

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MATEMATIKY

**Předpověď kurzů akcií
na krátké období**

Bakalářská práce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Františku Vávrovi, CSc. za cenné připomínky a rady.

Dále bych chtěl poděkovat paní RNDr. Blance Šedivé, Ph.D. za dočasné odborné vedení práce v době nepřítomnosti doc. Vávry, za cenné rady a náměty, ochotu a čas věnovaný vedení této práce.

Předpověď kurzů akcií na krátké období

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá časovými řadami denních závěrečných kurzů vybraných akcií a akciových indexů z českého a amerického trhu. Popisuje způsob obchodování na burze a poplatky s ním spojené. Rozebírá problémy spojené s analýzou těchto časových řad. Zaměřuje se na krátkodobé předpovědi, zejména jednodenní. Testují se tržní anomálie a odpovídající efekty. Následně jsou odhadovány pravděpodobnostní modely založené na počtu dní, kdy kurz rostl (resp. klesal) a době čekání, než je výhodné akcie prodat. Na základě těchto modelů je vytvořen obchodní systém testovaný na datech z roku 2012.

Klíčová slova: burzovní obchody, akciové kurzy, časové řady, tržní anomálie, odhad parametru pravděpodobnostního rozdělení, jednodenní predikce

Short-term forecast of share prices

Abstract: The bachelor thesis is based on time series of daily historical closing prices of selected stocks and stock indices in the Czech and U.S. market. Trading matters and transaction fees are described in the thesis. Problems with analyzing this type of time series are pursued. The thesis is focused on short-term forecasts, especially one-day forecasts. The occurrence of market anomalies is tested. Afterwards, we make probability models estimations based on the number of days when the stock price increased (respectively decreased) and the waiting time to sell the stocks with profit. Pursuant to these models is created trading system tested on stock prices from 2012.

Keywords: stock-exchange transactions, share prices, time series, market anomaly, probability distribution parameter estimate, one-day forecast

Obsah

1	Úvod	3
2	Problematika burzovních obchodů	4
2.1	Způsob obchodování	4
2.2	Náklady spojené s burzovními obchody	4
2.2.1	Poplatky	5
2.2.2	Závislost výše poplatku na objemu obchodu	5
2.2.3	Daň z příjmu	6
3	Burzovní informace	8
3.1	Srovnání poskytovaných informací	8
3.2	Očištění kurzů o dividendy	8
4	Časové řady burzovních kurzů	10
4.1	Odvozené řady burzovních kurzů	10
4.2	Neekvidistantní vzorkování	10
4.2.1	Možnosti časové stupnice	11
4.2.2	Změna kalendáře	11
4.2.3	Burzovní volno	11
4.2.4	Metodika práce s daty	12
4.2.5	Neekvidistantnost v reálných akciových časových řadách	14
5	Analýza anomálií narušujících efektivnost trhu	15
5.1	Vybrané anomálie	15
5.2	Testy denních anomálií	16
5.2.1	Klasické denní anomálie	16
5.2.2	Modifikované denní anomálie	17
5.3	Testy měsíčních anomálií	20
5.4	Zhodnocení výsledků testů anomálií	20
5.5	Testy normality	21
5.6	Zhodnocení výsledků testů normality	22
6	Pravděpodobnostní rozdělení výnosů	23
6.1	Počet dní udržujících kladnou změnu kurzu bez omezení	23
6.2	Počet dní udržujících zápornou změnu kurzu bez omezení	24
6.3	Odhad parametru Poissonova rozdělení	27

6.4	Počet růstů kurzu během 10 dní bez omezení	29
6.5	Počet poklesů kurzu během 10 dní bez omezení	30
6.6	Odhad parametru binomického rozdělení	32
6.7	Počet dní od koupě, kdy se vyplatí akcie prodat	35
6.8	Odhad parametru exponenciálního rozdělení	38
7	Praktické využití znalostí pravděpodobnostních rozdělení pro predikci	40
7.1	Obchodní strategie s maximálním průměrným výnosem	40
7.1.1	Růst kurzu	41
7.1.2	Pokles kurzu	41
7.2	Obchodní systém	43
7.2.1	Srovnání výsledků	44
8	Závěr	46
	Použité zdroje	48
	Příloha A	50
	Příloha B	51

1. Úvod

Jedním ze základních pilířů tržně orientovaných ekonomik jsou kapitálové trhy. Kurzy akcií obchodovaných na kapitálových trzích mají z dlouhodobého hlediska rostoucí charakter. Nás však zajímají krátkodobé výkyvy, které chceme předvídat. V literatuře (např. [1]) se často dočítáme, že není lehké předpovídat vývoj kurzů akcií, či lépe jejich výnos. V [1], str. 150, se říká, že „Právě krátkodobé (i velmi krátkodobé) předpovědi chování kapitálových trhů nemají žádnou cenu.“ Přesto se v této práci budeme snažit najít fungující jednoduchý obchodní systém založený na pravděpodobnosti.

V první části práce se seznámíme s burzovními obchody a informacemi o nich. Popíšeme, jak se na burze obchoduje a ukážeme, že za každý obchod zaplatíme něco navíc. Důležitá je zde právě analýza poplatků, které jsou spojeny s každým nákupem i prodejem akcií.

Dále popíšeme poskytované a volně dostupné informace o akcích společností a historickém vývoji jejich kurzů a kde tyto informace získat.

V další části zkoumáme anomálie narušující efektivnost trhu a jejich známé efekty. Výskyt těchto anomálií otestujeme na upravených datech.

Poté, v hlavní části práce, se budeme zabývat úvahami a analýzami založenými na počtu dní, za které nastane sledovaná událost. Budeme odhadovat parametry pravděpodobnostních rozdělení analyzovaných modelů.

Následně použijeme tyto pravděpodobnostní modely pro vytvoření jednoduchého obchodního systému, který poté otestujeme na reálných datech za jeden rok a uvidíme, zda by bylo vhodné použít takový systém pro obchodování s reálnými penězi.

Veškeré výpočty v této práci byly provedeny v programu MATLAB, verze 7.11.0.584 (R2010b). Některé výstupy programů byly exportovány a následně upravovány v sešitech MS Excel 2007.

2. Problematika burzovních obchodů

V této práci se zaměříme na vybrané akciové tituly obchodované na českém akciovém trhu, konkrétně na Burze cenných papírů Praha (dále jen BCPP) a trhu americkém. Vycházíme z denních kurzů akcií společností AAA Auto, ČEZ, Komerční banka, Telefonica O2, Philip Morris a Unipetrol. Z amerického trhu vycházíme z kurzů akcií společností The Coca-Cola Company, Exxon Mobil Corporation (dále jen XOM), General Electric Company, Google. Dále se zaměříme na akciové indexy PX, PX-GLOB, NASDAQ Composite a S&P 500.

Historická data každého z akciových titulů jsme získali z internetových stránek [2] (český trh) a [3] (americký trh). Výpočty provádíme na datech¹ nejvýše za tři roky, tj. 2.1.2009 - 30.12.2011, přičemž kurzy za rok 2012 poslouží k otestování obchodního systému.

2.1 Způsob obchodování

Pro potřeby této práce je nutné stanovit určité předpoklady. Předpokládejme, že jsme v pozici drobného investora, který chce co nejlépe zhodnotit své finance a zaměřuje se na krátkodobé investice. Uvažujme disponibilní částku na obchodním účtu 500 000 Kč. Investor nemůže obchodovat s akciemi na burze sám, ale obchoduje prostřednictvím některého z členů BCPP.

2.2 Náklady spojené s burzovními obchody

Na základě srovnání poplatků (podle článku [4]) za obchodování stanovených jednotlivými členy BCPP jsme zvolili společnost Fio banka (dále jen Fio). Společnost Fio dlouhodobě udržuje poplatky za obchodování na nejnižší úrovni ve srovnání s konkurencí.

¹V případě BCPP pocházejí data, se kterými pracujeme ještě ze systému SPAD. Tento systém BCPP používala do 30.11.2012, kdy přešla na platformu XETRA[®] vyvinutou společností Deutsche Börse AG. Zdroj: [5].

2.2.1 Poplatky

K podávání příkazů předpokládejme použití výhradně internetové aplikace *e-Broker* společnosti Fio. Díky zadávání pokynů na internetu neplatíme poplatky² za podání pokynů do systému. Poplatky se hradí až v případě jejich realizace na trhu. Sazby poplatků při obchodování prostřednictvím Fio na českém trhu lze nalézt v tabulce 2.1. Při obchodování na americkém trhu jsou stanovené poplatky shrnuty v tabulce 2.2.

Při nákupu i prodeji	Procentní sazba (z objemu obchodu)	Omezení výše poplatku	
		Minimum	Maximum
Fio - poplatek za obchod	0,35 %	40 Kč	1 190 Kč
Poplatek BCPP	0,01 %	10 Kč	4 000 Kč

Tabulka 2.1: Přehled poplatků za obchody s investičními nástroji při obchodování na českém trhu prostřednictvím Fio. Zdroje: [6], [7].

Při nákupu i prodeji	Počet cenných papírů		Omezení
	do 100 ks včetně	nad 100 ks	
Fio - poplatek za obchod	7,95 \$	9,95 \$	—
Pouze při prodeji	Výše poplatku		max. 4,50 \$ z každého samostatného prodeje
Poplatek NASD (Trading Activity Fee)	0,00009 \$/ks		
Poplatek Security Exchange Commission	0,00174 % z objemu každého prodeje		

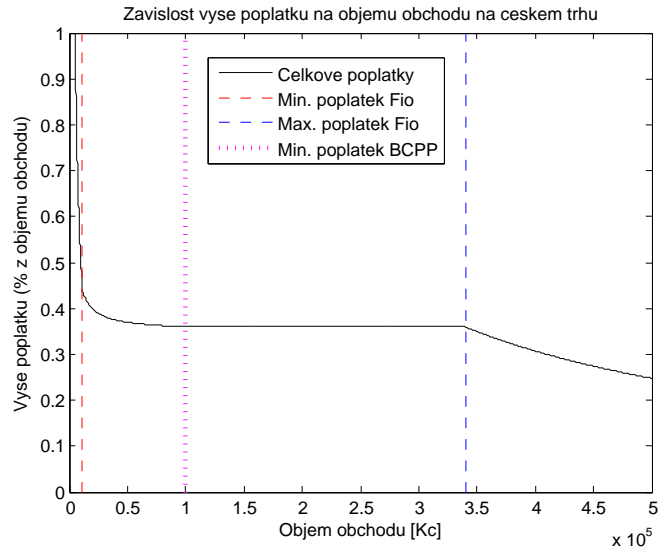
Tabulka 2.2: Přehled poplatků za obchody s investičními nástroji při obchodování na americkém trhu prostřednictvím Fio. Zdroje: [6], [7].

2.2.2 Závislost výše poplatku na objemu obchodu

Pro oba trhy jsme vytvořili grafy zachycující závislost velikosti poplatků na objemu obchodu.

Situaci pro český trh zachycuje obrázek 2.1. Kromě křivky představující požadovanou závislost jsou do grafu zaneseny také hraniční objemy obchodů dle tabulky 2.1, mezi kterými je odpovídající poplatek za obchod variabilní. Oba druhy poplatků, které se hradí jsou shora omezené. Horní mez pro poplatek BCPP není v grafu zakreslen z důvodu jeho velikosti. Poplatek zůstává fixní až od objemu 40 mil. Kč. Křivka závislosti je klesající a limitně se blíží k nule.

²Platí i pro obchodování na americkém trhu přes aplikaci e-Broker.



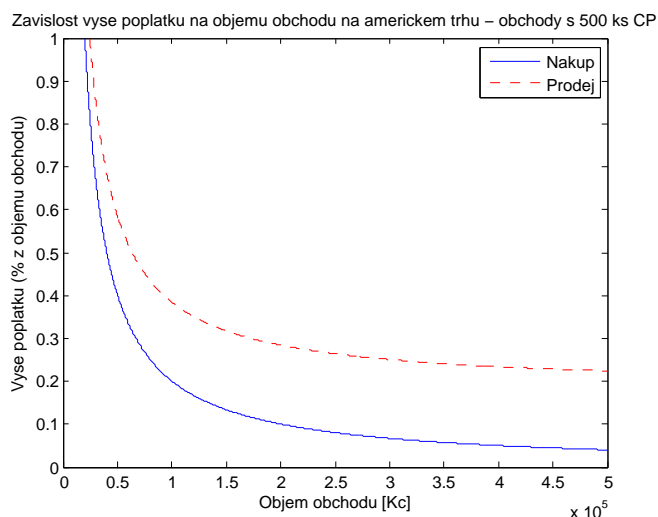
Obrázek 2.1: Graf zachycující závislost výše poplatků na objemu obchodů na českém trhu

Situace pro americký trh je znázorněna na obrázku 2.2. Pro objem obchodu byl použit převodní kurz ze dne 10.7.2013 v hodnotě 20,235 Kč/USD. Vzhledem k situaci v ČR se graf liší hlavně tím, že poplatky nejsou zdola omezeny. V případě nákupu není výše poplatku udána procentuálně z objemu obchodu, ale dle tabulky 2.2 jsou pouze dvě fixní částky, kolik můžeme při libovolném objemu obchodu zaplatit. Z tabulky také vyplývá, že při prodeji akcií jsou poplatky vyšší než při jejich nákupu, což odráží křivky v grafu. Horní hranice poplatku v případě prodeje se téměř nedosáhne (kurz cenného papíru by musel být vyšší než 50 tis. USD, tj. více než 1 mil. Kč). Křivky (pro případ nákupu i prodeje) mají klesající charakter.

Grafy lze vytvořit spuštěním m-file *Poplatky.m*.

2.2.3 Daň z příjmu

Posledním výdajem, který s obchodováním akcií souvisí je daň z příjmu. V souvislosti s daní z příjmu je třeba dále specifikovat pozici investora. Jakožto drobný investor se klasifikujeme jako fyzická osoba - nepodnikatel. Tato práce se bude zabývat krátkodobou předpovědí kurzu akcie. Nebude tedy uvažovat příjmy plynoucí z držby cenných papírů (dividendy, úroky), ale důležitý bude kapitálový výnos z obchodů, tedy rozdíl mezi prodejním a nákupním kurzem akcie. Na základě článku o akciích a daních [8] a podle §10 Ostatní příjmy Zákona č. 586/1992 Sb. o daních z příjmu [9] je povinností odvést



Obrázek 2.2: Graf zachycující závislost výše poplatků na objemu obchodů na americkém trhu

daň z příjmu z realizovaného zisku, tedy kapitálového zisku očištěného o poplatky související s obchodem.

V souvislosti s akciemi se objevuje termín *časový test*. Znamená to, že příjem z prodeje je osvobozen od daně z příjmu, pokud od doby nákupu cenného papíru po jeho prodej uplynulo více než 6 kalendářních měsíců³. V našem případě budeme předpokládat, že ke splnění časového testu nedojde a daň z příjmu ve výši 15 % bude nutné odvádět.

Při obchodování na zahraničních trzích je třeba věnovat pozornost zamezení dvojího zdanění, ať už se jedná o dividendy ze zahraničních akcií či prodej zahraničních akcií. Český investor by měl zdaňovat zahraniční příjem v ČR a podle pravidel ČR. Vše ale záleží na konkrétní smlouvě o zamezení dvojího zdanění. (viz. článek [11]).

³Již od roku 2014 by mohl být časový test prodloužen až na tři roky. Naopak dividendy by mohly být od 15%ho zdanění osvobozeny. Zdroj: [10].

3. Burzovní informace

Historické kurzy akciových titulů obchodovaných na českém trhu jsme získali z internetového serveru [2] a na americkém trhu z [3]. Naše výpočty v této práci vycházejí z historických denních závěrečných kurzů akciových titulů.

Na českém serveru [2] máme k dispozici pro každý burzovní den závěrečný kurz akcie či indexu, jeho procentuální změnu vzhledem k předchozímu dni a objem obchodů za celý den vyjádřený jak finančně, tak i v kusech. Tato data jsou k dispozici pro obchody na BCPP, ale také na české burze cenných papírů RM-System.

Server [3] poskytuje historické kurzy pro zahraniční akcie i indexy. Ke každému burzovnímu dni je k dispozici otevírací a závěrečný kurz, nejnižší a nejvyšší kurz, za které byl daný den obchod uskutečněn. Dále můžeme získat informaci o celkovém objemu obchodů pro daný den a také výši dividendy (pokud ji společnost vyplácí) v odpovídající den. Poslední hodnotou je závěrečný kurz upravený o dividendy a případně dělení akcií.

V obou případech máme k dispozici více informací o kurzech akcií než v této práci potřebujeme. Výpočty vycházejí pouze z historických denních závěrečných kurzů, resp. upravených závěrečných kurzů akcií.

3.1 Srovnání poskytovaných informací

Informace poskytované vybranými servery poukazují na skutečnost, že pro zahraniční akcie lze získat velké množství informací o chování kurzu akcie v konkrétní den na jednom místě, zatímco, pokud chce investor znát podrobnosti o chování kurzu českých akcií, je situace složitější.

Výhoda zahraničního serveru tkví v předpočítaném upraveném kurzu akcií. V případě českých akcií je nutné zjistit potřebné informace o dividendách a následně kurzy upravovat.

3.2 Očištění kurzů o dividendy

Než začneme s kurzy dále pracovat, měli bychom se ujistit, že jsou v nich zohledněny jak vyplácené dividendy, tak i dělení akcií. Dividendy zohledníme pomocí převodu na bezdividendovou akcii.

V případě zahraničních akcií není s převody problém, jelikož upravené kurzy jsou již k dispozici. Naopak pro české akcie je nutné provést očištění o vyplacené dividendy a korekci v případě dělení akcií. V této práci jsme vycházeli z podrobného postupu k očištění, který lze nalézt na [12].

4. Časové řady burzovních kurzů

Historické korigované závěrečné kurzy akciových titulů jsme získali ve tvaru časových řad absolutních hodnot kurzů $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. Takovéto časové řady klasifikujeme jako *základní* časové řady. Jelikož tyto řady jsou nestacionární, je vhodné z nich vytvořit časové řady *odvozené*, které mohou být lépe využitelné pro krátkodobé predikce.

4.1 Odvozené řady burzovních kurzů

Jednou z možností je vytvořit odvozenou časovou řadu relativních diferencí (také časová řada jednodenních¹ procentuálních výnosů) pomocí vzorce

$$\delta_t = 100 \cdot \frac{\Delta x_t}{x_{t-1}} = 100 \cdot \frac{x_t - x_{t-1}}{x_{t-1}}. \quad (4.1)$$

Jiný způsob je použít zlogaritmované koeficienty růstu (také logaritmické výnosy) a využít vzorce

$$d_t = 100 \cdot \ln \left(\frac{x_t}{x_{t-1}} \right).$$

Výpočty pro obě odvozené řady dávají podobné výsledky. Proto dále pro všechny akciové tituly provádíme výpočty výhradně na základě časové řady jednodenních procentuálních výnosů, pokud nebude řečeno jinak.

Příložené soubory *Data.xlsx* a *DataZahr.xlsx* obsahují všechny úpravy získaných kurzů všech vybraných akcií.

4.2 Neekvidistantní vzorkování

Při analýze časových řad je žádoucí vypořádat se s různými problémy. Kromě nepravidelností souvisejícími s kalendářem se lze setkat např. s výpadky energie, které způsobí nemožnost obchodování na burze. Tyto nepravidelnosti mohou způsobit, že data časové řady nebudou získána v ekvidistantních časových bodech pozorování.

¹V této práci jsme se omezili na předpovědi na jeden burzovní den dopředu. Tudíž stačí vytvořit řadu jednodenních výnosů.

4.2.1 Možnosti časové stupnice

Data o pohybech na burze lze získat pouze v rámci burzovních dnů, tj. dnů, kdy se na burze obchoduje. Burzovními dny jsou pracovní dny od 1. ledna do 30. prosince. Počet burzovních dnů v roce se každý rok mění². Tato hodnota závisí na shodě státních svátků, kdy se na burze neobchoduje, s víkendy, ale také na dnech, kdy je vyhlášeno burzovní volno.

4.2.2 Změna kalendáře

Pokud uvažujeme klasický kalendářní rok, získáme pravidelné meze-ry mezi pozorováními způsobené výše zmíněnými neburzovními dny, především víkendy. Budeme proto uvažovat jeho zjednodušenou verzi - „kalendář burzovních dnů“. Tímto způsobem se zbavíme problémů s mezerami v časové stupnici způsobenými víkendy a postačí řešit jen dny burzovního volna.

4.2.3 Burzovní volno

Důvody pro burzovní volno nebo dny, kdy se na burze neobchodovalo, mohou být různé. Chybějící údaje v časové řadě si lze vysvětlit například tím, že nebyla dostatečná poptávka nebo nabídka, případně nedošlo ke shodě mezi nabízeným a poptávaným množstvím akcií. Další možnost je výpadek dodávky elektřiny a tím pádem výpadek celého burzovního počítačového systému, případně i výpadek z jakéhokoliv jiného důvodu (např. napadení systému virem). Technici mohli právě v den, kdy chybí záznam, provádět údržbu burzovního systému. Jiným důvodem mohlo být, že více obchodníků, kteří na burze obchodují, pochází z jiné země, kde právě v daný burzovní den nastal státní svátek. V tomto případě ale může být výsledek obchodů pro daný den zveřejněn, protože zbylí obchodníci se obchodování zúčastnili. Avšak data pro daný den mohou být znehodnocena tímto problémem a nemusejí vypovídat o reálném zájmu o akcie. Daný den by měl být objem obchodů odlišný oproti hodnotě, kolem které se běžně pohybuje.

²Např. BCPP poskytuje na svých internetových stránkách kalendář burzovních dnů s celkovým počtem burzovních dnů v roce - viz [14]. Podle zveřejněných minulých kalendářů lze předpokládat, že celkový počet burzovních dnů v roce je buď 250, 251 nebo 252.

4.2.4 Metodika práce s daty

Chybějící pozorování v časové řadě se lze pokusit eliminovat a uměle doplnit dopočítáním teoretických hodnot, vycházejíce z reálných hodnot v blízkosti konkrétní mezery v pozorování. Nemusí však chybět pouze jedno pozorování ale i více za sebou.

Uvažujme provedení obchodů v pondělí a pátek a údaje za zbývající dny v týdnu budou chybět. Můžeme použít jednoduchou matematickou úvahu a alespoň dvě mezery s určitou věrohodností vyplnit, dopočítat.

Den	Kurz akcie
Pondělí	x_1
Úterý	—
Středa	—
Čtvrtek	—
Pátek	x_5

Tabulka 4.1: 1. uvažovaná situace pro řešení problému mezer v časové posloupnosti

Uvažovaná situace je zobrazena v tabulce 4.1. V dalších postupech budeme využívat poměru jednotlivých kurzů nebo-li koeficientu růstu ceny akcie (někdy také tempo růstu) podle [13], str. 15

$$k_i = \frac{x_i}{x_{i-1}} \quad \text{pro } i = 2, 3, 4, 5. \quad (4.2)$$

Nyní využijeme poměru obou známých hodnot a tento vztah si rozepíšeme využitím poměrového vyjádření změny kurzu mezi jednotlivými dny v týdnu, tedy jednotlivých koeficientů růstu. Na základě vztahu (4.2) si každý poměr označíme odpovídajícím koeficientem k_i

$$\frac{x_5}{x_1} = \underbrace{\frac{x_5}{x_4}}_{k_5} \underbrace{\frac{x_4}{x_3}}_{k_4} \underbrace{\frac{x_3}{x_2}}_{k_3} \underbrace{\frac{x_2}{x_1}}_{k_2}. \quad (4.3)$$

Průměrné tempo růstu ceny akcie vypočítáme pomocí geometrického průměru jednotlivých koeficientů růstu ceny, kde se využije rozepsaného vztahu (4.3)

$$\bar{k} = \sqrt[4]{k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5} = \sqrt[4]{\frac{x_5}{x_1}}. \quad (4.4)$$

Pro výpočet průměrného tempa růstu ve smyslu (4.4) známe vše potřebné a zbývá tedy pouze doplnit do tabulky údaje pro úterý a čtvrtek. Jelikož neznáme jednotlivé koeficienty růstu ceny akcie v daném

Den	Kurz akcie
Pondělí	x_1
Úterý	$\hat{x}_2 = \bar{k}x_1 = \frac{x_5^{1/4}}{x_1^{1/4}} \cdot x_1 = x_5^{1/4} x_1^{3/4}$
Středa	—
Čtvrtek	$\hat{x}_4 = x_5 \cdot 1/\bar{k} = x_5 \cdot \frac{x_1^{1/4}}{x_5^{1/4}} = x_5^{3/4} x_1^{1/4}$
Pátek	x_5

Tabulka 4.2: Řešení 1. uvažované situace s problémem mezer v časové posloupnosti

týdnu, využijeme pro koeficienty k_i v (4.2) průměrnou hodnotou podle (4.4). Díky této úpravě a vzorci (4.2) získáme požadované údaje. Tabulka 4.2 zobrazuje výsledné řešení, které vyplňuje alespoň dvě původní mezery.

Bohužel zůstává volné místo pro středu. Pokud bychom ale chtěli aplikovat vztah (4.2) pro výpočet kurzu akcie pro středu, byla by tato hodnota vytvořena z již vypočtených hodnot a ne reálných, jelikož se využívá vztahu (4.2), který počítá s hodnotou sousední k neznámé. Středecí hodnota by příliš zkreslovala průběh časové řady, proto x_3 zůstane nevyplněné. Mezery, které jsme vyplnily, jsou ještě vypočtené na základě reálných hodnot, a proto by je bylo možné v případě nutnosti dále využít.

V další situaci mohou chybět kurzy akcie jen za 2 po sobě následující dny. V tomto případě je postup pro dopočítání kurzů totožný, navíc ale budou zaplněny obě mezery a tedy údaje za celý týden budou kompletní. Problém neekvidistantnosti je v tomto případě vyřešen. Tabulka 4.3 zobrazuje řešení pro situaci, kdy chyběly kurzy akcie pro středu a čtvrtek.

Den	Kurz akcie
Pondělí	x_1
Úterý	x_2
Středa	$\hat{x}_3 = \bar{k}x_2 = \frac{x_5^{1/3}}{x_2^{1/3}} \cdot x_2 = x_5^{1/3} x_2^{2/3}$
Čtvrtek	$\hat{x}_4 = x_5 \cdot 1/\bar{k} = x_5 \cdot \frac{x_2^{1/3}}{x_5^{1/3}} = x_5^{2/3} x_2^{1/3}$
Pátek	x_5

Tabulka 4.3: Řešení 2. uvažované situace s problémem mezer v časové posloupnosti

Jednou z posledních možností je chybějící pouze jediný kurz akcie v týdnu. Opět stejným postupem doplníme kurz a zároveň časovou řadu. V tomto případě záleží na tom, jaký vzorec pro dopočítání kurzu zvolíme ($\bar{k}x_{i-1}$ nebo $x_{i+1} \cdot 1/\bar{k}$, kde i je index pořadí dne v týdnu, pro

který neznáme hodnotu kurzu).

Nakonec zbývá možnost, kdy nejsou známé hodnoty kurzů akcie pro více než 3 po sobě následující dny. Výskyt této situace není příliš pravděpodobný, ale pokud by nastal, lze stejným postupem zmenšit mezeru o dvě hodnoty a dopočítat kurzy akcie. Zbylé hodnoty zůstanou neznámé.

4.2.5 Neekvidistantnost v reálných akciových časových řadách

Tabulky 4.4 a 4.5 ukazují, kolik kterých situací nastalo u indexů PX a S&P 500 během let 2009 až 2012. Druhý sloupec tabulek - „Potenc. burz. dnů v roce“ - zahrnuje burzovní dny a dny burzovního volna kromě víkendů. Během sledovaných období byla maximální doba burzovního volna trvající 3 dny, a to pouze u českého indexu PX v roce 2012. Nejčastěji bylo burzovní volno pouze 1 den. Výpočty jsme provedli pomocí přiloženého skriptu *NeekvidistantnostPocty.m*.

Četnost výskytu výše analyzovaných situací je velice nízká, a to ať už se jedná o český či americký trh. Metodika dopočítávání kurzů se proto obvykle v praxi nepoužívá.

Období	Potenc. burz dnů v roce	Počet po sobě jdoucích dnů burz. volna			
		1	2	3	...
2009	261	7	1	0	0
2010	261	5	1	0	0
2011	260	5	1	0	0
2012	261	4	1	1	0

Tabulka 4.4: Počty výskytů mezer odpovídající velikosti v časových řadách - index PX

Období	Potenc. burz dnů v roce	Počet po sobě jdoucích dnů burz. volna		
		1	2	...
2009	261	8	0	0
2010	261	8	0	0
2011	260	8	0	0
2012	261	8	1	0

Tabulka 4.5: Počty výskytů mezer odpovídající velikosti v časových řadách - index S&P 500

5. Analýza anomálií narušujících efektivnost trhu

Anomálie v souvislosti s akciovým trhem jsou situace, kdy se akciový kurz vyvíjí v rozporu s teorií efektivních trhů. Přitom efektivní trh je chápán v souladu s definicí tohoto pojmu jak ji uvádí R. A. Haugen v [15]: „...na efektivním trhu akciové kurzy odrážejí všechny informace, které je možné znát a které jsou významné. Neexistují podhodnocené a nadhodnocené cenné papíry.“¹ Z toho plyne, že investor nemůže zvýšit svůj výnos z obchodu jakoukoliv analýzou akciových kurzů.

5.1 Vybrané anomálie

Tržní anomálie se podle [17] rozdělují do tří hlavních skupin: fundamentální, technické a spojené s kalendářem. V této práci jsme se zabývali vybranými anomáliemi řadícími se do třetí skupiny, tedy anomálie spojené s kalendářem. Jedním z matematických důsledků efektivních trhů je stabilita rozdělení výnosů v různých burzovních dnech a různých burzovních měsících.

Na získaných datech jsme testovali výskyt dvou anomálií: anomálie zaměřené na porovnání výnosů v jednotlivých dnech týdne (denní anomálie) a anomálie zabývající se porovnáním výnosů v jednotlivých měsících.

Nejnámější z denních anomálií je *pondělní (víkendový) efekt*², který vyjadřuje, že akciové kurzy se v rámci jednoho týdne odvíjejí podle určitého řádu. Podle [17] by měly kurzy v pondělí klesat. Tedy procentuální změna kurzu v pondělí oproti předchozímu pátku má být v průměru záporná. Podle [18] jsou pondělní výnosy vždy nižší než výnosy v ostatní dny v týdnu.

*Efekt měsíce v roce*³ vyjadřuje rozdílné výnosy z obchodů v různých měsících v roce. Známý je *lednový efekt*, který se týká firem s nízkou tržní kapitalizací. Akcie v první polovině měsíce ledna podle [17] vykazují vyšší zisk.

¹ citace převzata z [16]

² angl. "Weekend Effect" (známý také jako týdenní efekt)

³ angl. "Month of the Year Effect"

5.2 Testy denních anomálií

Testování denních anomálií jsme provedli dvěma způsoby.

V prvním případě nás zajímaly klasické týdenní anomálie, kdy jsme testovali shodu distribucí procentuálních výnosů v jednotlivých burzovních dnech v týdnu (např. všechna pondělí) oproti všem ostatním burzovním dnům v týdnu dohromady (např. všechna úterý až pátky jako jeden výběr).

Pro druhý případ jsme modifikovali skupiny stejných typů burzovních dnů. Zajímali nás burzovní dny ve vztahu k burzovnímu volnu a u těchto typů dní jsme také testovali shodu procentuálních výnosů.

Anomálie jsme testovali na všech dříve určených (kapitola 2) akciových titulech, a to jak na českém, tak i na americkém trhu. Testy jsme provedli na procentuálních výnosech za tři jednoleté a následně za celé tříleté období v rozmezí let 2009-2011.

Pro jednoduchost jsme předpokládali, že denní výnosy mají charakter náhodných výběrů a že výnosy v jednotlivých dnech jsou navzájem nezávislé. Vybrané anomálie jsme testovali pomocí neparametrického dvouvýběrového *Wilcoxonova testu* (viz [19], str. 100), který předpokládá, že X_1, X_2, \dots, X_m je náhodný výběr s distribuční funkcí F a Y_1, Y_2, \dots, Y_n je na něm nezávislý náhodný výběr z rozdělení s distribuční funkcí G . Výběr X_1, X_2, \dots, X_m odpovídá výnosům zvoleného dne (např. pondělí) a výběr Y_1, Y_2, \dots, Y_n odpovídá výnosům ostatních dnů. Testuje se hypotéza $H_0 : F = G$ proti alternativě $H_1 : F \neq G$.

Ačkoliv je Wilcoxonův test formulován jako test o shodě distribučních funkcí, je citlivý zejména na posunutí a je tedy schopen zachytit zejména shodu středních hodnot. Hladinu významnosti jsme stanovili na 10 %.

5.2.1 Klasické denní anomálie

Nejdříve jsme testovali shodu distribucí procentuálních výnosů každého burzovního dne v týdnu vzhledem ke zbylým dnům v týdnu. Testy byly provedeny v m-file *TestovaniJeden.m*.

V případě českého trhu jsme alespoň jednou zamítli hypotézu o shodě výnosů pouze v letech 2010 a 2011. V případě amerického trhu nebyla prokázána shoda výnosů pouze ve čtyřech případech za všechna sledovaná období. Hypotéza o rovnosti výběru procentuálních výnosů

jednoho dne (např. pondělí) a výběru zbylých výnosů nebyla nezamítnuta pro všechny akciové tituly (resp. indexy) v jednom stejném roce ani v celém tříletém období.

Ani u jednoho akciového titulu (resp. indexu) jsme nemohli nezamítnout hypotézu o shodě procentuálních výnosů jednoho dne a výnosů všech zbylých dní platící stabilně více období - např. odchylka středních výnosů ČEZ v roce 2011 se už v dalších sledovaných obdobích neprokázala.

Speciálně pondělní efekt popsany v [17] a [18] se mezi všemi testovanými akciovými tituly a indexy projevil pouze u procentuálních výnosů společnosti Telefonica O2 na českém trhu a The Coca-Cola Company na americkém trhu, a to pouze v roce 2011.

Tabulky 5.1 až 5.4 ukazují příklady výsledků testování⁴ pro rok 2011 vybraných akciových titulů a indexů na českém (ČEZ, PX) a americkém trhu (XOM, S&P500).

Den v týdnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
1	-0,3053	4,1120	NE	0,3840
2	-0,0328	1,9983	NE	0,5116
3	0,5541	2,1581	ANO	0,0201
4	0,1799	1,8315	NE	0,5976
5	-0,2319	1,8896	NE	0,1893

Tabulka 5.1: Výsledky testů klasických denních anomálií během roku 2011 - ČEZ

Den v týdnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
1	-0,4686	3,7318	NE	0,1849
2	-0,2280	1,5619	NE	0,4079
3	0,4031	1,3241	ANO	0,0047
4	-0,0159	1,5984	NE	0,9804
5	-0,2238	1,1722	NE	0,4911

Tabulka 5.2: Výsledky testů klasických denních anomálií během roku 2011 - PX

5.2.2 Modifikované denní anomálie

Testy klasických denních anomálií neprokázaly významnost odchylky výnosů žádného burzovního dne v týdnu. Modifikovali jsme proto skupiny stejných typů burzovních dnů podle vztahu k burzovnímu volnu

⁴Označení burzovních dnů bylo provedeno podle jejich pořadí v týdnu (tzn. 1 = pondělí, ..., 5 = pátek).

Den v týdnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
1	0,0486	3,3825	NE	0,6732
2	0,3496	2,2655	NE	0,2537
3	0,0182	2,7174	NE	0,7334
4	-0,0607	3,3316	NE	0,8297
5	0,0403	1,2451	NE	0,8549

Tabulka 5.3: Výsledky testů klasických denních anomálií během roku 2011 - XOM

Den v týdnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
1	-0,1235	2,8677	NE	0,4435
2	0,2766	1,9069	NE	0,3058
3	-0,1704	2,3833	NE	0,4276
4	0,0654	2,5609	NE	0,5643
5	-0,0092	1,1448	NE	0,9434

Tabulka 5.4: Výsledky testů klasických denních anomálií během roku 2011 - S&P 500

a pro tyto skupiny jsme provedli testování znovu. Uvažovali jsme čtyři druhy dnů označené čísly:

- -1 - skupina dnů předcházejících burz. volnu (typicky pátek),
- 0 - skupina dnů mezi dny burz. volna,
- 1 - skupina dnů následujících po burz. volnu (typicky pondělí) a
- 2,3 a 4 - skupina dnů, kdy předchozí ani následující den není burz. volno (typicky úterý až čtvrtek)⁵.

Pro lepší představu, co je myšleno kterým typem dne, byly vytvořeny tabulky s příklady. Hypotetické situace a přiřazení burzovních dnů do skupin ukazují tabulky 5.5 až 5.8.

Po	Út	St	Čt	Pá
1	2	3	4	-1

Tabulka 5.5: V rámci týdne není žádné burzovní volno

Po	Út	St	Čt	Pá
1	-1	—	1	-1

Tabulka 5.6: Na středu připadá den burzovního volna

Po	Út	St	Čt	Pá
1	2	-1	—	0

Tabulka 5.7: Na čtvrtek připadá den burzovního volna

Po	Út	St	Čt	Pá
—	1	3	4	-1

Tabulka 5.8: Na pondělí připadá den burzovního volna

⁵Číslo odpovídá pořadí konkrétního dne v týdnu. Dohromady tvoří jednu skupinu.

Podobně jako u klasických denních anomálií, i při jejich modifikaci se podařilo zamítnout nulovou hypotézu alespoň u nějaké skupiny burzovních dnů. Bohužel to neplatí pro každé z testovaných období. Ani u jednoho akciového titulu (resp. indexu) nebyla zamítnuta shoda procentuálních výnosů jedné skupiny burzovních dní a výnosů ostatních typů burzovních dní platící stabilně více období. Ani prodloužením testovaného období (tříleté) nebylo dosaženo toho, aby byla prokázána významnost anomálie vyskytující se u jedné ze skupin burzovních dnů u všech testovaných titulů ve stejném období.

Příklady získaných výsledků testování ukazují tabulky 5.9 až 5.12 - pro vybrané akciové tituly a indexy na českém (ČEZ, PX) a americkém trhu (XOM, S&P500).

Vztah k burz.volnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
-1	-0,1805	1,8020	NE	0,3211
0	-1,6222	0,0284	ANO	0,0554
1	-0,1260	4,1452	NE	0,8900
234	0,1903	2,0507	NE	0,2957

Tabulka 5.9: Výsledky testů modifikovaných denních anomálií během roku 2011 - ČEZ

Vztah k burz.volnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
-1	-0,0956	1,4148	NE	0,9319
0	-1,0434	1,0593	NE	0,2055
1	-0,4128	3,5786	NE	0,3114
234	0,0131	1,5018	NE	0,2578

Tabulka 5.10: Výsledky testů modifikovaných denních anomálií během roku 2011 - PX

Vztah k burz.volnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
-1	0,0361	1,2897	NE	0,8820
0	-0,9132	0,0000	NE	0,3499
1	0,0707	3,0929	NE	0,7903
234	0,1067	2,8464	NE	0,6448

Tabulka 5.11: Výsledky testů modifikovaných denních anomálií během roku 2011 - XOM

Vztah k burz.volnu	Průměrný výnos	Rozptyl výnosu	Významnost anomálie	p-hodnota testu
-1	-0,0362	1,2209	NE	0,8938
0	-0,2686	0,0000	NE	0,6207
1	-0,1425	2,6396	NE	0,3202
234	0,0834	2,3318	NE	0,3220

Tabulka 5.12: Výsledky testů modifikovaných denních anomálií během roku 2011 - S&P500

5.3 Testy měsíčních anomálií

Dalším druhem anomálií, který jsme testovali je efekt měsíce v roce. Testovali jsme vždy charakter procentuálních výnosů burzovních dnů v jednom měsíci a charakter výnosů burzovních dnů všech ostatních měsíců.

Lednový efekt popsáný v [17] se mezi všemi testovanými akciovými tituly a indexy na českém i americkém trhu projevil pouze u procentuálních výnosů akcií společnosti Philip Morris pouze v roce 2010.

Ani u jednoho akciového titulu (resp. indexu) nebyla prokázána významná odlišnost procentuálních výnosů jednoho měsíce platící stabilně více období. Ani prodloužením testovaného období (tříleté) nebylo dosaženo toho, aby byla prokázána významnost anomálie vyskytující se v jednom měsíci u všech testovaných titulů ve stejném období.

5.4 Zhodnocení výsledků testů anomálií

U zvolených akciových titulů a indexů nebyly prokázány žádné anomálie platící pro všechny tituly ve stejném období nebo stabilně vzhledem k času pro jeden titul. Při testování týdenních anomálií nepomohla ani modifikace skupin stejného typu burzovních dnů. Nepodařilo se prokázat, že by vztah k burzovnímu volnu měl systematický vliv na jednodenní výnosy.

Speciální případy anomálií se za celé testované období u všech testovaných akciových titulů na českém i americkém trhu projevily každý nejvýše jednou na každém z testovaných akciových trhů. Pondělní efekt u společnosti Telefonica O2 a The Coca-Cola Company v roce 2011 a lednový efekt u společnosti Philip Morris v roce 2010.

Pro výsledky testů pro všechny vybrané akciové tituly a indexy v rámci testovaných období viz soubory *CeskyTrh.xlsx* a *ZahrTrh.xlsx*.

5.5 Testy normality

K testování vybraných anomálií byl standardně používán neparametrický *Wilcoxonův test*, který nepředpokládá normální rozdělení dat. Na základě výsledků tohoto testování jsme neidentifikovali žádné výrazné anomálie. Použití silnějšího parametrického testu o shodě středních hodnot (*t-testu*, viz [19], str. 97) je limitováno splněním jeho předpokladů o normalitě výnosů.

Testy normality probíhaly pro stejná období jako předchozí testování anomálií, tj. tři jednoleté a celé tříleté období v rozmezí let 2009-2011. K otestování normality dat bylo použito více testů - *Kolmogorov-Smirnov*, *Lilliefors*, *Jarque-Bera*, χ^2 a *Shapiro-Wilk*⁶.

Normalitu jsme otestovali na akciových titulech a indexech na obou akciových trzích (českém i americkém), které byly uvedeny již dříve (kapitola 2).

Ukázky výsledků testů normality procentuálních výnosů zachycuje tabulka 5.13 pro ČEZ a index PX a tabulka 5.14 pro XOM a index S&P 500 za rok 2011. Tyto výsledky naznačují, že pro vybrané tituly není vhodné předpokládat normální rozdělení procentuálních výnosů.

Akciový titul	ČEZ		PX	
	Normalita výnosů	p-hodnota testu	Normalita výnosů	p-hodnota testu
Kolmogorov-Smirnov	NE	0,0236	ANO	0,1708
Lilliefors	ANO	0,0753	NE	0,0030
Jarque-Bera	NE	0,0010	NE	0,0010
χ^2	ANO	0,3307	NE	0,0021
Shapiro-Wilk	NE	0,0000	NE	0,0000

Tabulka 5.13: Výsledky testů normality procentuálních výnosů za rok 2011 - ČEZ a PX

Také u žádného z ostatních titulů nedošlo ke shodě výsledků všech testů normality. Většina testů zamítá nulovou hypotézu o normalitě dat. Proto u vybraných akciových titulů a indexů v testovaných obdobích (ať už se jedná o jednoletá či tříleté období) nelze předpokládat normální rozdělení pro možné další testování pomocí parametrických testů. Pro kompletní výsledky viz příložený soubor *TestNorm.xlsx*.

⁶Funkce pro Shapiro-Wilkův test jako jediný v MATLABu chybí. Je ale volně dostupná na serveru MATLAB CENTRAL [20].

Akciový titul	XOM		S&P 500	
Název testu	Normalita výnosů	p-hodnota testu	Normalita výnosů	p-hodnota testu
Kolmogorov-Smirnov	NE	0,0020	ANO	0,1529
Lilliefors	NE	0,0451	NE	0,0010
Jarque-Bera	NE	0,0010	NE	0,0010
χ^2	ANO	0,4881	NE	0,0052
Shapiro-Wilk	NE	0,0005	NE	0,0000

Tabulka 5.14: Výsledky testů normality procentuálních výnosů za rok 2011 - XOM a S&P 500

5.6 Zhodnocení výsledků testů normality

Jednodenní procentuální výnosy vybraných akciových titulů a indexů se v rámci testovaných období neřídí normálním rozdělením. V případě normality dat platí podobné závěry jako v předchozím testování, a sice, že žádný titul nemá stabilně normální rozdělení. Výnosy nezachovávají normalitu ani z roku na rok. Pro každý titul se situace každý rok mění jiným způsobem.

6. Pravděpodobnostní rozdělení výnosů

V další části práce jsme se omezili na čtyři akciové tituly. Pracovali jsme s kurzy společností s nejvyšší tržní kapitalizací na odpovídajícím trhu a působící v energetickém průmyslovém odvětví na českém (ČEZ) a americkém trhu (XOM) a hodnotami akciových indexů odpovídajících trhů (PX a S&P 500). Omezili jsme se pouze na výnosy vytvořené z dat za rok 2011, jelikož tento rok předchází testovacímu roku 2012.

U prvních dvou modelů jsme se zaměřili nejprve na burzovní dny, kdy byl výnos kladný a poté, kdy byl záporný. Třetí model se zaměřuje na počet dnů, které uplynou od koupě akcií, než bychom je mohli prodat tak, abychom na obchodu vydělali.

Výsledky popsané v této kapitole byly dosaženy vytvořenými skripty v MATLABu - *PoSobeJdouci.m*, *DesetDni.m* a *VyhodnyObchod.m*. Kompletní tabulky (6.1 až 6.5) s procentuálními četnostmi všech modelů jsou k dispozici v přiloženém souboru *Procentualni cetnosti.xlsx*.

6.1 Počet dní udržujících kladnou změnu kurzu bez omezení

V této podkapitole se zaměříme na to, kolik po sobě jdoucích burzovních dnů od prvního růstu byl výnos sledované akcie také rostoucí. Tabulka 6.1¹ ukazuje odhadnuté empirické pravděpodobnosti růstu kurzu akcií po právě x po sobě jdoucích dnů. Obrázek 6.1 ukazuje histogramy pro počty po sobě jdoucích dnů, které udržely kladný růst kurzu akciových titulů.

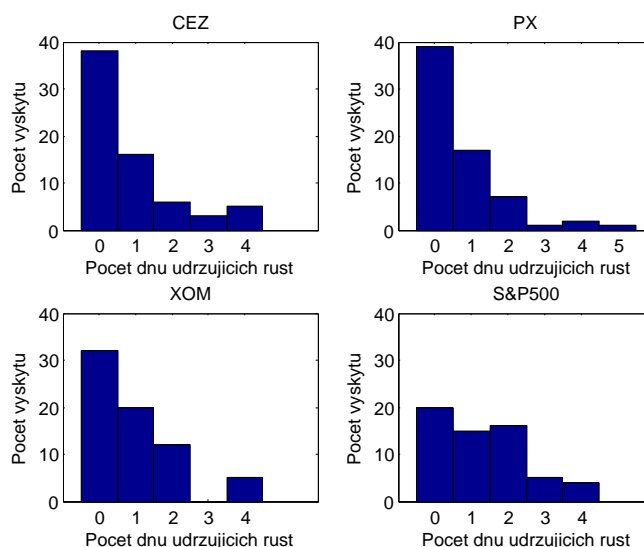
Výsledky výpočtů v tabulce 6.1, které získáme na základě dat na obrázku 6.1, naznačují, že na obou trzích se růst kurzu dokáže udržet podobně dlouhou dobu. Kromě indexu PX rostly kurzy všech titulů maximálně 5 dní v řadě. Index PX udržel růst až 6 dní v řadě, avšak s více než 55% pravděpodobností kurz vzrostl pouze následující den.

Dále byly na základě výsledků v tabulce 6.1 vytvořeny empirické distribuční funkce jednotlivých akciových titulů - obrázek 6.2. Křivky

¹Řádek procentuálních četností pro počet dnů rovný nule značí pravděpodobnosti pro situaci, kdy kurz vzrostl pouze jednou a další den poklesl.

Počet dnů	Český trh		Americký trh	
	CEZ	PX	XOM	S&P 500
0	55,88 %	58,21 %	46,38 %	33,33 %
1	23,53 %	25,37 %	28,99 %	25,00 %
2	8,82 %	10,45 %	17,39 %	26,67 %
3	4,41 %	1,49 %	0,00 %	8,33 %
4	7,35 %	2,99 %	7,25 %	6,67 %
5		1,49 %		

Tabulka 6.1: Odhady pravděpodobností růstu kurzu pro počet dnů, které navazovaly na kladnou změnu kurzu u vybraných akciových titulů - výpočty z dat za rok 2011

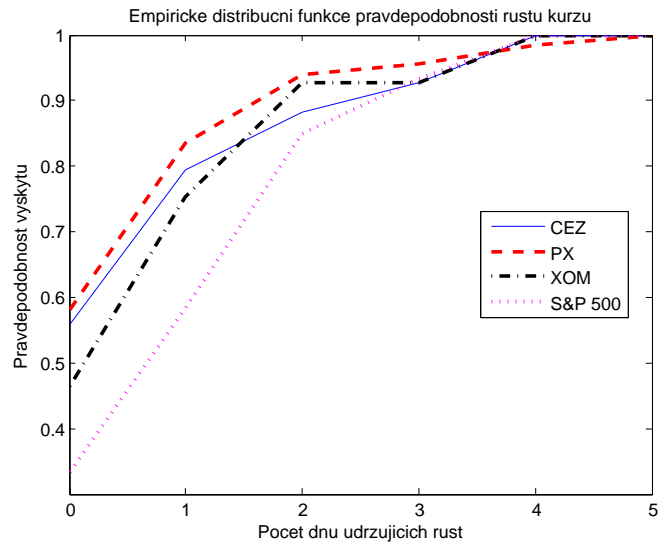


Obrázek 6.1: Histogramy pro počet dnů, které navazovali na kladnou změnu kurzu u vybraných akciových titulů

v grafu ukazují, že pro většinu testovaných akciových titulů v daném roce je pravděpodobnost, že kurz poroste 2 a méně po sobě jdoucí dny, větší než 75 %. S&P 500 tuto hodnotu překoná, když kurz je rostoucí po 3 a méně po sobě jdoucí dny. Odhad pravděpodobnosti růstu kurzu pro 4 a více po sobě jdoucí dny je pro všechny tituly menší než 10 %.

6.2 Počet dní udržujících zápornou změnu kurzu bez omezení

V této podkapitole se zaměříme na to, kolik po sobě jdoucích burzovních dnů byl výnos sledovaného akciového titulu klesající. Tabulka 6.2 zachycuje procentuální četnosti pro počet dní, které udržely zápornou změnu kurzu akciového titulu.



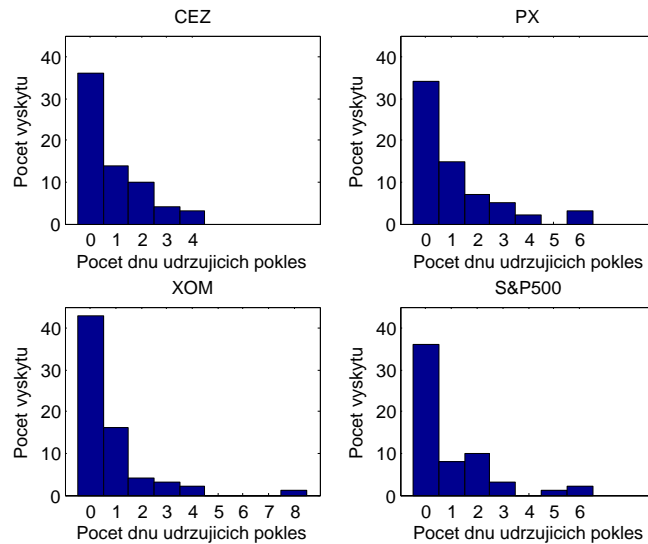
Obrázek 6.2: Empirická distribuční funkce pravděpodobnosti růstu kurzu pro počet dnů, které navazovaly na kladnou změnu kurzu u vybraných akciových titulů

Počet dnů	Český trh		Americký trh	
	CEZ	PX	XOM	S&P 500
0	53,73 %	51,52 %	62,32 %	60,00 %
1	20,90 %	22,73 %	23,19 %	13,33 %
2	14,93 %	10,61 %	5,80 %	16,67 %
3	5,97 %	7,58 %	4,35 %	5,00 %
4	4,48 %	3,03 %	2,90 %	0,00 %
5		0,00 %	0,00 %	1,67 %
6		4,55 %	0,00 %	3,33 %
7			0,00 %	
8			1,45 %	

Tabulka 6.2: Odhady pravděpodobností poklesu kurzu pro počet dní udržujících zápornou změnu kurzu u vybraných akciových titulů - výpočty z dat za rok 2011

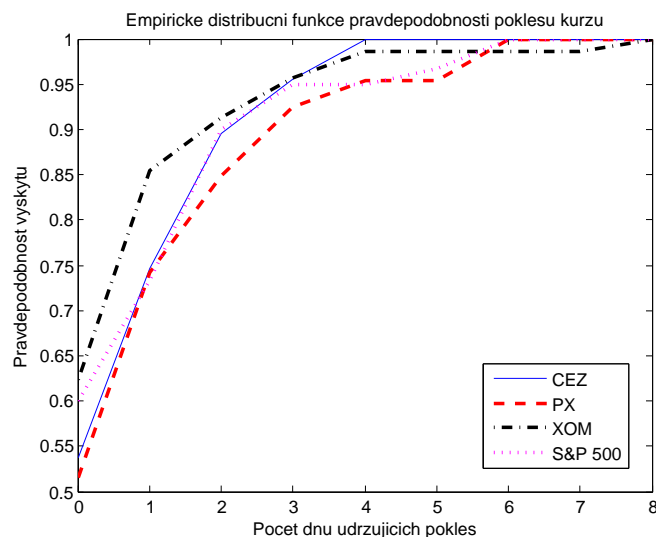
Polovina sledovaných akciových titulů za sledované období klesala nejvíce sedm dní. Kurz ČEZu klesal, stejně jako v případě růstu kurzu, nejvíce pět dní za sebou. Kurz XOM klesal až devět dní za sebou. Avšak výsledky pro americké tituly naznačují, že odhad pravděpodobnosti, že kurz bude klesat právě jeden den je 60 % a více. Výsledky pro české akciové tituly naznačují, že odhad pravděpodobnosti, že kurz bude klesat právě jeden den se pohybuje kolem 50 %. Obrázek 6.3 ukazuje histogramy pro počty po sobě jdoucích dnů, kdy kurz akciových titulů klesal.

Podobně jako v předchozím případě, vycházejíce z tabulky 6.2, i zde jsme vytvořili graf zachycující empirické distribuční funkce pro jednotlivé akciové tituly - obrázek 6.4. Křivky v grafu naznačují,



Obrázek 6.3: Histogramy pro počty dní udržující zápornou změnu kurzu u vybraných akciových titulů

že odhad pravděpodobnosti poklesu kurzu pro všechny testované akciové tituly v roce 2011 po 2 a méně po sobě jdoucí dny je větší než 70 %. Odhady pravděpodobností poklesu kurzu po 4 a méně po sobě jdoucí dny jsou větší než 90 %. Odhady pravděpodobností poklesu kurzu po 5 a méně po sobě jdoucích dnů se pro akciové indexy a pro akcie společností liší. Pro oba akciové indexy se tato hodnota pohybuje kolem 95 %, zatímco pro akcie obou společností mají odhady hodnotu větší než 98 %.



Obrázek 6.4: Empirické distribuční funkce pravděpodobností poklesu kurzu pro počet dní udržujících zápornou změnu kurzu u vybraných akciových titulů

6.3 Odhad parametru Poissonova pravděpodobnostního rozdělení pro počty dní udržující změnu kurzu v jednom směru

Pro získané empirické pravděpodobnosti jsme se nyní pokusili odhadnout pravděpodobnostní rozdělení a jeho parametr. Jelikož výsledky výpočtů ukazují malé pravděpodobnosti výskytu jevů a máme k dispozici velký počet dat ($n > 30$) a zároveň nás zajímají pravděpodobnosti v celých časových jednotkách, za vhodné jsme zvolili diskrétní Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti s jedním parametrem λ , který odpovídá průměrnému počtu prvků v časové jednotce.

Označme X náhodnou veličinu počtu dní udržujících kladnou (resp. zápornou) změnu kurzu a předpokládejme, že X se řídí Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti s parametrem λ , tj. $X \sim Po(\lambda)$.

Odhad střední hodnoty počtu dní udržujících změnu kurzu v jednom směru vypočteme pro každou akcii podle vzorce pro jeho výpočet

$$\widehat{\mathbb{E}(X)} = 0 \cdot P(X = 0) + 1 \cdot P(X = 1) + \dots + N \cdot P(X = N), \quad (6.1)$$

kde N je maximální počet po sobě jdoucích dnů, kdy se kurz dané akcie měnil v jednom směru. Dále určíme 95% intervaly spolehlivosti ($\alpha = 0,05$) pro parametr λ podle [21], str. 242, vzorec (11.13.8).

V případě růstu, odhad střední hodnoty pro každý z uvažovaných akciových titulů je²

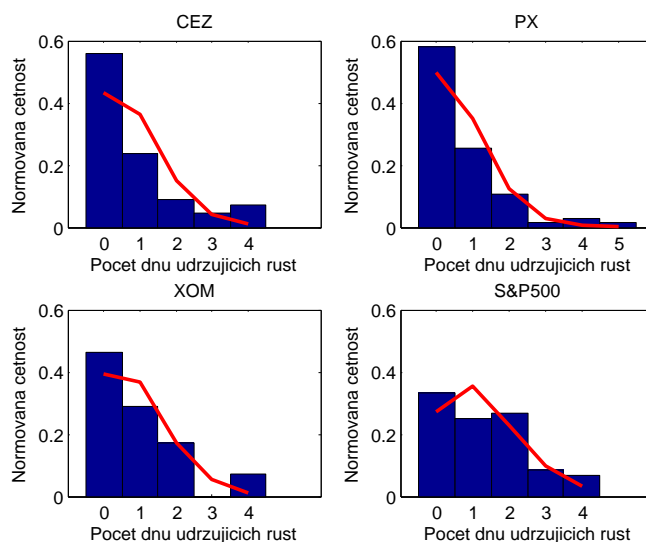
$$\begin{aligned} \text{CEZ} & : \widehat{\mathbb{E}(X)} = \widehat{\lambda} = 0,84, \\ \text{PX} & : \widehat{\mathbb{E}(X)} = \widehat{\lambda} = 0,70, \\ \text{XOM} & : \widehat{\mathbb{E}(X)} = \widehat{\lambda} = 0,93, \\ \text{S\&P 500} & : \widehat{\mathbb{E}(X)} = \widehat{\lambda} = 1,30. \end{aligned}$$

Celkový odhad střední hodnoty (pro všechny čtyři vybrané akcie) má hodnotu $\widehat{\mathbb{E}(X)} = \widehat{\lambda} = 0,94$. Odpovídající intervaly spolehlivosti mají tvar

$$\begin{aligned} \text{CEZ} & : 0,30 < \widehat{\lambda} < 2,34, \\ \text{PX} & : 0,26 < \widehat{\lambda} < 1,91, \\ \text{XOM} & : 0,35 < \widehat{\lambda} < 2,47, \\ \text{S\&P 500} & : 0,56 < \widehat{\lambda} < 3,00. \end{aligned}$$

²se zaokrouhlením na dvě desetinná místa

Na obrázku 6.5 jsou zobrazeny histogramy z obrázku 6.1 s odpovídajícími teoretickými pravděpodobnostními funkcemi (červeně) a pravděpodobnostní funkce Poissonova rozdělení s odhadnutým parametrem $\hat{\lambda}$.



Obrázek 6.5: Histogramy pro počty dní udržující kladnou změnu kurzu u vybraných akciových titulů s teoretickou pravděpodobnostní funkcí

V případě poklesu, odhad střední hodnoty pro každý z uvažovaných akciových titulů je³

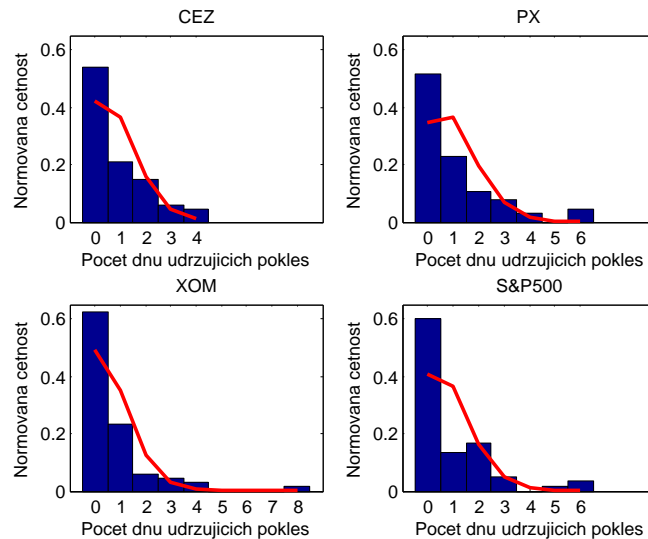
$$\begin{aligned} \text{CEZ} &: \widehat{\mathbb{E}(X)} = \hat{\lambda} = 0,87, \\ \text{PX} &: \widehat{\mathbb{E}(X)} = \hat{\lambda} = 1,06, \\ \text{XOM} &: \widehat{\mathbb{E}(X)} = \hat{\lambda} = 0,71, \\ \text{S\&P 500} &: \widehat{\mathbb{E}(X)} = \hat{\lambda} = 0,90. \end{aligned}$$

Celkový odhad střední hodnoty (pro všechny čtyři vybrané akcie) má hodnotu $\widehat{\mathbb{E}(X)} = \hat{\lambda} = 0,88$. Odpovídající intervaly spolehlivosti mají tvar

$$\begin{aligned} \text{CEZ} &: 0,32 < \hat{\lambda} < 2,38, \\ \text{PX} &: 0,50 < \hat{\lambda} < 2,26, \\ \text{XOM} &: 0,32 < \hat{\lambda} < 1,58, \\ \text{S\&P 500} &: 0,40 < \hat{\lambda} < 2,04. \end{aligned}$$

Na obrázku 6.6 jsou zobrazeny histogramy z obrázku 6.3 s odpovídajícími teoretickými pravděpodobnostními funkcemi (červeně).

³se zaokrouhlením na dvě desetinná místa



Obrázek 6.6: Histogramy pro počty dní udržující kladnou změnu kurzu u vybraných akciových titulů s teoretickou pravděpodobnostní funkcí

6.4 Počet růstů kurzu během 10 dní bez omezení

Dále nás zajímalo, kolikrát za uplynulých deset dní kurz rostl, a poté kolikrát klesal. Rozmezí deseti dní bylo zvoleno, protože zachycuje chování kurzů akcií během dvou burzovních týdnů. Z předchozích podkapitol navíc víme, že kurz vybraných akciových titulů ve sledovaném roce 2011 rostl až sedm dní za sebou a naopak klesal až devět dní. Rozsah deseti dní se proto zdá být optimálním. Výpočty byly provedeny klouzavě za celý rok 2011.

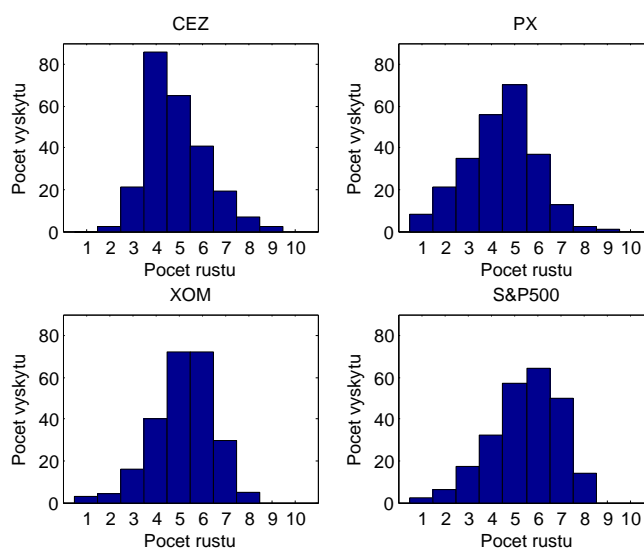
Tabulka 6.3 ukazuje odhady pravděpodobností růstu kurzu právě x -krát během deseti burzovních dnů. Ani u jedné ze sledovaných akcií se nestalo, že by její kurz rostl během celého sledovaného rozmezí deseti dnů.

Histogramy jsou na obrázku 6.7. Ze všech čtyř histogramů se liší histogram pro ČEZ. Z tohoto grafu lze soudit, že kurz ČEZu v roce 2011 častěji rostl, než klesal. Kurz akcie ČEZu rostl výrazně nejčastěji čtyřikrát z deseti dnů, zatímco kurz ostatních akciových titulů rostl nejčastěji pět- či šestkrát.

Podobně jako u předchozího modelu, i zde byl vytvořen graf zachycující empirické distribuční funkce vybraných akciových titulů - obrázek 6.8. Jednotlivé křivky naznačují, že na českém trhu (platí pro akcie ČEZ a index PX) je odhad pravděpodobnosti růstu kurzu 4 a méně dny necelých 50 %, zatímco stejně častý růst na americkém trhu (platí pro akcie XOM a index S&P 500) se vyskytl pouze

Počet dnů	Český trh		Americký trh	
	CEZ	PX	XOM	S&P 500
1	0,00 %	3,29 %	1,24 %	0,83 %
2	0,82 %	8,64 %	1,65 %	2,48 %
3	8,64 %	14,40 %	6,61 %	7,02 %
4	35,39 %	23,05 %	16,53 %	13,22 %
5	26,75 %	28,81 %	29,75 %	23,55 %
6	16,87 %	15,23 %	29,75 %	26,45 %
7	7,82 %	5,35 %	12,40 %	20,66 %
8	2,88 %	0,82 %	2,07 %	5,79 %
9	0,82 %	0,41 %		

Tabulka 6.3: Odhady pravděpodobností růstu kurzu během 10 dnů u vybraných akciových titulů - výpočty z dat za rok 2011



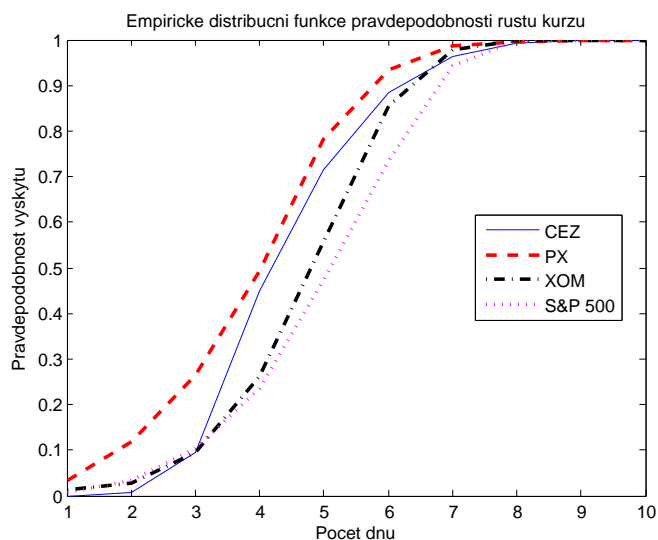
Obrázek 6.7: Histogramy pro počet růstů kurzu během 10 dní - vychází z dat za rok 2011

v přibližně 25 % případů. Odhady pravděpodobností se přibližně vyrovnávají až při růstu v 7 a méně dnech.

6.5 Počet poklesů kurzu během 10 dní bez omezení

Procentuální četnosti pro právě x poklesů kurzu během deseti dní máme vypsány v tabulce 6.4. Také v tomto případě se nestalo, že by kurz některé ze sledovaných akcí klesal během celého sledovaného rozmezí deseti dnů.

Obrázek 6.9, zobrazující histogramy pro poklesy kurzu během dese-



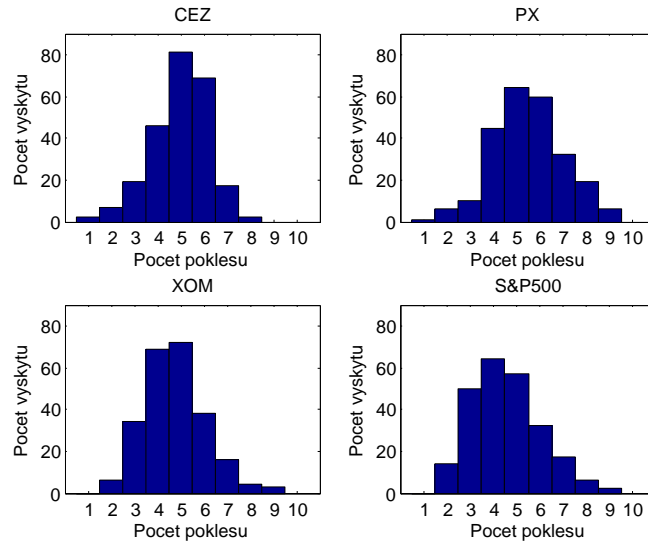
Obrázek 6.8: Empirické distribuční funkce pravděpodobnosti růstu kurzu během 10 dnů u vybraných akciových titulů

Počet dnů	Český trh		Americký trh	
	CEZ	PX	XOM	S&P 500
1	0,82%	0,41%	0,00%	0,00%
2	2,88%	2,47%	2,48%	5,79%
3	7,82%	4,12%	14,05%	20,66%
4	18,93%	18,52%	28,51%	26,45%
5	33,33%	26,34%	29,75%	23,55%
6	28,40%	24,69%	15,70%	13,22%
7	7,00%	13,17%	6,61%	7,02%
8	0,82%	7,82%	1,65%	2,48%
9		2,47%	1,24%	0,83%

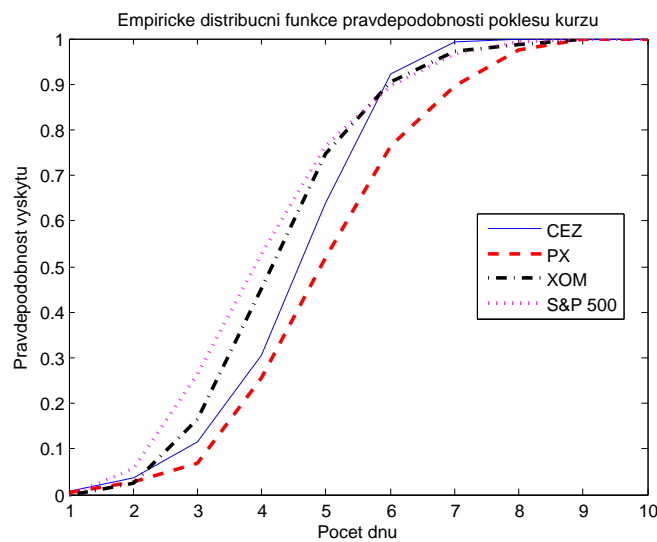
Tabulka 6.4: Odhady pravděpodobností poklesů kurzu během 10 dnů u vybraných akciových titulů - výpočty z dat za rok 2011

ti dní, naznačuje, že šikmost dat ČEZu by mohla být v tomto případě opačná vzhledem k ostatním. Také výrazně nejčastější pokles nastává u akcií ČEZu, a to 6krát v rozmezí deseti dní.

Empirické distribuční funkce pro pokles kurzu jsou k dispozici na obrázku 6.10. Situace na obou trzích se podle očekávání otočila. Pro pokles 4krát a méně za období naznačují křivky odhad pravděpodobnosti na českém trhu mezi 25 až 31 % a na americkém trhu v rozmezí 45 až 53 %. Odhady pravděpodobností se na obou trzích téměř vyrovnávají až při poklesu 8- a méněkrát za období.



Obrázek 6.9: Histogramy pro počet poklesů kurzu během 10 dní - vychází z dat za rok 2011



Obrázek 6.10: Empirické distribuční funkce pravděpodobností poklesů kurzu během 10 dnů u vybraných akciových titulů

6.6 Odhad parametru binomického pravděpodobnostního rozdělení pro počet změn kurzu stejným směrem během 10 dní

Pro model, který jsme doposud popisovali se opět pokusíme odhadnout pravděpodobnostní rozdělení a jeho parametr. I v tomto případě nás zajímali pravděpodobnosti v celých časových jednotkách, je proto vhodné uvažovat diskrétní rozdělení. V rámci každého 10-ti denního

období sledujeme kolikrát kurz rostl (resp. klesal). Na základě tohoto popisu je vhodné použít binomické rozdělení $\text{Bi}(n = 10, p)$ s neznámým parametrem p .

Protože binomické rozdělení není svým typem normální, vychází se při konstrukci intervalových odhadů z aproximací binomického rozdělení. V této práci byl použit Waldův asymptotický intervalový odhad parametru p (viz [22]):

$$\left(\hat{p} - z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n}, \hat{p} + z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n} \right),$$

kde $z_{\alpha/2}$ představuje $100(1 - \alpha/2)\%$ kvantil standardizovaného normálního rozdělení a \hat{p} je odhadem parametru p .

Víme, že střední hodnota binomického rozdělení je $\mathbb{E}(X) = n \cdot p$. Odhady středních hodnot $\widehat{\mathbb{E}(X)}$ pro jednotlivé akciové tituly jsme provedli podle vzorce (6.1). Jelikož parametr n známe, můžeme vyjádřit odhad parametru p ve tvaru

$$\hat{p} = \frac{\widehat{\mathbb{E}(X)}}{n}.$$

V případě růstu, odhad parametru p pro každý z uvažovaných akciových titulů je⁴

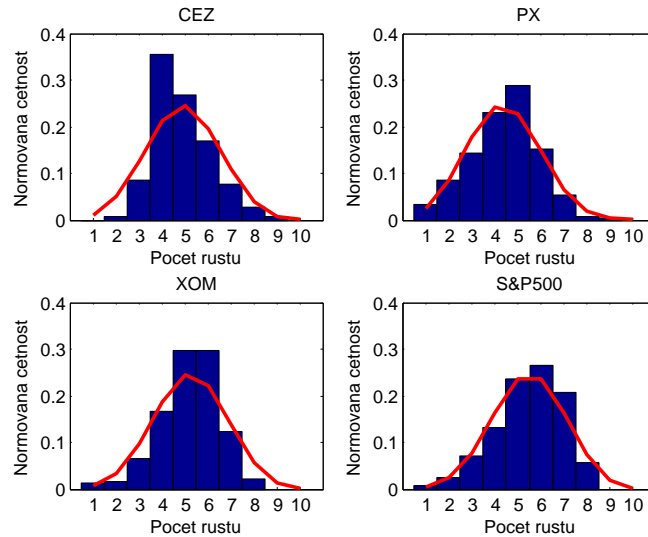
$$\begin{aligned} \text{CEZ} & : \hat{p} = 0,4893, \\ \text{PX} & : \hat{p} = 0,4391, \\ \text{XOM} & : \hat{p} = 0,5211, \\ \text{S\&P 500} & : \hat{p} = 0,5471. \end{aligned}$$

Celkový odhad parametru p (pro všechny čtyři vybrané akcie) má hodnotu $\hat{p} = 0,4991$. Odpovídající intervaly spolehlivosti mají tvar

$$\begin{aligned} \text{CEZ} & : 0,1795 < \hat{p} < 0,7991, \\ \text{PX} & : 0,1315 < \hat{p} < 0,7467, \\ \text{XOM} & : 0,2115 < \hat{p} < 0,8307, \\ \text{S\&P 500} & : 0,2386 < \hat{p} < 0,8556. \end{aligned}$$

Na obrázku 6.11 jsou zobrazeny histogramy z obrázku 6.7 s odpovídajícími odhady pravděpodobnostních funkcí binomického rozdělení s parametrem \hat{p} (červeně).

⁴se zaokrouhlením na čtyři desetinná místa



Obrázek 6.11: Histogramy pro počet růstů kurzu během 10 dní u vybraných akciových titulů s teoretickou pravděpodobnostní funkcí

V případě poklesu, odhad parametru p pro každý z uvažovaných akciových titulů je⁵

$$\text{CEZ} : \hat{p} = 0,4984,$$

$$\text{PX} : \hat{p} = 0,5486,$$

$$\text{XOM} : \hat{p} = 0,4748,$$

$$\text{S\&P 500} : \hat{p} = 0,4529.$$

Celkový odhad parametru p (pro všechny čtyři vybrané akcie) má hodnotu $\hat{p} = 0,4936$. Odpovídající intervaly spolehlivosti mají tvar

$$\text{CEZ} : 0,1885 < \hat{p} < 0,8082,$$

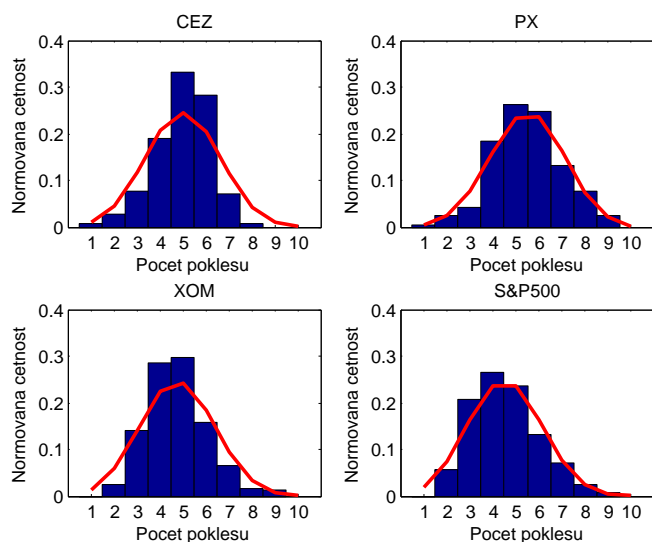
$$\text{PX} : 0,2401 < \hat{p} < 0,8570,$$

$$\text{XOM} : 0,1653 < \hat{p} < 0,7843,$$

$$\text{S\&P 500} : 0,1444 < \hat{p} < 0,7614.$$

Pro počet poklesů během deseti dní jsme vytvořili také odhady pravděpodobnostních funkcí. Na obrázku 6.12 jsou zobrazeny histogramy z obrázku 6.9 s odpovídajícími odhady pravděpodobnostních funkcí binomického rozdělení s parametrem \hat{p} (červeně).

⁵se zaokrouhlením na čtyři desetinná místa



Obrázek 6.12: Histogramy pro počet poklesů kurzu během 10 dní u vybraných akciových titulů s teoretickou pravděpodobnostní funkcí

6.7 Počet dní od koupě, kdy se vyplatí akcie prodat

V této části práce jsme se zabývali počtem dnů, které uplynou od nákupu akcií, než bychom je mohli prodat tak, abychom na obchodu vydělali (tj. se započítáním veškerých poplatků popsanych v podkapitole 2.2).

Označme $K_{t,N}$ tržní hodnotu N akcií v čase t , tj. $K_{t,N} = N \cdot x_t$. Pro každý nákup akcií jsme určili omezení $K_{t,N} \leq 500$ tis. Kč. Simulovali jsme investici do každého z vybraných akciových titulů každý burzovní den a sledovali, za jak dlouho bychom vždy mohli koupené akcie výhodně prodat. Řešili jsme tedy problém minimalizace

$$\min_{s \in \{1, 2, \dots\}} \left\{ \left((K_{t+s,N} - S_{t+s,N}) - (K_{t,N} + B_{t,N}) \right) > 0 \right\},$$

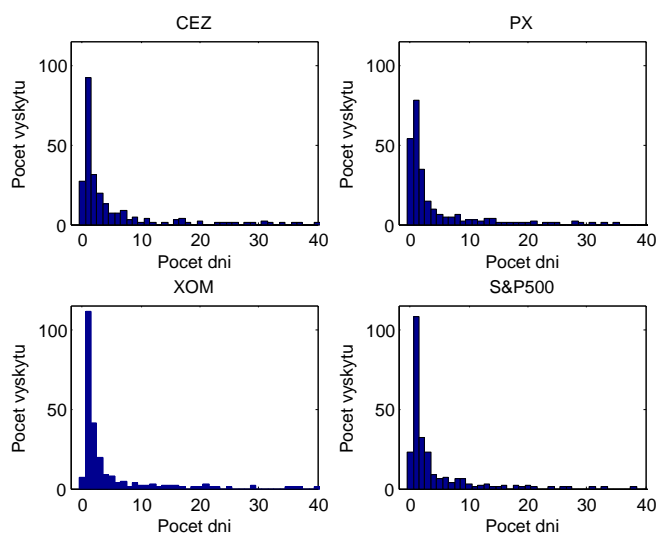
kde je

- N počet nakoupených akcií,
- $B_{t,N}$ výše poplatku při nákupu N akcií v čase t a
- $S_{t+s,N}$ výše poplatku při prodeji N akcií v čase $t + s$.

Výsledky naznačují, že nejdéle bychom museli čekat v případě akcií XOM, kdy se ve sledovaném roce 2011 objevil případ, že uplynulo více než 160 dní od koupě, než bychom měli akcie prodat. V případě akcií ČEZ bychom museli čekat až 75 dní, u indexu PX více než

50 dní a v případě S&P 500 až 60 dní. Překonáním doby přibližně 120 burzovních dní⁶ od koupě akcií, by došlo ke splnění časového testu. V sekci 2.2.3 jsme ale uvedli zjednodušující předpoklad, že splnění časového testu nebudeme uvažovat a daň z příjmu (z realizovaného zisku) odvedeme i v tomto případě.

Histogramy na obrázku 6.13, s ohledem na malé četnosti a velké rozpětí doby čekání, zachycují situace, kdy by bylo vhodné čekat maximálně 40 dní od nákupu akcií. Kompletní histogramy lze získat spuštěním skriptu *VyhodnyObchod.m*.



Obrázek 6.13: Histogramy pro počet dní uplynulých od koupě akcií, než je budeme mít možnost výhodně prodat

Pro tento model byla vytvořena také tabulka procentuálních četností. Pro její rozsáhlost si však ukážeme pouze část z této tabulky, kterou lze kompletní nalézt v příloženém souboru. V tabulce jsou odhady pravděpodobností doby čekání, za jak dlouho se obchod vyplatí a zároveň obsahuje odhad pravděpodobnosti, že se obchod v daném roce nevyplatí. Tabulka 6.5 ukazuje procentuální četnosti čekání maximálně 9 dní, než se obchod vyplatí. U každého z titulů se objevil alespoň jeden případ čekání dobu dlouhou až 9 dní. Tabulka 6.5 a také obrázek 6.13 naznačují, že v daném roce by ve více než třetině případech bylo vhodné prodat akcie hned následující den, tj. jeden den po nákupu akcií.

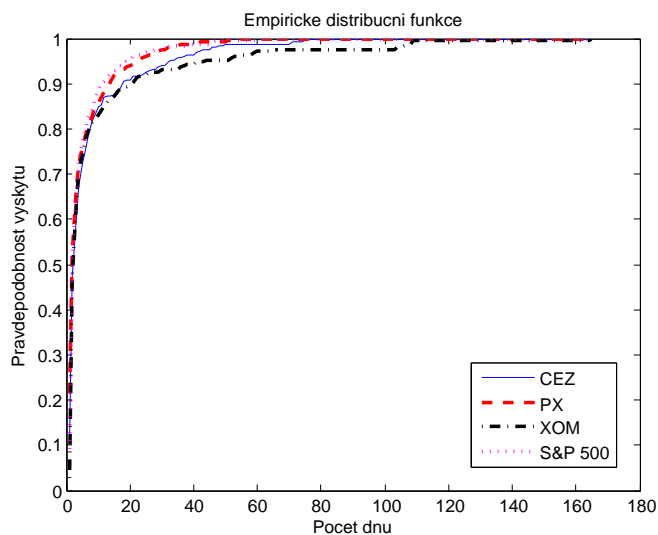
Empirické distribuční funkce pro dobu čekání, než by se obchod vyplatil, jsou k dispozici na obrázku 6.14. Situace se mírně liší pro akcie

⁶Přesná délka časového testu v burzovních dnech závisí na počtu burzovních dní v roce.

Počet dnů	Český trh		Americký trh	
	ČEZ	PX	XOM	S&P 500
Nevyplatí se	10,71 %	21,43 %	2,78 %	9,13 %
1	36,51 %	30,95 %	44,05 %	42,86 %
2	12,30 %	13,89 %	16,27 %	12,70 %
3	7,94 %	5,95 %	7,94 %	9,13 %
4	5,16 %	3,97 %	3,57 %	3,57 %
5	2,78 %	2,38 %	3,17 %	2,38 %
6	2,78 %	1,98 %	1,59 %	2,78 %
7	3,57 %	1,98 %	1,98 %	1,59 %
8	1,19 %	2,38 %	0,40 %	2,38 %
9	1,98 %	0,79 %	1,59 %	2,38 %
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Tabulka 6.5: Odhady pravděpodobností čekání právě x dní než se obchod vyplatí - výpočty z dat za rok 2011 - prvních 10 hodnot z příložené tabulky pro každý titul

a pro indexy. Všechny tituly se drží na podobných hodnotách odhadů pravděpodobnosti čekání 11 a méně dnů. Při čekání 14 a méně dnů jsou odhady pravděpodobnosti u akcií kolem 85 % a u indexů kolem 90 %. Křivky naznačují, že u akcií je větší pravděpodobnost, že bychom mohli čekat déle, než by se obchod vyplatil, než u akciových indexů.



Obrázek 6.14: Empirické distribuční funkce pravděpodobností čekání x dní, než by se obchod vyplatil, u vybraných akciových titulů

6.8 Odhad parametru exponenciálního pravděpodobnostního rozdělení pro počet dní, za kolik se obchod vyplatí

Jako vhodný pravděpodobnostní model doby čekání na okamžik, kdy se vyplatí akcie prodat, jsme zvolili exponenciální rozdělení. Také podle [23] se toto rozdělení používá k modelování doby do výskytu příslušné události.

Exponenciální rozdělení má parametry A a δ . Vycházejíce z [21], str. 130, je parametr A počáteční doba, během které jev nemůže nastat. V tomto případě $A = 0$. Odhadujeme pouze parametr δ a jeho 95% interval spolehlivosti.

Protože pro exponenciální rozdělení platí $\mathbb{E}(X) = A + \delta$, k odhadu parametru δ použijeme opět vzorec (6.1) pro odhad střední hodnoty. Odhady střední doby čekání (ve dnech), než by byl obchod výhodný, pro všechny vybrané tituly jsou⁷

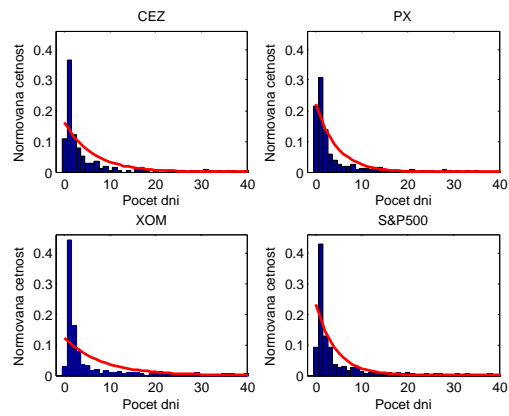
$$\begin{aligned}\text{CEZ} & : \hat{\delta} = 6,22, \\ \text{PX} & : \hat{\delta} = 4,51, \\ \text{XOM} & : \hat{\delta} = 8,27, \\ \text{S\&P 500} & : \hat{\delta} = 4,33.\end{aligned}$$

Celkový odhad parametru δ (pro všechny čtyři vybrané akcie) má hodnotu $\hat{\delta} = 5,83$ dne. 95% intervaly spolehlivosti pro parametr δ jsme odhadli pomocí [21], str. 247, vzorec (11.14.13) a mají tvar

$$\begin{aligned}\text{CEZ} & : 5,52 < \hat{\delta} < 7,07, \\ \text{PX} & : 4,00 < \hat{\delta} < 5,12, \\ \text{XOM} & : 7,36 < \hat{\delta} < 9,43, \\ \text{S\&P 500} & : 4,93 < \hat{\delta} < 3,85.\end{aligned}$$

Pro dobu čekání, za jak dlouho by mohl být obchod výhodný, jsme vytvořili odhady pravděpodobnostních funkcí. Na obrázku 6.15 jsou zobrazeny histogramy z obrázku 6.13 s odpovídajícími odhady pravděpodobnostních funkcí exponenciálního rozdělení s parametrem δ (červeně).

⁷se zaokrouhlením na dvě desetinná místa



Obrázek 6.15: Histogramy pro dobu čekání, než by byl obchod výhodný, u vybraných akciových titulů s teoretickou pravděpodobnostní funkcí

7. Praktické využití znalostí pravděpodobnostních rozdělání pro predikci

Na základě simulací obchodování bychom měli být schopni předpovědět, jestli je pro nás daná strategie obchodování výhodná. V této práci chápeme pojem předpověď jako doporučení k nákupu (resp. prodeji) akcií v čase $t + 1$ vytvořené v čase t . Toto doporučení je založeno na informacích o historickém vývoji kurzů akcií do času t včetně.

7.1 Obchodní strategie s maximálním průměrným výnosem

V další části práce jsme využili znalostí z předchozí kapitoly k analýze možností, jak na burze s vybranými akciovými tituly obchodovat. Pro každý titul jsme se dozvěděli maximální počet dnů, které mohou udržet kladný růst (resp. pokles), a také kolikrát může kurz růst (resp. klesat) v rámci desetidenního období. Další důležitou informací bylo, v jak velkém časovém horizontu má smysl uvažovat držení akcií.

Simulovali jsme nákup akcií a následně jejich prodej po různě dlouhé době. Nyní jsme se snažili celou částku 500 tis. Kč investovat do akcií tak, abychom na pokrytí poplatků nepotřebovali další finance.

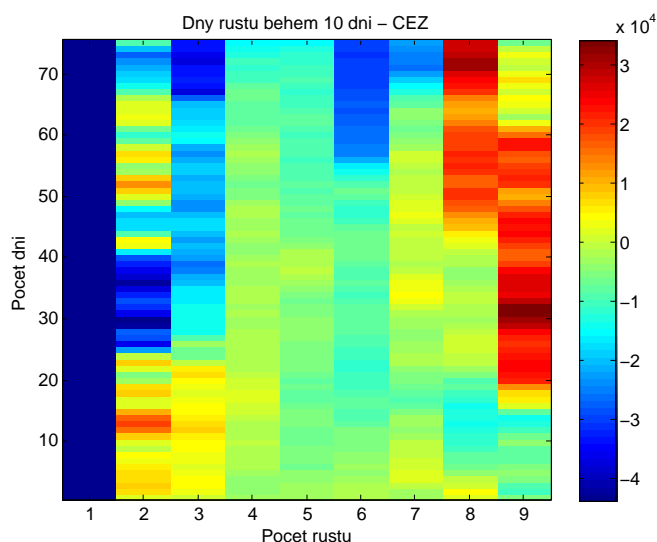
V rámci simulací uvažujeme situaci, kdy jsme v okamžiku t a máme informaci o tom, kolikrát do času t kurz rostl (resp. klesal) (ať už za sebou nebo v rámci desetidenního období), přičemž zohledňujeme maximální počet růstů (resp. poklesů) kurzu zjištěný dříve. Rozhodneme se akcie koupit následující den, tj. v kurzu v čase $t + 1$. Dále zjišťujeme jaký bychom měli profit, kdybychom v dané situaci (známý počet předchozích růstů) vlastnili akcie různě dlouhou dobu (maximálně však do nejdelší doby, kdy se nám investice do daného titulu může vyplatit).

Všechny grafy pro všechny akciové tituly si lze nechat vykreslit pomocí m-file *Simulace.m*. Výsledky simulací byly exportovány do souboru *Obchodni strategie.xlsx*.

7.1.1 Růst kurzu

Nejříve rozeberme situace, kdy nás bude zajímat počet růstů kurzu. Vycházíme z myšlenky, že když dosud kurz dostatečně dlouho rostl, mohla by být velká pravděpodobnost, že další den klesne, a proto by mělo být výhodné akcie prodat.

Tímto jsme vytvořili přehledové „mapy“ pro čtyři vybrané akciové tituly z dat za rok 2011, na základě kterých bychom měli být schopni vybrat nejlepší obchodní strategii pro danou situaci. Obrázky, které jsou k dispozici v příloženém souboru *Maximalni vynosy.xlsx*, ukazují průměrné výnosy v různých situacích ve formě teplotních map. Pro správnou interpretaci je však zapotřebí dávat pozor na měřítko pro škálování barev. Pro ukázkou jsme vybrali obrázky 7.1 až 7.4 zachycující situaci pro růsty během 10 dní.

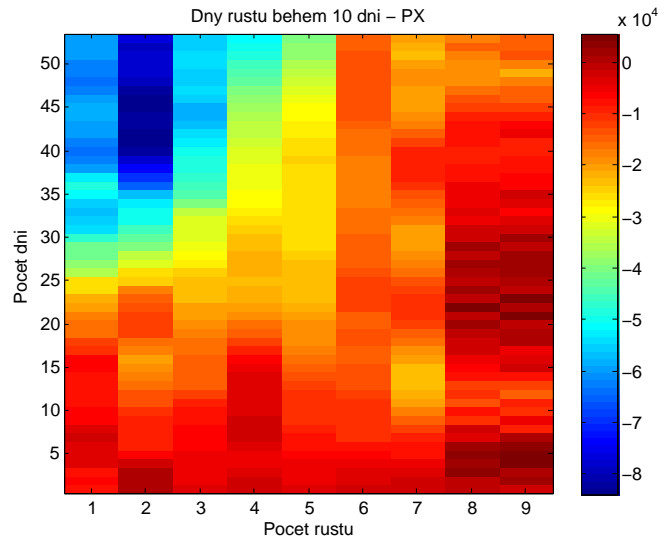


Obrázek 7.1: Průměrné výnosy z obchodování akcií ČEZ ve formě teplotní mapy

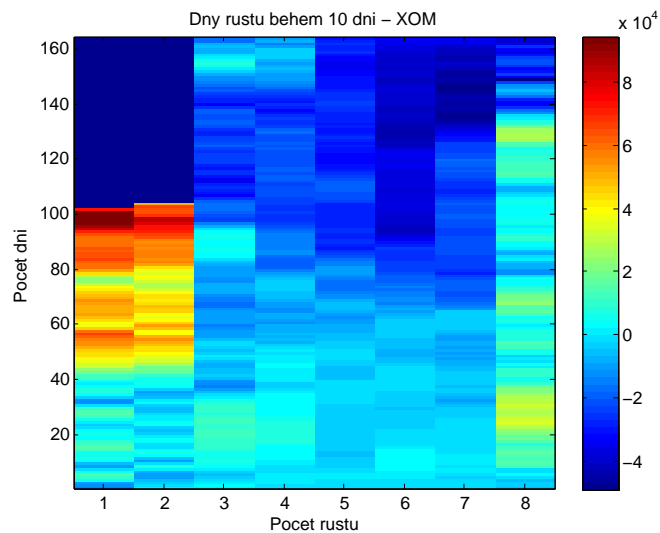
Pro situace zachycené na těchto obrázcích jsme vytvořili tabulky 7.1 pro český a 7.2 pro americký trh, které informují o strategii obchodování s daným akciovým titulem, která přinesla maximální průměrný výnos ze všech. První sloupec pro každý titul v tabulkách udává počet dní, kdy kurz vzrostl během 10 dní, do okamžiku t včetně.

7.1.2 Pokles kurzu

V případě poklesu byl postup podobný. Vycházeli jsme z myšlenky, že když kurz dostatečně dlouho klesá, měla by být velká pravděpodobnost, že bude brzy růst. Proto je v tu chvíli vhodné nakupovat akcie.



Obrázek 7.2: Průměrné výnosy z obchodování s PX ve formě teplotní mapy



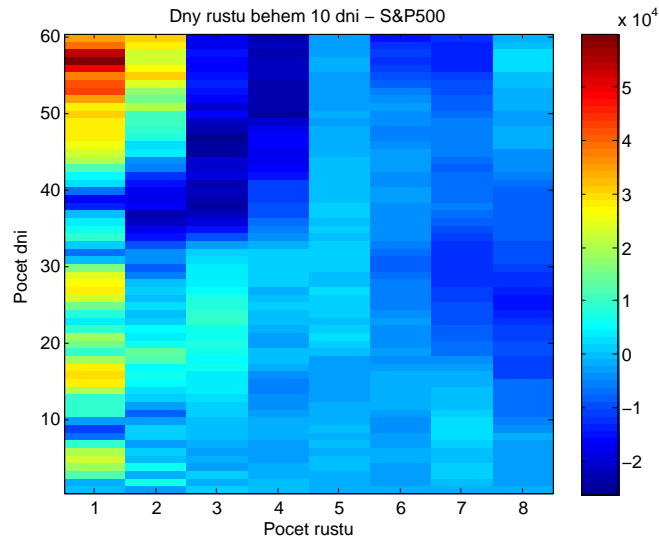
Obrázek 7.3: Průměrné výnosy z obchodování s XOM ve formě teplotní mapy

ČEZ			PX		
Počet růstů	Doba držení	Průměrný výnos	Počet růstů	Doba držení	Průměrný výnos
9	32	34 290,17 Kč	9	4	5 556,72 Kč

Tabulka 7.1: Obchodní strategie s maximálním průměrným výnosem - počet růstů během 10 dní - český trh

Zjišťovali jsme, jakého výnosu dosáhneme při jakém počtu poklesů kurzu do času t (včetně) a různé době držení akcií.

Obrázky ve formě teplotních map lze získat spuštěním přiloženého m-file *Simulace.m*.



Obrázek 7.4: Průměrné výnosy z obchodování s S&P 500 ve formě teplotní mapy

XOM			S&P 500		
Počet růstů	Doba držení	Průměrný výnos	Počet růstů	Doba držení	Průměrný výnos
1	97	94 431,32 Kč	1	57	59 776,85 Kč

Tabulka 7.2: Obchodní strategie s maximálním průměrným výnosem - počet růstů během 10 dní - americký trh

7.2 Obchodní systém

V této části práce již známe vše potřebné k vytvoření jednoduchého obchodního systému. Ten jsme založili na optimálních obchodních strategiích zjištěných simulacemi pro vybrané akciové tituly. Vytvořili jsme tři obchodní systémy reagující na

- počty dní udržující růst kurzu,
- počty dní udržující pokles kurzu,
- počty růstů (resp. poklesů) během 10 dní¹.

Čtvrtým je komplexní obchodní systém uvažující všechny tři předchozí situace a vybírá pro investora strategii, která by v daný moment měla být mezi testovanými nejlepší.

¹Situace pro růsty a poklesy byly sloučeny do jednoho systému, jelikož se navzájem doplňují a optimální strategie jsou u obou modelů ekvivalentní (viz příložený soubor *Obchodni strategie.xlsx*). Pokud nastane případ, že se nedoplňují (kurz se během 10 dnů alespoň jednou nezměnil), systémy tuto skutečnost zohlední a vyberou optimální strategii.

Každý obchodní systém testuje každý den splnění podmínky (vychází z popisů jednotlivých systémů) pro aplikaci odpovídající optimální obchodní strategie. Při jejím splnění dostaneme v čase t pokyn k nákupu akcií a následující den (v čase $t + 1$) provedeme obchod. Doba držení akcií do jejich prodeje, ozn. h , je předem známá. Po prodeji akcií v čase $t + 1 + h$ je ihned testováno splnění podmínky obchodní strategie a proces se opakuje.

Obchodní systémy jsme testovali na datech z roku 2012. Jak bylo popsáno v podkapitole 2.1, máme na začátku roku 2012 k dispozici 500 tis. Kč. Při prvním signálu k nákupu z obchodního systému chceme investovat celou částku do daného jednoho akciového titulu. Při signálu k prodeji zadáme pokyn a na případný další pokyn k nákupu chceme investovat aktuální částku (buď se částka navýšila nebo snížila) v plné výši do stejného akciového titulu. Neinvestovaná částka v čase $t + 1$ zůstává na obchodním účtu a v čase $t + h$ je k ní přičtena částka utržená z prodeje akcií a celá suma je opět disponibilní.

Algoritmus pro všechny obchodní systémy je obsažen ve skriptu *ObchodniSystem.m*, ve kterém lze testovaný systém volit z nabídky *menu*.

7.2.1 Srovnání výsledků

Obchodní systémy jsme použili pro investování do vybraných akciových titulů na českém a americkém akciovém trhu. U každého průběhu investice jsme sledovali stav obchodního účtu a počet provedených obchodů.

Hospodářské výsledky jsou zobrazeny v tabulce 7.3. Data v tabulce jsou rozdělena do dvou skupin. První skupinu tvoří čistý zisk z investic (tj. po odečtení daně z příjmu) nebo ztrátu. Druhá skupina informuje o počtu provedených různých typů burzovních obchodů. Složky v této skupině jsou burzovní obchody založené na (zleva doprava)²:

- počtu růstů během 10 dní,
- počtu poklesů během 10 dní,
- počtu dní udržujících růst kurzu a
- počtu dní udržujících pokles kurzu.

²V případě ekvivalence mezi optimálními strategiemi pro počet růstů a počet poklesů odpovídajícího modelu je za optimální zvolena „růstová verze“.

Zaměření obch. systému	ČEZ	PX	XOM	S&P 500
Dny růstu	-74 037,70 Kč	-22 468,05 Kč	-42 602,61 Kč	15 793,08 Kč
Počet obch.	0 0 2 0	0 0 3 0	0 0 5 0	0 0 4 0
Dny poklesu	25 849,23 Kč	-145 298,92 Kč	21 856,65 Kč	15 793,08 Kč
Počet obch.	0 0 0 1	0 0 0 64	0 0 0 8	0 0 0 6
Obd. 10 dní	-45 534,18 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Počet obch.	2 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
Komplexní	-38 180,54 Kč	-152 983,87 Kč	-1 100,40 Kč	36 534,81 Kč
Počet obch.	1 0 2 1	0 0 3 59	0 0 1 8	0 0 1 6

Tabulka 7.3: Srovnání zisků/ztrát při použití jednotlivých obchodních systémů na datech z roku 2012

Tabulka 7.3 ukazuje, kolik bychom vydělali, kdybychom pomocí vytvořených obchodních systémů obchodovali na burze v roce 2012. Zdá se, že největší úspěšnosti z hlediska investice do jednoho akciového titulu bychom dosáhli pomocí obchodního systému reagujícím na počet dní udržující růst kurzu. Ve většině případů obchodování s tímto systémem jsme vydělali více než 15 000 Kč.

Výsledky naznačují, že období jednoho roku je pro aplikaci obchodního systému reagujícím na počet růstů/poklesů během 10 dní příliš krátké. Ve většině případů nebyl vůbec generován signál k nákupu akcií.

8. Závěr

Na počátku práce jsme se seznámili s problematikou burzovních obchodů, zejména poplatků spojených s burzovními obchody. Potvrdili jsme, že pro investora je výhodné obchodovat ve větších objemech, jelikož s rostoucím objemem obchodu klesá poplatek k nule.

V další části práce jsme pracovali s časovými řadami závěrečných kurzů akcií a zabývali jsme se způsoby jejich úprav. Došli jsme k závěru, že neekvidistantnost, způsobená dny burzovního volna, se v časových řadách objevuje velice zřídka vzhledem ke všem potenciálním burzovním dnům v roce, a proto není nutné vyplňovat odpovídající mezery.

Zabývali jsme se anomáliemi narušujícími efektivnost trhu a testovali výskyt vybraných anomálií u procentuálních výnosů vybraných akciových titulů. Některé anomálie se objevují pouze jednou a jiné lze pozorovat opakovaně. Neobjevili jsme však žádnou pravidelnost v jejich výskytu, což nás vedlo k závěru, že je nelze efektivně využít k předpovědi vývoje akciových kurzů.

Dále jsme se zabývali statistickými vlastnostmi vybraných skupin procentuálních výnosů a odhadem jejich pravděpodobnostních rozdělání. Vytvořili jsme tři skupiny výběrů z dat: výběr počtu dní udržujících změnu kurzu ve stejném směru, výběr počtu dní růstů či poklesů během 10 dní a výběr počtu dní, které uplynou od koupě akcií, než bychom je mohli ziskově prodat. Odhadovali jsme, že první skupina má diskrétní Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti. Binomické rozdělení jsme odhadovali u druhé skupiny a třetí skupině jsme odhadovali exponenciální rozdělení. Provedli jsme odhady parametrů těchto rozdělání a také intervalové odhady těchto parametrů. Zvláště u druhé skupiny jsme zaznamenali velké rozsahy intervalových odhadů parametru p . Více jsme se ale zajímali o procentuální četnosti výskytu jednotlivých situací.

Nakonec jsme využívali výsledků získaných z předcházejících kapitol k vytvoření jednoduchých obchodních systémů, pomocí kterých by bylo možné obchodovat na akciových burzách. Při použití námi vytvořených obchodních systémů jsme dosahovali čistého zisku spíše na americkém trhu. Na českém trhu jsme častěji zaznamenali ztráty, které navíc byly větší než v případě akciových titulů amerického trhu. Obchodní systémy bychom zřejmě měli spíše používat na

americkém trhu.

Téma práce je velice obsáhlé a stále existuje velké množství možností, jak konstruovat předpovědi kurzů. Je také mnoho dalších postupů, které by se daly v této práci otestovat a mohli bychom získat lepší výsledky (např. prodloužení testovacího časového období). Obchodní systémy byly vytvořeny na základě dat za rok 2011 a byly použity k obchodování v roce následujícím. Použití každého systému na různých datech může a také zřejmě bude dávat různé výsledky a mohly by vést k vyvození odlišných závěrů.

Použité zdroje

- [1] KOHOUT, Pavel. *Investiční strategie pro třetí tisíciletí*. 6. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2010, 292 s. Finance (Grada Publishing). ISBN 978-802-4733-159.
- [2] *Akcie cz online, Burza Praha, RM-System* [online]. © 2000 - 2013 [cit. 2013-07-17]. Dostupné z: <http://akcie-cz.kurzy.cz/>
- [3] *Yahoo! Finance - Business Finance, Stock Market, Quotes, News* [online]. © 2013 [cit. 2013-07-17]. Dostupné z: <http://finance.yahoo.com/>
- [4] ANDRLÍK, Jiří. Poplatky za obchodování na burzách: Nejdražší je Capital Partners a PPF. In: *Investujeme.cz* [online]. 5.2.2010 [cit. 2013-07-20]. Dostupné z: <http://www.investujeme.cz/poplatky-za-obchodovani-na-burzach-nejdrazsi-je-capital-partners-a-ppf/>
- [5] OLIVA, Martin. Xetra v Praze nahradí KOBOS i SPAD – průvodce novým obchodním systémem. In: *Investice, ekonomika a finance, kurzy, akcie, měny a komodity - Patria.cz* [online]. 21.11.2012 [cit. 2013-07-28]. Dostupné z: <http://www.patria.cz/zpravodajstvi/2203667/xetra-v-praze-nahradi-kobos-i-spad-pruvodce-novym-obchodnim-systemem.html>
- [6] FIO BANKA A.S. *Ceník základních služeb*. Praha, 2012. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://www.fio.cz/docs/cz/C_zaklad.pdf
- [7] FIO BANKA A.S. *Příloha ceníku základních služeb*. Praha, 2012. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://www.fio.cz/docs/cz/C_trh.pdf
- [8] Akcie a daně. In: *Akcie online Informace pro Vaše úspěšné investice* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.akcie.cz/radce-investora/investice-zaklady/akcie-dane/>
- [9] Část první, Daň z příjmů fyzických osob. Zákon o daních z příjmů. In: *Sbírky zákonů*. 20.11.1992, č. 586/1992 Sb. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pravo/zakony/dprij/cast1.aspx>
- [10] ŠESTÁK, Martin. Danění příjmů z cenných papírů. In: *Ekonomika — ČT24 — Česká televize* [online]. 7. 3. 2012 [cit. 2013-07-28]. Dostupné z: <http://www.ceskatelivize.cz/ct24/ekonomika/167261-daneni-prijmu-z-cennych-papiru/>
- [11] ZDRAŽIL, Vladimír. Příjmy z prodeje zahraničních cenných papírů zdaňujte doma. *IDNES.cz* [online]. 19. listopadu 2007 [cit. 2013-07-16]. Dostupné z: http://finance.idnes.cz/prijmy-z-prodeje-zahranicnich-cennych-papiru-zdanujte-doma-p4n-/inv.aspx?c=A071113_115332_fi_osobni_amr
- [12] Finance Help | - SLN2311 - Understanding historical prices. *Help Central* [online]. © 2013 [cit. 2013-07-17]. Dostupné z: <http://help.yahoo.com/1/us/yahoo/finance/quotes/quote-12.html>
- [13] ARLT, Josef, Markéta ARLTOVÁ a Eva RUBLÍKOVÁ. *Analýza ekonomických časových řad s příklady* [online]. Praha, 2002 [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: <http://nb.vse.cz/arltova/vyuka/crsbir02.pdf>

- [14] Kalendář burzovních dní na rok 2013. *Oficiální webové stránky Burzy cenných papírů Praha, a. s. Online data, kurzovní lístek, indexy, grafy* [online]. 1998-2013 [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: <http://www.pse.cz/dokument.aspx?k=Kalendar-BD-2013>
- [15] HAUGEN, Robert A. *Modern Investment Theory*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, c1990, s. 615. ISBN 0135947979.
- [16] VESELÁ, Jitka. *Burzy a burzovní obchody: výchozí texty ke studiu*. Vyd. 1. Praha: Oeconomica, 2005, s. 94. ISBN 8024509393.
- [17] LATIF, Madiha, Shanza ARSHAD, Mariam FATIMA a Samia FAROOQ. Market Efficiency, Market Anomalies, Causes, Evidences, and Some Behavioral Aspects of Market Anomalies. In: *Research Journal of Finance and Accounting RJFA*. Vol 2, No. 9-10, 2011, s. 1-13. ISSN 2222-2847. Dostupné z: <http://www.iiste.org/Journals/index.php/RJFA/article/view/1287/1208>
- [18] SILVER, Tisa. Making Sense Of Market Anomalies. In: *Investopedia - Educating the world about finance* [online]. 30 December 2009 [cit. 2013-07-20]. Dostupné z: <http://www.investopedia.com/articles/stocks/08/market-anomaly-efficient-market.asp>
- [19] ANDĚL, Jiří. *Statistické metody*. 4., upr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007, 299 s. ISBN 978-80-7378-003-6.
- [20] SAĪDA, Ahmed Ben. Shapiro-Wilk and Shapiro-Francia normality tests. In: *MATLAB Central* [online]. 15 Feb 2007, 14 Dec 2007 [cit. 2013-07-21]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13964>
- [21] HÁTLE, Jaroslav a Jiří LIKEŠ. *Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1972, 463 s.
- [22] HE, Xiaomin a Shwu-Jen WU. Confidence Intervals for the Binomial Proportion with Zero Frequency. In: *Statistics & Pharmacokinetics*. 2009, s. 6. Dostupné z: <http://www.pharmasug.org/download/papers/SP10.pdf>
- [23] ŘEZANKOVÁ, Hana, Luboš MAREK a Michal VRABEC. Exponenciální rozdělení. In: *IASSTAT – interaktivní učebnice statistiky* [online]. 1. vyd. Praha: VŠE, 2000 [cit. 2013-07-27]. Dostupné z: <http://iastat.vse.cz/Exponenc.htm>

Příloha A

Seznam příložených datových a výstupních souborů na CD

1. zdrojová vstupní data s úpravami o dividendy (kurzy akcií, jednodenní procentuální výnos, logaritmický výnos)
 - (a) *Data.xlsx* ... český trh
 - (b) *DataZahr.xlsx* ... americký trh
2. soubory obsahující kompletní výsledky testování efektů tržních anomálií na všech původně vybraných akciích a indexech - průměrný výnos pro danou skupinu burzovních dní, rozptyl výnosů a výstupní *p-hodnoty* testů včetně rozhodnutí o významnosti charakteru burzovních dní (kapitola 5)
 - (a) *CeskyTrh.xlsx* ... český trh
 - (b) *ZahrTrh.xlsx* ... americký trh
3. *TestNorm.xlsx* ... soubor obsahující výstupní *p-hodnoty* testů normality procentuálních výnosů všech původně vybraných akcií a indexů včetně rozhodnutí o normalitě (kapitola 5)
4. *Procentualni cetnosti.xlsx* ... soubor obsahující kompletní tabulky procentuálních četností výskytu daných jevů popsaných v kapitole 6
5. *Obchodni strategie.xlsx* ... soubor s výsledky simulací různých obchodních strategií (kapitola 7)

Příloha B

Seznam příložených M-file na CD

1. *Poplatky.m* ... vytvoří grafy závislosti výše poplatků za obchod na objemu obchodu (kapitola 2)
2. *Kalendar.m* a *KalendarUSA.m* ... m-funkce identifikující burzovní den na českém nebo americkém trhu a přiřazující pořadí v roce, v měsíci, v rámci týdne, měsíc v roce a index (vztah k burzovnímu volnu - viz. podkapitola 5.2.2), používané m-funkce:
 - (a) *Kolikaty_v_roce.m*
 - (b) *Velikonocni_pondeli.m*
 - (c) *Statni_svatek.m*
3. *NeekvidistantnostPocty.m* ... zjistí reálnou četnost výskytu po sobě jdoucích dnů burzovního volna (kapitola 4.2), používané m-funkce:
 - (a) *Kalendar.m*
 - (b) *KalendarUSA.m*
4. *TestovaniJeden.m* ... provede testy významnosti procentuálních výnosů jedné skupiny burzovních dní (efekty tržních anomálií) vůči všem ostatním stejného druhu dohromady (kapitola 5) pro zvolený titul ve zvoleném období, používané m-funkce:
 - (a) *Kalendar.m*
 - (b) *KalendarUSA.m*
5. *TestNormalita.m* ... provede testy normality procentuálních výnosů pro zvolený akciový titul ve zvoleném období, používané m-funkce:
 - (a) *Kalendar.m*
 - (b) *KalendarUSA.m*
 - (c) *swtest.m* ... Shapiro-Wilkův test normality, pochází z [20]
6. *PoSobeJdouci.m* ... pravděpodobnostní model pro počty dní udržující změnu kurzu v jednom směru
7. *DesetDni.m* ... pravděpodobnostní model pro počet růstů (resp. poklesů) během 10 dní
8. *VyhodnyObchod.m* ... pravděpodobnostní model pro počet dní, za jak dlouho bychom mohli na obchodu vydělat
9. *PoplatkyObchod.m* ... pouze vrací výši poplatků (v % z objemu obchodu) za obchod (kapitola 2)
10. *Simulace.m* ... simulace nákupu akcií a jejich následného prodeje po různě dlouhé době (výsledky ve formě teplotních map) (kapitola 7)
11. *ObchodniSystem.m* ... komplexní obchodní systém, lze volit mezi jednotlivými druhy systémů (kapitola 7), využívá výsledků získaných v m-file *Simulace.m*