

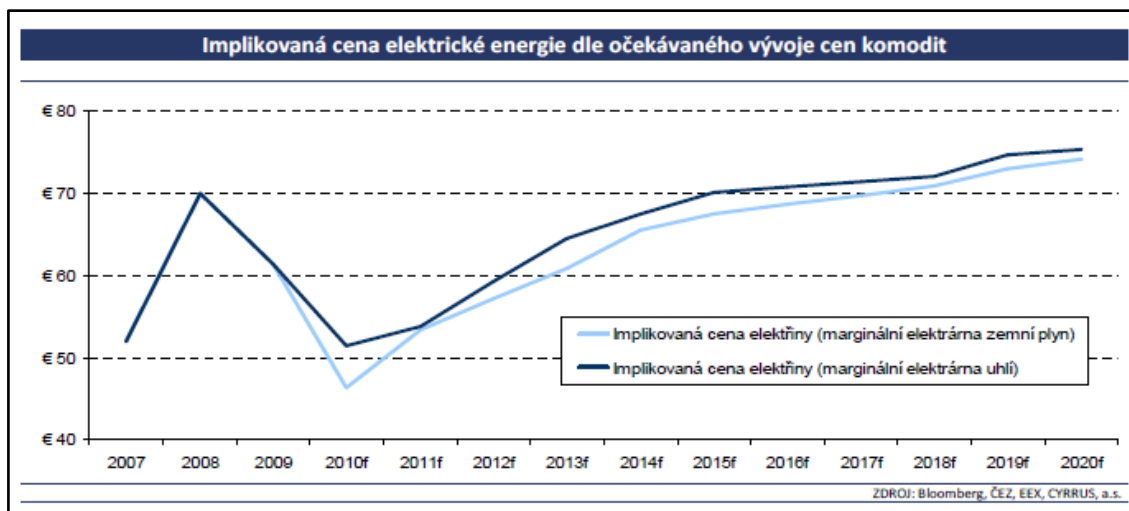
zdroj: www.cyrrus.cz/zpravodajstvi/analýzy

Ukazatel EBITDA v tomto roce dosáhl hodnoty 87,3 mld, což je o 3,8% méně, než byl původní rok a půl starý odhad. Čistý zisk dosáhl hodnoty 40,7 mld, což už je dokonce o 18,8% méně, než činil původní odhad. Je zřejmé, že i profesionální analytik není

schoopen, ani pro velmi krátké období, odhadnout vývoj základních ekonomických ukazatelů.

Dále se podíváme, jak analytik odhadoval vývoj ceny elektrické energie na burze. Odhad budoucího vývoje ceny vidíme na grafu 1.2.

Graf 1.2 Odhad vývoje ceny elektrické energie



zdroj: www.cyrrus.cz (Ocenění společnosti ČEZ ze dne 17.6.2010)

Cena elektrické energie je klíčový faktor, který ovlivňuje hospodářské výsledky firmy. Z grafu můžeme vyčíst, že analytik odhadoval, že cena elektrické energie se bude v roce 2013 a 2014 pohybovat nad 60 EUR za MWh. V následných letech měla cena elektrické energie vzrůst až nad 70 EUR za MWh. Skutečný vývoj ceny elektrické energie mezi rokem 2008 a první polovinou roku 2014 je zobrazen v grafu 1.3.

Graf 1.3 Skutečný vývoj ceny elektrické energie



zdroj: <http://www.kurzy.cz/komodity>

Z grafu je zřejmé, že analytik vůbec neodhadl vývoj trendu ceny elektrické energie. Zatímco odhadoval růst ceny elektřiny, tak cena naopak klesala. V polovině roku 2014 byla odhadovaná cena elektrické energie nad 65 EUR za MWh, ale skutečná cena na burze byla na poloviční hodnotě 33,75 EUR za MWh.

Podíváme se ještě na vývoj ceny akcií ČEZ. Vývoj ceny akcií ČEZ od poloviny roku 2010 do poloviny roku 2014 je zobrazen v grafu 1.4.

Graf 1.4 Vývoj ceny akcie ČEZ



zdroj: <http://akcie-cz.kurzy.cz/akcie>

Z grafu můžeme vidět, že cílové ceně 1002 Kč od společnosti Cyrrus se cena na burze nejvíce přiblížila v polovině května 2011, kdy byla akcie obchodována za 961 Kč. Od tohoto dne cena akcie postupně klesá až k hodnotě 428 Kč. V období od poloviny roku 2010 do poloviny roku 2013 si také můžeme všimnout relativní shody mezi vývojem ceny elektřiny a cenou akcie ČEZ.

Zatím jsme se zabývali jednou analýzou jedné společnosti, která se zrovna nemusela povést. Teď se podíváme, jak se jednotliví oceňovatelé shodnou na výsledném ocenění podniku. Doporučení pro akcie ČEZ platná k 23. 6. 2014 jsou uvedena na obrázku 1.3. Na tomto obrázku vidíme 12 nejnovějších ocenění akcií ČEZ, která byla vydána v rozmezí čtyřiceti dnů. Z jednotlivých ocenění je zřejmé, jak rozdílným hodnotám mohou oceňovatelé dojít. Dne 4 června 2014 ocenila společnost VTB Capital akcie ČEZ na cenu 450 Kč za jednu akcii s doporučením prodat. Pouhé dva týdny předtím společnost Goldman Sachs vydala doporučení koupit s oceněním 668 Kč za jednu akcii. Rozdíl činí 218 Kč, což je 48% bereme-li jako základ ocenění společnosti VTB Capital. Tyto

dvě analýzy vznikaly ve stejném období a oba analytici měli k dispozici stejné vstupní údaje a stejné oceňovací metody. Přesto každý z nich odhadoval budoucí vývoj a tím i výslednou cenu rozdílně. V levém horním rohu pak vidíme četnosti jednotlivých doporučení. Deset analytiků doporučuje akcie koupit, devět analytiků doporučuje akcie držet a deset analytiků doporučuje akcie prodat.

Obrázek 1.3 Doporučení a cílové ceny akcií ČEZ



Zdroj Bloomberg, zveřejněno na www.investicniweb.cz dne 23.6.2014

Je zřejmé, že modely DCF i přes svoji teoretickou správnost a značnou propracovanost postupů nedokáží jednoznačně ocenit podnik. Je zřejmé, že co oceňovatel to trochu jiný odhad vývoje vstupních parametrů a tedy i jiné výsledné ocenění. Na jednotlivá ocenění můžeme pohlížet jako na náhodné veličiny mající určité rozdělení s určitou střední hodnotou a rozptylem.

1.2 Psychologická analýza

Psychologickou analýzu lze považovat za záležitost spíše okrajovou. Psychologická analýza si všímá toho, že na akciových trzích se setkává velké množství kupujících a prodávajících, kteří nejsou ovlivňováni pouze fundamentálními faktory, ale ovlivňují se svým chováním navzájem. Investoři mohou být někdy, hlavně v krátkém období, pod silným tlakem davové psychologie, která se na akciových trzích nepravidelně vyskytuje. Psychologická analýza je založena na předpokladu, že důležitým kurzotvorným faktorem jsou psychologické reakce investorů. Tento předpoklad je důležitý pouze v krátkodobém investičním horizontu. Na rozdíl od fundamentální analýzy je předmětem zkoumání psychologické analýzy samotný člověk a jeho chování. Psychologičtí analytici tedy zkoumají lidský faktor v procesu investování a reakce investorů na různé impulsy.

Vlivem psychologie na chování cen akcií se ve svých dílech zabývali J.M. Keynes (1936, česky 1968), A. Kostolány (1987, česky 2000) nebo A. Shleifer a L.H. Summers (1990). Z pohledu cíle této práce (modelování kolísání cen akcií pomocí Markovových řetězců) je pro nás významná teorie přehánění, kterou analyzovali W. De Bondt a R. Thaler (1995). Ve svém výzkumu se zabývali nadměrnou reakcí investorů na významné neočekávané informace. Dle jejich závěrů ceny akcií po zveřejnění nových informací často reagují přehnaně a přestřelují správné hodnoty. Následně pak přichází jejich zpětná korekce. Jedním z důvodů kolísání ceny akcie mohou tedy být přehnané reakce investorů.

Obecně můžeme říci, že základní východiska psychologické analýzy lze shrnout do následujících tří bodů:

- Investor se nechová zcela racionálně, jeho chování je ovlivňováno psychologickými faktory, podléhá chování investičního davu.
- Informace pro každého investora jsou různě dostupné, reakce na tyto informace jsou ovlivněny rozdílnou interpretací a rozdílným vnímáním rizika.
- Existují trendy, které jsou vytvářeny investičním davem. Existují přehnané reakce na nové informace ať příliš optimistické či příliš pesimistické.

1.3 Technická analýza

Technická analýza představuje rozsáhlý soubor metod, které na základě minulých cen a objemů obchodů odvozují ceny budoucí. Hlavním cílem technických analytiků, stejně jako u psychologických analytiků, je prognózování krátkodobých cenových pohybů, přičemž důležitá není cenová úroveň, ale odhad cenových změn. Podle technických analytiků jsou ceny akcií ovlivňovány mnoha faktory, včetně velkého množství faktorů, které nemají žádný vztah k fundamentálním informacím. Vliv těchto faktorů na cenu akcie je velmi obtížné objektivně kvantifikovat. Z toho důvodu proto ani nelze objektivně stanovit vnitřní cenu akcie. Je lepší tedy sledovat tržní data, která nám umožní stanovit trend v tržní psychologii. Determinantem ovlivňující vývoj tržní ceny je poměr optimistických a pesimistických investorů.

Základní východiska technické analýzy lze shrnout do následujících tří tezí:

- Tržní cena je determinována pouze vzájemnou iterací mezi nabídkou a poptávkou. Poptávka a nabídka je ovlivňována fundamentálními a psychologickými faktory.
- Akciové kurzy se pohybují v trendech, které mají určitou setrvačnost. Změna trendu je dána změnou poměru mezi nabízejícími a kupujícími (optimistickými a pesimistickými investory). Tyto změny trendu je třeba včas identifikovat studováním historických cen a objemů obchodů. Techničtí analytici rozeznávají tři druhy trendů. Primární trend, který trvá od jednoho roku do několika let, sekundární trend, který trvá několik měsíců a trend terciální, který trvá v řádech dnů až týdnů.
- Vývojové cykly a formace se opakují. Je to dáno podstatou lidského chování, které má tendenci reagovat za stejných okolností podobně. To umožňuje prognózovat budoucí vývoj kurzu.

Základním předpokladem je pro technické analytiky druhý bod, což jim dává při včasné identifikaci trendu naději na nadprůměrný zisk. Metody technické analýzy obsahují široké množství metod, které se dají rozdělit na dvě velké skupiny:

- Grafické metody, jsou založené na pravidelně se opakujících formacích v grafech. Analytici vytvořili na základě historických dat standardizované grafické formace chování akciových kurzů a na základě nich predikují budoucí vývoj

kurzu. Dle budoucího vývoje kurzu akcie se formace dělí na formace potvrzující trend a formace vedoucí ke změně trendu.

- Metody založené na technických indikátorech. Indikátor má odhalit změnu trendu. Existuje mnoho rozmanitých metod. Například mezi nejznámější skupinu indikátorů patří metody využívající klouzavé průměry. Protne-li denní křivka průměrnou křivku zesponu nahoru, vyplývá z toho nákupní signál, cena bude růst.

Ačkoliv je technická analýza nejstarším analytickým přístupem zabývajícím se vývojem kurzů cenných papírů, byla určitou dobu, hlavně akademickou obcí, opomíjena. Důvodem byla všeobecně přijímaná teorie efektivních trhů (Fama, 1965), která vylučuje možnost dosahovat nadprůměrných zisků. Druhým důvodem zřejmě bylo několik široce citovaných negativních empirických studií o úspěšnosti technické analýzy na akciových trzích, jako například (Fama a Blume, 1966) a (Jensen a Benington, 1970). Větší využití technické analýzy přichází se zlevněním výpočetního výkonu, rozvojem elektronických databází a s dostupností on-line obchodních systémů. V té době se také stále častěji objevují studie, například (Sweeney, 1988) a (Brock et al., 1992) prokazující, že metody technické analýzy můžou překonat trh.

1.4 Teorie efektivních trhů

Jak již bylo řečeno na konci předchozí podkapitoly v rozporu s předchozími přístupy je teorie efektivních trhů. Tato teorie předpokládá, že kurzy jsou ovlivňovány kurzotvornými informacemi. Očekávané informace jsou již v ceně kurzu zakalkulovány. Za příčinu změny kurzu jsou považovány neočekávané informace. Za efektivní je chápán takový trh, který velmi rychle (okamžitě) absorbuje všechny tyto nové neočekávané informace. Tyto informace nelze předvídat, přicházejí náhodně a tedy i změna ceny je náhodná. Proto cena akcie vykonává "náhodnou procházku". Myšlenku "náhodné procházky" prvně publikoval francouzský matematik L. Bachalier. Tuto teorii později rozvinul a empirickými studiemi podpořil E. Fama (1965, 1970). Fama se zabýval zkoumáním korelační závislosti akciových trhů v závislosti na časovém zpoždění. Ve své práci z roku 1965 zkoumal denní výnosy akcií z indexu DJIA v letech 1957 až 1962. Pro každou společnost vypočetl deset korelačních koeficientů. Postupně počítal korelační koeficienty mezi denním výnosem dne $t = 0$ s denním výnosem ze dne $t - 1$, $t - 2$

až $t - 10$. Vypočtené korelační koeficienty byly blízké nule. Na základě těchto výsledků dospěl Fama k závěru, že výnos akcií není v žádném vztahu k minulému výnosu a tedy že na základě minulých výnosů nelze odhadovat budoucí výnosy. Závěry Famy potvrdil například Solnik (1973).

Pro efektivní fungování akciových trhů musí být splněny následující předpoklady:

- Investoři na akciových trzích se chovají racionálně, neustále analyzují cenné papíry, neexistují žádná obchodní omezení.
- Všichni investoři mají stejný přístup k informacím, dostávají je ve stejný okamžik, na informace reagují rychle a přesně.
- Akciový trh je likvidní, neexistují nepoctivé praktiky.

Při platnosti teorie efektivních trhů ztrácí předchozí analýzy (technická i psychologická) svůj význam. Ceny akcií se pohybují náhodně a nelze je předvídat. Dlouhodobě dosahují všichni investoři srovnatelné výsledky. O platnosti teorie efektivních trhů se vedou stále vášnivé diskuze, a jak již bylo uvedeno v předchozí v textu věnovaném technické analýze, některé studie tuto teorii nepodporují.

1.5 Shrnutí

Záměrem této práce je predikovat pohyb cen akcií pomocí analýzy Markových řetězců. Předpokladem, aby tato predikce byla možná, je kolísání ceny akcie kolem určité hodnoty. Podívejme se, jak tyto předpoklady jsou v souladu s přístupy k oceňování akcií, které jsme popsali v této kapitole.

Nejvíce prostoru jsme věnovali fundamentální analýze a jejím výnosovým metodám, které stanovují cenu akcie jako součet současných hodnot budoucích diskontovaných výnosů. Výsledné ocenění stojí na odhadu budoucích výnosů a volbě diskontní sazby. Na příkladu ocenění společnosti ČEZ jsme ukázali, že i když oceňovatelé mají stejný přístup k informacím, jejich výsledná ocenění se liší podle toho, jak jednotlivý oceňovatel tyto informace subjektivně vyhodnotí. Simulací jsme ilustrovali, že i malé rozdíly v předpokladech modelu mají velký dopad na výsledné ocenění podniku. Můžeme tedy na výsledná ocenění pohlížet jako na náhodné veličiny z určitého rozdělení. Předpokládejme, že na trh nepřichází žádná nová fundamentální informace a za této situace investoři, kteří využívají fundamentální analýzu, nemají důvod měnit svá ocenění. Dále předpokládejme, že cena akcie se pohybuje kolem průměrného ocenění a při této ceně inves-

toři využívající fundamentální analýzu nemají zájem kupovat akcie, protože rozdíl tržní ceny a jejich ocenění akcie je malý. Na trhu však působí i jiný investoři, kteří cenu vychýlí určitým směrem. Tím pádem se pro určitou skupinu fundamentálních investorů zvětšuje (pro druhou se zmenšuje) rozdíl mezi jejich oceněním a tržní cenou. Za těchto okolností se pro ně stává atraktivnější nákup nebo prodej akcie, podle toho na jakou stranu byla cena akcie vychýlena. Aktivita těchto investorů působí proti vychýlení ceny akcie a k návratu k původním hodnotám. Fundamentální analýza tedy kolísání ceny akcie nevylučuje.

Nedostatků fundamentální analýzy jsou si vědomi techničtí analytici, kteří tvrdí, že je obtížné či téměř nemožné správně stanovit vnitřní hodnotu akcie. Dle jejich teorie je lepší sledovat změny tržních cen jako indikátor investorské nálady na straně nabídky a poptávky. Tento sentiment na trzích určitou dobu přetrvává a ceny akcií se pohybují v trendech, tyto trendy jsou predikovatelné pomocí různých metod založených na analýze historických dat a včasným odhalením trendu se dají realizovat nadprůměrné kurzové zisky. Nejkratším druhem trendu je terciální trend, což je vlastně sekvence několika po sobě jdoucích dnů, kdy cena akcie roste (klesá). Pak následuje sekvence dnů, kdy se ceny akcie pohybuje opačným směrem. To ale není nic jiného než kolísání ceny akcie. Za předpokladu účinnosti technické analýzy je tedy možné přepokládat, že při růstu (poklesu) ceny akcie o určitou cenovou úroveň je stále pravděpodobnější obrát trendu. Tyto úrovně by bylo možné modelovat s využitím Markovových řetězců.

Využití Markovových řetězců pro predikci budoucího vývoje nevylučuje ani psychologická analýza. Studie o přehnaných reakcích investorů na nové informace a následnou zpětnou korekci přímo vybízí k aplikování Markovových řetězců.

Jediným přístupem, podle kterého by predikce cen akcií s využitím Markovových řetězců nebyla možná, je teorie efektivních trhů. Teorie efektivních trhů stojí hlavně na autokorelaci s různým, ale vždy konstantním zpožděním. To vylučuje, že by trendy, respektive frekvence kolísání, měly stále stejnou délku. Ale v případě, že by délka trendu byla proměnlivá, tj. kolísání bude mít různou frekvenci, můžou být korelační koeficienty blízké nule, i kdyby tam jistá závislost byla.

2 Metodika

2.1 Markovovy řetězce

Markovovy řetězce se používají pro modelování procesů, které se mohou nacházet v jednom z konečného (spočetného) počtu stavů v diskrétních časových okamžicích. Markovovým řetězcem rozumíme posloupnost diskrétních náhodných proměnných X_1, X_2, X_3, \dots , mající Markovovu vlastnost, kterou můžeme formálně popsat následovně:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} \mid X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = P(X_{n+1} = x \mid X_n = x_n).$$

Jinak řečeno, Markovův řetězec je náhodný proces s diskrétní množinou stavů, diskrétním časem a takový, že pravděpodobnost $p_i(n)$, že v časovém okamžiku t_n bude proces ve stavu i , je stochasticky závislá pouze na stavu v předchozím okamžiku, tj. na stavu v čase t_{n-1} . Jednotlivé realizace x_i jsou prvky spočetné množiny $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, kterou nazýváme stavový prostor. Chování výše popsaného procesu je určeno:

- vektorem absolutních pravděpodobností $p(n)^T = [p_1(n), p_2(n), \dots, p_N(n)]$, kde T značí transpozici. Pro $n = 0, 1, 2, \dots$, značí $p_i(n)$ pravděpodobnost, že proces je v okamžiku n ve stavu i .
- maticí podmíněných pravděpodobností přechodů P , jejíž jednotlivé prvky p_{ij} udávají podmíněnou pravděpodobnost přechodu procesu ze stavu i do stavu j , což můžeme formálně zapsat $p_{ij} = P(X_n = s_j \mid X_{n-1} = s_i)$, kde $i = 1, 2, \dots, N$ a $j = 1, 2, \dots, N$, kde p_{ij} může být závislé na n . V případě, že p_{ij} vůbec nezávisí na n , hovoříme o homogenních Markovových řetězcích, v opačném případě mluvíme o nehomogenních Markovových řetězcích.

Známe-li pravděpodobnost výskytu jednotlivých stavů v okamžiku, kdy proces začíná, můžeme popsat chování procesu pomocí následujících vztahů:

$$(p(n))^T = (p(n-1))^T P \quad (2.1)$$

a postupným dosazováním získáme:

$$(p(n))^T = (p(0))^T P^n. \quad (2.2)$$

Chování homogenních Markovových řetězců po n časových okamžicích je tedy určeno výchozím vektorem absolutních pravděpodobností a n -tou mocninou matice pravděpodobnosti přechodu.

Při analýze chování stochastického procesu nás zajímá pravděpodobnost přechodu mezi jednotlivými stavy. Tyto pravděpodobnosti jsou dány prvky matice P^n (označujeme p_{ij}^n). Rozlišujeme mezi diagonálními prvky matice, které udávají pravděpodobnost návratu procesu do výchozího stavu po n krocích a nediagonálními prvky matice, které udávají vzájemnou dosažitelnost mezi jednotlivými stavy.

Podle hodnot, které nabývají prvky na diagonále p_{ii}^n , klasifikujeme stavy následovně.

- Stav transientní (přechodový), to je takový stav, kdy pravděpodobnost návratu do výchozího stavu je nemožná, tj. $p_{ii}^n = 0$ pro všechna n .
- Stav absorpční (pohlcující) je stav, do kterého existuje vstup a setrvání v tomto stavu je jisté tj. $p_{ii}^n = 1$.
- Stav rekurentní (trvalý), což je takový stav, který není transientní ani absorpční. Rozlišujeme tři typy rekurentních stavů.
 - a) Stav rekurentní periodický s periodou m . To je takový stav, že návrat je možný vždy po periodě délky m (m krocích). V ostatních krocích je stav nedosažitelný: $\exists m, m \geq 2$, že $p_{ii}^{km} \neq 0$, ale $p_{ii}^n = 0$ pro $\forall n \neq km$.
 - b) Stav rekurentní nulový je takový stav, že pravděpodobnost návratu do tohoto stavu po dostatečně velkém počtu kroků se blíží nule: $p_{ii}^n \neq 0$ pro $\forall n$, ale $\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ii}^n = 0$
 - c) Stav ergodický, tedy stav, který je neperiodický a nenulový.

U nediagonálních prvků rozlišujeme dva typy stavů, stavy dosažitelné a nedosažitelné z určitého stavu. Stav j je dosažitelný ze stavu i , jestliže platí $p_{ij}^n \geq 0$, v opačném případě se jedná o stav nedosažitelný. Stavy vzájemně se dosažitelné nazýváme sousledné. Skupina vzájemně sousledných vztahů se nazývá uzavřenou třídou.

Markovův řetězec se nazývá irreducibilní (nerozložitelný), právě když libovolné dva stavy jsou sousledné (v řetězci je jen jedna uzavřená třída). Nerozložitelný Markovův řetězec, jehož všechny stavy jsou ergodické, se nazývá ergodický řetězec. Pro ergodický řetězec jsou od určitého konečného n prvky matice P^n nenulové. Pro $n \rightarrow \infty$ konverguje matice P^n k limitní matici U typu:

$$U = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & \dots & u_n \\ u_1 & u_1 & \dots & u_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_1 & u_2 & \dots & u_n \end{bmatrix}$$

jejíž řádky jsou shodné a tvoří je vektor $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, který nazýváme limitní (stacionární) vektor. Pro limitní vektor platí:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} p(n+1) = u. \quad (2.3)$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá rovnost:

$$u^T = u^T P. \quad (2.4)$$

Rovnice uvedené soustavy nejsou lineárně nezávislé a nemají jednoznačné řešení. Řešení nalezneme přidáním další podmínky, která vyplývá z toho, že pravděpodobnost stavů tvoří úplnou množinu jevů $\sum u_i = 1$.

S využitím limitní matice U definujeme fundamentální matici ergodického řetězce. Fundamentální matice ergodického řetězce je definována následovně:

$$Z = [I - (P - U)]^{-1} = I + \sum_{n=1}^{\infty} (P^n - U) \quad (2.5)$$

kde I je jednotková matice.

Při procesu, jehož realizací je ergodický řetězec, nás může zajímat střední doba prvého přechodu z libovolného stavu i do libovolného stavu j a případně rozptyl prvé doby tohoto přechodu. Tyto charakteristiky můžeme určit s využitím fundamentální matice ergodického řetězce. Označme střední dobu přechodu ze stavu i do stavu k jako t_{ik} . Potom střední dobu přechodu pro případ, kdy $k = i$ vyjádříme takto:

$$t_{ii} = p_{ii} + \sum_{k \neq i} p_{ik} t_{ki} \quad (2.6)$$

V ostatních případech můžeme střední dobu prvého přechodu vyjádřit následovně:

$$t_{ij} = p_{ij} + \sum_{k \neq j} [p_{ik} t_{kj} + p_{ik}] \quad (2.7)$$

Rovnici můžeme upravit na tvar:

$$t_{ij} = \sum_{k \neq j} p_{ik} t_{kj} + 1 = \sum_N p_{ik} t_{kj} - p_{ij} t_{jj} + 1 \quad (2.8)$$

Vyjádříme-li dobu prvního přechodu mezi jednotlivými stavy v maticovém vyjádření, kde $T=[t_{ij}]$, dostáváme vztah:

$$T = P(T - \hat{T}) + E, \quad (2.9)$$

kde \hat{T} je matice obsahující jen diagonální prvky matice T ,
 E je matice obsahující samé jedničky.

Při vyjádření T v explicitní formě dostaneme tvar:

$$T = (I - Z + E\hat{Z})\hat{M}, \quad (2.10)$$

kde Z je fundamentální matice daného ergodického řetězce,
 \hat{Z} je matice tvořena jen diagonálními prvky fundamentální matice Z .

Pro výpočet diagonálních prvků matice T použijeme platný vztah $t_{ii}=1/u_i$, kde u_i jsou složky limitního vektoru u .

Pro ekonomickou analýzu procesů modelovaných Markovovými řetězci je nutno každému stavu či přechodu přidělit nějaké ocenění. Předpokládejme, že přechod ze stavu i do stavu j je spojen s nějakým ohodnocením (ziskem, ztrátou, nákladem,...) a toto ohodnocení označme r_{ij} . Ohodnocení pro všechny dvojice stavů tvoří matici ohodnocení přechodů, kterou označíme R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

Označme $v_i(n)$ střední hodnotu celkového očekávaného výnosu procesu po n krocích, který byl na počátku sledování v i -tém stavu. Pro $v_i(n)$ platí rekurentní vztah:

$$v_i(n) = \sum_{j=1}^N p_{ij} (r_{ij} + v_j(n-1)) \text{ a po úpravě } v_i(n) = q_i + \sum_{j=1}^N p_{ij} v_j(n-1), \quad (2.11)$$

kde $q_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} r_{ij}$.

Naším cílem je využít Markovovy řetězce pro stochastické modelování vývoje cen akcií a ověřit, zda by tyto postupy byly použitelné k tvorbě obchodních strategií. To znamená nadefinovat takový stavový prostor, ve kterém budou stavy, ze kterých bude proces přecházet do jiných stavů s vysokou pravděpodobností. Jinými slovy potřebujeme nalézt takové stavy, ve kterých s dostatečně vysokou pravděpodobností bude docházet ke změně trendu. Takové stavy by se daly využít ke generování nákupních či prodejních příkazů. Pro naše účely za dostatečně vysokou pravděpodobnost budeme považovat hodnoty cca. 0,67 a více, respektive 0,33 a méně.

Aplikace Markovových řetězců pro stochastický popis vývoje akciových trhů a predikci jejich vývoje je využívána velmi málo. Je publikováno nemnoho studií, které však velmi jednoduše definují stavový prostor a zjištěné výsledky nenabízejí možnost vhodné aplikace. Podívejme se na jednotlivé studie.

Zhang and Zhang (2009) ve své studii pracovali s dvěma definicemi stavového prostoru. V obou případech stavový prostor definovali na denních závěrečných cenách. Pro analýzu akciového indexu použili stavový prostor s třemi stavy: pokles, nula, růst. Pro analýzu ceny akcie použili šestistavový prostor. Analýzu prováděli na velmi krátkém časovém období 27 dnů. Z definovaných stavových prostorů a z délky sledovaného období je zřejmé, že výsledky nemůžou mít žádnou vypovídací hodnotu.

Doubleday and Esunge (2011) aplikovali Markovovy řetězce na DJA index a na portfolio vybraných akcií z tohoto indexu. Stavový prostor definovali na denních změnách ceny. Modelovali tři případy stavového prostoru. V prvním případě použili dvoustavový prostor pokles – růst. Ve druhém a třetím případě použili šestistavový prostor, kdy se varianty lišily pouze velikostí denních změn, na nichž byl stavový prostor definován. Analýzu prováděli pro období jednoho roku.

Práce Vasanthi et al. (2011) se zabývá predikcím denního vývoje hodnoty akciových indexů. Predikovali pouze směr pohybu, tj. růst nebo pokles. K predikci použili pravděpodobnosti přechodu, které napočítali postupně z posledních 5 let, 3 let a 1 roku.

Závěr studie není překvapivý, nejlepší výsledky měla predikce využívající data z posledního roku.

2.2 Metodika výzkumu

Základním předpokladem pro splnění stanoveného cíle je dostatek dat, na kterých by bylo možno jednotlivé modely stavového prostoru a následné obchodní strategie prověřovat. Získat data nebyla úplně snadná záležitost. Nakonec požadovaná data poskytla zdarma společnost Patria a.s. Ukázku dat vidíme na obrázku 2.1.

Obrázek 2.1 Ukázka dat pro ověření po postupů

Datum / Date		Měna / Currency	Zahájení / Open (CZK)	Závěr / Close (CZK)	Změna ceny / (%)	Denní minimum / (CZK)	Denní maximum / (CZK)	Objem celkem / (ks / pcs)	Objem obchodů / Turnover (CZK)
10	20.02.2013	CZK	4 065,00	4 085,00	0,49	4 065,00	4 088,00	122 509	499 309 736,00
11	19.02.2013	CZK	4 080,00	4 065,00	-0,47	4 036,00	4 085,00	72 787	296 147 204,00
12	18.02.2013	CZK	4 005,00	4 084,00	1,59	4 005,00	4 106,00	36 855	150 397 608,00
13	15.02.2013	CZK	3 950,00	4 020,00	2,03	3 936,00	4 020,00	71 249	285 465 363,00
14	14.02.2013	CZK	3 900,00	3 940,00	0,82	3 860,00	3 949,00	71 661	279 796 415,00
15	13.02.2013	CZK	3 921,00	3 908,00	1,51	3 890,00	3 963,00	84 301	330 362 885,00
16	12.02.2013	CZK	3 836,00	3 850,00	-0,03	3 830,00	3 900,00	46 035	177 733 826,00
17	11.02.2013	CZK	3 798,00	3 851,00	1,66	3 790,00	3 868,00	46 022	176 056 021,20
18	08.02.2013	CZK	3 790,00	3 788,00	0,24	3 772,00	3 799,00	118 407	448 106 289,00
19	07.02.2013	CZK	3 815,00	3 779,00	-0,55	3 760,00	3 820,00	17 913	67 945 028,00

zdroj: Patria a.s.

Další důležitý krok ke splnění vytýčeného cíle bude nalezení vhodného stavového prostoru. To znamená propočítat velké množství variant různě definovaných stavových prostorů, vybrat ty s nejlepšími výsledky a na ně aplikovat obchodní strategie. Předpokladem pro realizaci těchto postupů je výběr vhodného software, který nám umožní zautomatizovat výpočty. Jako vhodný sw byl zvolen MS Excel z následujících důvodů:

- dobré uživatelské rozhraní umožňuje efektivní kontrolu a analýzu výsledků, pro neopakující se výpočty je možno využít již připravené funkce Excelu,
- Excel má plnohodnotný programovací jazyk, který je postačující pro naprogramování potřebných výpočtů.

Výpočetní algoritmy byly naprogramovány v jazyce VBA, který je součástí MS Excel. Na obrázku 2.2 je zobrazena část algoritmu pro výpočet hodnoty portfolia (zhodnocení).

Obrázek 2.2 Ukázka algoritmu pro výpočet hodnoty portfolia

```

Microsoft Visual Basic for Applications - Disertace_MC_cast2.xlsm [break] - [Module4 (Code)]
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
General Markov_hodnota_portfolia

If stav = 1 And Akcie.Cells(i, 16).Value = Sheets("List1").Cells(5, v + 4).Value Then
    prodej = Akcie.Cells(i - 1, 2).Value
    stav = 0
    Akcie.Cells(i, 18).Value = "P"
    zhodnoceni = zhodnoceni * (prodej + div) / nakup
    pocet_obchodu = pocet_obchodu + 1
    div = 0
End If

```

zdroj: autor

Před tím, než byly algoritmy aplikovány na reálná data, byla provedena kontrola správnosti jejich výpočtů. Byly zobrazeny mezivýsledky a provedena jejich kontrola. Mezivýsledky při výpočtu dosaženého zhodnocení jsou zobrazeny na obrázku 2.3.

Obrázek 2.3 Část výstupu s mezivýsledky při výpočtu dosaženého zhodnocení

	A	B	C	I	O	P	R	S	T
10	datum	cena open	cena close	dividenda	Kup a Drž	Stav	signál	Hodnota portfolia	dividenda v pozici
637	08.07.2010	878,10	878,90		1,38654	G1	P	1,339797	0
638	07.07.2010	882,00	878,10		1,38546	D1		1,307937	0
639	02.07.2010	858,00	882,00		1,39071	G3		1,307937	0
640	01.07.2010	860,80	858,00		1,35841	D1	N	1,307937	
641	30.06.2010	855,00	860,80		1,36218	G1	P	1,307937	45,05
642	29.06.2010	862,90	855,00		1,35437	D1		1,347572	45,05
643	28.06.2010	866,00	862,90		1,36501	D1		1,347572	45,05
644	25.06.2010	870,00	866,00		1,36918	D1		1,347572	45,05
645	24.06.2010	879,80	870,00		1,37456	D2		1,347572	45,05
646	23.06.2010	933,30	879,80	45,05	1,38775	D1		1,347572	45,05
647	22.06.2010	939,00	933,30		1,39913	D1	N	1,347572	
648	21.06.2010	939,00	939,00		1,4068	G1		1,347572	
649	18.06.2010	921,00	939,00		1,4068	G2		1,347572	
650	17.06.2010	919,00	921,00		1,38257	G1		1,347572	

zdroj: autor

Z obrázku lze vyčíst, že nákupní signál byl generován ve stavu D₁, nákupní signál byl vydán 22.6.2010 a kupovali jsme za cenu 933,80, akcii jsme drželi v rozhodný den a tudíž máme právo na výplatu čisté dividendy ve výši 45,05, prodejní signál byl generován stavem G₁ dne 30.6.2010 při ceně 860,80, před touto obchodní sekvencí jsme do-

sáhli zhodnocení 1,3475 a po obchodní sekvenci klesla hodnota na 1,3079. Pozorný čtenář si všimne jednoho zjednodušení. Dividendu jsme přičetli k dosaženému zhodnocení v okamžiku prodeje akcie. Ve skutečnosti jsou dividendy vypláceny asi s měsíčním zpožděním. Toto zjednodušení má minimální dopad na výsledky neboť stejně postupujeme i u referenční pasivní strategie "kup a drž".

2.3 Datová základna

Analýzu našich modelů budeme provádět na akciových společnostech obchodovaných na Burze cenných papírů Praha, a.s. Při výběru vhodných společností byla sledována následující kritéria:

- společnost by měla být obchodována na burze delší dobu, abychom měli dostatečně dlouhou časovou řadu,
- společnost by měla být obchodována v dostatečných objemech,
- společnost by měla mít ustálenou vlastnickou strukturu, tj. měla by mít většinového akcionáře, aby nedocházelo k růstu ceny v souvislosti se získáním většího vlivu ve společnosti.

2.3.1 Vybrané společnosti

Na základě výše uvedených požadavků byly vybrány následující tři společnosti: Telefónica O2, Komerční banka a ČEZ. Pro každou společnost máme k dispozici denní ceny (otevírací, závěrečnou, minimální a maximální) a denní objem obchodů za sedmileté období, od 5. ledna 2006 do 2. ledna 2013, tj. cca. 1760 obchodních dnů.

ČEZ

Energetická skupina ČEZ je významným evropským, ale také světovým hráčem na trhu s elektrickou energií. Cílovým trhem je region střední a jihovýchodní Evropy, především pak Česká republika, kde se nachází většina zdrojů a také je zde spotřebována převážná část produkce společnosti. Skupina ČEZ se mimo hlavního zaměření (na výrobu a prodej elektrické energie) zabývá také aktivitami v oblasti telekomunikací, informatiky, jaderného výzkumu, projektování, výstavby a údržby energetických zařízení, těžby surovin nebo zpracování vedlejších energetických produktů a v neposlední řadě výrobou a

prodejem tepla. V České republice je skupina ČEZ třetím největším hráčem na trhu s teplem. Od začátku roku 2010 se ČEZ zabývá také prodejem zemního plynu. Většinou-
vým vlastníkem je prostřednictvím Fondu národního majetku Česká republika, s podí-
lem na základním kapitálu téměř 70%.

Komerční banka

Komerční banka patří k nejvýznamnějším bankovním institucím v České republice, kde je třetí největší bankou podle výše aktiv a počtu klientů. Skupina Komerční banky (KB) poskytuje klientům komplexní služby v oblasti drobného, podnikového a investič-
ního bankovníctví. Do skupiny Komerční banky patří stavební spořitelna Modrá pyra-
mida, KB penzijní společnost poskytující penzijní přípojištění, kde má společnost 100%
podíl. Oblast podnikového a investičního bankovníctví zahrnuje obsluhu velkých korpora-
cí, středních podniků a municipalit. V oblasti drobného bankovníctví se společnost za-
měřuje na poskytování komplexních finančních služeb fyzickým osobám a malým pod-
nikům. Pro banku byl významný rok 2006, kdy se většinovým vlastníkem stala fran-
couzská Société Générale, která koupila státní podíl ve výši 60%.

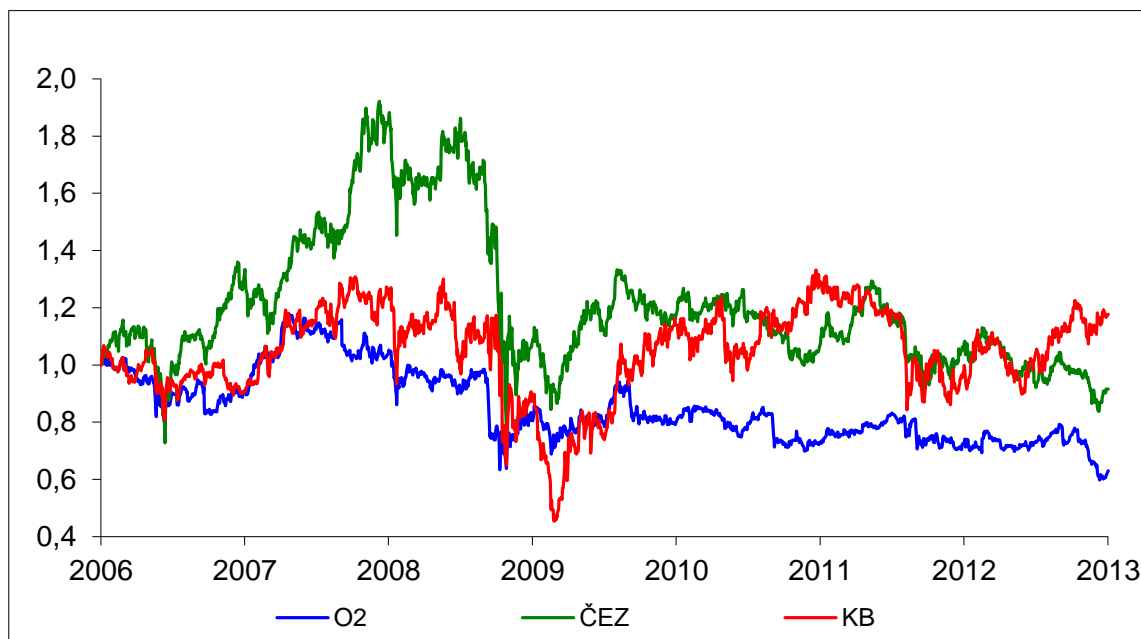
Telefónica O2

Společnost Telefónica O2 Czech Republic je největším integrovaným telekomuni-
kačním operátorem na českém trhu. V současnosti provozuje téměř osm milionů mobil-
ních a pevných linek, což z ní činí jednoho z vedoucích poskytovatelů plně konvergent-
ních služeb v Evropě. Nabízí nejucelenější nabídku hlasových a datových služeb v Čes-
ké republice. Společnost provozuje nejrozsáhlejší pevnou a mobilní síť včetně nejmo-
dernější technologie HSPA+ a LTE, která umožňuje přenos dat, hlasu, obrazu a videa.
Společnost je také předním poskytovatelem ICT služeb v zemi, se svou službou O2 TV
je operátor zároveň největším provozovatelem internetového televizního vysílání v Čes-
ku. Na Slovensku, kde O2 působí od roku 2007, využívalo ve třetím čtvrtletí 2013 mo-
bilní služby operátora bezmála 1,5 milionu lidí. Ve sledovaném období byla většinovým
vlastníkem španělská Telefonica. Od ledna 2014 je většinovým vlastníkem investiční
skupina PPF.

2.3.2 Vývoj cen sledovaných akcií

Vývoj ceny jednotlivých akciových titulů za sledované období, měřeno bazickým inde-
xem (cena 5. ledna 2006 = 1,00), vidíme v grafu 2.1.

Graf 2.1 Zhodnocení akcií v období 2006 -2012



zdroj: Patria, zpracování autor

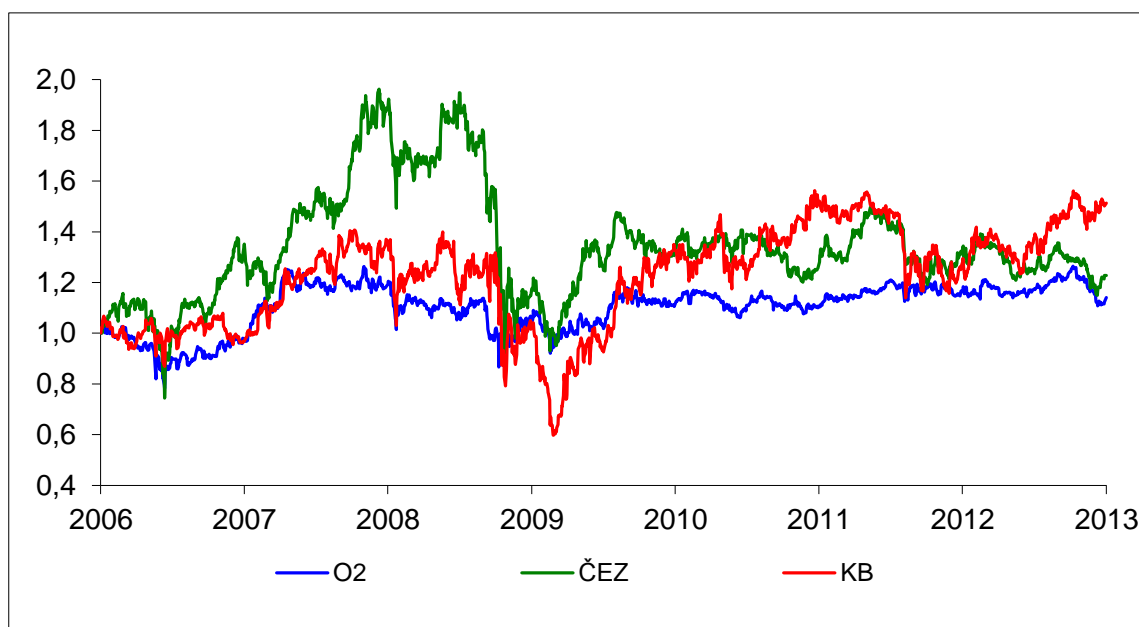
Všechny tři společnosti ve sledovaném období pravidelně vyplácely dividendy. Pro výplatu dividendy je důležitý rozhodný den (datum nároku pro výplatu dividendy). Nárok na dividendu má akcionář, který v rozhodný den po uzavření trhů vlastní akcii. Akcionář, který vlastní akcii den následující po rozhodném dni, na dividendu nárok nemá. Proto obvykle následující obchodní den po rozhodném dni reagují akcie zpravidla technickou korekcí kurzu o celou výši čisté dividendy. Výše vyplacených dividend a rozhodný den jsou uvedeny v tabulce 2.1. V tabulce vidíme, že akcie ČEZ měla v roce 2012 rozhodný den pro výplatu dividendy 2.7.2012. Investor, který držel akcie ČEZ 2.7.2012 po uzavření trhů, má nárok na dividendu v hrubé výši 45,- Kč. Z dividendy v hrubé výši 45 Kč dostane akcionář dividendu po zdanění ve výši 38,25 Kč a 15% daň z dividend, tj. 6,75 Kč českému státu za podíl níka odvede už firma sama. V případě obchodování na Burze Praha, která má vypořádání T+3 (akcionář se vlastníkem akcie stává až za tři obchodní dny po uzavření obchodu v den T, v budoucnu bude vypořádání T+2), nastane tento pokles o 3 obchodní dny dříve, tedy 28.6.2012.

Tabulka 2.1 Vyplácené dividendy

rok	ČEZ		KB		O2	
	čistá divi- denda	rozhodný den	čistá divi- denda	rozhodný den	čistá divi- denda	rozhodný den
2012	38,25	02.07	136,00	19.04	13,00	14.11.
					22,95	12.09
2011	42,50	07.06	229,50	14.04	34,00	07.09
2010	45,05	29.06	144,50	22.04	34,00	08.09
2009	42,50	13.05	153,00	29.05	42,50	09.09
2008	34,00	21.05	153,00	29.05	42,50	17.09
2007	17,00	23.04	127,50	25.05	42,50	10.09
2006	12,75	23.05	212,50	26.05	38,25	25.09

zdroj: www.o2.cz, www.cez.cz, www.kb.cz, zpracování autor

Vývoj indexu cen jednotlivých sledovaných společností očištěný o poklesy způsobené ztrátou práva na výplatu dividendy vidíme v níže uvedeném grafu 2.2.

Graf 2.2 Zhodnocení akcií včetně dividend v období 2006 -2012

zdroj: Patria vlastní zpracování

Ve všech modelech pro definování stavového prostoru budeme vycházet z denních závěrečných cen. Vzhledem k tomu, že uvedené společnosti ve sledovaném období pravidelně vyplácely dividendy, byly závěrečné ceny (v prvních dnech bez nároku na divi-

dendu, EX date) navýšeny o čistou dividendu. Tím jsme eliminovali poklesy cen, které byly způsobeny ztrátou nároku na dividendu. To odpovídá skutečnosti, protože pokles ceny akcie byl akcionáři kompenzován vyplacenou dividendou. Z upravených závěrečných cen jsme počítali denní změnu ceny akcie Y_t (řetězové indexy denních změn) respektive procentuální vyjádření denní změny ceny, které budeme značit y_t . Dále budeme počítat kumulovanou změnu ceny akcie K_t , respektive procentuální vyjádření kumulované změny ceny, které budeme značit k_t . K_t interpretujeme jako krátké bazické indexy denních závěrečných cen, kde základní období je den změny trendu, tj. přechod z poklesu do růstu nebo naopak. Délka trvání trendu je určena počtem po sobě jdoucích rostoucích či klesajících závěrečných cen. Výše popsané veličiny spočítáme podle následujících vztahů:

$$Y_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad (2.12)$$

$$K_t = K_{t-1} \frac{P_t}{P_{t-1}} \text{ jestliže } (P_{t-2} \leq P_{t-1} \leq P_t) \text{ nebo } (P_{t-2} \geq P_{t-1} \geq P_t) \quad (2.13)$$

$$K_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} \text{ v ostatních případech}$$

Tabulka 2.2 Ilustrace vztahů P_t , Y_t a K_t

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_t	801,2	809	813,7	807,5	802,1	819	826	834	821
Y_t		1,0097	1,0058	0,9924	0,9933	1,0211	1,0085	1,0097	0,9844
y_t		0,97%	0,58%	-0,76%	-0,67%	2,11%	0,85%	0,97%	-1,56%
K_t		1,0097	1,0156	0,9924	0,9857	1,0211	1,0298	1,0398	0,9844
k_t		0,97%	1,56%	-0,76%	-1,43%	2,11%	2,98%	3,98%	-1,56%

zdroj: výpočty autora

Ve všech uvedených modelech budeme definovat stavový prostor na následujícím principu. Pro roztřídění dat použijeme množinu s osmi stavy. Stav, kdy cena akcie klesá, budeme označovat D_i . Stav D_1 bude stav s nejmenším poklesem ceny a naopak stav D_4 bude označovat stav s nejvyšším poklesem ceny. Stav, kdy cena akcie roste, budeme označovat G_i . Stav G_1 bude stav s nejmenším růstem ceny a naopak stav G_4 bude označovat stav s nejvyšším růstem ceny. V každém modelu určíme počet výskytu jednotlivých stavů n_i , podmíněné pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy p_{ij} (prvky matice P) a podmíněné pravděpodobnosti přechodu z daného stavu do někte-

rého z klesajících stavů $d_i = \sum_{j=1}^4 p_{ij}$ a do některého z rostoucích stavů $g_i = \sum_{j=5}^8 p_{ij}$. Hodnoty d_i a g_i udávají pravděpodobnosti setrvání či změny trendu. Pro stav D_i je d_i pravděpodobnost setrvání v klesajícím trendu a g_i je pravděpodobnost změny trendu. Pro stav G_i je to naopak.

3 Homogenní modely

V této části práce opomeneme jednu ze základních vlastností vysokofrekvenčních finančních časových řad, jejich relativně vysokou a proměnlivou variabilitu (nestacionaritů) a budeme změny cen akcií modelovat homogenními Markovovými řetězci.

3.1 Modely stavového prostoru

Jak už bylo řečeno v předchozí části textu, jedním z dílčích úkolů je nalezení vhodného modelu stavového prostoru, ve kterém budou existovat stavy s vysokou pravděpodobností přechodu do jiného stavu nebo určité skupiny stavů s požadovanými vlastnostmi. Nyní se takové modely pokusíme nalézt.

3.1.1 Model stavového prostoru 1

V tomto prvním modelu definujeme stavový prostor na základě velikosti denních změn y_t . Šíří intervalu pro kategorizaci hodnot y_t jsme zvolili 1%. Hodnotám y_t přiřadíme jednotlivé stavy následovně:

$$\begin{aligned} D_4: y_t < -3\%; & \quad D_3: -3\% \leq y_t < -2\%; & \quad D_2: -2\% \leq y_t < -1\%; & \quad D_1: -1\% \leq y_t < 0; \\ G_1: 0 \leq y_t < 1\%; & \quad G_2: 1\% \leq y_t < 2\%; & \quad G_3: 2\% \leq y_t < 3\%; & \quad G_4: 3\% \leq y_t. \end{aligned}$$

Pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy pro všechny tři společnosti vidíme v tabulce 3.1. Vypočítané pravděpodobnosti p_{ij} jsou zobrazeny jen na tři desetinná místa, a proto řádkový součet pravděpodobností nemusí být vždy roven 1.

Tabulka 3.1 Pravděpodobnosti přechodu v modelu 1

n-1 \ n		D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	d _i	g _i	n _i
D ₄	O2	0,065	0,097	0,129	0,161	0,065	0,226	0,129	0,129	0,452	0,548	31
	CEZ	0,165	0,051	0,139	0,152	0,177	0,063	0,076	0,177	0,506	0,494	79
	KB	0,125	0,080	0,161	0,161	0,116	0,134	0,080	0,143	0,527	0,473	112
D ₃	O2	0,053	0,053	0,228	0,158	0,175	0,140	0,105	0,088	0,491	0,509	57
	CEZ	0,108	0,075	0,097	0,140	0,226	0,118	0,129	0,108	0,419	0,581	93
	KB	0,136	0,100	0,173	0,118	0,191	0,155	0,036	0,091	0,527	0,473	110

pokračování tabulky 3.1

D ₂	O2	0,028	0,052	0,113	0,282	0,343	0,141	0,033	0,009	0,474	0,526	213
	CEZ	0,049	0,057	0,150	0,207	0,289	0,175	0,045	0,028	0,463	0,537	246
	KB	0,046	0,071	0,125	0,250	0,225	0,133	0,092	0,058	0,492	0,508	240
D ₁	O2	0,011	0,028	0,115	0,325	0,370	0,105	0,039	0,006	0,479	0,521	532
	CEZ	0,027	0,034	0,143	0,263	0,314	0,145	0,058	0,017	0,466	0,534	414
	KB	0,072	0,054	0,132	0,220	0,287	0,116	0,054	0,065	0,478	0,522	387
G ₁	O2	0,015	0,026	0,115	0,333	0,382	0,091	0,034	0,003	0,489	0,511	615
	CEZ	0,029	0,060	0,156	0,235	0,296	0,163	0,045	0,016	0,479	0,521	486
	KB	0,034	0,048	0,118	0,264	0,307	0,123	0,057	0,050	0,464	0,536	440
G ₂	O2	0,014	0,014	0,112	0,276	0,346	0,192	0,023	0,023	0,416	0,584	214
	CEZ	0,034	0,034	0,117	0,301	0,274	0,162	0,045	0,034	0,485	0,515	266
	KB	0,054	0,049	0,170	0,238	0,265	0,108	0,067	0,049	0,511	0,489	223
G ₃	O2	0,000	0,029	0,118	0,265	0,279	0,162	0,059	0,088	0,412	0,588	68
	CEZ	0,030	0,040	0,149	0,238	0,248	0,139	0,079	0,079	0,455	0,545	101
	KB	0,034	0,068	0,128	0,214	0,222	0,111	0,120	0,103	0,444	0,556	117
G ₄	O2	0,069	0,138	0,276	0,103	0,172	0,138	0,034	0,069	0,586	0,414	29
	CEZ	0,095	0,162	0,108	0,149	0,122	0,135	0,081	0,149	0,514	0,486	74
	KB	0,100	0,092	0,131	0,131	0,162	0,169	0,062	0,154	0,454	0,546	130

zdroj: výpočet autora

Z výsledků lze učinit dva závěry. Za první výsledky pro jednotlivé společnosti se liší. Například ve stavu G₄ se společnost O2 vyskytla pouze 29 krát a pravděpodobnost, že ze stavu G₄ přejde do nějakého růstového stavu je 58,6%. Naproti tomu společnost KB se ve stavu G₄ vyskytla 130 krát a pravděpodobnost, že z G₄ opět přejde do nějakého růstového stavu, je pouze 45,4%. Za druhé můžeme vypočítat, že pravděpodobnosti přechodu z jednotlivých stavů do růstových stavů (hodnoty g_i) nebo klesajících stavů (hodnoty d_i) se pohybují v průměru mezi hodnotami 0,44 až 0,56. To znamená, že pokračování daného trendu či změna trendu jsou přibližně stejně pravděpodobné. Našemu požadavku 0,33 respektive 0,67 se neblížíme. Tyto hodnoty jsou blízké výsledkům už dříve publikovaných prací např. Doubleday and Esunge (2011).

3.1.2 Model stavového prostoru 2

V druhém modelu budeme stavový prostor definovat stále na základě velikosti denních změn y_t , ale velikost růstu či poklesu budeme pro každou akcii definovat v závislosti na její směrodatné odchylce (značíme σ), kterou vypočítáme z denních cenových změn y_t . Pro jednotlivé tituly jsme vypočítali následující hodnoty: $\sigma_{O2} = 1,442\%$, $\sigma_{CEZ} = 1,996\%$, $\sigma_{KB} = 2,355\%$. Tímto krokem vlastně šíří intervalu znormujeme a očekáváme, že rozdíly mezi jednotlivými společnostmi, jak jsme viděli v předchozím modelu 1, by mohly být částečně eliminovány. Pro kategorizaci hodnot y_t byly vyzkoušeny různé násobky směrodatné odchylky, jako vhodné se ukázalo volit šíří intervalu $0,5\sigma$. Hodnotám y_t přiřadíme jednotlivé stavy následovně:

$$D_4: y_t < -1,5\sigma; \quad D_3: -1,5\sigma \leq y_t < -1\sigma; \quad D_2: -1\sigma \leq y_t < -0,5\sigma; \quad D_1: -0,5\sigma \leq y_t < 0;$$

$$G_1: 0 \leq y_t < 0,5\sigma; \quad G_2: \sigma \leq y_t < 2\sigma; \quad G_3: 2\sigma \leq y_t < 3\sigma; \quad G_4: 3\sigma \leq y_t.$$

Pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy pro všechny tři společnosti vidíme v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2. Pravděpodobnosti přechodu pro model 2

n-1 \ n		n								d_i	g_i	n_i
		D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4			
D_4	O2	0,139	0,101	0,139	0,127	0,101	0,038	0,152	0,203	0,506	0,494	79
	CEZ	0,167	0,051	0,128	0,154	0,179	0,064	0,077	0,179	0,500	0,500	78
	KB	0,139	0,089	0,101	0,190	0,127	0,165	0,051	0,139	0,519	0,481	79
D_3	O2	0,079	0,059	0,119	0,168	0,327	0,139	0,059	0,050	0,426	0,574	101
	CEZ	0,105	0,074	0,095	0,147	0,232	0,116	0,126	0,105	0,421	0,579	95
	KB	0,089	0,069	0,188	0,168	0,218	0,149	0,059	0,059	0,515	0,485	101
D_2	O2	0,041	0,041	0,165	0,230	0,284	0,132	0,074	0,033	0,477	0,523	243
	CEZ	0,049	0,061	0,147	0,208	0,282	0,184	0,045	0,024	0,465	0,535	245
	KB	0,053	0,061	0,132	0,268	0,246	0,132	0,075	0,035	0,513	0,487	228
D_1	O2	0,037	0,068	0,141	0,239	0,312	0,129	0,041	0,032	0,485	0,515	410
	CEZ	0,024	0,034	0,147	0,265	0,313	0,142	0,058	0,017	0,470	0,530	415
	KB	0,039	0,059	0,129	0,249	0,308	0,120	0,048	0,048	0,476	0,524	441
G_1	O2	0,033	0,049	0,124	0,274	0,329	0,118	0,037	0,035	0,480	0,520	508
	CEZ	0,029	0,062	0,153	0,235	0,297	0,163	0,045	0,016	0,478	0,522	485
	KB	0,022	0,043	0,110	0,300	0,337	0,116	0,049	0,024	0,475	0,525	493

pokračování tabulky 3.2

G ₂	O2	0,034	0,060	0,149	0,226	0,285	0,153	0,068	0,026	0,468	0,532	235
	CEZ	0,034	0,034	0,123	0,299	0,272	0,160	0,045	0,034	0,489	0,511	268
	KB	0,036	0,063	0,129	0,263	0,277	0,129	0,058	0,045	0,491	0,509	224
G ₃	O2	0,039	0,049	0,098	0,225	0,255	0,206	0,098	0,029	0,412	0,588	102
	CEZ	0,030	0,040	0,150	0,240	0,250	0,140	0,080	0,070	0,460	0,540	100
	KB	0,029	0,049	0,167	0,176	0,245	0,147	0,098	0,088	0,422	0,578	102
G ₄	O2	0,074	0,062	0,173	0,173	0,123	0,185	0,049	0,160	0,481	0,519	81
	CEZ	0,096	0,164	0,096	0,137	0,123	0,151	0,068	0,164	0,493	0,507	73
	KB	0,088	0,077	0,154	0,143	0,176	0,121	0,088	0,154	0,462	0,538	91

zdroj: výpočty autora

Z výsledků vidíme, že definováním stavového prostoru na základě směrodatné odchylky se nám podařilo do značné míry eliminovat rozdíly mezi jednotlivými společnostmi. Snížily se rozdíly jak v počtu výskytů jednotlivých stavů, tak i u pravděpodobností přechodů do růstových či klesajících stavů. Pravděpodobnosti přechodu z jednotlivých stavů do růstových stavů nebo klesajících stavů zůstaly na podobných úrovních jako u modelu 1.

Podívejme se ještě na výsledky modelu 2 optikou teorie efektivních trhů. Vidíme, že se jedná o řetězec ergodický a spočítáme stacionární vektor pro jednotlivé společnosti. Výsledky vidíme v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Složky stacionárního vektoru

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
O2	0,0449	0,0574	0,1382	0,2330	0,2887	0,1331	0,0580	0,0467
CEZ	0,0443	0,0540	0,1393	0,2359	0,2763	0,1518	0,0569	0,0415
KB	0,0449	0,0574	0,1296	0,2507	0,2802	0,1268	0,0586	0,0518

zdroj: výpočty autora

Z teorie víme, že složky stacionárního vektoru můžeme interpretovat jako podíly z celkové doby, kterou proces stráví v jednotlivých stavech v průběhu dosti dlouhého období. Ale z toho vyplývá, že složky stacionárního vektoru by se měly limitně rovnat relativní četnosti (značíme v_i) výskytu jednotlivých stavů. Absolutní počet výskytů jednotlivých stavů máme zaznamenaný v posledním sloupci tabulky 3.2. Relativní četnost výskytu jednotlivých stavů vidíme v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4 Relativní četnost jednotlivých stavů

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
O2	0,0449	0,0574	0,1381	0,2331	0,2888	0,1336	0,0580	0,0460
CEZ	0,0443	0,0540	0,1393	0,2359	0,2757	0,1524	0,0569	0,0415
KB	0,0449	0,0574	0,1296	0,2507	0,2803	0,1273	0,0580	0,0517

zdroj: výpočet autora

Podle očekávání vidíme, že pokud se výsledky liší, tak až na místě deseti tisícín. Ale zamysleme se nad tím, v jakém vztahu by měli být pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy v pravděpodobnostní matici při platnosti teorie efektivních trhů. Při platnosti této teorie koná cena akcie náhodnou procházku. To znamená, že další "krok" by neměl být podmíněn předchozím krokem. Pravděpodobnost přechodu z libovolného stavu i do stavu j by měla být stejná a rovna relativní četnosti stavu j . Matice pravděpodobnosti přechodu P by tedy měla být také totožná s limitní maticí U , tj. každý její řádek by měl být shodný s limitním stacionárním vektorem. O platnosti tohoto tvrzení se přesvědčíme simulační metodou. Necháme si vygenerovat náhodný Markovův řetězec (MŘ) o délce 5000 snímků a s osmi stavy, přičemž budeme požadovat, aby pravděpodobnost vygenerování i -tého stavu byla totožná s průměrnou relativní četností výskytů stavů v tabulce 3.4. Následně spočítáme pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy. Napočítané pravděpodobnosti jsou zobrazeny v tabulce 3.5.

Tabulka 3.5 Matice pravděpodobnosti přechodu pro náhodně generovaný MŘ.

		D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4	n_i
1.	D_4	0,0369	0,0599	0,1797	0,2581	0,2488	0,1106	0,0829	0,0230	217
2.	D_3	0,0490	0,0350	0,1259	0,2692	0,2622	0,1364	0,0629	0,0594	286
3.	D_2	0,0446	0,0619	0,1468	0,2504	0,2734	0,1165	0,0547	0,0518	695
4.	D_1	0,0439	0,0556	0,1327	0,2421	0,2869	0,1360	0,0589	0,0439	1206
5.	G_1	0,0453	0,0599	0,1432	0,2403	0,2841	0,1234	0,0592	0,0446	1369
6.	G_2	0,0358	0,0627	0,1328	0,2194	0,2761	0,1478	0,0746	0,0507	670
7.	G_3	0,0438	0,0469	0,1531	0,2594	0,2406	0,1469	0,0469	0,0625	320
8.	G_4	0,0464	0,0591	0,1055	0,2025	0,2236	0,1941	0,1224	0,0464	237
9.	generované v_i	0,0470	0,0576	0,1418	0,2314	0,2810	0,1348	0,0604	0,0460	
10.	požadované v_i	0,0447	0,0563	0,1357	0,2399	0,2816	0,1378	0,0576	0,0464	

zdroj: výpočet autora

Na řádcích 1 až 8 máme pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy. Na 9. řádku je relativní četnost jednotlivých stavů. Porovnáme-li jednotlivé pravděpodobnosti přechodu z libovolného stavu i do stavu j s relativní četností stavu j , vidíme, že se liší nepatrně, v řádu jednotek procent. Řádek 10 je kontrolní, abychom viděli, jak se vygenerovaná relativní četnost liší od požadované. Můžeme tedy vyslovit hypotézu, že matice pravděpodobnosti přechodu P je shodná s limitní maticí U , tj. každý její řádek má shodné rozdělení s limitním stacionárním vektorem. Tuto hypotézu ověříme χ^2 testem dobré shody. Jako testové kritérium volíme statistiku

$$G_j = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n\pi_i)^2}{n\pi_i} \quad (3.1)$$

kde G_j je hodnota statistiky pro j -tý řádek,
 n_i jsou počty realizovaných přechodů z j -tého stavu do i -tého stavu,
 n je počet výskytů výchozího stavu j -tého stavu,
 π_i je relativní četnost i -tého stavu (teoretická četnost).

Statistika G má za předpokladu dostatečného počtu realizací přibližně χ^2 rozdělení s $v = k - 1$ stupni volnosti.

Zvolíme-li kritickou hodnotu na 5% - ní hladině významnosti, tak kritická hodnota pro 7 stupňů volnosti je 14,1. Hodnoty testové statistiky pro jednotlivé stavy v náhodně generovaném Markovu řetězci udává tabulka 3.6.

Tabulka 3.6 Hodnoty statistiky pro jednotlivé stavy v náhodně generovaném MŘ

stav	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
G	9,42	6,36	4,25	1,95	2,15	6,34	7,15	27,09

zdroj: výpočet autora

Jak vidíme v tabulce, kritická hodnota byla překročena pouze u stavu G_4 . Pravděpodobnost, že při platnosti naší hypotézy z osmi realizací se jev vyskytne více než jedenkrát, je 0,336 (řídí se binomickým rozdělením). Nemůžeme tedy zamítnout na běžných hladinách významnosti naši hypotézu o shodě matice pravděpodobnosti přechodu P s limitní maticí U . Stejným způsobem spočítáme hodnoty testové statistiky pro jednotlivé stavy v matici pravděpodobnosti přechodu v modelu 2. Hodnoty testové statistiky pro jednotlivé stavy a jednotlivé akciové tituly udává tabulka 3.7.

Tabulka 3.7 Hodnoty testové statistiky pro jednotlivé stavy v modelu 2

stav	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
G _{O2}	91,27	5,30	4,45	6,16	15,05	4,13	9,23	36,00
G _{ČEZ}	71,62	32,02	5,19	17,13	13,36	8,94	4,15	57,76
G _{KB}	37,96	11,93	3,94	2,80	27,84	0,90	10,21	32,33

zdroj: vlastní výpočet

Jak můžeme pozorovat, kritická hodnota byla překročena u akcií O2 ve třech případech, u akcií ČEZ v čtyřech případech a u akcií KB ve třech případech. Za předpokladu platnosti naší hypotézy, je pravděpodobnost, že překročení kritické hodnoty nastane více než třikrát, je 0,006. Tento výsledek zpochybňuje naši hypotézu, že matice pravděpodobnosti přechodu P je shodná s limitní maticí U. Tento závěr nepodporuje tvrzení o náhodné procházce na akciových trzích.

3.1.3 Model stavového prostoru 3

V modelu 3 vymezíme stavový prostor na základě velikosti kumulativních změn k_t . Stavový prostor stejně jako v předchozím modelu 2 budeme definovat jako násobek směrodatné odchylky. Otázka je, jak široký interval zvolit. Protože šíře intervalu $0,5\sigma$ je pro kumulované změny dosti malá, zvolili jsme šíři 1σ . Stavový prostor bude definován následovně:

$$\begin{array}{llll}
 D_4: k_t < -3\sigma; & D_3: -3\sigma \leq k_t < -2\sigma; & D_2: -2\sigma \leq k_t < -1\sigma; & D_1: -1\sigma \leq k_t < 0; \\
 G_1: 0 \leq k_t < 1\sigma; & G_2: 1\sigma \leq k_t < 3\sigma; & G_3: 2\sigma \leq k_t < 3\sigma; & G_4: 3\sigma \leq k_t.
 \end{array}$$

Matici pravděpodobnosti přechodu pro jednotlivé stavy vidíme v tabulce 3.8. Vzhledem k tomu, jak je definována veličina k_t , (kumulovaná změna po dobu trvání trendu), jsou pravděpodobnosti přechodu mezi některými stavy nemožné. V těchto nemožných přechodech je nula bez desetinných míst, abychom odlišili od přechodu sice možného, ale který se neuskutečnil. V přechodu, který se neuskutečnil, bude nula s plným počtem desetinných míst.

Tabulka 3.8 Pravděpodobnosti přechodu pro model 3

n-1 \ n		n										
		D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	d _i	g _i	n _i
D ₄	O2	0,487	0	0	0	0,244	0,192	0,013	0,064	0,487	0,513	79
	CEZ	0,435	0	0	0	0,159	0,319	0,029	0,058	0,435	0,565	78
	KB	0,478	0	0	0	0,239	0,119	0,119	0,045	0,478	0,522	79
D ₃	O2	0,273	0,239	0	0	0,341	0,136	0,011	0,000	0,511	0,489	101
	CEZ	0,284	0,149	0	0	0,373	0,164	0,030	0,000	0,433	0,567	95
	KB	0,181	0,298	0	0	0,340	0,106	0,064	0,011	0,479	0,521	101
D ₂	O2	0,048	0,193	0,251	0	0,372	0,106	0,024	0,005	0,493	0,507	243
	CEZ	0,058	0,159	0,274	0	0,412	0,080	0,013	0,004	0,491	0,509	245
	KB	0,060	0,218	0,241	0	0,380	0,069	0,028	0,005	0,519	0,481	228
D ₁	O2	0,004	0,032	0,180	0,310	0,403	0,065	0,006	0,000	0,526	0,474	410
	CEZ	0,004	0,021	0,191	0,282	0,447	0,051	0,002	0,002	0,498	0,502	415
	KB	0,006	0,031	0,191	0,297	0,399	0,059	0,010	0,006	0,525	0,475	441
G ₁	O2	0,008	0,004	0,061	0,389	0,311	0,197	0,023	0,006	0,463	0,537	508
	CEZ	0,002	0,013	0,056	0,392	0,278	0,223	0,027	0,008	0,463	0,537	485
	KB	0,002	0,000	0,064	0,415	0,300	0,182	0,021	0,015	0,482	0,518	493
G ₂	O2	0,000	0,009	0,082	0,375	0	0,250	0,233	0,052	0,466	0,534	235
	CEZ	0,004	0,004	0,078	0,395	0	0,285	0,188	0,047	0,480	0,520	268
	KB	0,005	0,000	0,077	0,348	0	0,339	0,190	0,041	0,430	0,570	224
G ₃	O2	0,000	0,020	0,059	0,431	0	0	0,265	0,225	0,510	0,490	102
	CEZ	0,011	0,022	0,066	0,407	0	0	0,242	0,253	0,505	0,495	100
	KB	0,000	0,010	0,113	0,423	0	0	0,206	0,247	0,546	0,454	102
G ₄	O2	0,000	0,060	0,143	0,310	0	0	0	0,488	0,512	0,488	81
	CEZ	0,024	0,024	0,214	0,274	0	0	0	0,464	0,536	0,464	73
	KB	0,000	0,029	0,114	0,314	0	0	0	0,543	0,457	0,543	91

zdroj: výpočty autora

Podíváme – li se na výsledky, ani tento model nenabízí stavy, kde by se "zajímavou pravděpodobností" docházelo ke změně trendu. Hodnoty d_i a g_i jsou blízké 50%. Podíváme-li se na diagonální pravděpodobnosti (setrvání v daném stavu signalizuje, že cena se razantně nemění, akcie přešlapuje na místě), jsou zde relativně vysoké pravděpodobnosti cca. 25%. Otázka je, jakým směrem se akcie posléze posunou.

V tomto modelu je stavový prostor definován na kumulativních změnách ceny. To znamená, že v případě, že se cena jen nepatrně pohne v rámci pokračujícího daného

trendu, předchozí stav se nezmění. Tyto stavy, kdy vlastně cena stagnuje, nás ve své podstatě nezajímají. Zajímá nás, kam se cena akcie následně posune. To zjistíme, provedeme-li filtraci získaného řetězce. Filtrací rozumíme vypuštění po sobě jdoucích stejných stavů. Pro ilustraci uvedeme řetězec před filtrací: $D_2, D_3, D_3, G_1, G_1, G_1, G_2, D_1, D_1, G_2$ a po filtraci $D_2, D_3, G_1, G_2, D_1, G_2$. Pravděpodobnosti přechodu po provedené filtraci jsou zobrazeny v tabulce 3.9.

Tabulka 3.9 Pravděpodobnosti přechodu pro model 3 po vyfiltrování

n-1 \ n		n								d_i	g_i	n_i
		D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4			
D_4	O2	0	0	0	0	0,475	0,375	0,025	0,125	0	1	40
	CEZ	0	0	0	0	0,282	0,564	0,051	0,103	0	1	39
	KB	0	0	0	0	0,457	0,229	0,229	0,086	0	1	35
D_3	O2	0,358	0	0	0	0,448	0,179	0,015	0,000	0,358	0,642	67
	CEZ	0,333	0	0	0	0,439	0,193	0,035	0,000	0,333	0,667	57
	KB	0,258	0	0	0	0,485	0,152	0,091	0,015	0,258	0,742	66
D_2	O2	0,065	0,258	0	0	0,497	0,142	0,032	0,006	0,323	0,677	155
	CEZ	0,079	0,220	0	0	0,567	0,110	0,018	0,006	0,299	0,701	164
	KB	0,079	0,287	0	0	0,500	0,091	0,037	0,006	0,366	0,634	164
D_1	O2	0,006	0,047	0,261	0	0,584	0,094	0,009	0,000	0,314	0,686	341
	CEZ	0,006	0,029	0,266	0	0,622	0,072	0,003	0,003	0,301	0,699	349
	KB	0,009	0,043	0,272	0	0,568	0,084	0,014	0,009	0,325	0,675	345
G_1	O2	0,012	0,006	0,089	0,564	0	0,285	0,034	0,009	0,672	0,328	326
	CEZ	0,003	0,017	0,078	0,543	0	0,309	0,038	0,012	0,642	0,358	346
	KB	0,003	0,000	0,092	0,593	0	0,260	0,031	0,021	0,688	0,312	327
G_2	O2	0,000	0,011	0,109	0,500	0	0	0,310	0,069	0,621	0,379	174
	CEZ	0,005	0,005	0,109	0,552	0	0	0,262	0,066	0,672	0,328	183
	KB	0,007	0,000	0,116	0,527	0	0	0,288	0,062	0,651	0,349	146
G_3	O2	0,000	0,027	0,080	0,587	0	0	0	0,307	0,693	0,307	75
	CEZ	0,014	0,029	0,087	0,536	0	0	0	0,333	0,667	0,333	69
	KB	0,000	0,013	0,143	0,532	0	0	0	0,312	0,688	0,312	77
G_4	O2	0,000	0,116	0,279	0,605	0	0	0	0	1	0	43
	CEZ	0,044	0,044	0,400	0,511	0	0	0	0	1	0	45
	KB	0,000	0,063	0,250	0,688	0	0	0	0	1	0	48

zdroj vlastní výpočty

Z výsledků vidíme, že po vyfiltrování po sobě opakujících se stejných stavů se pravděpodobnost změny trendu pohybuje kolem 0,66 a pravděpodobnost setrvání v trendu se pohybuje přibližně kolem 0,34. Toto už jsou z hlediska generování prodejních či nákupních signálů pro nás zajímavé hodnoty. Pokud bychom tyto stavy brali jako indikátory změny trendu, budeme v predikci úspěšní ve dvou případech ze tří. Další pozitivní informací je, že všechny tři akciové tituly mají podobné pravděpodobnostní chování. Stavový prostor definovaný na kumulativních změnách cen, splňuje naše požadavky.

Zaměříme se ještě na to, jak by se měnily pravděpodobnosti přechodu, pokud bychom měnili šíři intervalu, na kterém definujeme stavový prostor. Je možné, že nalezneme vhodnější šíři intervalu než je šíře 1σ . Stavový prostor bude definován následovně:

$$\begin{array}{llll} D_4: k_t < -3\delta; & D_3: -3\delta \leq k_t < -2\delta; & D_2: -2\delta \leq k_t < -1\delta; & D_1: -1\delta \leq k_t < 0; \\ G_1: 0 \leq k_t < 1\delta; & G_2: 1\delta \leq k_t < 2\delta; & G_3: 2\delta \leq k_t < 3\delta; & G_4: 3\delta \leq k_t, \end{array}$$

kde $\delta = k \cdot \sigma$, přičemž k budeme měnit od 0,4 do 2,4 zpočátku po kroku 0,1 a od $k = 1,4$ bude krok 0,2. To znamená, že propočítáme celkem pravděpodobnosti přechodu pro šestnáct stavových prostorů. Nebudeme prezentovat celé matice pravděpodobnosti přechodu, ale jen to, co nás hlavně zajímá, tj. pravděpodobnost setrvání nebo obratu v trendu. Protože se jedná o navzájem doplňující se jevy, bude prezentována pouze průměrná pravděpodobnost poklesu ceny akcie (průměr pravděpodobností ze tří sledovaných titulů) pro jednotlivé stavy a dané šíře intervalu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.10.

Tabulka 3.10 Průměrná pravděpodobnost poklesu

k	D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4
0,4	0	0,442	0,439	0,424	0,568	0,562	0,510	1
0,5	0	0,425	0,419	0,397	0,579	0,565	0,563	1
0,6	0	0,417	0,413	0,388	0,604	0,571	0,570	1
0,7	0	0,382	0,374	0,377	0,626	0,584	0,605	1
0,8	0	0,331	0,371	0,360	0,643	0,596	0,625	1
0,9	0	0,303	0,355	0,346	0,646	0,633	0,649	1
1,0	0	0,316	0,329	0,313	0,667	0,648	0,683	1

pokračování tabulky 3.10

1,1	0	0,313	0,289	0,305	0,686	0,666	0,703	1
1,2	0	0,278	0,276	0,291	0,704	0,684	0,708	1
1,3	0	0,258	0,245	0,281	0,720	0,710	0,707	1
1,4	0	0,307	0,238	0,256	0,734	0,729	0,764	1
1,6	0	0,336	0,221	0,227	0,757	0,770	0,784	1
1,8	0	0,374	0,211	0,201	0,79	0,774	0,697	1
2,0	0	0,347	0,209	0,178	0,807	0,793	0,771	1
2,2	0	0,285	0,195	0,14	0,838	0,839	0,682	1
2,4	0	0,272	0,201	0,123	0,857	0,868	0,667	1

zdroj: výpočet autora

Z výsledků vidíme, že požadovaná pravděpodobnosti 0,33 respektive 0,67 získáváme přibližně od šíře intervalu $0,9\sigma$. Pokud se nacházíme například ve stavu D_2 při stavovém prostoru definovaném na šíři intervalu $1,0\sigma$, tak pravděpodobnost dalšího poklesu je 0,329 a tudíž pravděpodobnost změny trendu (růstu) je 0,671. Dále je zřejmé, že se vrůstající šíři intervalu (rostoucí k) se pravděpodobnosti snižují, tj. zvyšuje se pravděpodobnost změny trendu. U klesajících stavů D_i je pravděpodobnost dalšího poklesu nízká, a tedy je vysoká pravděpodobnost růstu. U rostoucích stavů G_i je tomu naopak, tady vysoká pravděpodobnost poklesu ceny a nízká pravděpodobnost dalšího růstu ceny. Toto je celkem očekávaný závěr neboť se zvětšuje naakumulovaná ztráta a tudíž pravděpodobnost korekce je vyšší. Z tohoto pohledu by pro obchodní aplikace vycházel jako nejvýhodnější stavový prostor definovaný na šíři intervalu $2,4\sigma$. Na druhé straně je nutno si uvědomit, že se vzrůstající šíři intervalu se výrazně snižuje výskyt okrajových stavů a značně se zvyšuje výskyt stavů D_1 a G_1 . Počet výskytů jednotlivých stavů pro stavový prostor definovaný na jednotlivých násobcích směrodatné odchylky udává tabulka 3.11.

Tabulka 3.11 Průměrný počet výskytů jednotlivých stavů

k	D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4
0,4	162,3	115,7	159,7	190,7	180,7	158,7	112,3	177,3
0,5	127,3	108,0	173,3	226,0	219,3	168,3	117,7	138,0
0,6	98,7	109,0	177,3	261,3	249,0	173,0	118,0	109,7
0,7	75,0	98,3	177,7	287,7	273,3	180,0	103,0	88,0

pokračování tabulky 3.11

0,8	57,0	88,3	176,3	311,3	298,7	173,3	94,0	72,3
0,9	45,3	76,7	173,0	330,3	317,3	176,7	80,7	57,3
1,0	38,0	63,3	161,0	345,0	333,0	167,7	73,7	45,3
1,1	31,7	53,0	154,7	357,3	344,7	161,3	62,7	38,3
1,2	26,3	42,7	145,3	372,3	354,0	153,3	58,7	31,0
1,3	22,7	38,3	139,7	378,7	361,7	145,0	52,7	27,3
1,4	20,3	31,3	123,0	390,7	376,3	131,7	43,7	21,0
1,6	16,0	26,3	105,7	401,3	390,3	117,3	33,7	14,3
1,8	12,7	21,7	91,7	410,0	400,7	101,7	26,0	13,0
2,0	10,7	20,3	80,0	412,7	403,0	93,3	22,3	10,0
2,2	7,3	15,3	61,7	416,7	410,7	75,7	17,0	7,7
2,4	5,7	14,0	51,3	421,3	413,0	67,0	12,7	6,3

zdroj: výpočet autora

Hodnoty v tabulce potvrzují, že se vzrůstající šíří intervalu roste počet výskytů stavů D_1 a G_1 a snižuje se počet zbývajících stavů. Při definování stavové prostoru na šíři $2,4\sigma$ je už velmi nízký výskyt jak stavů D_4 a G_4 tak už i D_3 a G_3 . Ve své podstatě došlo k redukci stavového prostoru na čtyři stavy.

Vezeme-li v úvahu oba parametry, pravděpodobnost přechodu i počet výskytu jednotlivých stavů, tak pro aplikaci obchodních strategií vypadají zajímavě stavové prostory definované na šíři intervalu od $0,9\sigma$ do $1,8\sigma$.

3.2 Obchodní strategie

Nyní, když jsme našli vhodné modely stavového prostoru vycházející z modelu 3 (model definovaný na kumulativních změnách ceny), se zaměříme na tvorbu úspěšných obchodních strategií. Pod pojmem úspěšná obchodní strategie chápeme takové algoritmické generování nákupních a prodejních signálů, které nám přinese větší zhodnocení, než dosáhneme při pasivní strategii "kup a drž"¹. Dosažené zhodnocení jednotlivých akciových titulů při strategii "kup a drž" za sledované období bylo pro akcie O2 1,14; ČEZ 1,22 a pro KB 1,53.

¹ Strategie "kup a drž" znamená, že akcii na začátku sledovaného období koupíme a držíme ji až do konce sledovaného období.

Obchodní strategie tvoříme na následujícím jednoduchém principu. Určitý stav vygeneruje nákupní signál a jiný stav vygeneruje prodejní signál. Pro všechny obchodní strategie počítáme jejich ziskovost (zhodnocení) za následujících pravidel. Jedním obchodem (transakcí) se rozumí nákup a následný prodej akcie. Je-li v nějaký den vygenerován nákupní či prodejní signál, je obchod realizován za otevírací hodnotu z následujícího dne. Vždy je investován celý kapitál (lze tedy kupovat i části akcie). Neuvažujeme žádné transakční poplatky. Jsou započítány a reinvestovány čisté dividendy. Neuvažuje se prodej nakrátko a nejsou možné dva nákupy po sobě. Hodnota investovaného kapitálu je počítána dle níže uvedeného vztahu:

$$C_i = C_{i-1} \frac{S_i + D_i}{B_i} \quad (3.2)$$

a po n – obchodech (transakcích) bude hodnota kapitálu

$$C_n = C_0 \prod_{i=1}^n \frac{S_i + D_i}{B_i} \quad (3.3)$$

kde $C_0 = 1,000$ je počáteční výše kapitálu,

C_n je hodnota kapitálu po n -té transakci,

S_i je prodejní cena v i -té transakci,

D_i jsou čisté dividendy vyplacené v průběhu i -té transakce

B_i je nákupní cena v i -té transakci.

Obchodní strategie budeme aplikovat na modelech stavového prostoru, které jsou konstruovány shodně s modelem 3 a tedy :

$$\begin{array}{llll} D_4: k_t < -3\delta; & D_3: -3\delta \leq k_t < -2\delta; & D_2: -2\delta \leq k_t < -1\delta; & D_1: -1\delta \leq k_t < 0; \\ G_1: 0 \leq k_t < 1\delta; & G_2: 1\delta \leq k_t < 2\delta; & G_3: 2\delta \leq k_t < 3\delta; & G_4: 3\delta \leq k_t, \end{array}$$

kde $\delta = k \cdot \sigma$. Tyto modely stavového prostoru budeme zkráceně nazývat obchodní modely. Obchodní model je určen hodnotou k , kde k bude nabývat hodnot od 0,4 do 2,2 s krokem 0,2 a tedy budeme mít celkem 10 obchodních modelů. Na každém obchodním modelu budeme pro každou sledovanou akciovou společnost propočítávat 16 obchodních strategií. Jako nákupní signály postupně zkusíme všechny stavy poklesu D_i a pro každou variantu nákupního signálu postupně, jako prodejní signály, zkusíme všechny stavy růstu G_i . Pro každou obchodní strategii počítáme dosaženou hodnotu kapitálu C_n a

celkový počet realizovaných transakcí n . Nejprve uvedeme podrobné výsledky čtyř obchodních modelů (pro $k = 0,6; 1,0; 1,4$ a $1,8$), poté grafickou analýzu vývoje zhodnocení u vybraných strategií a nakonec souhrnné výsledky všech modelů.

3.2.1 Obchodní model 1

V tomto modelu zvolíme $k=0,6$. Stavový prostor je tedy definován následovně:

$$D_4: k_t < -1,8\sigma; \quad D_3: -1,8\sigma \leq k_t < -1,2\sigma; \quad D_2: -1,2\sigma \leq k_t < -0,6\sigma; \quad D_1: -0,6\sigma \leq k_t < 0;$$

$$G_1: 0 \leq k_t < 0,6\sigma; \quad G_2: 0,6\sigma \leq k_t < 1,2\sigma; \quad G_3: 1,2\sigma \leq k_t < 1,8\sigma; \quad G_4: 1,8\sigma \leq k_t.$$

Dosažené zhodnocení každé počítané obchodní strategie porovnáme s výnosem dosaženým při strategii "kup a drž". Vítězné strategie, tedy ty případy, kdy jsme dosáhli vyššího zhodnocení než při strategii "kup a drž", označíme zeleně, případy, kdy zhodnocení nebylo vyšší, jsou červené. Dosažené výsledky jsou zobrazeny v níže uvedené v tabulce 3.12.

Tabulka 3.12 Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k=0,6$

		prodej		G ₁		G ₂		G ₃		G ₄	
		nákup		C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n
D ₁	O2	1,016	192	0,857	123	0,638	93	0,964	86		
	CEZ	1,739	190	1,385	147	1,760	103	1,854	66		
	KB	0,636	201	0,834	143	1,213	84	1,640	80		
D ₂	O2	0,958	136	1,027	109	0,892	85	1,140	77		
	CEZ	1,070	147	0,642	115	1,223	92	1,391	74		
	KB	1,600	116	1,029	104	1,103	76	0,908	77		
D ₃	O2	1,132	76	1,304	62	1,250	65	1,228	56		
	CEZ	1,407	98	1,783	81	1,841	71	2,369	67		
	KB	0,624	87	0,791	77	0,754	66	1,386	68		
D ₄	O2	1,276	69	2,052	69	1,376	61	2,554	73		
	CEZ	1,531	66	1,310	62	1,288	62	1,402	62		
	KB	1,141	65	2,201	65	1,099	53	2,828	78		

zdroj: výpočty autora

Z výsledků můžeme vyčíst, že úspěšnost obchodních strategií je 54,2% tj. 26 krát ze 48 případů jsme dosáhli lepšího zhodnocení než při strategii "kup a drž" (podrobněji je to rozepsáno v souhrnných výsledcích). Nás však zajímá, jestli jsou vítězné strategie

soustředěny v určité oblasti, tj. jestli se nějaká část tabulky výrazně zelená. Vidíme, že nejvíce vítězných strategií generuje nákupní signál ve stavu D_4 a prodejní signál G_4 . Zcela zelené (pro všechny tři akcie vítězná strategie) jsou strategie $D_4 - G_2$ a $D_4 - G_4$. Naopak špatné jsou kombinace stavů D_1 a D_2 se stavy G_1 , G_2 a G_3 . Zjednodušeně můžeme říct, že vítězné strategie převládají v pravé a dolní části tabulky, poražené strategie v levé horní části tabulky.

3.2.2 Obchodní model 2

V tomto modelu zvolíme $k=1,0$. Stavový prostor je definován následovně:

$$\begin{aligned} D_4: k_t < -3\sigma; & & D_3: -3\sigma \leq k_t < -2\sigma; & & D_2: -2\sigma \leq k_t < -1\sigma; & & D_1: -1\sigma \leq k_t < 0; \\ G_1: 0 \leq k_t < 1\sigma; & & G_2: 1\sigma \leq k_t < 2\sigma; & & G_3: 2\sigma \leq k_t < 3\sigma; & & G_4: 3\sigma \leq k_t. \end{aligned}$$

Dosažené výsledky pro jednotlivé obchodní strategie při takto definovaném stavovém prostoru jsou prezentovány v tabulce 3.13.

Tabulka 3.13 Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,0$

		prodej		G_1		G_2		G_3		G_4	
		C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n
D_1	O2	0,631	285	0,597	149	1,090	68	1,365	36		
	CEZ	1,060	307	1,195	152	1,515	62	1,727	34		
	KB	0,530	292	0,821	134	1,960	70	0,952	43		
D_2	O2	1,332	136	1,288	105	1,174	55	1,689	35		
	CEZ	1,514	141	2,865	114	2,198	60	2,222	38		
	KB	0,746	134	0,965	97	2,422	67	1,346	38		
D_3	O2	1,111	57	1,380	56	1,950	45	1,926	30		
	CEZ	1,036	46	1,354	48	1,922	38	1,072	23		
	KB	0,579	57	0,904	50	2,357	46	1,893	32		
D_4	O2	1,450	32	1,387	35	1,659	27	2,508	26		
	CEZ	1,200	27	1,227	31	1,635	25	1,110	20		
	KB	1,490	29	1,137	25	2,563	29	2,096	25		

zdroj: výpočty autora

Z výsledků vidíme, že úspěšnost obchodních strategií se zlepšila na 58,3%. Úspěšné strategie se nachází opět spíše v pravé dolní polovině tabulky, je tu však vidět posun ke středu (přibyly stavy D_2 a G_3). Vítězné strategie generují převážně nákupní signály D_2 , D_3 a D_4 v kombinaci s prodejními signály ve stavech G_3 a G_4 . Zcela zelené jsou strategie $D_2 - G_3$, $D_3 - G_3$ a $D_4 - G_3$, přičemž strategie $D_3 - G_3$ dosáhla velmi zajímavého zhodnocení, při rozumném počtu obchodů. Vzhledem k tomu, že v praxi jsou obchody zpoplatněny, jsou preferovány strategie s méně častým obchodováním. Analýza vlivu poplatků na dosažené zhodnocení bude provedena v později. Naopak zcela prohrávající je levý horní roh, s neúspěšnými strategiemi $D_1 - G_1$ a $D_1 - G_2$.

3.2.3 Obchodní model 3

Ve třetím modelu volíme $k=1,4$. Stavový prostor je definován následovně:

$$D_4: k_t < -4,2\sigma; \quad D_3: -4,2\sigma \leq k_t < -2,8\sigma; \quad D_2: -2,8\sigma \leq k_t < -1,4\sigma; \quad D_1: -1,4\sigma \leq k_t < 0;$$

$$G_1: 0 \leq k_t < 1,4\sigma; \quad G_2: 1,4\sigma \leq k_t < 2,8\sigma; \quad G_3: 2,8\sigma \leq k_t < 4,2\sigma; \quad G_4: 4,2\sigma \leq k_t.$$

Dosažené výsledky pro jednotlivé obchodní strategie při takto definovaném stavovém prostoru jsou zobrazeny v tabulce 3.14.

Tabulka 3.14 Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,4$

		prodej		G_1		G_2		G_3		G_4	
		C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n
D_1	O2	0,568	353	0,863	126	1,425	39	1,384	19		
	CEZ	1,027	373	1,422	132	1,634	42	1,524	15		
	KB	0,618	349	2,202	119	1,138	45	0,941	23		
D_2	O2	1,064	113	1,344	84	2,153	37	1,535	20		
	CEZ	2,006	109	1,606	80	1,526	34	2,031	15		
	KB	0,608	110	1,530	76	1,728	42	1,496	23		
D_3	O2	1,318	34	1,364	28	2,177	21	2,190	18		
	CEZ	1,163	29	1,433	26	1,521	21	0,915	12		
	KB	0,987	24	1,087	23	1,199	19	1,572	13		
D_4	O2	1,389	15	1,458	15	1,598	12	1,971	14		
	CEZ	1,913	17	0,950	11	1,443	11	0,891	9		
	KB	1,048	18	1,119	18	1,644	15	1,105	14		

zdroj: výpočty autora

Úspěšnost obchodních strategií zůstala na 58,3%. Úspěšné strategie se soustředily hlavně doprostřed tabulky a generují je převážně nákupní stavy D_2 a D_3 , v kombinaci s prodejními stavy G_2 a G_3 . Za povšimnutí stojí, že v těchto kombinacích jsou zcela vítězné obchodní strategie na akciích O2 a ČEZ, strategiím na akciích KB se nevede. Za povšimnutí také stojí očekávaná skutečnost, že už je dosti nízký objem obchodů na stavech D_4 a G_4 . Je to dáno snižujícím se výskytem krajních stavů s rostoucí šíří intervalů, jak je prezentováno v tabulce 3.11. Hodnoty uvedené v této tabulce jsou vlastně maximálně možné počty obchodů, které je možno na daném stavu realizovat.

3.2.4 Obchodní model 4

V tomto čtvrtém modelu volíme $k=1,8$. Stavový prostor je tedy definován následovně:

$$D_4: k_t < -5,4\sigma; \quad D_3: -5,4\sigma \leq k_t < -3,6\sigma; \quad D_2: -3,6\sigma \leq k_t < -1,8\sigma; \quad D_1: -1,8\sigma \leq k_t < 0;$$

$$G_1: 0 \leq k_t < 1,8\sigma; \quad G_2: 1,8\sigma \leq k_t < 3,6\sigma; \quad G_3: 3,6\sigma \leq k_t < 5,4\sigma; \quad G_4: 5,4\sigma \leq k_t.$$

Dosažené výsledky pro jednotlivé obchodní strategie v daném modelu jsou uvedeny v tabulce 3.15.

Tabulka 3.15 Zhodnocení jednotlivých obchodních strategií pro $k = 1,8$

		prodej		G ₁		G ₂		G ₃		G ₄	
		nákup		C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n
D ₁	O2	0,602	390	1,107	95	1,412	24	1,243	11		
	CEZ	1,108	406	1,951	95	1,965	26	1,938	7		
	KB	0,635	381	1,416	103	0,813	26	1,386	19		
D ₂	O2	1,367	88	2,114	63	1,895	23	1,540	11		
	CEZ	1,892	86	1,451	56	1,577	20	1,510	9		
	KB	0,750	84	2,542	69	1,414	25	1,574	18		
D ₃	O2	1,118	25	1,264	20	1,688	13	1,376	8		
	CEZ	1,144	17	1,367	18	1,016	8	1,320	6		
	KB	0,862	17	1,013	19	0,837	13	1,383	13		
D ₄	O2	1,696	10	1,880	9	1,520	6	1,437	7		
	CEZ	1,796	10	1,704	9	1,241	6	2,402	7		
	KB	1,501	13	2,725	14	1,451	11	2,053	11		

zdroj: výpočty autora

V tomto obchodním modelu se úspěšnost obchodních strategií zvýšila na 62,5%. Nejvíce vítězných strategií nám generují nákupní signály na stavech D_2 a D_4 , v kombinaci s prodejními signály na stavech G_2 a G_4 . Za pozornost stojí stavy D_4 a G_4 . Vidíme na nich malý počet uzavřených obchodů (to je očekáváno), akcie O2 a ČEZ generují na těchto stavech pouze vítězné strategie, u akcií KB je to střídavé. Tak jako ve všech předchozích obchodních modelech je neúspěšná obchodní strategie $D_1 - G_1$.

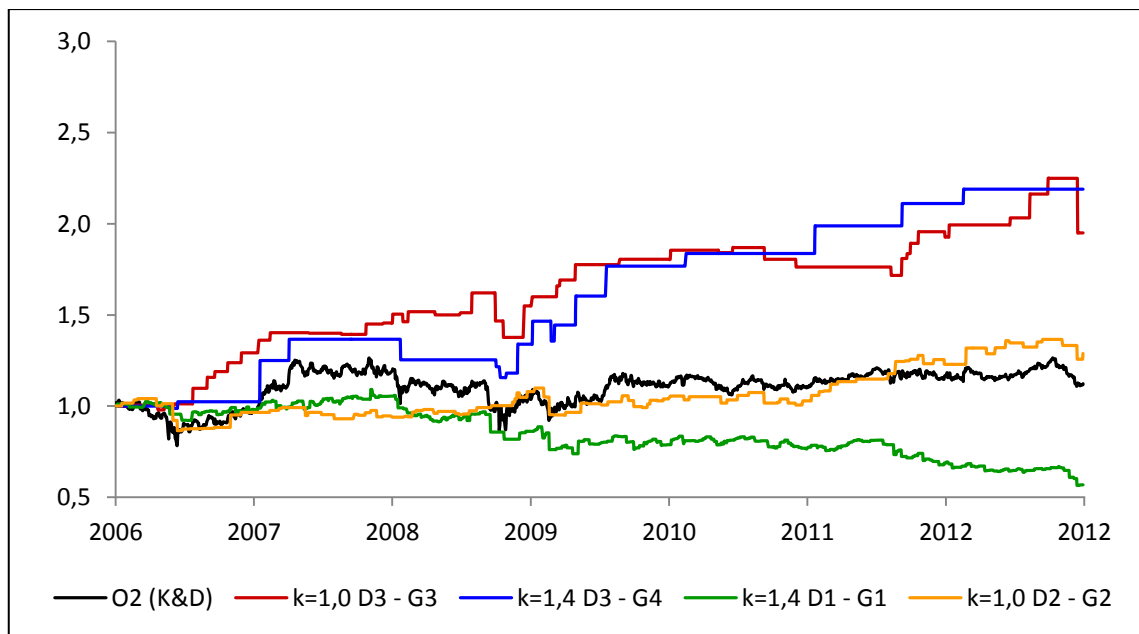
3.3 Grafická analýza vybraných výsledků

Pro další analýzu je důležitá představa o tom, jak se v průběhu času měnila hodnota investovaného kapitálu. Kdy jsme oproti trhu získávali, a kdy naopak ztráceli. Nejlepší představu o vývoji zhodnocení získáme z grafů. Z důvodu přehlednosti pro každou společnost zobrazíme pouze čtyři vybrané reprezentující obchodní strategie a referenční strategii "kup a drž" (v legendě označujeme K&D). Z grafu bohužel nevyčteme, kdy jsme akcie nakoupili, ale jenom, kdy jsme je prodali. Schod nahoru znamená, že jsme prodali za vyšší než nákupní cenu. Schod dolů znamená, že jsme prodali za nižší než nákupní cenu. Při nákupu se hodnota našeho kapitálu nemění (mění se akorát jeho forma), takže okamžik nákupu z grafu vyčíst nemůžeme.

3.3.1 Akcie O2

Pro grafické znázornění vývoje zhodnocení akcií O2 jsme vybrali následující obchodní strategie:

- $k = 1,0 D_3 - G_3$, obchodní strategie, kde všechny tři tituly dosáhly vysokého zhodnocení, tuto strategii zobrazíme i u zbývajících titulů;
- $k = 1,0 D_2 - G_2$, máme hlavně kvůli porovnání s předchozí strategií – vychází ze stejného stavového prostoru, jen o jeden nižší stav kupujeme a prodáváme;
- $k = 1,4 D_3 - G_4$, kde jsme dosáhli nejvyššího zhodnocení – 2,19;
- $k = 1,4 D_1 - G_1$, kde jsme naopak dosáhli nejnižšího zhodnocení – 0,56.

Graf 3.1 Vývoj zhodnocení akcií O2 pro vybrané obchodní strategie

zdroj: výpočty autora

Z grafu vidíme, že akcie O2 je málo volatilní. První, čeho si můžeme všimnout, je druhá polovina roku 2006, kdy strategie $k = 1,0 D_3 - G_3$ dokáže optimálně využívat propady a následné růsty ceny akcie a při nízkých cenách nakupuje a vysokých prodává. Trochu jinak se v tomto období chová strategie $k = 1,4 D_3 - G_4$. Tato strategie sice v druhé polovině roku 2006 nakoupila akcie, ale pak čeká až do ledna 2007 na stav G_4 , kdy je akcie prodána. V druhé polovině roku už jsou na tom obě strategie přibližně stejně a podobně se chovají po zbytek sledování. Obě strategie dosáhly pěkného zhodnocení. Strategie $k = 1,4 D_1 - G_1$ nikdy neporážela strategii "kup a drž" a dá se říci, že od roku 2009 na ni pravidelně rovnoměrně ztrácí. Strategie $k = 1,0 D_2 - G_2$ nezachytila růst ceny v roce 2007, ale vyvarovala se poklesům ceny v roce 2008. Tato strategie víceméně kopíruje strategii "kup a drž".

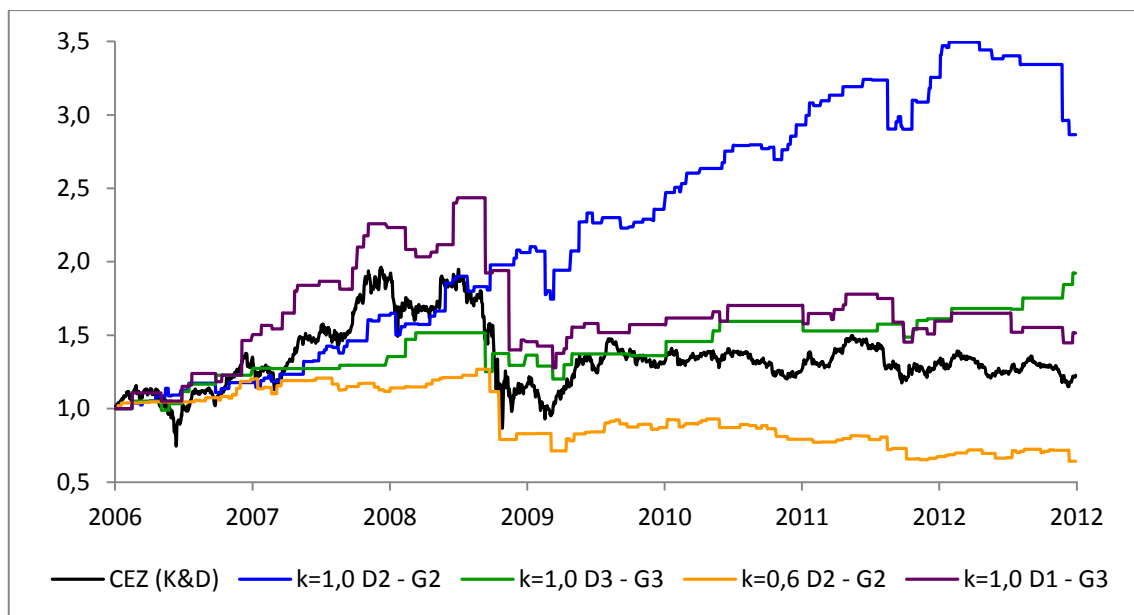
3.3.2 Akcie ČEZ

Pro grafické znázornění vývoje zhodnocení pro akcie ČEZ jsme vybrali níže uvedené obchodní strategie z následujících důvodů:

- $k = 1,0 D_2 - G_2$, zde jsme dosáhli velmi vysokého zhodnocení – 2,78;

- $k = 1,0 D_3 - G_3$, obchodní strategie, kde všechny tři tituly dosáhly vysokého zhodnocení;
- $k = 1,0 D_1 - G_3$, jak uvidíme, tato strategie má velice zajímavý průběh zhodnocení;
- $k = 0,6 D_2 - G_2$, jedno z nejnižších zhodnocení – 0,64.

Graf 3.2 Vývoj zhodnocení akcií ČEZ pro vybrané obchodní strategie



zdroj: výpočty autora

U akcií ČEZ vidíme velice volatilní vývoj. Střídá se tu období silného růstu (rok 2007) s obdobím silného poklesu (druhá polovina roku 2008) a je tu vidět i postranní trend² (od druhé poloviny roku 2009). Nejprve se podívejme na strategii $k = 1,0 D_1 - G_3$, která jako jediná ze sledovaných dokázala reagovat na silný růst ceny akcie od konce roku 2006 do konce roku 2007 a dosáhla dokonce i vyššího zhodnocení. Bohužel od roku 2008 strategie víceméně kopíruje cenu akcie a nevyhnula se silným propadům ve druhé polovině roku 2008. Nicméně zdá se, že v období silného růstu je vhodné kupovat při menších poklesech a prodávat až při větších nárůstech ceny. Ale naopak v období silného propadu ceny tato strategie selhává, protože se jen zřídka objeví stav G_3 . Ten se objeví až při předchozím naakumulování velké ztráty, proto ty dva výrazné propady v druhé polovině roku 2008. Další zajímavá strategie z pohledu vývoje

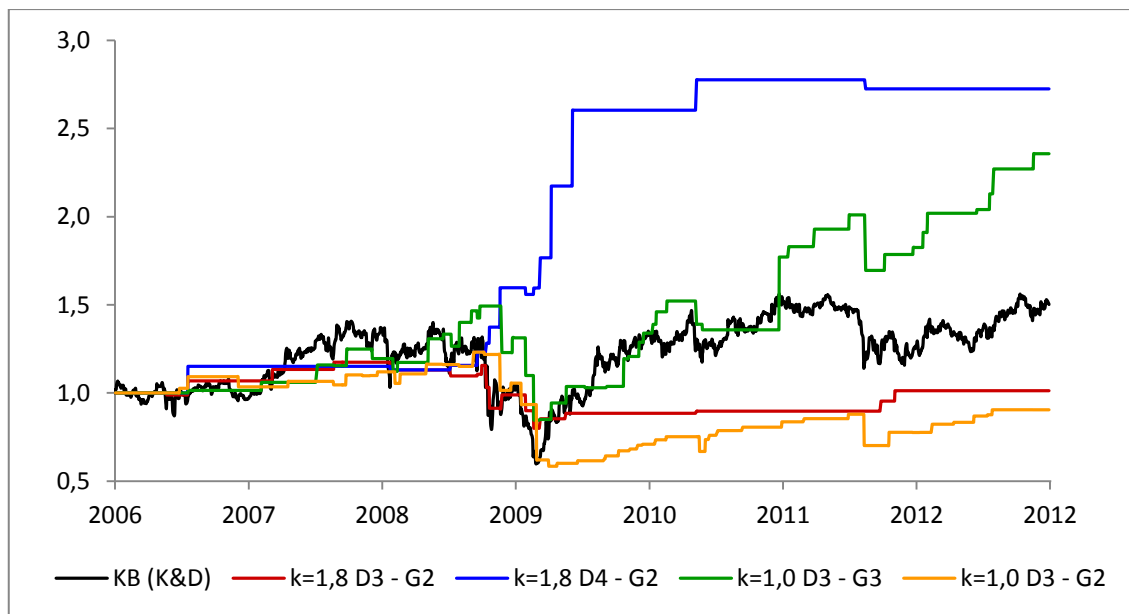
² Postranní trend – hodnota kapitálu v určitém období nevykazuje výraznější propady ani nárůsty. Kolísá kolem určité hodnoty.

zhodnocení je strategie $k = 1,0 D_2 - G_2$. Tato strategie má definovaný stavový prostor stejně jako předchozí strategie, avšak oproti předchozí strategii nákupní signály jsou generovány při větším poklesu ceny (o jeden stav) a naopak prodejní signály při nižším nárůstu ceny (také o jeden stav). To má za následek, že strategie nedokáže využít potenciál vysokého růstu v roce 2007 (prodáváme akcie moc brzy) a někdy čekáme dost dlouho na nákup, neboť korekce nedosáhne stavu D_2 . Zajímavé je, že strategie dokázala zabránit propadu v druhé polovině roku 2008, dokonce i mírně zhodnotila kapitál. Je to dáno tím, že stav D_2 se vyskytoval málo. Většinou po krátké růstové korekci přišel výraznější pokles ceny (stav D_4 nebo kombinace D_1, D_4). Zajímavé je, že strategie dokázala zhodnocovat, i když strategie "kup a drž", byla v postranním trendu, což u předchozí strategie tvrdit nemůžeme. U všech titulů úspěšná strategie $k = 1,0 D_3 - G_3$ ztrácela v období růstu v roce 2007, vyvarovala se výraznějších propadů v druhé polovině roku 2008 a od roku 2010 mírně získává. Poslední sledovaná ztrátová strategie $k = 0,6 D_2 - G_2$ není schopná plně realizovat zisky v růstovém období ceny akcie, prodejní signál je generován moc brzy. Naopak ztráty realizuje.

3.3.3 Akcie KB

Pro grafické znázornění vývoje zhodnocení akcií KB byly vybrány následující obchodní strategie z níže uvedených důvodů:

- $k = 1,8 D_3 - G_2$, strategie s málo obchody, nízké zhodnocení 1,01 a přitom sousední strategie $k = 1,8 D_4 - G_2$ také s málo obchody dosáhla velmi vysokého zhodnocení – 2,73
- $k = 1,8 D_4 - G_2$ jak bylo řečeno výše, vybrali jsme pro porovnání s $k = 1,8 D_3 - G_2$
- $k = 1,0 D_3 - G_3$, obchodní strategie, kde všechny tři tituly dosáhly vysokého zhodnocení
- $k = 1,0 D_3 - G_2$, nízké zhodnocení – 0,90 přitom "sousedí" s úspěšnou strategií $k = 1,0 D_3 - G_3$.

Graf 3.3 Vývoj zhodnocení akcií KB pro vybrané obchodní strategie

zdroj: výpočty autora

Akcie KB se svojí rozkolísaností podobají více akciím ČEZ než O2, i když s jiným průběhem. Můžeme konstatovat, že akcie nemá postranní trend. Nejzajímavější je sledovat výnos strategií $k = 1,8 D_3 - G_2$ a $k = 1,8 D_4 - G_2$. Obě strategie jsou definovány na stejném stavovém prostoru, liší se pouze stavem, ve kterém je generován nákupní signál, přičemž se jedná o stavy "sousední". Až do přibližně do druhé třetiny roku 2008 vykazovaly obě strategie téměř totožný vývoj, nerealizovaly zisky z růstu ceny akcie v roce 2007. Diametrálně odlišné chování můžeme pozorovat v poslední třetině roku 2008, kdy cena akcie prudce padala s několika korekcemi a v první polovině roku 2009, kdy cena akcie rostla po předchozím propadu. Strategie $k = 1,8 D_4 - G_2$ v poslední třetině roku 2008 rostla, dokázala realizovat zisky při korekcích v klesajícím trendu (toto je zřejmě sen každého spekulanta) a následně, ale už jen částečně, ještě participovala na růstu akcie v roce 2009. Strategie $k = 1,8 D_3 - G_2$ v poslední třetině roku 2008 klesala společně s cenou akcie, i když v menší míře. V roce 2009 vůbec nereagovala na růst ceny akcie. Od druhé poloviny roku 2009 už je vývoj strategií podobný, stagnace s minimem obchodů. Je to dáno tím, že se výrazně snížila rozkolísanost ceny akcie, čímž se minimalizoval počet výskytů stavů D_3 a D_4 . Zbývající dvě strategie $k = 1,0 D_3 - G_3$ a $k = 1,0 D_3 - G_2$ nabízí opět zajímavé srovnání. Obě strategie jsou také definovány na stejném stavovém prostoru, ale tentokrát se liší stavem, kdy je generován prodejní signál, přičemž se také jedná o dva "sousední" stavy. Můžeme konstatovat, že obě strategie

mají velmi podobný průběh, který kopíruje růst i pokles ceny akcie. Přesto dosáhly dosti rozdílného zhodnocení. Strategie $D_3 - G_2$ generovala prodejní příkazy moc brzy, a v období růstu ceny akcie zaostává za strategií "kup a drž". Kdežto strategie $D_3 - G_3$ realizuje prodeje později při vyšších cenách a strategií "kup a drž" poráží. Je zajímavé, že v období poklesu ceny akcie obě strategie realizují přibližně stejné procentuální ztráty.

Na těchto dvou srovnáních můžeme vidět, že malou změnou parametrů v modelu, můžeme dostat velmi odlišné výsledky, což samozřejmě není z hlediska obchodních strategií pozitivní informace.

3.4 Souhrnné výsledky

Vedle těchto čtyř modelů, jejichž výsledky byly podrobně prezentovány, byly počítány i další modely. Souhrnné výsledky pro jednotlivé obchodní modely jsou prezentovány v tabulce 3.16. V tabulce je pro každý model a pro každý akciový titul uveden podíl vítězných strategií (včetně průměru za model), průměrné dosažené zhodnocení (včetně průměru za model) a součet všech realizovaných obchodů. Průměrné dosažené zhodnocení (pro akcii) je počítáno jako aritmetický průměr dle níže uvedeného vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} C_i, \quad (3.4)$$

kde C_i je dosažené zhodnocení jednotlivých obchodních strategií.

Jako referenční hodnotu pro průměrné zhodnocení za model bereme průměrné zhodnocení ze strategie "kup a drž", které činí 1,297.

Tabulka 3.16 Souhrnné výsledky obchodních strategií

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,4	0,500	0,625	0,188	0,438	1,229	1,326	1,170	1,242	4360
0,6	0,500	0,875	0,250	0,542	1,229	1,500	1,237	1,322	4375
0,8	0,625	0,625	0,375	0,542	1,428	1,338	1,549	1,438	4019
1,0	0,750	0,625	0,375	0,583	1,409	1,553	1,423	1,461	3511
1,2	0,875	0,688	0,250	0,604	1,451	1,535	1,315	1,433	3143
1,4	0,813	0,688	0,250	0,583	1,488	1,438	1,251	1,392	2815

pokračování tabulky 3.16

1,6	0,875	0,625	0,375	0,625	1,415	1,506	1,411	1,444	2589
1,8	0,813	0,813	0,250	0,625	1,454	1,586	1,397	1,479	2425
2,0	0,875	0,750	0,375	0,667	1,488	1,508	1,430	1,475	2228
2,2	0,938	0,750	0,250	0,646	1,461	1,406	1,311	1,393	2071

zdroj: výpočty autora

Celkem jsme tedy na deseti stavových prostorech (modelech) vyzkoušeli šestnáct obchodních strategií, každou na třech sledovaných titulech, tj. celkem 480 případů. V těchto 480 případech bylo v celkem 289 (59,4%) případech dosaženo vyššího zhodnocení než při strategii "kup a drž". Pokud bychom nezapočetli obchodní strategie, ve kterých generuje obchodní signál stav D_1 nebo stav G_1 , budeme mít 270 případů a z nich 189 poráží strategii "kup a drž", tj. 70,0% úspěšnost. Vynechání stavů D_1 a G_1 má své logické opodstatnění, neboť stav D_1 generuje nákupní signál už při minimálním poklesu ceny a akcie s velkou pravděpodobností může dále klesat, naopak G_1 generuje prodejní signál už při minimálním růstu ceny a přicházíme tak o případné zisky při dalším pokračujícím růstu. Tyto stavy se tedy nehodí pro generování obchodních signálů a při reálném obchodování bychom na těchto stavech obchodní signály negenerovali. Je to vidět i na čtyřech detailně prezentovaných modelech, tyto stavy vykazují nejhorší výsledky.

Pokud bychom do výsledků nezapočítali ani první dva modely ($k=0,4$ a $k=0,6$) a poslední dva modely ($k=2,0$ a $k=2,2$), zůstane nám jenom 162 sledovaných případů a v nich porážíme strategii "kup a drž" ve 120 případech, což je velice zajímavá 74,1% úspěšnost. Vynechání těchto modelů je opodstatněné. Pro první dva modely ($k=0,4$ a $k=0,6$) jsou změny cen, na nichž definujeme stavový prostor, příliš malé. U posledních modelů ($k=2,0$ a $k=2,2$) jsou naopak změny cen příliš veliké, některé stavy se vyskytují velice málo a velká většina obchodů se odehrává mezi stavy D_2 , D_1 , G_1 a G_2 . Strategie na zbývajících stavech, ačkoli mohli mít zajímavé zhodnocení, proběhly na několika málo obchodech a výsledky jsou statisticky málo průkazné.

Z hlediska jednotlivých akciových titulů se obchodním strategiím nejvíce dařilo na akciích O2. Ze 160 obchodních strategií bylo 121 (75,6%) vítězných, pokud bychom nezapočítali obchodní strategie, jež generují stavy D_1 a G_1 , bude podíl vítězných strategií dokonce 93,3%, a pokud bychom ještě navíc počítali jen s násobky směrodatné od-

chyly od 0,8 do 1,8 (tj. bez prvních a posledních dvou modelů), dostaneme se na úspěšnost 96,3%. Pro ostatní dva tituly máme následující hodnoty (ve stejném pořadí) pro akcie ČEZ 71,3%; 73,3% a 75,9% a pro akcie KB 30,6%; 43,3% a 50,0%.

Zejména poslední pravděpodobnosti u jednotlivých titulů jsou pro nás z hlediska našeho stanoveného cíle zajímavé. Jak už bylo řečeno dříve, je naším cílem najít vhodný model stavového prostoru a na něm nadefinovat obchodní strategii, která bude lépe zhodnocovat kapitál investovaný do akcií nežli pasivní strategie "kup a drž". Z výsledků vidíme, že obchodní strategie založené na modelech stavového prostoru, které jsou definovány na násobcích směrodatné odchylky v rozmezí 0,8 až 1,8, nákupních signálech ve stavech D_2, D_3, D_4 a prodejních signálech G_2, G_3, G_4 , přináší vysokou pravděpodobnost porážení strategie "kup a drž" pro akcie O2 (96,3%) a akcií ČEZ (75,9%), ale už nižší pravděpodobnost pro akcie KB (50%). Obchodní strategie na těchto parametrech (stavový prostor $k=0,8$ až 1,8 a obchodní signály generují kombinace stavů D_2, D_3, D_4, G_2, G_3 a G_4) budeme v další části práce nazývat favorizovaným okruhem strategií. Pro naplnění našeho cíle bychom potřebovali, zejména pro akcie KB, zvýšit pravděpodobnost porážení strategie "kup a drž". Zvýšit podíl vítězných strategií, a pokud možno i dosaženého zhodnocení, se pokusíme modifikací obchodní strategie. Obchodní strategii, kterou jsme analyzovali v této kapitole, budeme v další části práce nazývat jako základní strategii.

3.5 Modifikované obchodní strategie

V této části práci práce budeme modifikovat předchozí obchodní strategii s cílem vylepšit dosažené zhodnocení. Při grafické analýze vývoje zhodnocení jsme si mohli všimnout dvou "nedostatků", které snižovaly výnos z realizovaných obchodních strategií na jednotlivých modelech. Prvním nedostatkem je, že některé obchodní strategie plně neabsorbují růst ceny akcie. Viděli jsme to například u akcií KB pro strategii $k = 1,0 D_3 - G_2$. Za druhý nedostatek lze u některých strategií považovat velkou výši jednorázových propadů. To jsme viděli například u akcií ČEZ pro strategii $k = 1,0 D_1 - G_3$, nebo v menší míře u akcií KB u strategie $k = 1,0 D_3 - G_3$. Tyto ztráty se pokusíme vhodnou modifikací obchodní strategie eliminovat.

Analýzu všech modifikovaných obchodních strategií budeme provádět na stejných modelech stavového prostoru, na jakých jsme prováděli analýzu "nemodifikované" ob-

chodní strategie (základní strategie). Nejprve vždy budeme prezentovat podrobnou analýzu modifikované strategie pro jeden obchodní model a výsledky porovnáme se strategií "kup a drž" a se základní strategií. V případě, že výsledky budou zajímavé, propočítáme modifikovanou strategii i na dalších modelech stavového prostoru.

3.5.1 Modifikovaná strategie 1

V této modifikaci se zaměříme na generování prodejního signálu. Pokusíme se o co nejvyšší využití růstu ceny akcie. Prodejní signál nebudeme generovat při výskytu určitého růstového stavu G_i , ale až po skončení růstového období ceny akcie. Konec růstového období je dán výskytem libovolného klesajícího stavu D_i , který následuje po posloupnosti růstových stavů G_i . Pro každý model stavového prostoru budeme opět generovat prodejní signál pro čtyři úrovně (varianty) dosaženého růstu ceny akcie. Úrovně jsou definovány následujícím způsobem:

- S_1 prodejní signál bude generován po jakékoli úrovni růstu, tj. ($x_{t-1} = G_1$ nebo G_2 nebo G_3 nebo G_4) a ($x_t = D_1$ nebo D_2 nebo D_3 nebo D_4);
- S_2 prodejní signál bude generován, pokud úroveň růstu dosáhla minimálně stavu G_2 , tj. ($x_{t-1} = G_2$ nebo G_3 nebo G_4) a ($x_t = D_1$ nebo D_2 nebo D_3 nebo D_4);
- S_3 prodejní signál bude generován, pokud úroveň růstu dosáhla minimálně stavu G_3 , tj. ($x_{t-1} = G_3$ nebo G_4) a ($x_t = D_1$ nebo D_2 nebo D_3 nebo D_4);
- S_4 prodejní signál bude generován, pokud úroveň růstu dosáhla minimálně stavu G_4 , tj. ($x_{t-1} = G_4$) a ($x_t = D_1$ nebo D_2 nebo D_3 nebo D_4).

Pro ilustraci uvedeme příklad generování prodejního signálu. Máme-li následující posloupnost stavů $x_{t-6} = G_1$, $x_{t-5} = G_2$, $x_{t-4} = G_2$, $x_{t-3} = G_3$, $x_{t-2} = G_3$, $x_{t-1} = G_3$, $x_t = D_2$, budou generovat prodejní signál varianty S_1 , S_2 a S_3 a to ve stejném okamžiku, kdy nastane stav D_2 , tedy v čase t a prodávat budeme za otevírací cenu v čase $t+1$. Prodejní signál nebude generovat varianta S_4 , protože jsme nedosáhli minimálního požadovaného růstu do úrovně G_4 .

Porovnáme-li například variantu S_2 tohoto modelu se základní strategií, kdy prodejní signál bude generovat stav G_2 , je v tom následující rozdíl. U základní strategie bude prodejní signál generovat stav G_2 v čase $t-5$ a prodávat budeme za otevírací cenu v čase $t-4$. Přicházíme tak o růst v období (ve dnech) od $t-4$ do $t-1$. Varianta S_2 této modifikované strategie sice dosáhla požadované úrovně zisku stavem G_2 v čase $t-5$, ale následně

čeká, až růst skončí a nastane některý z klesajících stavů. To nastane výskytem stavu D_2 v čase t a prodáváme za otevírací cenu v čase $t+1$. Tedy realizujeme zisk v období růstu ve dnech od $t-4$ do $t-1$, ale následně také realizujeme určitý pokles, který nastal v den t . Je otázka, který z vlivů převáží.

Analýza modifikované strategie 1 na modelu $k = 1,0$

Generování nákupního signálu bude stejné jako v základním modelu a tedy budeme opět konstruovat 16 obchodních strategií. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 3.17. Výsledky porovnáme s výsledky odpovídajícího základního modelu $k = 1,0$, které máme k dispozici v tabulce 3.13. Obchodní strategie, u nichž došlo ke zlepšení (modifikovaná strategie poráží základní strategii), jsou označeny zeleně, strategie, u nichž nedošlo ke zlepšení, jsou označeny červeně. Tuto barevnou konvenci budeme dodržovat i u dalších modifikovaných modelů.

Tabulka 3.17 Modifikace 1 - zhodnocení obchodních strategií pro $k = 1,0$

		prodej		S ₁		S ₂		S ₃		S ₄	
		nákup	C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n	
D ₁	O2	0,5176	341	0,7148	166	0,8867	81	1,0857	36		
	CEZ	1,0938	348	1,3556	167	1,2488	71	1,364	34		
	KB	1,3098	344	1,3466	165	1,5768	87	1,3658	43		
D ₂	O2	1,2469	154	1,4054	110	1,3929	67	1,3738	35		
	CEZ	1,7502	164	1,9133	128	1,6693	72	1,6197	38		
	KB	1,2905	164	1,5929	120	2,9773	80	1,9482	38		
D ₃	O2	1,2008	67	1,2652	62	2,0849	52	1,7184	30		
	CEZ	1,0305	57	1,0827	51	1,1491	41	0,7585	23		
	KB	0,8694	66	1,0827	61	2,3584	53	1,8327	32		
D ₄	O2	1,4172	40	1,6492	39	1,7857	34	2,2519	26		
	CEZ	0,9758	39	1,0072	36	1,3016	32	0,9372	20		
	KB	2,7652	35	2,6519	34	3,7435	31	3,0629	25		

zdroj: výpočty autora

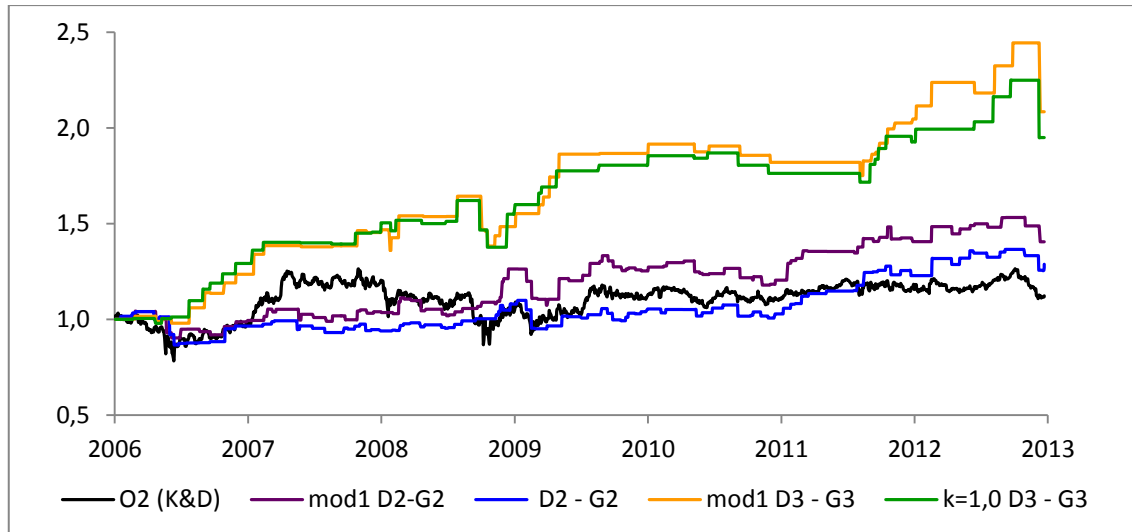
Při prvním zběžném pohledu výsledky neprokázaly žádné zlepšení. Ze 48 propočítávaných obchodních strategií došlo ke zlepšení ve 24 případech tj. v 50%. Pokud se na výsledky podíváme podrobněji, najdeme zde určitá pozitiva. Vyhodnotíme-li výsledky

po jednotlivých variantách prodejního signálu, tak varianta S_1 dosáhla zlepšení v 7 případech (58,3%), varianta S_2 v 8 případech (66,6%), varianta S_3 v 6 případech (50,0%) a pouze varianta S_4 měla horší výsledky, vykázala zlepšení pouze ve 3 případech (25,0%). Tyto výsledky jsou však v souladu s očekáváním. Pokud je v základním modelu prodejní signál generován při nízkých úrovních růstu (stavy G_1 , G_2 a případně G_3 , záleží na zvoleném k) modifikace generování prodejního signálu přináší zlepšení. Převládá pozitivní efekt, kdy je ještě velký prostor pro dodatečný růst, který převýší následný pokles. Naopak pokud je prodejní signál generován při vysoké úrovni růstu, přináší modifikovaná strategie zhoršení. Dodatečný růst už není tak vysoký a nevykompenzuje následný pokles.

Podíváme-li se na výsledky z pohledu jednotlivých akciových titulů, jsou výsledky následující. Na akciích O2 modifikovaný model oproti základnímu modelu vykázal zlepšení v 7 případech (43,7%), strategie "kup a drž" byla poražena v 12 případech (75,0%) a průměrné zhodnocení dosáhlo 1,375. Pro akcie ČEZ modifikovaný model oproti základnímu modelu vykázal zlepšení jen ve 3 případech (18,7%), strategie "kup a drž" byla poražena v 8 případech (75,0%) a průměrné zhodnocení dosáhlo 1,266. Na akciích KB modifikovaný model oproti základnímu modelu vykázal zlepšení dokonce v 14 případech (87,5%), strategie "kup a drž" byla poražena v 10 případech (62,5%) a průměrné zhodnocení dosáhlo 1,986.

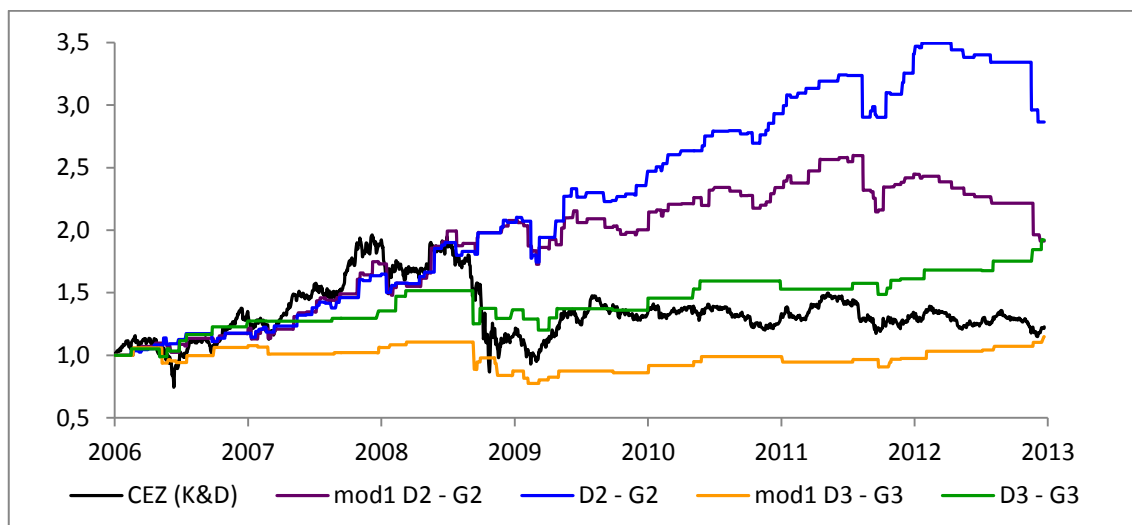
Vedle dosaženého zhodnocení nás také zajímá vývoj tohoto zhodnocení v čase. Zobrazíme graf pro každý akciový titul. Pro každý titul zobrazíme dvě vybrané modifikované strategie a k nim dvě odpovídající základní strategie pro porovnání. Při srovnání nás budou zajímat hlavně okamžiky, kdy modifikovaná a základní strategie vykazují odlišné chování z hlediska růstu, poklesu či stagnace.

Srovnání pro akcie O2 vidíme v grafu 3.4. V grafu vidíme, že vývoj zhodnocení pro základní i modifikované strategie má u akcií O2 velice podobný průběh a rozdíly jsou malé. Strategie $D_3 - G_3$ a její modifikace vykazují do roku 2012 téměř totožný průběh, v roce 2012 rostla trochu rychleji modifikovaná strategie. V druhém případě strategie $D_2 - G_2$ začíná od roku 2007 na svoji modifikaci mírně ztrácet a do roku 2010 se rozdíl velmi mírně zvyšuje, od roku 2010 nepatrně snižuje. Vůbec největší rozdíl vykázala strategie $D_2 - G_4$ (0,315 ve prospěch základní strategie).

Graf 3.4 Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie O2

zdroj: výpočty autora

U akcií ČEZ vykazovala modifikovaná strategie oproti základní strategii nejhorší výsledky. Na grafu 3.5 můžeme vidět, kde modifikovaná strategie nejvíce ztrácela.

Graf 3.5 Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ

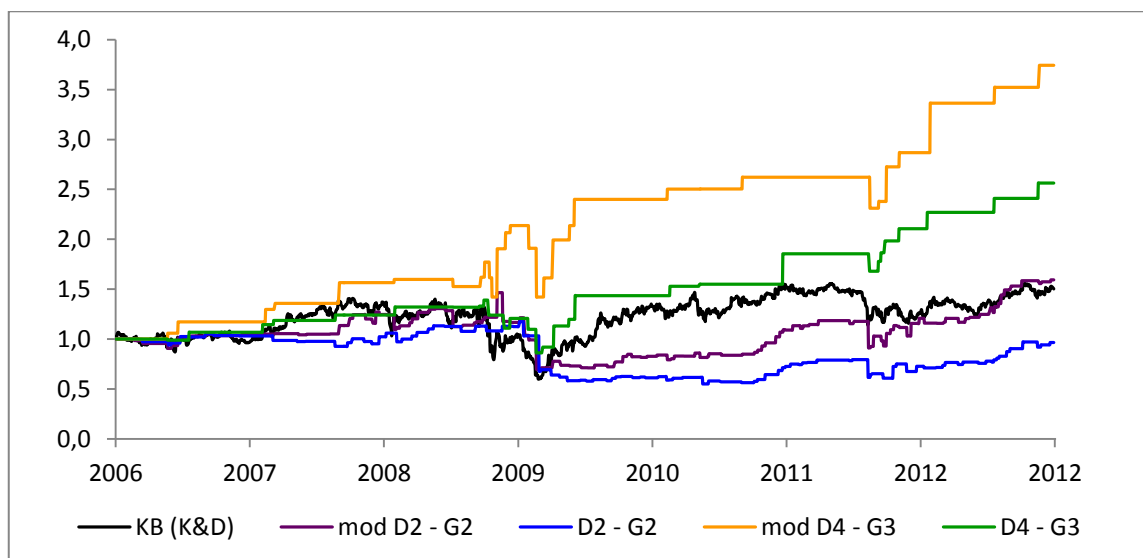
zdroj: výpočty autora

K porovnání jsme vybrali strategii $D_2 - G_2$, kde je maximální rozdíl v neprospěch modifikované strategie (0,952). Pozorujeme, že až do druhé poloviny roku 2009 vykazuje základní strategie naprosto totožný průběh zhodnocení jako její modifikace. Obě strategie se chovaly stejně jak při strmém růstu v roce 2007, tak i při strmém propadu v druhé polovině roku 2008. Rozdíl vidíme až od průběhu roku 2009 při kolísání v rámci dlouhého postranního trendu, kdy zhodnocuje základní strategie vyšším tempem než její

modifikovaná strategie a rozdílné tempo si udržuje až do konce sledovaného období. U druhé pozorované strategie $D_3 - G_3$ je průběh odlišný. Modifikovaná strategie ztrácí na základní strategii hlavně na počátku sledovaného období (v období silného růstu ceny akcie) a už v první polovině roku 2009 byla hodnota kapitálu u modifikované strategie přibližně dvoutřetinová oproti základní strategii. Do konce sledovaného období pak už ztráta vzrostla nepatrně. Dvě sledované modifikované strategie nevykazovaly oproti základní strategii lepší chování v žádné části sledovaného období.

Ze všech tří sledovaných akciových titulů vykazují pro akcie KB modifikované strategie nejlepší výsledky. Srovnání pro dvě vybrané strategie u akcií KB vidíme v grafu 3.6.

Graf 3.6 Modifikace 1 - porovnání vybraných strategií pro akcie KB



zdroj: výpočty autora

Společným rysem v grafech u předchozích dvou společností bylo, že vývoj zhodnocení základní a modifikované strategie měl stejný směr. To znamená, že rostla-li (klesala-li) v daný okamžik základní strategie, rostla (klesala) i strategie modifikovaná. Tuto vlastnost vidíme i na akciích KB, i když s jednou výraznou anomálií v roce 2009 u strategie $D_4 - G_3$, kdy modifikovaná strategie výrazně vzrostla, zatímco základní strategie stagnovala. Tuto anomálii lze považovat jen za čistou shodu okolností. Jinak obě modifikované strategie porázejí základní strategii od počátku sledovaného období.

Souhrnné výsledky modifikované strategie 1

Až do této chvíle jsme analyzovali modifikovanou obchodní strategii na obchodním modelu, který měl stavový prostor definován na šíři jednonásobku směrodatné odchylky. Nyní se podíváme, jaká zhodnocení dosáhneme, když budeme stavový prostor definovat i na jiných násobcích směrodatné odchylky. Modely jsou definovány stejně jako při analýze základní obchodní strategii v předchozí kapitole. Nebudeme už prezentovat detailní výsledky, ale uvedeme jen souhrnné výsledky, které jsou zobrazeny v tabulce 3.18. Opět jako v předchozí části textu u výsledků pro základní strategii v tabulce 3.16 jsou uvedeny podíly vítězných strategií oproti strategii "kup a drž" a průměrné dosažené zhodnocení. Případy, kdy modifikovaná strategie dosáhla lepších výsledků než základní strategie, jsou uvedeny zeleně. Případy, kdy modifikovaná strategie nedosáhla lepších výsledků, jsou červené. U průměrného zhodnocení jsou hodnoty, které nedosáhli zhodnocení strategií "kup a drž" ve žlutém poli. Tuto barevnou konvenci budeme dodržovat i u dalších modifikovaných strategií.

Tabulka 3.18 Souhrnné výsledky modifikované strategie 1

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,4	0,313	0,625	0,500	0,479	1,080	1,366	1,802	1,385	6220
0,6	0,313	0,500	0,563	0,458	1,215	1,381	1,956	1,486	5527
0,8	0,688	0,625	0,625	0,646	1,372	1,224	2,292	1,567	4805
1,0	0,750	0,500	0,625	0,625	1,375	1,266	1,986	1,512	4039
1,2	0,750	0,438	0,688	0,625	1,382	1,191	1,951	1,476	3535
1,4	0,750	0,563	0,750	0,688	1,474	1,199	1,786	1,467	3112
1,6	0,875	0,625	0,813	0,771	1,436	1,243	1,773	1,468	2806
1,8	0,875	0,500	0,688	0,688	1,443	1,290	1,975	1,543	2572
2,0	0,875	0,375	0,875	0,708	1,427	1,263	2,043	1,545	2354
2,2	0,813	0,375	0,688	0,625	1,416	1,156	1,738	1,417	2163

zdroj: výpočty autora

V souhrnu modifikovaná obchodní strategie dosáhla vyššího zhodnocení v porovnání se strategií "kup a drž" v 304 (63,3%) případech. Oproti základní strategii je to zlepšení o 15 případů (3,125%). Pokud bychom vynechali strategie, ve kterých jsou obchodní signály generovány stavy D_1 a S_1 , porážíme strategii "kup a drž" ve 195 případech

(72,2%), zlepšení oproti základní strategii činí +6 (2,2%). A když ještě vynecháme první dva a poslední dva modely, které jsme v předchozí kapitole označili jako nejméně vhodné pro obchodování, vítězíme nad strategií "kup a drž" ve 128 případech (79,0%), zlepšení oproti základní strategii +8 (4,9%).

Pokud bychom vyhodnocovali úspěšnost jednotlivých prodejních signálů, tak signál S_1 porazil signál G_1 ze základní strategie v 59,2% případů, ale strategií "kup a drž" v jen 48,3% případů. Pro ostatní prodejní signály jsou hodnoty následující: S_2 poráží G_2 v 55,8% a "kup a drž" v 63,3% případů; S_3 poráží G_3 v 54,2% a "kup a drž" v 74,2% případů a nakonec S_4 vítězí nad G_4 v 45,8% a nad "kup a drž" v 67,5% případů. Dle očekávání výsledky potvrzují předpoklad, že modifikace základní strategie přinesla hlavně zlepšení u prodejního signálu na úrovni $G_1 \rightarrow S_1$, nicméně i po modifikaci neporážíme strategií "kup a drž".

Z pohledu jednotlivých akciových titulů můžeme z tabulky 3.18 vyčíst, že i pro ostatní modely stavového prostoru jsme získali podobné výsledky, jako v prezentovaném modelu ($k = 1$). Modifikovaná strategie svědčí akciím KB, které pro všechny modely stavového prostoru v souhrnu vykázaly výrazně lepší výsledky než základní strategie. Modifikovaná strategie naopak nesvědčí akciím ČEZ, které až na model $k = 0,4$ vykázaly o dosti horší výsledky, některé modely v průměru neporazily ani strategií "kup a drž". U akcií O2 vykazuje modifikovaná strategie velmi podobné a srovnatelné výsledky jako základní strategie. Pokud bychom náš zájem omezili jen na "favorizované obchodní strategie" potom strategií "kup a drž" poráží modifikovaná strategie na akciích O2 ve 100% případech, na akciích ČEZ v 50% případech a pro akcie KB v 87%. Modifikovanou strategií můžeme tedy považovat za lepší než strategii základní.

3.5.2 Modifikovaná strategie 2

V této modifikaci základní strategie budeme opět modifikovat prodejní signál. Cílem této modifikace bude zamezení výrazným propadům, které jsme mohli vidět například v grafu 3.2 pro strategii $k = 1,0$ $D_1 - G_3$. Příčinou těchto propadů je vygenerovaný nákupní signál v době nepříznivých zpráv. V takovém období může akcie i delší dobu klesat a růstová korekce, která vygeneruje prodejní signál, může přijít až po velmi dlouhé době, kdy je cena akcie výrazně nižší než naše nákupní cena. Výrazným propadům se pokusíme zamezit implementací tzv. stop-loss prodejního signálu. Stop-loss prodejní

signál se vygeneruje, jestliže cena akcie klesne oproti nákupní ceně na nějakou předem stanovenou cenu (stop-loss cenu). Pokud stop-loss cenu nastavíme jen o málo nižší, než byla cena nákupní, budeme mít jen malé ztráty v případě nepříznivých informací na trhu a tedy velkého propadu. Na druhé straně ale budeme často prodávat v situaci normálního kolísání a právě po našem prodeji může akcie začít růst. Stop-loss cena bude určena stanoveným procentuálním poklesem z nákupní ceny. Procentuální pokles budeme opět definovat pomocí násobku směrodatné odchylky velikosti denních změn. Prodejní signál v čase t tedy bude generován v tom případě, jestliže se proces dostane do požadovaného růstového stavu nebo cena akcie klesne pod stanovenou mez. Formálně můžeme vygenerování prodejního signálu popsat následovně:

$$x_t = G_t \text{ nebo } P_t < P_B(1-\gamma\sigma),$$

kde P_B je realizovaná nákupní cena a γ je násobek směrodatné odchylky.

Analýza modifikované strategie 2 na modelu $k=1$ a $\gamma=1,5$

Nyní se podíváme, jaké zhodnocení získáme, bude-li modifikovaná obchodní strategie definována na modelu $k=1$ se stop-loss cenou na $\gamma=1,5$. Výsledky vidíme v tabulce 3.19.

Tabulka 3.19 Modifikace 2 - zhodnocení obchodních strategií pro $k=1,0$ a $\gamma=1,5$

		prodej		G ₁		G ₂		G ₃		G ₄	
		C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n
D ₁	O2	0,532	305	0,466	184	0,632	121	0,759	78		
	CEZ	1,273	317	1,093	179	1,262	98	0,869	72		
	KB	0,401	307	0,673	172	1,124	112	0,517	85		
D ₂	O2	0,965	143	0,939	129	0,837	88	1,193	70		
	CEZ	1,338	149	1,647	129	1,661	93	1,387	76		
	KB	0,538	144	0,625	125	0,946	104	0,688	71		
D ₃	O2	1,159	63	1,303	65	1,677	60	1,507	48		
	CEZ	1,039	48	1,476	55	1,393	50	0,735	41		
	KB	0,860	62	1,152	59	1,961	58	1,284	50		
D ₄	O2	1,441	46	1,387	47	1,757	45	2,163	47		
	CEZ	1,221	42	1,239	45	1,428	43	1,291	46		
	KB	1,490	44	1,074	42	2,278	46	1,743	45		

zdroj: výpočty autora

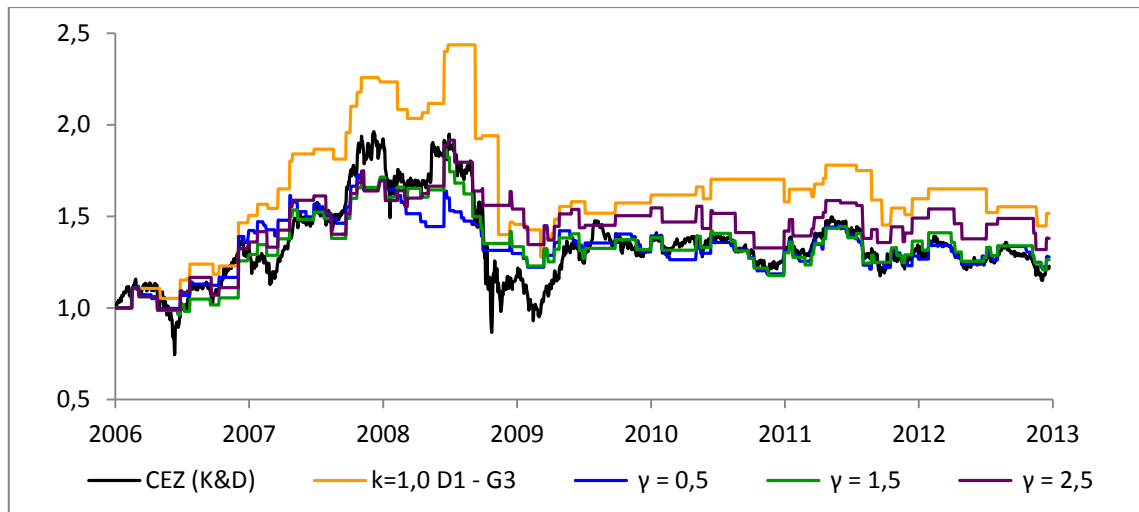
Z výsledků je na první pohled zřejmé, že modifikovaná strategie není úspěšnější než základní strategie. Základní strategii poráží jen v 10 případech (20,8%) a většinou v případech, kdy základní strategie prohrává se strategií "kup a drž". Jednou z příčin může být nevhodně zvolená γ . Propočítáme tedy modifikaci ještě s jiným γ . Spočítali jsme varianty s γ od 0,5 do 2,5 po kroku 0,5 na modech s $k=1,0$ a $k=1,4$. Souhrnné výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.20.

Tabulka 3.20 Souhrnné výsledky modifikované strategie 2 pro vybrané modely

k	γ	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
		O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
1,0	0,5	0,438	0,688	0,188	0,438	1,125	1,295	1,024	1,142	5686
	1,0	0,500	0,563	0,188	0,417	1,179	1,199	1,001	1,122	4939
	1,5	0,563	0,750	0,188	0,500	1,170	1,272	1,085	1,173	4548
	2,0	0,438	0,563	0,188	0,396	1,149	1,376	0,989	1,161	4314
	2,5	0,438	0,625	0,125	0,396	1,174	1,400	1,092	1,215	4153
1,4	0,5	0,500	0,438	0,063	0,333	1,154	1,238	1,002	1,127	4921
	1,0	0,500	0,375	0,063	0,313	1,175	1,162	0,971	1,098	4161
	1,5	0,500	0,375	0,125	0,333	1,183	1,216	1,015	1,135	3775
	2,0	0,438	0,500	0,063	0,333	1,075	1,269	0,973	1,099	3555
	2,5	0,375	0,313	0,063	0,250	1,092	1,264	1,020	1,121	3408

zdroj: výpočty autora

Z výsledků můžeme pozorovat, že ani jiné hodnoty γ a ani jiná definice stavového prostoru nepřinesly lepší výsledky. Dále nás zajímá také vývoj zhodnocení. Vývoj zhodnocení ilustrujeme v grafu 3.7 jen pro akcie společnosti ČEZ. V grafu je zobrazen vývoj zhodnocení modifikovaných strategií, které vycházejí ze základní strategie $k = 1,0$ D₁ – G₃. Z grafu je jasně vidět, že náš původní záměr se nám naplnit nepovedlo. Propady modifikovaných strategií v druhé polovině roku 2008 jsou sice menší než u základní strategie, ale je to dáno tím, že propad nastává z mnohem menší základny. Modifikované strategie do první poloviny roku si připsaly mnohem menší zhodnocení než základní strategie. Je zřejmé, že modifikace strategie stop-loss signálem její výkonnost nezlepší.

Graf 3.7 Modifikace 2 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ

zdroj: výpočty autora

3.5.3 Modifikovaná strategie 3

Nyní se zaměříme na generování nákupního signálu. Budeme sledovat stejný cíl, jako v předešlé modifikaci, tedy zabránit výraznějším propadům. V této modifikaci se pokusíme tohoto cíle dosáhnout pozdějšími nákupy, které uskutečníme až po ukončení klesajícího období ceny akcie, tedy při výskytu prvního růstového stavu. Jedná se o aplikování stejného principu jako u modifikované strategie 1 s tím rozdílem, že princip aplikujeme na generování nákupního signálu. Pro každý model stavového prostoru definujeme opět čtyři úrovně nákupního signálu následujícím způsobem:

- B_1 nákupní signál bude generován po jakékoli úrovni poklesu, tj. $(x_{t-1} = D_1 \text{ nebo } D_2 \text{ nebo } D_3 \text{ nebo } D_4)$ a $(x_t = G_1 \text{ nebo } G_2 \text{ nebo } G_3 \text{ nebo } G_4)$;
- B_2 prodejní signál bude generován, pokud úroveň poklesu dosáhla minimálně stavu D_2 , tj. $(x_{t-1} = D_2 \text{ nebo } D_3 \text{ nebo } D_4)$ a $(x_t = G_1 \text{ nebo } G_2 \text{ nebo } G_3 \text{ nebo } G_4)$;
- B_3 prodejní signál bude generován, pokud úroveň poklesu dosáhla minimálně stavu D_3 , tj. $(x_{t-1} = D_3 \text{ nebo } D_4)$ a $(x_t = G_1 \text{ nebo } G_2 \text{ nebo } G_3 \text{ nebo } G_4)$;
- B_4 prodejní signál bude generován, pokud úroveň poklesu dosáhla minimálně stavu D_4 , tj. $(x_{t-1} = D_4)$ a $(x_t = G_1 \text{ nebo } G_2 \text{ nebo } G_3 \text{ nebo } G_4)$.

Ze znalostí výsledků modifikované strategie 1 očekáváme, že zlepšení by měly přinést hlavně modifikace při nižších úrovních poklesu, tedy $D_1 \rightarrow B_1$ a případně $D_2 \rightarrow B_2$.

Analýza modifikované strategie 3 na modelu $k=1$

Detailní výsledky pro modifikovanou obchodní strategii na modelu se stavovým prostorem definovaným na $k = 1,0$ vidíme v tabulce 3.21.

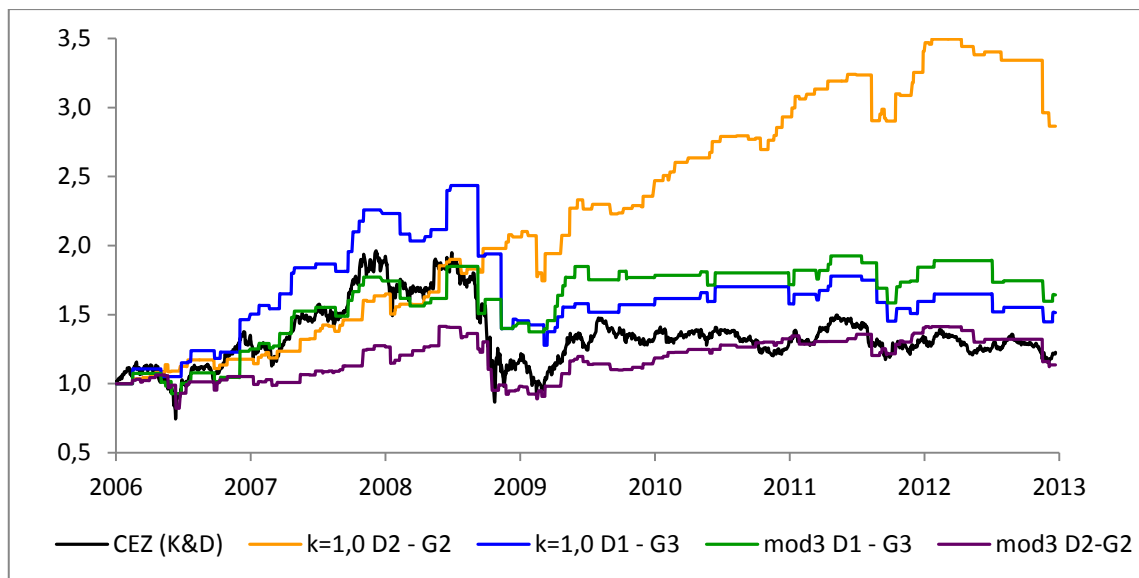
Tabulka 3.21 Modifikace 3 - zhodnocení obchodních strategií pro $k = 1,0$

		prodej		G ₁		G ₂		G ₃		G ₄	
		nákup		C _n	n	C _n	n	C _n	n	C _n	n
B ₁	O2	1,316	343	1,098	172	1,187	76	1,948	46		
	CEZ	0,619	367	1,421	187	1,643	70	1,922	50		
	KB	1,388	345	1,416	151	1,961	82	1,575	51		
B ₂	O2	1,470	155	1,632	118	1,294	63	2,183	45		
	CEZ	0,706	155	1,136	125	1,435	63	2,006	48		
	KB	0,739	154	0,793	103	2,164	75	1,771	46		
B ₃	O2	1,599	70	1,551	69	1,720	52	2,282	38		
	CEZ	0,682	58	0,839	64	1,017	43	1,000	32		
	KB	1,627	72	0,780	62	2,162	53	2,468	41		
B ₄	O2	1,497	34	1,494	35	1,431	27	2,507	28		
	CEZ	0,778	26	0,773	33	1,414	25	1,189	24		
	KB	2,071	31	0,838	24	1,680	27	2,434	25		

zdroj: výpočty autora

Z výsledků je na první pohled zřejmé, že modifikace byla úspěšná hlavně na stavu B₁, kde oproti základní strategii došlo ke zlepšení v 11 případech z 12. U ostatních stavů došlo ke zlepšení vždy v 5 případech a tedy v 7 případech ke zhoršení. Zajímavé jsou také výsledky z pohledu jednotlivých titulů. Úspěšná je modifikovaná strategie na akciích O2, zlepšení jsme dosáhli v 13 případech z 16. U akcií KB je poměr zlepšení a zhoršení téměř vyrovnaný a je 9 ku 7. Modifikovaná strategie nesvědčila akciím ČEZ, kde došlo ke zlepšení pouze ve 4 případech.

Podívejme se opět, jaký byl vývoj tohoto zhodnocení. Zobrazíme vybrané strategie pro akcie ČEZ, na kterých modifikovaná strategie převážně selhávala a pro akcie O2, na kterých modifikovaná strategie naopak převážně získávala. Vývoj zhodnocení vybraných strategií pro akcie ČEZ je znázorněno v grafu 3.8.

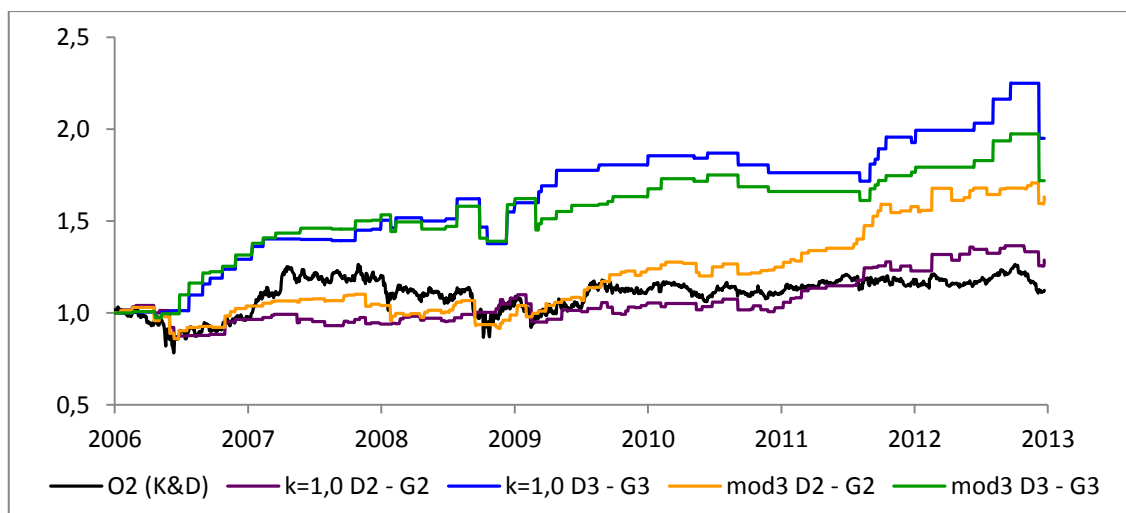
Graf 3.8 Modifikace 3 - porovnání vybraných strategií pro akcie ČEZ

zdroj: výpočty autora

Z grafu můžeme pozorovat, že obě modifikované strategie ztrácejí na základní strategii v období strmého růstu v prvních dvou letech sledování. V dalším období silného propadu můžeme vidět rozdílný vývoj. U strategie v níž byl nákupní signál generován stavem D_1 , se vyplatilo čekat na větší pokles. Převládá zde pozitivní efekt, kdy je ještě velký prostor pro dodatečný pokles, který převýší pozdější ztrátu, kdy akcii kupujeme až na začátku období růstu. V období postranního trendu, po roce 2010, byl vývoj zhodnocení vyrovnaný.

Naopak při modifikaci strategie, v níž je nákupní signál generován stavem D_2 už při vyšší úrovni poklesu a tedy je menší prostor pro další cenový pokles, je modifikovaná strategie neúspěšná. Pozitivní efekt dodatečného poklesu ceny nepřevýší ztrátu z pozdějšího nákupu v období silného poklesu ceny akcie ani v období postranního trendu.

Vývoj zhodnocení vybraných strategií pro akcie O2 je znázorněno v grafu 3.9. Vývoj zhodnocení u akcií O2 opět potvrzuje očekávání. Modifikace strategie s nákupním signálem generovaným na úrovni D_3 není úspěšnější než její základní verze. Obě verze vykazovaly podobný průběh zhodnocení až do konce roku 2008, v dalším období vykazovala mírně lepší výsledky základní strategie.

Graf 3.9 Modifikace 3 - porovnání vybraných strategií pro akcie O2

zdroj: výpočty autora

Dle očekávání modifikace strategie s nákupním signálem generovaným při nižší úrovni poklesu na úrovni D_2 je úspěšnější než její základní verze.

Souhrnné výsledky modifikované strategie 3

Dále uvedeme ještě souhrnné výsledky pro zbývající modely stavového prostoru. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 3.22.

Tabulka 3.22 Souhrnné výsledky modifikované strategie 3

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,4	0,813	0,250	0,313	0,458	1,387	1,278	1,402	1,354	6246
0,6	0,813	0,250	0,313	0,458	1,498	1,141	1,411	1,341	5531
0,8	0,813	0,250	0,438	0,500	1,674	1,062	1,475	1,379	4790
1,0	0,938	0,375	0,625	0,646	1,638	1,161	1,617	1,454	4083
1,2	0,875	0,438	0,438	0,583	1,589	1,185	1,431	1,392	3517
1,4	1,000	0,375	0,438	0,604	1,639	1,166	1,481	1,415	3113
1,6	0,938	0,500	0,563	0,667	1,383	1,223	1,553	1,380	2787
1,8	0,875	0,500	0,500	0,625	1,389	1,332	1,525	1,413	2565
2,0	0,875	0,375	0,500	0,583	1,443	1,218	1,569	1,402	2350
2,2	0,875	0,563	0,313	0,583	1,377	1,194	1,413	1,324	2157

zdroj: výpočty autora

I výsledky pro ostatní modely stavového prostoru potvrzují výsledky, které nám poskytl model $k = 1,0$. Modifikovaná strategie je úspěšná pro akcie O2, kdy je ve většině případů úspěšnější než základní strategie i než modifikovaná strategie typu 1. V porovnání se základní strategií je modifikovaná strategie úspěšná i pro akcie KB, prohrává však často se strategií "kup a drž" i s modifikovanou strategií typu 1. Nejhůře vychází tato modifikace na akciích ČEZ. U těchto akcií dosahují vyššího zhodnocení a lepších výsledků všechny ostatní analyzované strategie.

3.6 Homogenní modely – shrnutí

Obchodní strategie definované na homogenních modelech Markovových řetězců dosáhly v některých případech velmi dobrého zhodnocení. Pro každou akcii jsme našli několik obchodních strategií (základní či modifikované), se kterými jsme poráželi pasivní strategii "kup a drž". Pozitivní bylo, že se nejednalo o jednotlivé (izolované) obchodní strategie na jednotlivých modelech stavového prostoru, ale že se jednalo o skupiny "sousedních" obchodních strategií na skupině "sousedních" modelů. To znamená, že malá změna parametrů v obchodní strategii, ať způsobená změnou obchodního modelu či změnou stavů generující obchodní signály, nepřinesla výraznou změnu v dosaženém zhodnocení (vztaženo hlavně k porážení strategii "kup a drž"). Nepovedlo se nám však najít takovou blízkou skupinu obchodních strategií na blízké skupině obchodních modelů, ve kterých by všechny tři akcie současně porážely strategii "kup a drž". Vždy se našla akcie, která na dané obchodní strategii měla špatné výsledky. Jedním z důvodů může být neadaptivnost používaných postupů na měnící se volatilitu na akciových trzích.

4 Adaptivní modely

V předchozí analýze jsme se nezabývali měnící se volatilitou akciových trhů. Podívejme se, jak se mění volatilita sledovaných akcií. Volatilita se obvykle měří směrodatnou odchylkou a pro vývoj této volatility v čase použijeme "klouzavou směrodatnou odchylku". Klouzavou směrodatnou odchylku v čase t a délky n budeme definovat následovně:

$$s_{t,n} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (x_{t-i} - \overline{x_{t,n}})^2}, \quad (4.1)$$

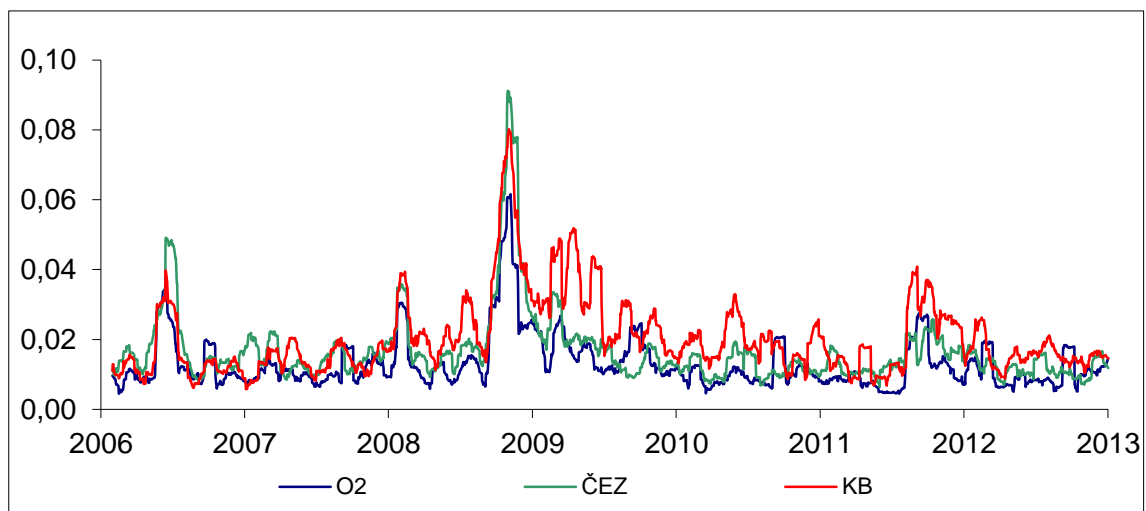
kde: $\overline{x_{t,n}}$ je klouzavý aritmetický průměr v čase t délky n .

Klouzavý aritmetický průměr je definován vztahem:

$$\overline{x_{t,n}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{t-i}. \quad (4.2)$$

Vývoj klouzavé směrodatné odchylky o délce 21, což odpovídá přibližně jednomu měsíci, vidíme v grafu 4.1.

Graf 4.1 Vývoj klouzavé směrodatné odchylky denních změn cen akcií



zdroj: výpočet autora

Z grafu lze pozorovat značně proměnlivou volatilitu denních změn cen akcií. Podíváme se nyní, jak se tato volatilita projevuje u pravděpodobností v matici přechodu, počítané pouze z ročních údajů. Spočítáme tedy postupně prvky matice pro jednotlivé

roky $P_{2006}, P_{2007}, \dots, P_{2012}$. Stavový prostor je definován stejně jako v modelu 2, tedy na 0,5 násobku směrodatné odchylky (konstantní odchylce). Více než konkrétní pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy v jednotlivých letech nás zajímá variabilita těchto pravděpodobností. Variabilitu budeme měřit směrodatnou odchylkou a její hodnotu pro jednotlivé prvky matice vidíme v tabulce 4.1.

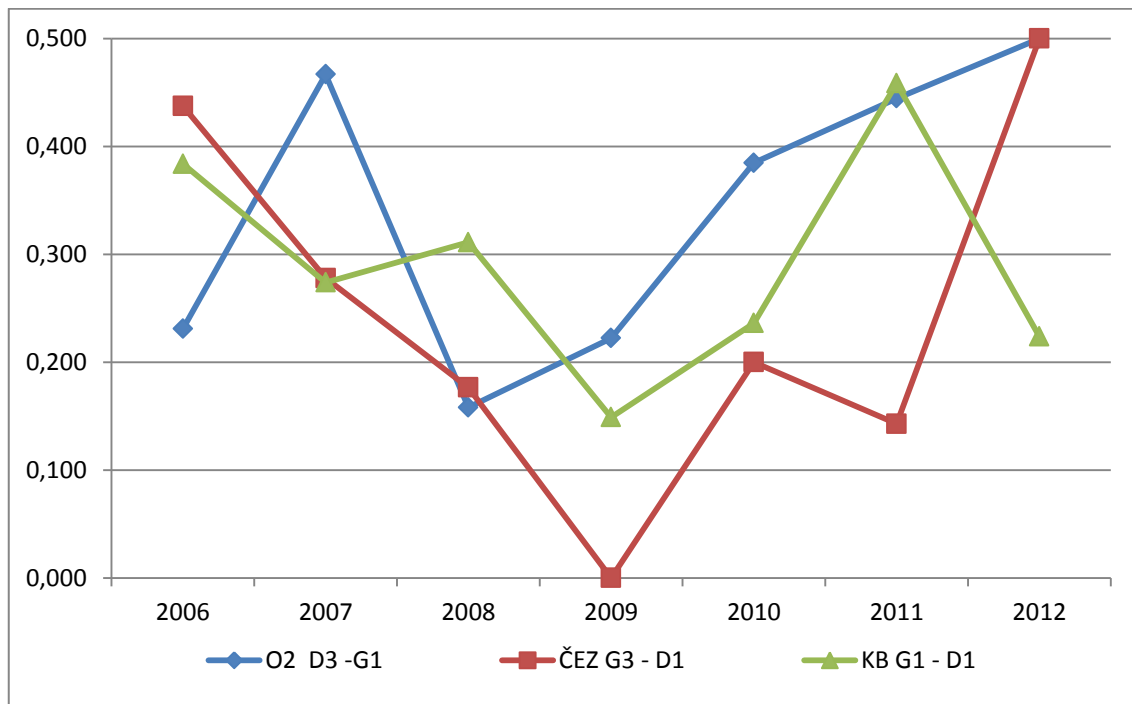
Tabulka 4.1 Směrodatná odchylka pravděpodobností přechodu

n-1 \ n		D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
D ₄	O2	0,103	0,108	0,130	0,105	0,081	0,068	0,115	0,083
	CEZ	0,112	0,057	0,132	0,209	0,102	0,116	0,061	0,134
	KB	0,090	0,165	0,066	0,131	0,172	0,096	0,039	0,151
D ₃	O2	0,055	0,060	0,055	0,073	0,127	0,085	0,069	0,058
	CEZ	0,089	0,076	0,070	0,049	0,081	0,056	0,050	0,075
	KB	0,060	0,061	0,082	0,053	0,071	0,078	0,077	0,046
D ₂	O2	0,034	0,037	0,033	0,089	0,056	0,060	0,039	0,038
	CEZ	0,045	0,053	0,046	0,047	0,064	0,059	0,031	0,020
	KB	0,057	0,019	0,051	0,058	0,087	0,064	0,041	0,036
D ₁	O2	0,027	0,041	0,037	0,066	0,053	0,054	0,019	0,032
	CEZ	0,020	0,021	0,028	0,044	0,045	0,052	0,018	0,020
	KB	0,041	0,043	0,041	0,051	0,092	0,062	0,032	0,053
G ₁	O2	0,023	0,024	0,055	0,061	0,088	0,037	0,029	0,046
	CEZ	0,040	0,027	0,021	0,054	0,073	0,050	0,032	0,018
	KB	0,029	0,024	0,033	0,096	0,081	0,049	0,027	0,038
G ₂	O2	0,045	0,058	0,039	0,078	0,051	0,060	0,035	0,010
	CEZ	0,034	0,062	0,075	0,075	0,098	0,043	0,034	0,040
	KB	0,022	0,040	0,043	0,052	0,077	0,075	0,048	0,037
G ₃	O2	0,036	0,049	0,033	0,115	0,072	0,084	0,026	0,035
	CEZ	0,029	0,045	0,091	0,160	0,111	0,032	0,047	0,075
	KB	0,058	0,031	0,083	0,138	0,115	0,091	0,064	0,063
G ₄	O2	0,061	0,086	0,128	0,182	0,162	0,084	0,099	0,080
	CEZ	0,080	0,101	0,324	0,163	0,322	0,083	0,084	0,117
	KB	0,056	0,066	0,184	0,169	0,134	0,115	0,130	0,096

zdroj: výpočty autora

Průměrná směrodatná odchylka je 0,07. Konkrétnější představu, jak se pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy v jednotlivých letech mohou lišit, ilustruje pro vybrané tři reprezentující přechody graf 4.2.

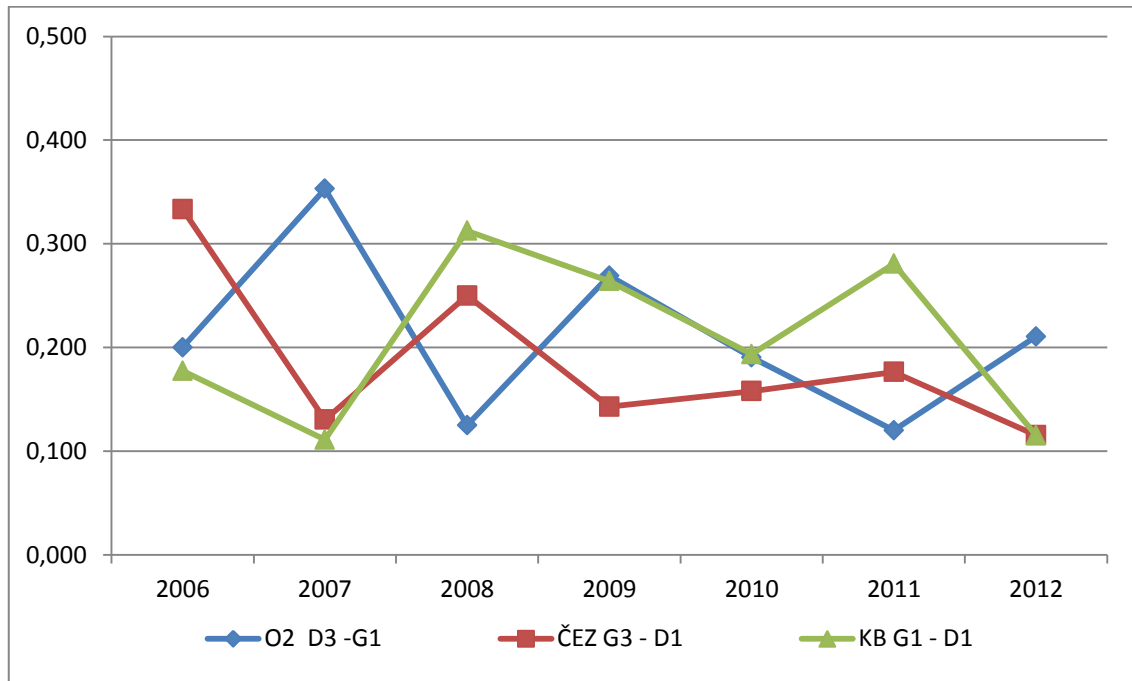
Graf 4.2 Pravděpodobnosti přechodu mezi vybranými stavy v jednotlivých letech



zdroj: výpočty autora

Z grafu vidíme, že změny pravděpodobností přechodu mezi jednotlivými stavy se v průběhu času i výrazně liší. Otázka je, jak tuto nestacionaritu procesu řešit. Nabízí se nám dvě možnosti. První možnost je, že by obchodní modely nevycházely z jedné matice přechodu, ale pracovali bychom s proměnlivou "klouzavou" maticí přechodu. Tento způsob by byl výpočetně velice náročný. Druhá možnost je mít proměnlivě definován stavový prostor. To znamená, že by stavový prostor nebyl definován na základě konstantní hodnoty, jako tomu bylo například v modelu 2, kde to byl 0,5 násobek směrodatné odchylky, ale na základě měnící se "klouzavé" směrodatné odchylky.

Otázka je, jakou délku klouzavé směrodatné odchylky zvolit. Dlouhá délka nebude moc adaptivní a naopak krátká délka by zase zřejmě některé stavy eliminovala. Zvolíme tedy něco mezi, délku 21, což odpovídá období jednoho měsíce (21 obchodních dnů). Jak se změnili pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy, vidíme v grafu 4.3.

Graf 4.3 Pravděpodobnosti přechodu mezi vybranými stavy definováno na $S_{t,21}$ 

zdroj: vlastní výpočty

Porovnáme-li mezi sebou graf 4.2 a graf 4.3, vidíme, že zavedením klouzavé směrodatné odchylky jsme proces částečně stabilizovali. Grafy nám však ilustrují pouze tři vybrané případy. Podívejme se, jak je to i v ostatních přechodech mezi stavy. Opět nás nebudou zajímat konkrétní pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy v jednotlivých letech, ale zajímá nás směrodatná odchylka těchto pravděpodobností. Konkrétně nás zajímá, zda jsme zavedením klouzavé směrodatné odchylky dosáhli zlepšení oproti neměnné směrodatné odchylce. Rozdíly směrodatné odchylky pravděpodobnosti přechodu v jednotlivých letech, kdy stavy jsou definované na konstantní a klouzavé směrodatné odchylce, udává tabulka 4.2. Záporné hodnoty (zelené) značí, že došlo ke snížení směrodatné odchylky (lepší vlastnosti má definování stavů na klouzavé směrodatné odchylce), kladné (červené) hodnoty udávají opačnou situaci, tj. došlo ke zvětšení směrodatné odchylky.

Tabulka 4.2 Rozdíly ve směrodatných odchylkách

n-1	n	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
D ₄	O2	-0,062	-0,059	-0,109	-0,026	-0,005	0,006	-0,039	0,000
	CEZ	-0,061	0,000	-0,054	-0,133	-0,023	-0,017	-0,013	-0,060
	KB	-0,036	-0,106	0,002	-0,065	-0,123	-0,008	0,012	-0,084
D ₃	O2	0,029	0,021	0,000	-0,016	-0,052	0,019	-0,011	-0,024
	CEZ	-0,012	0,009	0,001	0,017	0,000	0,011	0,018	-0,061
	KB	0,004	-0,019	-0,024	0,056	-0,048	-0,034	-0,014	-0,020
D ₂	O2	0,027	-0,011	-0,009	-0,023	-0,002	-0,038	-0,006	-0,006
	CEZ	0,003	-0,026	0,010	0,047	0,004	0,026	0,012	0,019
	KB	-0,033	0,023	-0,015	0,001	-0,002	-0,017	0,000	0,009
D ₁	O2	0,007	-0,009	-0,021	0,007	-0,001	-0,011	0,007	-0,004
	CEZ	0,000	0,010	0,011	-0,011	-0,008	0,029	0,030	0,016
	KB	-0,011	0,001	0,025	-0,014	-0,060	-0,001	-0,005	-0,020
G ₁	O2	0,019	0,007	0,009	-0,010	-0,036	-0,003	-0,001	-0,018
	CEZ	-0,005	0,003	0,003	-0,008	-0,020	0,027	0,003	0,011
	KB	0,003	0,003	0,007	-0,022	-0,039	-0,005	0,000	-0,014
G ₂	O2	-0,015	-0,021	0,016	-0,013	0,011	0,026	0,010	0,031
	CEZ	-0,004	-0,024	-0,019	-0,017	-0,020	0,010	-0,004	0,004
	KB	-0,003	0,003	0,000	0,000	-0,009	-0,025	-0,013	-0,006
G ₃	O2	0,028	-0,003	0,024	-0,036	-0,028	-0,030	0,032	0,012
	CEZ	0,013	0,008	-0,028	-0,088	-0,042	0,082	0,030	-0,020
	KB	-0,032	0,044	-0,034	-0,050	-0,029	0,000	-0,026	-0,017
G ₄	O2	-0,019	-0,043	-0,069	-0,075	-0,084	-0,014	-0,046	-0,048
	CEZ	-0,025	-0,064	-0,224	-0,054	-0,255	0,022	0,011	-0,083
	KB	-0,004	0,019	-0,149	-0,109	-0,040	-0,022	-0,086	-0,010

zdroj: výpočty autora

Po zavedení proměnlivě definovaného stavového prostoru došlo ke snížení směrodatné odchylky pravděpodobnosti přechodu v jednotlivých letech z 0,07 na 0,54. Zlepšení nastalo celkem ve 120 přechodech, zhoršení v 72 přechodech. Je tedy určitý předpoklad, že obchodní strategie definované na proměnlivém (adaptivním) stavovém prostoru, můžou vykazovat "stabilnější" chování. Nejprve se však podíváme, jak se změni pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy. Už nás nebudou zajímat všechny modely stavového prostoru, ale jen model definovaný na denních kumulativních změnách.

4.1 Adaptivní modely stavového prostoru

V tomto modelu pro kategorizaci kumulativních změn k_t použijeme klouzavou směrodatnou odchylku délky 21. Nejprve musíme zjistit, jak široké intervaly je vhodné volit, respektive jaké násobky klouzavé směrodatné odchylky použít. Jak už bylo řečeno dříve, chceme definovat takový stavový prostor, aby byla vysoká pravděpodobnost setrvání v trendu nebo změny trendu. Proto postupně vyzkoušíme různé násobky směrodatné odchylky. Stavový prostor bude definován následovně:

$$\begin{aligned} D_4: k_t < -3,6s_{t,21}; & & G_1: 0 \leq k_t < 1,2s_{t,21} \\ D_3: -3,6s_{t,21} \leq k_t < -2,4s_{t,21}; & & G_2: 1,2s_{t,21} \leq k_t < 2,4s_{t,21}; \\ D_2: -2,4s_{t,21} \leq k_t < -1,2s_{t,21} & & G_3: 2,4s_{t,21} \leq k_t < 3,6s_{t,21}; \\ D_1: -1,2s_{t,21} \leq k_t < 0 & & G_4: 3,6s_{t,21} \leq k_t \end{aligned}$$

kde $\delta = k \cdot s_{t,21}$, přičemž $s_{t,21}$ je klouzavá směrodatná odchylka délky 21 a k bude postupně nabývat hodnot od 0,4 do 2,2 s krokem 0,2. Získáme tedy 10 různých stavových prostorů.

Stejně jako pro homogenní model 3 tak i nyní jsme pro každý stavový prostor a pro všechny tři akciové tituly spočítali matici pravděpodobnosti přechodu. Pro každý stav jsme následně spočítali průměrnou pravděpodobnost poklesu. Vypočtené průměrné pravděpodobnosti následného poklesu ceny akcie z jednotlivých stavů při daných násobcích klouzavé směrodatné odchylky zobrazuje tabulka 4.3.

Tabulka 4.3 Průměrná pravděpodobnost poklesu pro modely $k \cdot s_{t,21}$

k	D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4
0,4	0	0,452	0,474	0,476	0,529	0,539	0,521	1
0,6	0	0,392	0,439	0,446	0,564	0,544	0,536	1
0,8	0	0,377	0,379	0,424	0,580	0,569	0,524	1
1,0	0	0,360	0,353	0,393	0,597	0,599	0,572	1
1,2	0	0,322	0,321	0,370	0,633	0,606	0,647	1
1,4	0	0,355	0,287	0,338	0,657	0,626	0,72	1
1,6	0	0,374	0,267	0,298	0,684	0,679	0,699	1
1,8	0	0,333	0,254	0,261	0,707	0,72	0,703	1
2,0	0	0,233	0,241	0,231	0,731	0,755	0,760	1
2,2	0	0,178	0,239	0,209	0,754	0,791	0,715	1

zdroj: výpočty autora

Z výsledků vidíme, že pravděpodobnosti, které nás zajímají, dostaneme až od šíře intervalu $1,2s_{t,21}$. To je rozdíl od homogenních modelů, kde požadované hodnoty pravděpodobností jsme získali už od 0,9 násobku směrodatné odchyly. Stejně jako u homogenních modelů platí, že se vzrůstajícím k klesá pravděpodobnost setrvání v trendu. Z tohoto pohledu by se jevil jako nejvýhodnější definovat stavový prostor na 2,2 násobku směrodatné odchyly (vysoké pravděpodobnosti změny trendu). Na druhou stranu s rostoucím násobkem směrodatné odchyly se u stacionárních modelů snižoval počet výskytů krajních stavů a většina procesu se koncentruje do stavů G_1 a D_1 . Podíváme se, jak je to s výskytem jednotlivých stavů adaptivních modelů. Průměrný počet výskytů jednotlivých stavů v závislosti na volené šíři intervalu udává tabulka 4.4.

Tabulka 4.4 Průměrný počet výskytů jednotlivých stavů na modelech $k \cdot s_{t,21}$

k	D_4	D_3	D_2	D_1	G_1	G_2	G_3	G_4
0,4	213,0	117,3	141,7	142,7	125,3	141,3	115,7	224,0
0,6	134,0	130,0	177,7	205,3	192,0	173,0	134,3	152,0
0,8	88,3	110,0	194,3	259,0	245,7	194,7	128,7	104,3
1,0	56,0	94,0	197,3	301,0	285,7	206,0	106,3	71,7
1,2	37,3	75,3	183,7	338,7	320,0	196,7	88,0	47,0
1,4	27,0	58,3	167,3	366,0	348,3	181,3	76,3	28,7
1,6	19,7	46,0	147,7	384,0	370,0	162,7	58,7	21,3
1,8	13,0	36,0	129,7	395,3	388,3	145,7	46,0	14,7
2,0	6,7	29,0	114,7	403,7	401,7	128,0	35,3	9,0
2,2	4,3	24,7	99,3	412,0	409,0	116,7	25,0	7,7

zdroj: výpočet autora

Z výsledků lze vyčíst, že stejně jako u stacionárních modelů tak v tomto modelu se s rostoucím k snižuje výskyt krajních stavů. Pokud vezmeme v úvahu pravděpodobnost změny trendu v jednotlivých stavech a počet výskytů těchto stavů, tak pro tvorbu obchodních strategií se jako nejvhodnější jeví modely definované 1,2 až 1,8 násobku klouzavé směrodatné odchyly.

Až dosud nás zajímaly pouze souhrnné hodnoty, tedy průměr ze tří akcií. Předtím než se pustíme do aplikací obchodních strategií, podíváme se ještě, jaké rozdíly mezi sebou vykazují jednotlivé akciové tituly. Zajímají nás jak pravděpodobnosti přechodu

mezi jednotlivými stavy, tak i počet výskytů jednotlivých stavů. V tabulce 4.5 uvedeme pravděpodobnosti přechodu pro 1,2 násobek klouzavé směrodatné odchylky.

Tabulka 4.5 Pravděpodobnosti přechodu pro $k=1,2$

n-1 \ n		n										
		D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	d _i	g _i	n _i
D ₄	O2	0	0	0	0	0,622	0,297	0,081	0,000	0	1	37
	CEZ	0	0	0	0	0,585	0,341	0,073	0,000	0	1	41
	KB	0	0	0	0	0,441	0,382	0,176	0,000	0	1	34
D ₃	O2	0,338	0	0	0	0,488	0,138	0,025	0,013	0,338	0,663	80
	CEZ	0,325	0	0	0	0,488	0,175	0,013	0,000	0,325	0,675	80
	KB	0,303	0	0	0	0,530	0,152	0,015	0,000	0,303	0,697	66
D ₂	O2	0,035	0,283	0	0	0,503	0,162	0,017	0,000	0,318	0,682	173
	CEZ	0,079	0,258	0	0	0,511	0,147	0,005	0,000	0,337	0,663	190
	KB	0,064	0,245	0	0	0,495	0,176	0,016	0,005	0,309	0,691	188
D ₁	O2	0,012	0,055	0,285	0	0,509	0,136	0,003	0,000	0,352	0,648	330
	CEZ	0,000	0,059	0,307	0	0,513	0,118	0,003	0,000	0,366	0,634	339
	KB	0,006	0,040	0,346	0	0,473	0,127	0,006	0,003	0,392	0,608	347
G ₁	O2	0,000	0,019	0,107	0,519	0	0,292	0,060	0,003	0,645	0,355	318
	CEZ	0,000	0,027	0,123	0,455	0	0,338	0,051	0,006	0,605	0,395	334
	KB	0,000	0,016	0,088	0,545	0	0,305	0,036	0,010	0,649	0,351	308
G ₂	O2	0,000	0,011	0,106	0,431	0	0	0,388	0,064	0,548	0,452	188
	CEZ	0,000	0,005	0,096	0,565	0	0	0,278	0,057	0,665	0,335	209
	KB	0,000	0,005	0,109	0,492	0	0	0,311	0,083	0,606	0,394	193
G ₃	O2	0,000	0,050	0,140	0,520	0	0	0	0,290	0,710	0,290	100
	CEZ	0,000	0,012	0,123	0,481	0	0	0	0,383	0,617	0,383	81
	KB	0,000	0,000	0,096	0,518	0	0	0	0,386	0,614	0,386	83
G ₄	O2	0,000	0,000	0,256	0,744	0	0	0	0	1	0	43
	CEZ	0,000	0,000	0,333	0,667	0	0	0	0	1	0	45
	KB	0,000	0,000	0,226	0,774	0	0	0	0	1	0	53

zdroj: výpočty autora

Z výsledků uvedených v tabulce vidíme, že všechny tři tituly vykazují podobné pravděpodobnostní chování. Je tedy splněn prvotní předpoklad, že při aplikaci obchodních strategií na těchto modelech, bychom mohli získat podobné výsledky.

4.2 Obchodní strategie

Nyní přejdeme k aplikaci obchodních strategií. Obchodní strategie budeme definovat na stejném principu jako základní obchodní strategie u homogenních modelů. Tedy na stavovém prostoru definovaném na kumulativních změnách cen, nákupní signály jsou generovány jednotlivými stavy poklesu D_i a prodejní signály jsou generovány jednotlivými stavy růstu G_i . Nejprve se zaměříme na obchodní strategie využívající klouzavé směrodatné odchylky délky 21 a následně propočítáme i obchodní strategie definované na klouzavé směrodatné odchylce délky 10 a 30.

4.2.1 Strategie definované na $s_{t,21}$

Stavový prostor pro obchodní modely bude definován na násobcích klouzavé směrodatné odchylky délky 21. Předtím než provedeme podrobnou analýzu vybraných modelů, se podíváme na souhrnné výsledky. I když jsme konstatovali, že pro aplikování obchodních strategií se jako nejvhodnější jeví modely definované na 1,2 až 1,8 násobku směrodatné odchylky, propočítáme obchodní strategie i pro další modely. Násobek směrodatné odchylky budeme postupně měnit, stejně jako u homogenních modelů, od 0,4 do 2,2. Souhrnné výsledky jsou prezentovány v tabulce 4.6. Zeleně jsou v sloupci průměrné zhodnocení značeny hodnoty, ve kterých překonáváme strategii "kup a drž".

Tabulka 4.6 Souhrnné výsledky pro strategie modelované na $s_{t,21}$

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,4	0,500	0,750	0,375	0,542	1,171	1,471	1,356	1,333	4346
0,6	0,625	0,625	0,375	0,542	1,154	1,423	1,379	1,319	4772
0,8	0,563	0,625	0,188	0,458	1,242	1,465	1,281	1,329	4664
1,0	0,563	0,750	0,563	0,625	1,277	1,511	1,628	1,472	4341
1,2	0,688	0,813	0,500	0,667	1,320	1,462	1,868	1,533	3938
1,4	0,813	0,750	0,438	0,667	1,421	1,433	1,342	1,399	3547
1,6	0,750	0,750	0,250	0,583	1,383	1,518	1,319	1,407	3212
1,8	0,750	0,750	0,313	0,604	1,316	1,528	1,562	1,469	2923
2,0	0,625	0,688	0,313	0,542	1,268	1,511	1,495	1,425	2632
2,2	0,813	0,625	0,313	0,583	1,289	1,416	1,363	1,356	2434

zdroj: výpočty autora

Celkem jsme tedy na deseti modelech stavového prostoru propočítali 480 obchodních strategií a strategie "kup a drž" byla poražena v 279 případech, což je úspěšnost 58,1%. Vidíme, že vyšších průměrných zhodnocení (nad 1,4) jsme dosáhli v případech, kdy stavový prostor byl definován na 1,0 až 2,0 násobku směrodatné odchylky. Pokud bychom počítali úspěšnost pouze na těchto stavových prostorech, tak budeme úspěšní ve 177 případech, což je úspěšnost 61,5%. Pokud bychom ještě k tomu, stejně jako u stacionárních modelů, vyřadili obchodní strategie se stavy D_1 a G_1 stavy D_1 a G_1 dostaneme se na úspěšnost 76,0%.

Dále se podíváme na úspěšnost jednotlivých akciových titulů. Na akciích O2 byla obchodní strategie úspěšná ve 107 případech ze 160, což je úspěšnost 66,9%. Pokud se omezíme na modely s 1,0 až 2,0 násobkem směrodatné odchylky, vítězíme v 67 případech z 96, úspěšnost 69,8%. Pokud ještě vynecháme stavy D_1 a G_1 , porážíme strategii "kup a drž" ve 49 případech, čímž se dostaneme na vysokou 90,7% úspěšnost. U zbývajících titulů máme následující úspěšnost (uvádíme jen procentuální hodnoty ve stejném pořadí jako u O2): ČEZ 71,3%; 75,0%; 75,9% a pro akcie KB 36,3%; 39,6%; 61,1%. Na výsledcích je pozitivní ta skutečnost, že obchodní strategie realizované na modelech s 1,0 až 2,0 násobku směrodatné odchylky a s vynecháním obchodních signálů ve stavech D_1 a G_1 jsou na všech třech sledovaných titulech úspěšné. Dále se zaměříme na podrobnější analýzu vybraných modelů. Výběr nebudeme provádět náhodně, záměrně vybereme následující modely definované na těchto násobcích směrodatné odchylky: $k = 1$; $k = 1,2$ a $k = 1,4$. Důvody pro tento výběr modelů byl dvojitý. První důvod je, že na prvních dvou modelech jsme dosáhli nejvyšší průměrné zhodnocení. Druhý důvod je, že nás zajímá, jak se mění zhodnocení dosažené na stejných obchodních strategiích při malé změně šíře intervalu (malé změně násobku směrodatné odchylky). Výsledky za všechny tři modely najednou jsou uvedeny v tabulce 4.7.

Tabulka 4.7 Zhodnocení obchodních strategií na modelech $s_{i,21}$

k	prodej nákup		G_1		G_2		G_3		G_4	
			C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n
D_1	$k = 1,0$	O2	0,798	234	0,875	159	1,070	89	1,429	69
		CEZ	1,250	227	1,183	177	1,215	104	1,646	61
		KB	0,535	234	1,377	164	0,745	92	1,289	64
	$k = 1,2$	O2	0,958	267	0,848	160	1,195	93	1,339	40
		CEZ	1,271	281	1,752	187	1,522	80	0,998	43
		KB	0,591	273	0,848	173	1,381	77	1,293	49
	$k = 1,4$	O2	0,857	307	1,076	151	1,629	77	1,247	26
		CEZ	0,940	320	1,637	184	1,601	72	1,084	25
		KB	0,446	314	0,610	162	1,583	72	1,387	33
D_2	$k = 1,0$	O2	1,049	158	1,335	125	1,636	83	2,147	64
		CEZ	1,415	173	0,968	138	1,567	94	1,476	57
		KB	1,956	151	1,959	135	1,563	87	2,236	62
	$k = 1,2$	O2	1,075	151	1,627	118	1,402	76	1,622	37
		CEZ	1,888	173	1,378	135	1,491	67	1,245	40
		KB	2,020	160	1,132	126	2,554	74	3,327	50
	$k = 1,4$	O2	1,395	148	2,162	108	1,875	62	1,424	21
		CEZ	2,114	165	1,708	120	1,664	61	1,294	24
		KB	0,736	144	1,281	111	2,236	63	1,979	29
D_3	$k = 1,0$	O2	1,108	83	1,375	79	1,163	58	1,886	50
		CEZ	1,099	86	1,901	84	1,820	63	1,838	46
		KB	1,659	76	1,055	74	2,126	61	3,461	50
	$k = 1,2$	O2	1,095	75	1,530	70	1,726	57	1,488	30
		CEZ	1,956	74	1,719	64	1,641	46	0,812	28
		KB	2,110	62	1,941	58	2,959	43	4,171	37
	$k = 1,4$	O2	0,886	56	1,374	57	1,558	42	1,244	19
		CEZ	1,730	56	1,410	50	1,535	37	0,795	16
		KB	0,880	52	1,563	48	1,555	36	2,367	23
D_4	$k = 1,0$	O2	0,759	50	1,194	53	1,059	43	1,553	37
		CEZ	2,122	56	1,783	53	1,559	48	1,329	33
		KB	1,128	45	1,147	41	1,588	39	2,222	32
	$k = 1,2$	O2	0,966	35	1,321	35	1,243	29	1,687	23
		CEZ	1,348	39	1,236	35	1,959	32	1,174	21
		KB	0,971	32	0,865	32	1,125	26	2,598	25
	$k = 1,4$	O2	1,176	27	1,400	25	1,728	22	1,712	13
		CEZ	1,361	28	1,371	26	1,803	23	0,878	11
		KB	1,126	24	1,091	23	0,791	20	1,843	14

zdroj: výpočty autora

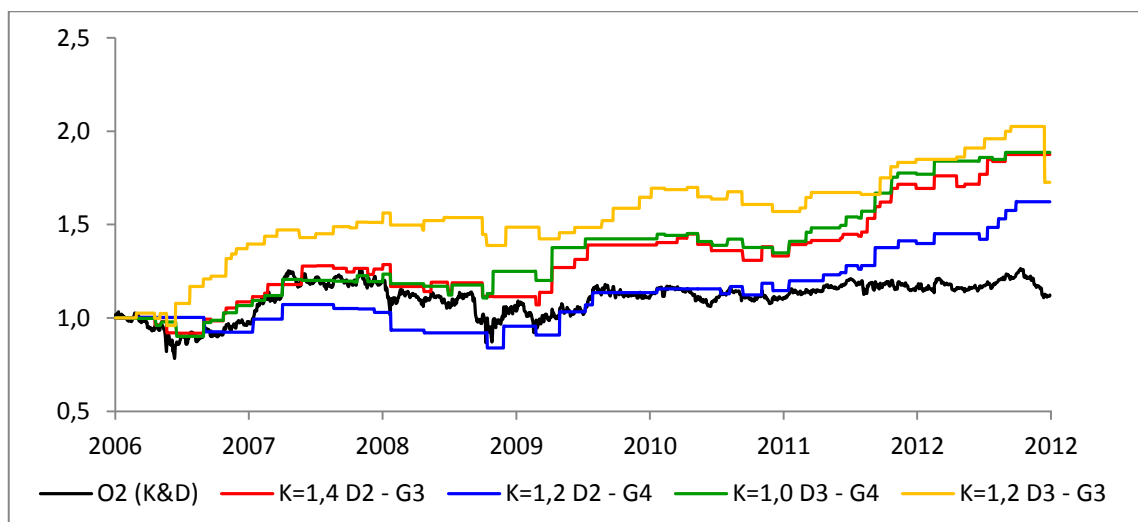
Podívejme se na výsledky z pohledu jednotlivých stavů. Obchodní strategie, u nichž generuje prodejní nákupní signál stav D_1 , poráží pasivní strategii "kup a drž" ve 13 případech z 36, což je velmi malá 36,1% úspěšnost. Nejlepší výsledky stav D_1 vykazuje pro $k=1,4$, kde dokonce v kombinaci s G_3 poráží pasivní strategii na všech třech akciích. Nejlepší výsledky jsme dosáhli při generování nákupního signálu ve stavu D_2 . Strategii "kup a drž" jsme porazili v 30 případech, tj. 83,3% úspěšnost, přičemž 100% úspěšnost dostaneme v kombinaci s prodejními stavy G_3 a G_4 . U modelů definovaných na 1,0 a 1,2 násobcích směrodatné odchylky je lepší kombinace $D_2 - G_4$, u modelu definovaného na 1,4 násobku směrodatné odchylky je lepší obchodní strategie $D_2 - G_3$. Toto zjištění je v souladu s naším očekáváním, neboť pro $k = 1,4$ je stav G_3 přiřazen kumulativním změnám ceny o velikosti od $2,8s_{t,21}$ do $4,2s_{t,21}$, což ve své podstatě odpovídá stavu G_4 v modelu s $k = 1,0$, který je přiřazován kumulativním změnám ceny od $3,0s_{t,21}$. To svědčí o určité stabilitě strategie, kdy malá změna v definování stavového prostoru nevyvolává velké změny v dosaženém výsledku. To je pro nás opět pozitivní signál. Velmi dobré výsledky mají i obchodní strategie, u nichž je nákupní signál generován stavem D_3 . Pasivní strategii "kup a drž" poráží v 28 případech, což dává velmi dobrou 77,7% úspěšnost. Poražení pasivní strategie u všech tří akcií dostaneme u strategií $D_3 - G_3$ pro všechny tři modely, dále $D_3 - G_2$ pro $k = 1,2$ a $k = 1,4$ a také $D_3 - G_4$ pro $k = 1,0$. Opět to potvrzuje stabilitu strategií, neboť strategie $D_3 - G_4$ pro $k = 1,0$ je podobná (částečně ji překrývá) strategii $D_2 - G_3$ pro $k = 1,4$. Obchodní strategie, u nichž generuje nákupní signál stav D_4 , vykazují už podle očekávání horší výsledky. Strategii "kup a drž" poráží ve 23 případech, tj. 63,8% úspěšnost. Zcela zelená je jen strategie $D_4 - G_4$ pro $k = 1,0$. U ostatních obchodních strategií je vždy alespoň na jednom akciovém titulu strategie poražena strategií "kup a drž".

Vidíme, že výsledky prezentované v tabulce 4.7 naplňují náš cíl najít model stavového prostoru a na něm definovat obchodní strategie, které by pro všechny sledované akciové tituly porážely pasivní strategii "kup a drž". Můžeme konstatovat, že při definování stavového prostoru s využitím klouzavé směrodatné odchylky délky 21 získáváme modely stavového prostoru s velkou úspěšností některých obchodních strategií. Pozitivní je, že se jedná o konzistentní prostor, tedy malá změna parametrů nepřinese výrazně jiné výsledky. Tento prostor můžeme vymezit na stavový prostor definovaný na minimálně 1,0 až 1,4 násobku klouzavé směrodatné odchylky délky 21 a těchto kombinací obchodních signálů: $D_2 - G_3$, $D_2 - G_4$, $D_3 - G_2$ a $D_3 - G_3$. Řečeno jinak, obchodní stra-

tegie jsou úspěšné, pokud je nákupní signál definován, když kumulativní změna ceny akcie poklesla přibližně v rozmezí $1,5s_{t,21} - 3,0s_{t,21}$ a prodejní signál je definován, když kumulativní změna ceny akcie vrostla přibližně v rozmezí $2,8s_{t,21} - 4,0s_{t,21}$.

Další důležitou informací pro naše rozhodování je vývoj zhodnocení v čase. Budou nás zajímat jen úspěšné obchodní strategie. V souladu s předchozím odstavcem vybereme strategie, které generují nákupní signál přibližně na intervalu $-3,0s_{t,21} \leq k_t < -1,5s_{t,21}$ a prodejní signál je generován přibližně na intervalu $2,8s_{t,21} \leq k_t < 4,0s_{t,21}$. Tyto požadavky splňují i následující vybrané strategie: $k = 1,4 D_2 - G_3$; $k = 1,2 D_2 - G_4$; $k = 1,0 D_3 - G_4$ a $k = 1,2 D_3 - G_3$. Vývoj zhodnocení zobrazíme pro všechny tři sledované akcie. Nejprve se podíváme na průběh u akcií O2, který je zobrazen v grafu 4.4.

Graf 4.4 Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie O2



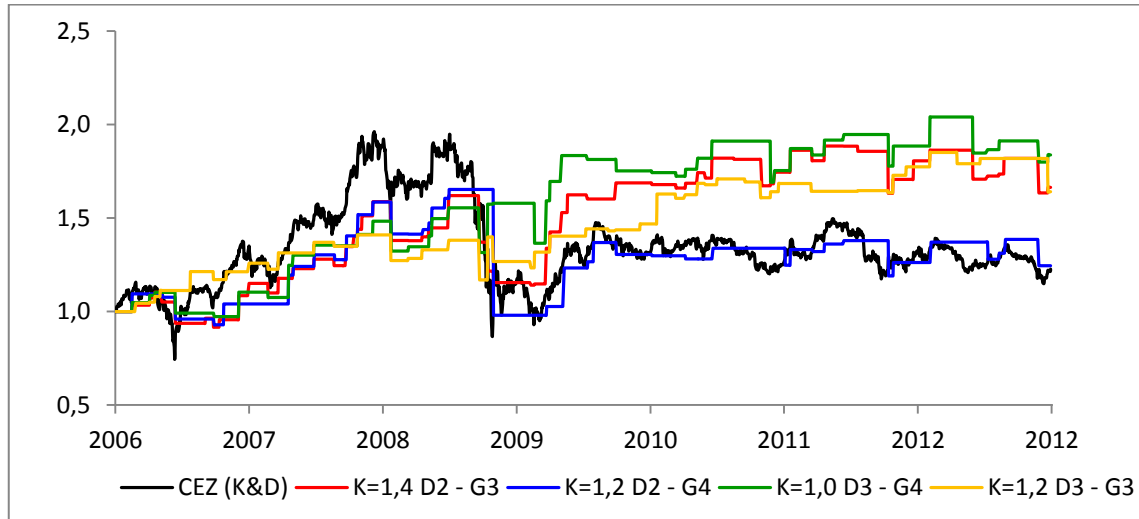
zdroj: výpočty autora

Pro akcie O2 lze z grafu vyzorovat, že od počátku sledování všechny strategie, kromě strategie $k = 1,2 D_2 - G_4$, neprohrávají se strategií "kup a drž". Ze svých zisků neztratily moc v nepříznivém roce 2008 a v postranním trendu od roku 2010 své zisky postupně navyšovaly. Strategie $k = 1,2 D_2 - G_4$ ztratila na pasivní strategii v období růstu ceny akcie v první polovině roku 2007, ztrátu vyrovnala v nepříznivém roce 2008 a velmi zajímavé zisky si pak připsala od roku 2010.

Průběh zhodnocení pro akcie ČEZ vidíme v grafu 4.5. Na akciích ČEZ všechny sledované strategie vykazují podobný vývoj zhodnocení. Neakceptují silný růst ceny akcie od druhé poloviny roku 2006 do třetího čtvrtletí roku 2007 a v tomto období na pasivní

strategii "kup a drž" ztrácí. V období silného poklesu v roce 2008 své ztráty vykompenzují.

Graf 4.5 Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie ČEZ

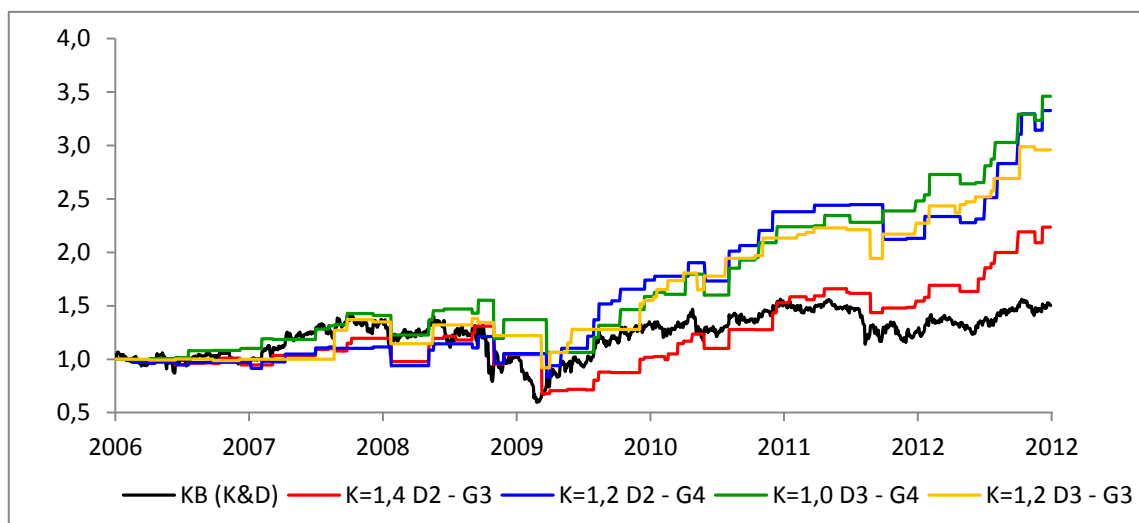


zdroj: výpočty autora

V tomto období vykazují strategie mezi sebou největší rozdíly. Zatímco strategie $k = 1,2 D_2 - G_4$ realizovala výrazný propad své hodnoty, strategie $k = 1,0 D_3 - G_4$ ztratila málo. Od roku 2009 strategie kopírují či mírně překonávají výkon strategie "kup a drž".

V grafu 4.6 vidíme vývoj zhodnocení akcií KB.

Graf 4.6 Vývoj zhodnocení vybraných strategií na modelech $s_{t,21}$ pro akcie KB



zdroj: výpočty autora

Na akciích KB vidíme, že strategie přibližně do konce roku 2008 kopírují výkonost strategie "kup a drž". Zisky vůči pasivní strategii realizují po roce od druhé poloviny roku 2009.

Shrňme-li vývoj zhodnocení u všech tří společností, můžeme konstatovat, že obchodní strategie jsou úspěšné v období kolísání ceny v rámci určitého trendu. Relativně velkou úspěšnost strategií můžeme vidět na všech titulech při postranním trendu. Obchodní strategie dokáží neprohrávat s pasivní strategií v případě kolísavého růstového či klesajícího trendu (trend korekcemi). Naopak na pasivní ztrácí v období růstu, který není provázen častými korekcemi, což je dobře vidět na akciích ČEZ přibližně od druhé poloviny roku 2006 do konce roku 2007.

Předchozí obchodní strategie byly aplikovány na modely, k jejichž vymezení stavového prostoru jsme využili klouzavou směrodatnou odchylku délky 21. Pro tuto délku jsme však neměli žádný zvláštní důvod. Proto se nyní zaměříme na to, zda s jinou délkou klouzavé směrodatné odchylky nedosáhneme lepších výsledků.

4.2.2 Strategie definované na $s_{t,10}$

Na klouzavé směrodatné odchylce délky 10 propočítáme jenom modely, ve kterých je stavový prostor definován na 0,8 až 1,8 násobku klouzavé směrodatné odchylky. Dosažené souhrnné výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.8. Výsledky porovnáme se strategiemi definovanými na modelech $s_{t,21}$ (dále jako základní strategie). Případy, kdy byly dosaženy lepší výsledky než u základní strategie, budou označeny zeleně. Případy, kdy průměrné zhodnocení nepřekonalo strategii "kup a drž", jsou uvedeny ve žlutém poli.

Tabulka 4.8 Souhrnné výsledky obchodních strategií na modelech $k \cdot s_{t,10}$

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,8	0,375	0,813	0,125	0,438	1,201	1,662	1,238	1,367	4668
1,0	0,625	0,750	0,313	0,563	1,305	1,562	1,448	1,438	4582
1,2	0,750	0,625	0,375	0,583	1,402	1,548	1,462	1,471	4116
1,4	0,875	0,563	0,313	0,583	1,495	1,411	1,464	1,457	3728
1,6	0,688	0,750	0,375	0,604	1,300	1,714	1,496	1,503	3385
1,8	0,688	0,625	0,375	0,563	1,315	1,462	1,450	1,409	3072

zdroj: výpočty autora

Z tabulky můžeme vyčíst, že obchodní strategie definovaná na směrodatné odchylce délky 10 (modifikované) a základní obchodní strategie dosahují srovnatelných výsledků. V některých případech byla lepší základní strategie, v jiných případech modifikovaná. V souhrnu modifikovaná strategie dosáhla nejlepších výsledků na modelech, které byly definovány na 1,2 až 1,6 násobku směrodatné odchylky. Podívejme se na dosažené zhodnocení vybraných obchodních strategií aplikovaných na těchto modelech. Zobražíme už jen strategie, ve kterých je nákupní signál generován stavy D_2 a D_3 . Dosažené zhodnocení vidíme v tabulce 4.9. Zeleně jsou označeny strategie porázející strategii "kup a drž", červeně strategie prohrávající.

Tabulka 4.9 Zhodnocení obchodních strategií na modelech $s_{t,10}$

k	prodej nákup		G_1		G_2		G_3		G_4	
			C_n	n	C_n	n	C_n	n	C_n	n
D_2	$k = 1,2$	O2	1,110	162	1,634	122	2,212	77	1,749	41
		CEZ	2,457	182	1,233	136	2,021	80	0,944	42
		KB	1,511	161	1,123	135	2,568	86	2,489	50
	$k = 1,4$	O2	1,112	165	1,342	111	2,191	57	1,507	30
		CEZ	2,216	176	1,615	129	1,226	63	1,092	30
		KB	1,476	161	1,348	122	3,185	72	1,937	34
	$k = 1,6$	O2	1,152	142	1,417	98	1,626	47	1,319	19
		CEZ	2,390	169	2,975	126	1,201	51	1,654	26
		KB	0,940	145	1,795	111	3,647	59	1,800	21
D_3	$k = 1,2$	O2	0,952	83	1,266	76	1,551	52	1,407	35
		CEZ	1,746	76	2,485	74	2,051	48	0,665	28
		KB	0,755	81	1,316	72	1,709	55	3,240	41
	$k = 1,4$	O2	1,200	72	1,375	60	1,547	39	1,633	23
		CEZ	1,942	58	2,684	56	1,281	41	1,278	22
		KB	0,981	58	0,766	51	2,682	42	1,454	25
	$k = 1,6$	O2	1,129	54	1,394	47	1,884	29	1,476	15
		CEZ	2,374	50	3,290	48	1,646	29	1,955	20
		KB	1,218	43	1,415	40	2,467	32	1,483	14

zdroj: výpočty autora

I na modifikovaném stavovém prostoru jsou obchodní strategie, ve kterých je nákupní signál generován stavy D_2 a D_3 , úspěšné. V kombinaci s prodejním signálem ve stavu G_3 porázejí, až na jednu výjimku s velmi těsnou porážkou, ve všech případech strategií

"kup a drž". Vcelku úspěšné jsou tyto strategie i v kombinaci se prodejními stavy G_2 a G_4 , ačkoli se zde vyskytuje více těsných i méně těsných porážek (5 pro každý prodejní signál). Z tohoto pohledu by se zdála být úspěšnější základní strategie, která na těchto kombinacích obchodních signálů vykazuje méně porážek. Podíl vítězných strategií je pouze jedno kritérium, podle kterého lze strategie hodnotit. Toto kritérium nám však nic neříká o tom, jak velké rozdíly v zhodnocení jsme dosáhli. Proto strategie ještě porovnáme podle dosaženého zhodnocení. Porovnání provedeme následujícím způsobem. Sečteme pro jednu obchodní strategii na jednom stavovém prostoru dosažená zhodnocení pro všechny tři tituly. Například pro strategii $k = 1,2$ $D_2 - G_1$ je dosažené zhodnocení 5,078 ($1,110+2,457+1,511$). Spočítáme tyto součty pro základní i modifikovanou strategii. Toto srovnání neděláme už pro všechny strategie, ale jen ty, které jsou pro nás "zajímavé", tedy ty, ve kterých nákupní signál je generován stavy D_2 a D_3 a prodejní signál je generován stavy G_2 , G_3 a G_4 . To je šest obchodních strategií na třech modelech stavového prostoru a tedy 18 součtů. Průměrný součet byl u základní strategie 5,239 a u modifikované 5,347. Směrodatná odchylka je 0,866 u základní strategie a 0,821 u modifikované strategie. Pokud tedy porovnáváme strategie součtem dosaženého zhodnocení, můžeme konstatovat, že obě strategie jsou na tom stejně. Nepatrný rozdíl v průměru lze zřejmě připsat náhodě.

Jinak tento součet má samozřejmě i praktický význam. Součet nám říká, na kolik by se zhodnotily tři koruny investované po koruně do každé akcie a s akciemi bychom obchodovali dle signálů dané obchodní strategie.

4.2.3 Modely definované na $s_{t,30}$

Nyní se podíváme, jakých zhodnocení bychom dosáhli v případě realizace obchodních strategií na modelech definovaných na větší délce klouzavé směrodatné odchylky. Stavový prostor budeme definovat na klouzavé směrodatné odchylce délky 30. Propočítáme jen případy, ve kterých je stavový prostor definován na 0,8 až 1,8 násobku klouzavé směrodatné odchylky. Dosažené souhrnné výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.10. Výsledky porovnáváme se základní adaptivní strategií. Případy, kdy byly dosaženy lepší výsledky, budou označeny zeleně. Případy, kdy průměrné zhodnocení nepřekonalu strategii "kup a drž" jsou uvedeny ve žlutém poli.

Tabulka 4.10 Souhrnné výsledky obchodních strategií na modelech $s_{t,30}$

k	podíl vítězných strategií				průměrné zhodnocení				počet obchodů
	O2	CEZ	KB	průměr	O2	CEZ	KB	průměr	
0,8	0,625	0,625	0,313	0,521	1,227	1,453	1,386	1,355	4564
1,0	0,563	0,750	0,438	0,583	1,251	1,381	1,460	1,364	4204
1,2	0,75	0,813	0,438	0,667	1,36	1,582	1,723	1,555	3846
1,4	0,813	0,688	0,25	0,583	1,362	1,464	1,409	1,412	3484
1,6	0,813	0,75	0,25	0,604	1,435	1,435	1,183	1,351	3144
1,8	0,813	0,813	0,250	0,625	1,342	1,782	1,560	1,561	2898

zdroj: výpočty autora

Ani při definování modelů stavových prostorů na větší délce klouzavé směrodatné odchylky jsme nezískali lepší výsledky. Opět v některých případech porážíme základní strategie a v jiných ne. Detailní výsledky pro jednotlivé obchodní strategie jsou obdobné jako u předchozí modifikace, proto je neuvádíme

4.3 Adaptivní modely - shrnutí

V adaptivním přístupu jsme dosáhli naplnění našeho cíle. Nalezli jsme modely stavového prostoru a na nich definovali obchodní strategie, které pro všechny sledované akciové tituly porážely pasivní strategii "kup a drž". Pozitivní je, že se jedná o konzistentní prostor, tedy malá změna parametrů nepřinese výrazně jiné výsledky.

Porovnáme-li základní strategii ($s_{t,21}$) a modifikovanými strategiemi ($s_{t,10}$ a $s_{t,30}$) můžeme konstatovat, že dosažené zhodnocení je srovnatelné, ale u modifikovaných strategií se nejedná o tak kompaktní prostor, na kterém těchto zhodnocení dosahujeme. Vidět, to názorně můžeme v tabulce 4.10, kde pro $k = 1,8$ jsme dosáhli nejvyšší průměrné zhodnocení a pro sousední $k = 1,6$ naopak nejnižší průměrné zhodnocení. Z toho je zřejmé, jak malá změna modelu, či strategie přinese dosti rozdílné výsledky. Z důvodu kompaktnosti se jako nejlepší z adaptivních modelů jeví modely stavového prostoru definované na klouzavé směrodatné odchylce délky 21.

5 Modelové portfolio

V předchozí kapitole se nám povedlo najít vhodné modely stavového prostoru a na nich aplikovat množství obchodních strategií, které ve velké většině případů porážely pasivní strategii "kup a drž". Nicméně i přes velkou úspěšnost se v některých případech našla obchodní strategie, která strategii "kup a drž" neporazila. Dále jsme také v grafickém vývoji zhodnocení viděli, že v určitém období není pro nějakou akcii strategie úspěšná, zatímco pro druhou ano. To znamená, že naše strategie fungují pouze při určitém vývoji ceny akcie. Při jiném vývoji ceny akcie, který na sledovaných akciích nebyl až tak častý, by obchodní strategie nebyla úspěšná. Pokud by tedy nějaký investor chtěl dle analyzovaných obchodních strategií obchodovat, bylo by rizikové všechen kapitál investovat do jedné obchodní strategie a na jeden akciový titul. Budeme předpokládat, že investor chce snížit riziko a svůj kapitál rovnoměrně rozdělit do všech třech společností a několika obchodních strategií.

5.1 Výnosy portfolií

V další části práce sestavíme tři obchodní portfolia a budeme analyzovat vývoj jejich zhodnocení. Každé portfolio bude tvořeno dvěma obchodními strategiemi a každou strategii budeme aplikovat na všechny tři sledované akcie. Budeme tedy propočítávat šest obchodních strategií. Do každé strategie budeme investovat stejnou část kapitálu, jednu šestinu. Dosažené zhodnocení budeme porovnávat s portfoliem "kup a drž", které bude tvořeno pasivním držením třech akcií, opět do každé akcie investujeme stejnou část kapitálu, tedy jednu třetinu. Hodnotu portfolia v čase t budeme počítat dle obecného vztahu:

$$H_t = \frac{1}{n} \sum_i^n C_{t,i} \quad (5.1)$$

kde H_t – je hodnota portfolia v čase t

n – je počet strategií, kterými je tvořeno portfolio. U portfolia "kup a drž" je $n = 3$ a u modelových portfolií je $n = 6$.

$C_{i,t}$ – zhodnocení i -té složky portfolia počítaného podle vztahu 3.3

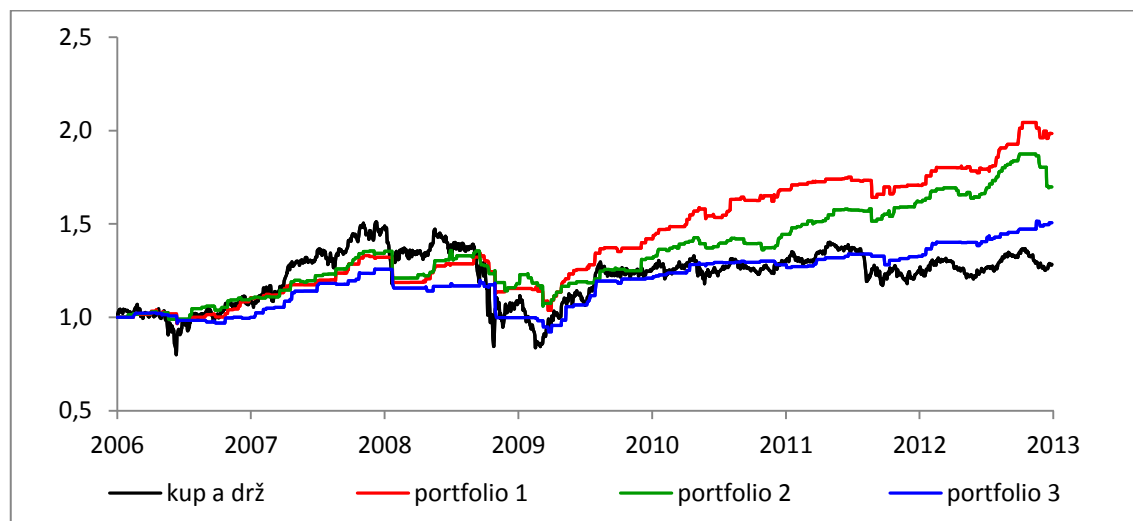
Modelová portfolio budeme tvořit jen z adaptivních modelů. Dvě portfolio vytvoříme na modelech, které jsou definovány na klouzavé směrodatné odchylce délky 21. Úmyslně zvolíme násobky směrodatné odchylky $k = 1,1$ a $k = 1,3$. Tedy takové modely stavového prostoru, na kterých jsme dosud nepočítávali obchodní strategie, ale modely na nichž se, v souladu se závěry kapitoly 4.2.1 vyskytují vhodné obchodní strategie. Třetí portfolio vytvoříme na modelu definovaném na klouzavé směrodatné odchylce délky 10 a násobku směrodatné odchylky $k = 1,5$, tedy také model, který dosud nebyl počítán, ale na kterém očekáváme dobré výsledky.

Modelová portfolio jsme vybrali následovně:

- portfolio 1 je postaveno na modelech $k \cdot s_{t,21}$ a tvoří ho strategie $k = 1,1 D_2 - G_4$ a $k = 1,3 D_3 - G_3$,
- portfolio 2 je postaveno na modelech $k \cdot s_{t,21}$ a tvoří ho strategie $k = 1,1 D_3 - G_3$ a $k = 1,3 D_2 - G_3$,
- portfolio 3 je postaveno na modelech $k \cdot s_{t,10}$ a tvoří ho strategie $k = 1,5 D_2 - G_4$ a $k = 1,5 D_3 - G_3$.

Vývoj zhodnocování jednotlivých portfolioí vidíme v grafu 5.1.

Graf 5.1 Vývoj zhodnocení modelových portfolioí



zdroj: výpočet autora

Z grafu vidíme, že všechna portfolio za sledované sedmileté období překonaly pasivní držení akcií. Pro obchodní strategie byl špatný rok 2007, kdy ceny akcií výrazně rostly a v tomto období žádné z portfolioí nedosáhlo stejné výkonnosti. Podívejme se na přes-

né výsledky v jednotlivých letech. Tyto údaje jsou zobrazeny v tabulce 5.1. Portfolia nejsou přeceňována každý den, ale pouze v den prodeje akcie. To znamená, že pokud jsme na závěr roku drželi akcie, uvedená hodnota je stejná s hodnotou od doby posledního prodeje. Vypočítaná roční zhodnocení tedy nejsou zcela přesná, protože můžou přenášet ztráty či zisky do následujícího roku. Jediná výjimka je hodnota k 28.12.2012, kdy v případě, že jsme měli nakoupeny akcie, byly tyto akcie oceněny závěrečnou cenou z tohoto dne. V posledním řádku tabulky je spočítán průměrný roční výnos, který je počítán jako geometrický průměr dle následujícího vztahu:

$$\text{průměrný roční výnos} = \sqrt[3]{H_{28.12.2012}} \quad (5.2)$$

Takto spočítaný průměrný roční výnos je indexem, který však v tabulce, tak jak je obvyklé, prezentujeme procentuálně. Pozorný čtenář si jistě také všimne, že hodnota portfolio "kup a drž" k 28.12.2012 není průměrem hodnot uváděných v předchozích kapitolách $(1,14 + 1,22 + 1,53)/3 = 1,296$. Je to dáno tím, že hodnoty z předchozích kapitol jsou až k datu 2.1.2013, kdežto v této kapitole jsme použili hodnoty k 28.12.2012. Roční zhodnocení modelových portfolií udává tabulka 5.1.

Tabulka 5.1 Roční zhodnocení modelových portfolií

období	portfolio "kup a drž"		portfolio 1		portfolio 2		portfolio 3	
	hodnota	roční výnos	hodnota	roční výnos	hodnota	roční výnos	hodnota	roční výnos
28.12.2012	1,284	2,7%	1,975	15,7%	1,563	-3,5%	1,450	9,3%
30.12.2011	1,250	-3,2%	1,706	1,4%	1,619	12,1%	1,327	3,5%
30.12.2010	1,292	3,6%	1,683	18,5%	1,444	9,7%	1,282	6,0%
30.12.2009	1,247	16,8%	1,421	23,1%	1,316	11,4%	1,210	21,2%
30.12.2008	1,068	-27,7%	1,154	-12,7%	1,181	-12,0%	0,998	-20,6%
28.12.2007	1,477	36,4%	1,321	21,6%	1,343	22,9%	1,257	26,5%
29.12.2006	1,082	8,2%	1,087	8,7%	1,092	9,2%	0,994	-0,6%
02.01.2006	1,000		1,000		1,000		1,000	
průměr		3,6%		10,2%		6,6%		5,4%

zdroj: výpočet autora

Z ročních výsledků můžeme vyčíst, že portfolia dosáhla menšího ročního zhodnocení, v porovnání s portfoliem "kup a drž" jen v atypickém roce 2007, kdy toto portfolio

zhodnotilo o vysokých 36,4%. V ostatních letech portfolio 1 vždy porazilo strategii "kup a drž", ostatní portfolia až na malé výjimky také. Průměrné roční zhodnocení v porovnání se strategií "kup a drž" u portfolia 1 je vyšší o 6,6%, u portfolia 2 je vyšší o 3,0% a u portfolia 3 je vyšší o 1,8%.

Podívejme se ještě, jaké hodnoty bychom mohli získat, pokud bychom do portfolia vybrali jiné strategie. Dosažená zhodnocení prezentuje tabulka 5.2. Zeleně jsou označeny případy, ve kterých je překonána strategie "kup a drž", červeně kdy nikoliv.

Tabulka 5.2 Dosažená zhodnocení portfoliových obchodních strategií

	nákup	prodej		G ₂		G ₃		G ₄	
		<i>k</i>		C _n	n	C _n	n	C _n	n
S _{t,21}	D ₂	<i>k</i> = 1,1	O2	1,752	123	1,503	84	1,514	47
			CEZ	1,010	135	1,657	73	1,394	50
			KB	1,688	132	1,587	75	4,009	62
		<i>k</i> = 1,3	O2	1,760	115	1,681	73	1,426	32
			CEZ	1,676	130	1,445	62	1,224	34
			KB	1,743	120	2,509	68	2,973	43
	D ₃	<i>k</i> = 1,1	O2	1,609	66	1,702	55	1,635	38
			CEZ	1,566	79	1,613	54	1,313	42
			KB	1,161	67	1,370	48	2,647	45
		<i>k</i> = 1,3	O2	1,477	64	1,322	49	1,207	26
			CEZ	1,753	57	1,628	39	1,058	22
			KB	1,464	54	1,982	41	2,271	30
S _{t,10}	D ₂	<i>k</i> = 1,5	O2	1,618	97	1,497	59	1,211	18
			CEZ	2,009	116	1,789	50	1,491	24
			KB	1,648	98	2,508	57	2,347	25
		<i>k</i> = 1,7	O2	1,453	84	1,319	44	1,302	14
			CEZ	2,722	102	1,811	44	1,466	20
			KB	1,275	89	4,377	47	2,326	17
	D ₃	<i>k</i> = 1,5	O2	1,343	50	1,509	39	1,299	16
			CEZ	1,381	42	1,507	29	1,082	17
			KB	0,897	36	0,634	29	1,819	20
		<i>k</i> = 1,7	O2	1,182	35	1,386	27	1,200	11
			CEZ	1,405	37	1,136	24	1,222	14
			KB	0,824	29	0,893	23	2,537	14

zdroj: výpočty autora

Pokud bychom tedy sestavili portfolio z šesti libovolných obchodních strategií prezentovaných v předchozí tabulce, je velmi málo pravděpodobné, že bychom neporazili strategii "kup a drž". V případě, kdy se držíme principu uplatňovanému v modelových portfoliích, ve kterých vybíráme dvě strategie a aplikujeme je na všechny tři akcie je pravděpodobnost ještě menší. Respektive je dokonce nulová na modelech definovaných na klouzavé směrodatné odchylce délky 21. Dosažené průměrné zhodnocení (značíme z), rozdíl oproti průměrnému zhodnocení u strategie "kup a drž" (značíme r) a průměrný počet obchodů (značíme n) udává tabulka 5.3.

Tabulka 5.3 Průměrné zhodnocení vybraných obchodních strategií

				G ₂	G ₃	G ₄
$S_{t,21}$	D ₂	k = 1,1	z	1,483	1,582	2,306
			r	0,199	0,298	1,022
			n	130,0	77,3	53,0
		k = 1,3	z	1,726	1,878	1,874
			r	0,442	0,594	0,590
			n	121,7	67,7	36,3
	D ₃	k = 1,1	z	1,445	1,562	1,865
			r	0,161	0,278	0,581
			n	70,7	52,3	41,7
		k = 1,3	z	1,565	1,644	1,512
			r	0,281	0,360	0,228
			n	58,3	43,0	26,0
$S_{t,10}$	D ₂	k = 1,5	z	1,758	1,931	1,683
			r	0,474	0,647	0,399
			n	103,7	55,3	22,3
		k = 1,7	z	1,817	2,502	1,698
			r	0,533	1,218	0,414
			n	91,7	45,0	17,0
	D ₃	k = 1,5	z	1,207	1,217	1,400
			r	-0,077	-0,067	0,116
			n	42,7	32,3	17,7
		k = 1,7	z	1,137	1,138	1,653
			r	-0,147	-0,146	0,369
			n	33,7	24,7	13,0

zdroj: výpočty autora

Výsledky potvrzují naše předchozí tvrzení. Na modelech definovaných na klouzavé směrodatné odchylce délky 21 jakákoliv z uvedených strategií aplikovaná na všechny tři akcie současně vždy poráží portfolio strategie "kup a drž". Nejmenší rozdíl vykazala strategie $k = 1,1 D_3 - G_2$, kde byl rozdíl 16,1 procentních bodů. Největší naopak na strategii $k = 1,1 D_2 - G_4$, na které máme rozdíl 102,2 procentních bodů. Dle výsledků prezentovaných v tabulce 4.7 a v tabulce 5.3 je zřejmé, že stoprocentní úspěšnost bychom si udrželi pro všechny uvedené strategie realizované na modelech definovaných na 1,0 až 1,4 násobku klouzavé směrodatné odchylky.

U obchodních strategií definovaných na klouzavé směrodatné odchylce délky 10 vidíme, že strategie $D_3 - G_2$ a $D_3 - G_3$ už nepřekonají pasivní portfolio. Můžeme si také všimnout nekonzistentnosti výsledků. Strategie $k = 1,7 D_2 - G_3$ dosáhla vůbec největšího zisku oproti pasivní strategii ve výši 121,8 procentního bodu. Ale naproti tomu strategie $k = 1,7 D_3 - G_3$ realizovala ztrátu 14,6 procentního bodu.

5.2 Transakční náklady

Až dosud jsme v našich úvahách zcela ignorovali jakékoliv transakční náklady. Nákup a prodej akcií je však spojen s určitými transakčními náklady. Výše poplatku bývá obvykle stanovena procentní částí z objemu obchodu, přičemž je obvykle stanovena určitá minimální výše poplatku. Podívejme se nyní, jak by se změnilo dosažené zhodnocení v případě započítání transakčních nákladů. Pro jednoduchost budeme předpokládat, že objemy našich obchodů jsou dostatečně vysoké na to, abychom se nemuseli zabývat minimální výší poplatků a počítáme, že naše transakce jsou zpoplatněny pouze procentní sazbou. Dále předpokládáme, že výše poplatku je stejná při prodeji i nákupu akcií. Upravíme-li vztah 3.2 o poplatky, dostaneme vztah:

$$C_i = C_{i-1} \frac{(S_i - D_i)}{B_i} \cdot \frac{\left(1 - \frac{P}{100}\right)}{\left(1 + \frac{P}{100}\right)} \quad (5.3)$$

a po n obchodech (transakcích) bude hodnota kapitálu:

$$C_i = C_0 \prod_{i=1}^n \frac{(S_i + D_i)}{B_i} \left(\frac{1 - \frac{P}{100}}{1 + \frac{P}{100}} \right)^n \quad (5.4),$$

kde p je velikost poplatku v procentech a ostatní argumenty odpovídají značení ve vzorci 3.3. Dosažené zhodnocení pro strategie realizované na modelech s klouzavou směrodatnou odchylkou délky 21 prezentované v tabulce 5.3 snížené o zaplacené poplatky je uvedeno v tabulce 5.4. Drobný akcionář může české akcie nakoupit prostřednictvím mimoburzovního RM-Systemu s poplatkem 0,29% z objemu transakce. Vzhledem ke konkurenci mezi makléřskými společnostmi se dá do budoucna očekávat pokles poplatků. Pro analýzu vlivu poplatků na dosaženém zhodnocení jsme volili tři úrovně poplatků 0,1%; 0,2% a 0,3%. Pro porovnání jsme v tabulce nechali i hodnotu bez poplatku. Strategie, které překonaly i po započtení poplatků strategii "kup a drž", jsou označeny zeleně.

Tabulka 5.4 Dosažené zhodnocení po započtení poplatků

		p	G_2	G_3	G_4
D_2	$k = 1,1$	0,0%	1,483	1,582	2,306
		0,1%	1,144	1,356	2,074
		0,2%	0,882	1,161	1,865
		0,3%	0,680	0,995	1,678
	$k = 1,3$	0,0%	1,726	1,878	1,874
		0,1%	1,353	1,641	1,743
		0,2%	1,061	1,433	1,621
		0,3%	0,832	1,252	1,507
D_3	$k = 1,1$	0,0%	1,445	1,562	1,865
		0,1%	1,255	1,406	1,716
		0,2%	1,089	1,267	1,579
		0,3%	0,946	1,141	1,452
	$k = 1,3$	0,0%	1,565	1,644	1,512
		0,1%	1,392	1,509	1,435
		0,2%	1,239	1,384	1,363
		0,3%	1,103	1,270	1,294

zdroj: výpočty autora

I po započítání poplatků máme dostatek obchodních strategií, které překonávají strategii "kup a drž". Lepších výsledků jsme dosáhli u těch strategií, které mají nižší frekvenci obchodů. Dle očekávání trh překonávají ty strategie, na kterých je realizován menší počet obchodů. S přihlédnutím k poplatkům bychom preferovali strategie definované na vyšších násobcích směrodatné odchylky a tedy s obchodními signály, jež jsou generovány při dosažení vyšší kumulativní změny ceny akcie (stav D_3 v kombinaci se stavy G_3 a G_4).

Závěr

V této disertační práci jsme se zabývali stochastickým predikováním pohybu cen akcií s využitím teorie markovových řetězců. Naším cílem bylo nalezení takových predikčních modelů, které by byly využitelné k tvorbě obchodních strategií pro aktivní obchodování na burze.

Naplnění cíle práce

Stanoveného cíle bylo dosaženo. Podařilo se nám nalézt vhodné modely stavového prostoru, ve kterých se vyskytovaly stavy, z nichž se s vysokou pravděpodobností přecházelo do určitých požadovaných stavů. Tyto stavy jsme využili ke generování nákupních a prodejních signálů pro jednotlivé obchodní strategie. Ukázali jsme, že akciové portfolio, jehož akcie jsou aktivně obchodované dle těchto obchodních strategií, dosahuje vyššího zhodnocení než stejné akciové portfolio, které je pasivně drženo. Dále jsme také ukázali, že vyššího zhodnocení dosáhneme pro jakoukoli kombinaci doporučených obchodních strategií definovaných na celé široké množině modelů stavového prostoru. Vyššího zhodnocení jsme dosáhli i po započítání poplatků.

Přínos práce

Přínos této práce a využití výsledků tohoto výzkumu můžeme spatřovat ve třech oblastech:

- 1) Výsledky tohoto výzkumu může využít každý drobný akcionář, který chce aktivně obchodovat na akciových trzích. Tato metoda predikování akciového trhu je časově nenáročná. Denní časová náročnost analýzy je v řádech minut. Pro realizaci stačí libovolný tabulkový kalkulátor. Do jednoho sloupce vložíme denní změnu ceny, ve druhém se podle vzorce spočítá kumulovaná změna ceny, ve třetím sloupci směrodatná odchylka a ve čtvrtém sloupci se přiřadí stav. V případě, že stav generuje obchodní signál, může být obchod realizován druhý den ráno elektronicky prostřednictvím aplikace v mobilním telefonu, tabletu či počítače.
- 2) Výsledky tohoto výzkumu nemusí využít jen drobný akcionář, ale mohou zájmat i společnosti zabývající se algoritmickým obchodováním. Do svých ob-

chodních modelů a strategií mohou implementovat postupy popsané v této práci.

- 3) Jedná se o další příspěvek do nekončící akademické debaty o teorii efektivního trhu. Výsledky, které byly prezentovány v této práci, jsou zcela jednoznačně v rozporu s hypotézou o efektivnosti českého akciového trhu. Neefektivitu českého akciového trhu jsme prokázali hned dvojím způsobem.
 - i. Při platnosti teorie efektivního trhu konají ceny akcií náhodnou procházku, a tedy změna ceny v čase t nebude závislá na změně ceny v $t-1$. V takovém případě by jednotlivé řádkové vektory matice pravděpodobnosti přechodu měly být navzájem shodné a měly by se rovnat stacionárnímu limitnímu vektoru, jehož složky se po řadě rovnají relativní četnosti výskytu jednotlivých stavů. Jak jsme prokázali statistickým testem, rozdíly mezi některými řádkovými vektory v matici pravděpodobnosti přechodu a limitním stacionárním vektorem jsou statisticky významné.
 - ii. Při platnosti teorie efektivního trhu je trh nepredikovatelný, a tudíž žádné obchodní strategie nemohou dlouhodobě porážet strategii "kup a drž". Ukázali jsme, že lze vytvořit akciová portfolia, jejichž akcie budeme obchodovat dle obchodních strategií s relativně volně nastavitelnými parametry. Tato portfolia ve sledovaném sedmiletém období vždy porazila portfolio složené ze stejných akcií, které byly jen pasivně drženy. Vyššího zhodnocení bychom byli schopni dosáhnout i při započítání poplatků.

Další směry výzkumu

Zjištěné výsledky této práce dávají předpoklady pro následné pokračování tohoto výzkumu. Výzkum je možno rozvíjet v mnoha směrech, přičemž za stěžejní lze považovat zejména následující směry:

- Potvrzení výsledků této práce. Toho můžeme dosáhnout prodloužením časové řady u sledovaných akcií, ale také zařazením nových akcií.
- Ověřit, zda kolísání cen má podobný charakter i pro jiné frekvence časové řady. Primárně by se zřejmě jednalo o výzkum intradenního obchodování a s

následnou možnou aplikací do obchodních modelů pro vysokofrekvenční algoritmičké obchodování (vysoká frekvence pokynů posílaných na burzu, krátká doba držení aktiva).

- Zjistit, zda podobné principy predikce fungují i na jiných akciových trzích. Předmětem dalšího výzkumu mohou být jak trhy podobné českému, tak i hlavní světové trhy, s významným podílem algoritmičkých obchodů.
- Zvýšit úspěšnost obchodních strategií. Obchodní strategie, které jsme v této práci vytvářeli, využívaly pouze jedinou informaci – dosažení určité kumulované změny ceny. Můžeme mít však i obchodní strategie založené na větším množství informací, jako například délka trvání trendu, objem obchodů, chování se trhu jako celku, atd.

Použité zdroje

Publikace a odborná periodika

- Arlt, J., Arltová M.: Finanční časové řady, 1. vydání, Praha, Grada Publishing 2003, ISBN 80-247-0330-0
- Brock, W., Lakonishok, J. and LeBaron, B. Simple Technical Trading Rules and The Stochastic Properties of Stock Returns, *Journal of Finance*, 1992, Vol. 47, No. 5, pp. 1731 – 1764.
- Cipra, T., Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii, 1. vydání, Praha: SNTL 1986
- Damodaran, A.: Damodaran on Valuation. Security Analysis for Investment and corporate Finance, 2-th edition, USA, John Wiley & sons 2006, ISBN 0-471-01450-8.
- Damodaran, A.: Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset, 3-th edition, New York, John Wiley & sons 2012, ISBN 0-471-01450-8.
- De Bondt, W. F. M., Thaler, R. H.: Financial decision - making in market and firms: a behavioral perspective, National Bureau of Economic Research, Working paper No. 4777, June 1994.
- Doubleday, K., J. and Esunge, J., N. Application of Markov Chains to Stock Trends, *Journal of Mathematics and Statistics* 7 (2), 2011, pp 103-106.
- Fama, E.: Efficient Capital Markets: a Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 1970, Vol. 25, No. 2, pp. 383-417.
- Fama, E.: The Behavior of stock market prices, *The Journal of Business*, 1965, Vol. 38, pp. 34 -105.
- Hillier, F., Lieberman, G.: Introduction to Operations Research, 4-th edition, McGraw-Hill Publishing Company 1986, ISBN 0-07-028908-5.
- Hnilica, J., Fotr, J.: Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování, 1. vydání, Praha, Grada Publishing 2009, ISBN 978-80-247-2560-4.
- Jensen, M., C. and Benington, G., A. Random walks and technical theories: some additional evidence, *Journal of Finance*, 1970, Vol. 25, pp 469–482.
- Jílek, J.: Akciové trhy a investování, 1. vydání, Praha, Grada Publishing 2009, ISBN 978-80-247-2963-3.
- Kislingerová, E.: Oceňování podniku, 2. vydání, Praha, C.H. Beck 2001, ISBN 80-7179-529-1.
- Kostolany A., Kostolanyho burzovní seminář pro kapitálové investory a spekulaty, 1. vydání, Praha, Mirage 2000, ISBN 80-238-5969-2

- Lukáš, L., Numerická realizace metod DCF oceňování podniku s užitím sw Mathematica, Sborník z mezinárodní vědecké konference Insolvence 2014, Praha, Oeconomica 2014, ISBN 978-80-245-2027-8.
- Lukáš, L., Pravděpodobnostní modely v managementu: Markovovy řetězce a systémy hromadné obsluhy, 1. vydání, Praha, Academia 2009, ISBN 978-80-200-1704-8.
- Maixner, L., Markovovy procesy a jejich aplikace, Olomouc, Univerzita Palackého 1991, ISBN 80-7067-312-5
- Mařík, M.: Metody oceňování podniku pro pokročilé : hlubší pohled na vybrané problémy, 1.vydání, Praha, Ekopress 2011, ISBN 978-80-86929-80-4.
- Mařík, M.: Metody oceňování podniku, 2. vydání, Praha, Ekopress 2007, ISBN, 978-80-86929-32-3.
- Murphy, J.: Technical analysis of the Financial markets, 1-th edition, Published by the Penguin Group 1999, ISBN 978-0-7352-0066-1.
- Musílek, P.: Trhy cenných papírů, 2. vydání, Praha, Ekopress 2011, ISBN 978-808629-70-5.
- Plummer, T.: Prognóza finančních trhů: psychologie úspěšného investování, 1. vydání, Brno, Computer Press 2008, ISBN 978-80-251-1593-3.
- Preethi, G., Santhi, B., Stock market forecasting techniques: A survey, Journal of theoretical applied information technology, December 2012, ISSN 1992-8645.
- Rektorys K., Přehled užití matematiky II, 6. vydání, Praha, Prometheus 1995, ISBN 80-85849-62-3
- Solnik, B.: Note on the validity of the random walk for European stock prices, Journal of Finance 1973, pp. 1151 - 1159.
- Sweeny, R., J. Some new filter rule tests: methods and results and Quantitative Analysis. Journal of Financial 1988, Vol. 23, pp. 285–300.
- Valach, J.: Finanční řízení podniku, 2. vydání, Praha, Ekopress 2001, ISBN 80-86119-21-1.
- Vasanthi, S., Subha M., V. and Nambi S., T. An empirical Study on Stock Index trend prediction using Markov Chain analysis, JBFSIR, 2011, Vol. 1, Issue 1, pp 72 – 90.
- Veselá, J., Analýza trhu cenných papírů II. díl: Fundamentální analýza, 1. vydání, Praha, Oeconomica 2003, ISBN 80-245-0506-1
- Zhang, D., Zhang, X. Study on Forecasting the Stock Market Trend Based on Stochastic Analysis Method, International Journal of Business and Management, 2009, Vol. 4, No. 6, pp 163 – 170.

Elektronické informační zdroje

http://akcie-cz.kurzy.cz/akcie/cez-183/graf_interaktivni

<http://www.cez.cz/cs/pro-investory/akcie/dividendy.html>

<http://www.cyrus.cz/zpravodajstvi/analyzy>

<http://www.investicniweb.cz/zpravy-z-trhu/2014/6/23/deutsche-bank-zvysuje-doporuceni-na-akcie-cez-na-kupovat-z-drzet/>

<http://www.kb.cz/cs/o-bance/vztahy-s-investory/akcionari/valne-hromady-a-vyplata-dividend.shtml>

<http://www.kurzy.cz/komodity/cena-elekriny-graf-vyvoje-ceny/>

<http://www.o2.cz/spolecnost/dividendy/>