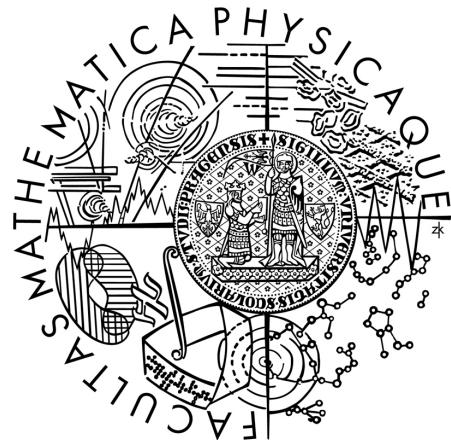


Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

# DIPLOMOVÁ PRÁCE



Oldřich Janeček

Výkonnost kapitálového trhu: Testování hypotézy

Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Miloslav Vošvrda, CSc.

Studijní program: Matematika, pravděpodobnost, matematická statistika  
a ekonometrie

Zde bych rád poděkoval

- Vedoucímu této práce, Prof. Ing. Miloslavu Vošvrdovi, CSc., z Ústavu teorie informace a automatizace České akademie věd, za zajímavé téma, uvedení do problému a konzultace poskytnuté při jeho řešení
- Mgr. Petru Škovroňovi, PhD., za pomoc při nesnázích se softwarem
- Mgr. Lence Škovroňové za pomoc s gramatickou korekcí práce

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne 14. dubna 2008

Oldřich Janeček

# **Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Úvod do problému</b>	<b>2</b>
2.1	Tržní cena aktiva . . . . .	2
2.2	Základní definice . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Cesta k testování výkonnosti trhu</b>	<b>8</b>
3.1	Modely s nekorelovanými aktivy . . . . .	8
3.2	Modely s více aktivy a jejich vzájemnou korelací . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Přehled vybrané dosavadní práce</b>	<b>13</b>
4.1	Začátky — do roku 1969 . . . . .	13
4.2	Fama 1970 . . . . .	14
4.3	Vývoj představy o pravděpodobnostním rozdělení akciových výnosů . . . . .	19
4.4	Bouřlivý vývoj v 70. a 80. letech . . . . .	21
4.5	Fama 1991 . . . . .	25
4.6	Aktuální výsledky . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Zamyšlení</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Empirické testy — teorie</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Použitá data</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Empirické výsledky</b>	<b>58</b>
8.1	Stacionarita časových řad . . . . .	60
8.2	Autokorelační funkce . . . . .	64
8.3	Portmanteau test . . . . .	67
8.4	Podíly rozptylů . . . . .	68
8.5	Regresy na historické výnosy . . . . .	70
8.6	Filtry . . . . .	76
8.7	Klouzavé průměry . . . . .	81
<b>9</b>	<b>Závěr</b>	<b>85</b>

**Název práce:** Výkonnost kapitálového trhu: Testování hypotézy

**Autor:** Oldřich Janeček

**Katedra (ústav):** Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky

**Vedoucí diplomové práce:** Prof. Ing. Miloslav Vošvrda, CSc. (ÚTIA)

**e-mail vedoucího:** vosvrda@utia.cas.cz

**Abstrakt:** Po zhodnocení vybrané dosavadní práce na výzkumu hypotézy výkonnosti kapitálových trhů se práce zabývá překážkami, které teorii staví reálný trh, a jejich vlivem na pozorovaná data. Blíže se zaměřuje vliv transakčních nákladů a v praktických testech časových řad akciových výnosů z rozvinutých (USA) i rozvojových (Korea) trhů ukazuje, že zatímco při zanedbání transakčních nákladů se ceny jeví sériově závislé a predikovatelné, při jejich zahrnutí do výpočtu se ukazuje, že aplikací týchž obchodovacích algoritmů nelze nadprůměrně vydělat. Hypotéza výkonnosti trhu tak je ve svém praktickém smyslu podpořena.

Vedlejším produktem práce je zjištění, že časové řady akciových výnosů jsou zpravidla silně nestacionární, ale podstatnou část nestacionarity lze vysvětlit a odstranit pomocí modelu podmíněné heteroskedasticity GARCH.

**Klíčová slova:** Teorie výkonného trhu, transakční náklady, predikovatelnost výnosů, slabá stacionarita

**Title:** The Efficient Market Hypothesis (EMH): Theory and Practice

**Author:** Oldřich Janeček

**Department:** Department of Probability and Mathematical Statistics

**Supervisor:** Prof. Ing. Miloslav Vošvrda, CSc. (ÚTIA)

**Supervisor's e-mail address:** vosvrda@utia.cas.cz

**Abstract:** After review of some past work on Efficient Markets Hypothesis, this work thinks of barriers contained in real non-frictionless market, which can make the observed data differ from theoretical model. It comes closer to the influence of transaction costs and in practical tests it proves, that while if the costs are neglected, serial dependance and predictability occurs, but if they are contained in calculation, one finds it is impossible to earn an excess profit using the dependance. Both data from developed (USA) and emerging (Korea) markets are used. Economical form of efficient market hypothesis is supported that way.

As a by-product this work concludes, that stock return time series are mostly strongly nonstationary, but major part of the nonstationarity may be explained and removed using model of conditional heteroskedasticity GARCH.

**Keywords:** Efficient market hypothesis, transaction costs, return predictability, weak stationarity

# 1 Úvod

Již mnoho desítek let se ekonomové přou o to, zda jsou ceny aktiv na trzích (obvykle akciových, ale i např. komoditních), respektive jejich změny předvídatelné, zda existují data a modely, při jejichž znalosti v daném okamžiku je možné předpovědět následný vývoj tržních cen s takovou úspěšností, že ve střední hodnotě získá takto poučený investor významně vyšší výnos než ten, který si aktiva pro investici vybere náhodně nebo nakoupí široce diverzifikované portfolio. Opačnou hypotézou je, že tržní ceny jsou natolik náhodné a nevyzpytatelné, že ani při vynaložení sebevětšího analytického úsilí nelze být trvale nadprůměrně úspěšný, nebo alespoň natolik úspěšný, aby tento nadprůměrný zisk dostatečně kompenzoval vynaložené náklady.

Jednou z teorií, možná dokonce vůdčí, která tvrdí nepredikovatelnost cen, je *Teorie výkonného trhu* (Efficient Market Hypothesis), která říká, že aktuální tržní cena aktiva *obsahuje veškerou dosavadní informaci* a znalost *jakékoli* kurzotvorné informace nemůže být využita k získání nadprůměrného očekávaného výnosu.

Cílem této práce je získat přehled o dosavadní práci na této teorii, zamyslet se nad ní a posoudit, zda i přes výtky konstatované jejími odpůrci poskytuje teorie kvalitní popis tvorby cen dosahovaných na burzách, nebo zda jde o teorii od základu špatnou a neplatnou. Přitom v případě tvrzení platnosti se požaduje hlubší proniknutí do fenoménů, které navenek vypadají jako zdroje nevýkonnosti trhu, avšak při poznání jejich podstaty a správné interpretaci jsou pouze omezeními způsobenými reálným světem, odlišným od matematické teorie, viz například již dříve dokumentovaný efekt nesoučasného obchodování. V případě tvrzení neplatnosti hypotézy se naopak požaduje snaha o konstrukci hypotézy nové, lépe odpovídající skutečnosti.

Po nastudování potřebné literatury jsem dospěl k závěru, že hypotéza *je* dobrým modelem fungování trhu, ten je však natolik odlišný od čisté statistické teorie a jejích předpokladů, že lze nalézt velké množství fenoménů, které její platnost zamlžují. Jedním z nich, na nějž jsem se zaměřil, jsou nenulové náklady na uzavírání obchodů. Ty jsou v citované literatuře sice zmiňovány, avšak pouze okrajově a bez svých vlivů na výsledky v případě, že by s nimi bylo od začátku počítáno.

Práce má následující strukturu: po uvedení do problému a základních definicích hypotézy v kapitolách 2 a 3 následuje přehled vybrané dosavadní literatury v kapitole 4, v kapitole 5 moje zamýšlení nad tím, co lze z dostupných zdrojů vyvodit a nakolik jsou závěry dosavadních prací v souladu s tržní praxí, a dále již praktická část práce: popis použitých testů a modelů v kapitole 6, použitých dat v kapitole 7 a dosažené výsledky v kapitole 8.

## 2 Úvod do problému

### 2.1 Tržní cena aktiva

Primární rolí kapitálového trhu vždy byla alokace kapitálu. Subjekty, které potřebují nový kapitál pro svůj rozvoj, jej mohou kromě přijetí bankovního úvěru získat i tím, že emitují cenné papíry — nároky na odložené splacení zapůjčeného kapitálu a výnosu (dluhopisy) nebo přímo podíly na společnosti (akcie), a prodají je zájemcům ochotným prostředky poskytnout, věříce v jejich zhodnocení.

Vlastník takového cenného papíru jej pak může držet, aby vložený kapitál v budoucnu dostal zpět prostřednictvím dividend nebo kuponů a splacení jistiny, zhodnocený o patřičný výnos jakožto odměnu za odloženou spotřebu a nejistotu, kolik peněz, kdy a zda vůbec vlastně dostane. Nebo může jít na trh cenných papírů a svůj nárok prodat doufaje, že tak udělal ve chvíli, jež pro něj byla z hlediska užitku obdrženého výnosu nejlepší možná.

Každý, kdo absolvoval alespoň základní kurz finanční matematiky, ví, že tržní cena aktiva by měla odpovídat „spravedlivé hodnotě“, jež je rovna diskontované hodnotě budoucích finančních toků a penězi oceněných nefinančních užitků tímto aktivem vygenerovaných. Ale jak obchodníci na trhu vědí, jaká tato „správná“ cena je? Již fakt, že jednotlivé subjekty mají pravděpodobně různé preference při výměně současného užitku za budoucí, tuto otázku činí velmi obtížně zodpověditelnou. Od tohoto problému (není-li přímo tématem studie) je zpravidla nutno zcela se oprostit a spokojit se s předpokladem, že všichni investoři používají pro stanovení současné hodnoty budoucích finančních toků stejnou diskontní míru, i když ta se může v čase měnit a v daném okamžiku  $t$  může být diskontní míra pro peněžní toky za rok nebo za dva různá,  $d_{t,t+1} \neq d_{t,t+2}$ .

Pokud užitím takové diskontní míry vyjde hodnota dvou různých systémů finančních toků vztažená ke stejnemu časovému okamžiku stejná, jsou tyto toky pro každého účastníka trhu indiferentní. Jenže investor zpravidla není schopen precizně určit spravedlivou současnou cenu ani krátkodobé státní pokladniční poukázky, jejiž splacení je považováno za jisté a částka a termín jsou známé. Budoucí diskontní sazby vstupující do výpočtu, ani ty v blízké budoucnosti, nejsou totiž přesně známé ani predikovatelné.

A pokud jde o akcie, situace je nesrovnatelně složitější: mnohdy není známa *kterákoli* ze vstupních veličin. Za prvé, akcie sice zpravidla má stanovenou nominální hodnotu<sup>1</sup>, ta je však pro tržní ohodnocení zcela irele-

---

<sup>1</sup>Povinnost emitenta jmenovitou hodnotu akcie stanovit se v různých státech liší, např. akcie vydaná podle českého práva ji mít musí, kdežto v USA nikoliv.

vantní. Za druhé, akcie nemá datum splatnosti, kdy by emitent byl povinen nominální nebo jinou hodnotu investorovi vyplnit. Jediná možnost, jak držitel akcie může půjčku svého kapitálu emitentovi ukončit, je najít jiný subjekt, který ji za smluvěnou (tržní) cenu převezme. Fakt, že emitent se může pro odkup svých vydaných akcií rozhodnout, zde nehraje roli, neboť je to pouze jeho  *právo*, nikoliv  *povinnost*. Za třetí, zatímco kuponové platby (úrok) z dluhopisu jsou pevně stanovené v termínu i výši, nebo ale spoň způsobu jejího určení podle aktuální hladiny dané makroekonomické veličiny (úroková sazba, inflace, …), výše dividendy z akcie je podmíněna posledním hospodářským výsledkem emitenta a rozhodnutím valné hromady o jeho rozdelení, takže je velmi nejistá a obtížně predikovatelná, je dokonce možné, že bude nulová. Za čtvrté, čím vzdálenější je budoucnost (v případě akcie až nekonečno), pro niž se snaží investor diskontní míru předpovídat, tím je předpověď nejistější.

Dividendy jsou kromě nákladů na pořízení a výnos z prodeje obvykle jediným finančním tokem spojeným s držbou akcie, investorské publikum tak obvykle akceptuje myšlenku, že současná hodnota akcie je součtem diskontovaných budoucích dividend, tedy dividendový diskontní model ve formě

$$PV = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{D_1}{r - g}, \quad (1)$$

kde  $D_1$  je výše (v penězích) nejbližší budoucí dividendy,  $r$  požadovaný roční výnos (diskontní míra — zde považována za konstantní) a  $g$  očekávaná roční míra růstu dividend.

Existuje mnoho faktorů, které výši dividendy a/nebo diskontní míru ovlivňují. Jak uvidíme dále, například Chen, Roll a Ross [8] ukazují, že výnosy z akcií (ať již dividendové či kapitálové) jsou významně ovlivněny průmyslovou produkcí, změnami v rizikové prémii korporátních dluhopisů a neočekávanou inflací. Chen [7] tvrdí, že významnými determinanty budoucích akciových výnosů následkem jejich silné korelace s mírou růstu hrubého národního produktu jakožto měřítka celkového zdraví ekonomiky jsou opět riziková prémie, časový spread, zpožděná (za předchozí období) průmyslová produkce a dividendový poměr (D/P ratio). Ani znalost závislosti však mnohdy příliš ne-pomůže, neboť jde obvykle o hodnoty sledované v *témže* období jako na nich závislý výnos akcií.

Již více než 100 let<sup>2</sup> se ekonomové snaží zjistit, zda ceny akcií jsou predikovatelné, a pokud ano, na základě jakých *historických* dat. Současně se snažíme hledat ve vývoji cen vzorce, pravidelnosti a závislosti však pochopitelně

---

<sup>2</sup>První, kdo se tímto tématem zabýval, byl Bachelier [1] v roce 1900. Jeho výsledky však byly skoro 60 let ignorovány, než toto odvětví výzkumu zaznamenalo skutečný boom.

vznikly i teorie opačné, říkající, že budoucí změny cen jsou nepredikovatelné, nezávislé s minulými změnami, a že jediné, co může zítra změnit cenu, je nová (a dnes nepředpověditelná) informace, která zítra dorazí, nebo změna v očekávání investorů — která by ale měla nastat právě jedině následkem nové informace. Tyto teorie nepředpověditelnosti říkají, že nikdo není schopen využít informaci o minulosti k získání nadměrného středního výnosu v budoucnosti, že nejlepší předpověď zítřejší ceny je dnešní cena (navýšená o bezrizikový výnos) a že pokud si někdo chce koupit akcie, nemůže systematicky vybírat lépe než náhodně a jen musí doufat, že zrovna pro tu jím zvolenou budou zítřejší informace pozitivní.

Mírou, s níž je výnosnost různých investičních strategií poměrována, je přitom vždy naivní strategie *kup a drž*, spočívající v tom, že investor dané aktivum zakoupí a bude jej držet až do konce daného časového intervalu, s průběžným reinvestováním inkasovaných příjmů (dividendy, kupóny).

## 2.2 Základní definice

- *Výnosem* v této práci vždy myslím výsledek držení aktiva, kladný i záporný.
- *Nadvýnosem* vždy budu rozumět rozdíl výnosu zkoumané *aktivní* strategie a strategie *kup a drž*.
- Pokud se v případě modelu s více akcemi hovoří o *průměru trhu*, je jím myšleno *tržní portfolio*, tedy portfolio tvořené všemi aktivy na daném trhu obchodovanými. Vahou každého aktiva je jeho tržní kapitalizace — cena za jednotku krát počet potenciálně obchodovatelných jednotek.
- *Burzou* mám na mysli obecně kapitálové trhy burzovního charakteru. Například český RM–Systém nebo americký NASDAQ totiž sice burzami dle definice v zákoně nejsou, obchody na nich ale probíhají stejně jako na „pravé“ burze.

Hypotéza výkonného trhu je významným představitelem teorií, které tvrdí, že budoucí výnos je nepredikovatelný:

**Definice:** *Řekneme, že trh je výkonný (splňuje hypotézu výkonnosti trhu, hypotéza výkonnosti platí), když aktuální tržní cena každého aktiva plně reprezentuje veškerou aktuálně existující informaci.*

Pokud hypotéza výkonnéosti platí, znamená to, že veškerá cenotvorná informace již byla tržní cenou aktiva absorbována a neexistuje informace, jejíž využití by vedlo k dosažení vyššího než očekávaného výnosu. Rozdíl mezi

skutečným budoucím pohybem ceny a nynějším očekáváním je náhodný, má nulovou střední hodnotu a ani využitím veškeré současné relevantní informace nelze najít aktivum, pro nějž by tato střední hodnota nebyla nulová.

Takto definovaná hypotéza je pochopitelně příliš obecná — co znamená *plně reflektovat informaci?* — a příliš striktní — veškerá existující *informace* nemůže být na reálném nedokonalém trhu nikdy zcela dokonale zohledněna. Proto se standardně rozlišují tři úrovně výkonnosti podle typu a rozsahu informací, které mají být reflektovány.

Terminologie zde není zcela jednotná, vyvinula a vyvíjí se postupně, jak se jí různí autoři z různých stran a příčin dotýkají. Ve svém prvním souhrnu [12] v roce 1970 definuje Eugene F. Fama, považovaný za autora hypotézy, tyto tři úrovně podle toho, jaká informace má být plně reflektována. Ve druhém [13] o 20 let později terminologii sice upravuje a jednotlivé úrovně definuje podle toho, z jakého úhlu pohledu se o chování tržních cen zajímáme, avšak jde mnohem více o záležitost terminologickou než obsahovou.

Současný všeobecně přijatý úzus (studijní i odborné texty většiny autorů) užívá názvy dle [12], ale jejich obsah odpovídá spíše [13]. To však není příliš na závadu, neboť podstata zůstává zachována, jak vzhledem k uvidíme.

Pokud nebude uvedeno jinak, dále v této práci předpokládám, že objektem zájmu jsou aktiva  $j = 1, \dots, J$  (zpravidla bez konkrétní specifikace čísla  $J$ ) a jejich chování v časech  $t \in T$ , kde  $T$  je vhodná diskrétní časová množina, zpravidla  $T \subset \mathbb{Z}$ , značící konce obchodních dní. Aktivy jsou zpravidla myšleny akcie, případně portfolia nebo indexy z nich složené, ale obecně, za hranicemi této práce, si lze představit libovolné aktivum, které je obchodováno na burze, a jehož budoucí cena je nějak spojena s nejistotou, s ekonomickými faktory, jejichž vývoj není zcela predikovatelný.

Nechť  $P_{j,t}$  je cena  $j$ -tého aktiva v čase  $t$  a nechť  $\Phi_t$  značí množinu informací relevantních pro ocenění aktiv  $j = 1, \dots, J$  existujících v čase  $t$ .

**Definice:** *Slabá forma výkonnosti kapitálového trhu platí, jestliže (podle starší definice v [12]) informační množina  $\Phi_t$  obsahuje pouze minulé ceny aktiv  $j = 1, \dots, J$ , tj.  $\Phi_t = \{P_{j,t-k}; j = 1, \dots, J; k = 1, 2, \dots\}$  pro každé  $t \in T$ , a tyto ceny jsou cenami současnými reflektovány.*

Později byl obsah  $\Phi_t$  rozšířen — předpokládá se obsah veškeré historické informace, tj. kromě historických cen např. i dividendové výnosy nebo hodnoty makroekonomických veličin jako např. inflace.

Tato úroveň hypotézy, pro niž se občas (např. Fama [13]) užívá název *testy predikovatelsnosti výnosů*, představuje její základní, nejvíce testovanou a v současnosti z hlediska výsledků nejvíce kontroverzní formu.

**Definice:** Středně silná forma výkonnosti kapitálového trhu platí, jestliže informační množina  $\Phi_t$  obsahuje veškeré současně veřejně dostupné informace, a ty jsou v současných cenách obsaženy.

Přejmenování na *studium událostí* (event studies) v [13] znamenalo pouze změnu názvu, nikoliv obsahu. Tato úroveň odjakživa znamenala zejména testy rychlosti reakce ceny akcií na zveřejnění nových kurzotvorných informací (oznámení dividend, štěpení akcií apod.).

Ačkoliv to tak na první pohled možná nevypadá, skutečně jde o odlišný obsah než u slabé formy. Středně silná forma výkonnosti se totiž zajímá zejména o nejčerstvější, právě vzniklou informaci, kterou slabá forma do svého informačního setu historických dat ještě nezahrnuje.

**Definice:** Silná forma výkonnosti kapitálového trhu platí, jestliže informační množina  $\Phi_t$  obsahuje veškeré relevantní informace a ceny předmětných aktiv je přitom plně reflektují.

Fama později tuto úroveň hypotézy přejmenoval na *testy soukromých informací* (tests for private information), což je opět pouze výstižnější název pro tentýž obsah.

Nejsilnější forma výkonnosti požaduje, aby v cenách aktiv byly zohledněny i informace, které *nejsou veřejné* a může je mít *jediný* účastník trhu. K vyslovení neplatnosti této úrovně postačuje, aby existovala *jediná* osoba, jež si je schopna opatřit informaci, která jí umožní vydělat vyšší očekávaný výnos, než je očekávání „běžného“ obchodníka.

Tato práce se s výjimkou krátkého zamýšlení v kapitole 5 bez interpretace vlastních empirických výsledků zabývá pouze slabou formou výkonnosti kapitálových trhů, a to zejména z následujících dvou důvodů:

Za prvé, data, která zde zpracovávám, jsou získávána výlučně z volně (zdarma) přístupných zdrojů. Z takových zdrojů bývá snadné získat časovou řadu denních hodnot různých akciových indexů a nebývá obtížné získat časovou řadu denních zavíracích cen akcií, mnohdy i spolu s informacemi o výši a datu vyplacených dividend, aktuální tržní kapitalizaci apod., tedy právě obsah  $\Phi_t$  pro slabou formu. Ale je již velký problém zpětně získat souhrnné informace o vyhlášení důležitých cenotvorných informací, jako hospodářského výsledku nebo změny výše dividend, a to včetně jejich obsahu a datování, jak by bylo nezbytné pro korektní testování středně silné formy výkonnosti. Stejně tak je prakticky nemožné získat přesná data pro testy silné formy výkonnosti, tj. údaje o výnosnostech, investiční strategii a skladbě portfolií *burzovních profesionálů* nebo jiných obchodníků, kteří by mohli být považováni za vlastníky dodatečné informace umožňující jim vydělat nadstandardní výnos.

Za druhé, mým předmětem zájmu, jak plyne ze zadání, jsou nejen tzv. *rozvinuté trhy* (zejména USA a Západní Evropa), ale i tzv. *rozvojové trhy* (emerging markets — Východní Evropa, Latinská Amerika či většina Asie). Zatímco z rozvinutých trhů lze získat dlouhou historii velkého množství přesných informací o velkém množství tam obchodovaných akciových titulů nebo i fondů (pro silnou formu výkonnosti) s bohatou historií, na rozvojových trzích je mnohdy pro širokou veřejnost investování do akcií stále ještě dost neznámým a často i nedůvěryhodným nástrojem<sup>3</sup>, nabídka jednotlivých akcií i fondů je limitovaná a historie jejich cen krátká, nepřesná a obtížně dosažitelná. V tomto případě tak dostupná data mnohdy stěží postačují k testování slabé formy výkonnosti a jsou zcela nepoužitelná pro efektivní testování zbylých dvou silnějších úrovní.

---

<sup>3</sup>Speciálně v české kotlině může být pro širokou veřejnost obchodování s akcemi něčím naprosto nepochopitelným a kvůli velmi rozporuplným výsledkům kuponové privatizace, které se jich mnohdy přímo dotkly, i příliš riskantním.

### 3 Cesta k testování výkonnosti trhu

#### 3.1 Modely s nekorelovanými aktivy

Jak již bylo uvedeno v minulé kapitole, hypotéza výkonnosti kapitálového trhu říká, že *cena aktiva reflektuje veškerou dostupnou informaci*, kde význam slova *veškerá* se lisí podle zvolené úrovně. Ale takovéto tvrzení je příliš obecné, než aby bylo přímo statisticky testovatelné. Hypotézu je nejprve třeba formulovat v matematických výrazech, aby bylo možno statistické testy aplikovat.

Mnoho testů je založeno na zkoumání jediného aktiva (a finanční hodnoty) nebo několika aktiv, která se však vzájemně neovlivňují. Tyto testy na jedné straně opomíjejí důležitou interakci daného aktiva se zbytkem trhu anebo s makroekonomickým prostředím determinujícím očekávaný výnos (viz [8]), o samotné hypotéze výkonnosti však říkají více, neboť *nejsou závažně ovlivněna problémem spojených hypotéz* — problémem, že k testování „spravedlivého výnosu“ v modelu s více aktivy vždy navíc potřebuji model tržní rovnováhy.

První testy, které snad v historii byly na chování cen akcií aplikovány, jsou ty, které se zabývají statistickou závislostí jednotlivých následujících výnosů z držení daného aktiva a očekávanou hodnotou těchto výnosů. Tyto testy byly na dostupná data aplikovány dávno před tím, než byla hypotéza výkonnosti formulována.

Uvažujme aktiva  $j = 1, \dots, J$  a definujme vztah mezi cenou a výnosem  $j$ -tého aktiva v diskrétním čase rovnicí

$$\begin{aligned} P_{j,t+1} &= e^{r_{j,t+1}} P_{j,t} \\ r_{j,t+1} &= \log \frac{P_{j,t+1}}{P_{j,t}}, \end{aligned} \tag{2}$$

kde  $P_{j,t}$  značí cenu  $j$ -tého aktiva v čase  $t$ ,  $r_{j,t+1}$  je jeho výnos od času  $t$  do času  $t+1$  a log značí přirozený logaritmus. Možná by někdo mohl namítnout, že vzorec by přirozeněji vypadal ve tvaru

$$\begin{aligned} P_{j,t+1} &= (1 + \bar{r}_{j,t+1}) P_{j,t} \\ \bar{r}_{j,t+1} &= \frac{P_{j,t+1}}{P_{j,t}} - 1, \end{aligned} \tag{3}$$

ale v této práci se raději přidržím logaritmické definice — má to hned několik dobrých důvodů. Předně (2) připouští  $r_t \in \mathbb{R}$ . Stěží lze považovat za rozumné připustit, aby cena akcie mohla být záporná, takže definice (3) klade omezení  $\bar{r}_t \geq -1$ , což vylučuje rozumné užití předpokladu normálního rozdělení pro tuto náhodnou veličinu, stejně tak jako jiných rozdělení s nekonečným nosičem. Dále, takto definovaný výnos se chová vhodně při sčítání (přes čas),

neboť logaritmus součinu se rovná součtu logaritmů, pro výnos aktiva za dvě periody,  $t = 1, 2$ , platí  $r_{02} = \log \frac{P_{j,t+2}}{P_{j,t}} = \log \left( \frac{P_{j,t+2}}{P_{j,t+1}} \frac{P_{j,t+1}}{P_{j,t}} \right) = r_{12} + r_{01}$ , nikoliv  $\bar{r}_{02} = \frac{P_{j,t+2}}{P_{j,t}} - 1 \neq \frac{P_{j,t+1}}{P_{j,t}} + \frac{P_{j,t+2}}{P_{j,t+1}} - 2 = \bar{r}_1 + \bar{r}_2$ . A za třetí, při hlubším zamýšlení zní mnohem více přirozeně říci, že růst ceny akcie na dvonásobek je stejně pozitivním jevem, jako její pád na polovinu negativním — což je logaritmický případ — na rozdíl od lineárního, v jehož případě složením zisku 50% je ztráty 50% pro jednu akci zůstane jen 75% původní peněžní hodnoty majetku...

Pokud jde o krátkodobé (denní, týdenní) akciové výnosy, rozdíl mezi oběma definicemi je téměř zanedbatelný — pro lineární výnos  $+0.1$  ( $-0.1$ ) je odpovídající logaritmický výnos  $0.09531$  ( $-0.10536$ ), přičemž takové změny ceny akcie jsou v denním či kratším horizontu zcela výjimečné. Příliš běžné nejsou ani v horizontu týdenním, alespoň pokud hovoříme o „běžných“ investicích, nikoliv pákových, které umožňují při stejné investici realizovat několikanásobné výnosy — jde např. o opce, futures atp.

Ještě poznámenám, že v případě spojitého času, jímž se však tato práce nezabývá, není definice (2) výrazně komplikovanější než v čase diskrétním, rovnici změny ceny aktiva lze přímočaře přepsat jako

$$P_{t+u} = e^{\int_t^{t+u} r_s ds} P_t, \quad (4)$$

kde  $r_t$  získává význam intenzity úročení v daném časovém okamžiku (derivace výnosu podle času).

Podmíněním druhé z rovnic (2) získáme<sup>4</sup>

$$\mathbb{E}(P_{j,t+1} | \Phi_t) = e^{\mathbb{E}(r_{j,t+1} | \Phi_t)} P_{j,t}, \quad (5)$$

posledním krokem k testovatelné formulaci výkonnosti trhu je definice pozorovaného nadvýnosu  $j$ -tého aktiva

$$x_{j,t+1} = r_{j,t+1} - \mathbb{E}(x_{j,t+1} | \Phi_t). \quad (6)$$

Na výkonnému trhu neexistuje informace (v rámci uvažovaného  $\Phi_t$ ), která by mohla být užita k vydělání nadměrného výnosu, takže musí platit

$$\mathbb{E}(x_{j,t+1} | \Phi_t) = 0. \quad (7)$$

Tento model je znám jako *spravedlivá hra*. Investor získá v průměru stejný výnos prostou koupí aktiva jako koupí až po pečlivém zvážení informace obsažené ve  $\Phi_t$ .

---

<sup>4</sup>Nebudu nikterak odlišovat zápisem náhodné veličiny a jejich pozorované hodnoty. Vždy by mělo být zřejmé, o který případ se v zápisu jedná a tudíž by to nemělo vést k dvojznačnosti.

## Testy náhodné procházky

Speciálním případem spravedlivé hry je mnohem více restriktivní *model náhodné procházky*. Ten prostě předpokládá, že výnosy daného aktiva jsou sériově nezávislé a stejně rozdelené. Jeho platnost je zjevně postačující podmínkou pro planost hypotézy výkonného trhu ve smyslu predikovatelnosti výnosů.

Speciálně, v počátcích testování chování kapitálových trhů se předpokládalo, že denní změny cen jsou normálně rozdelené, a pokud model náhodné procházky platí, toto rozdelení se v čase replikuje. Letmý pohled na data a jejich histogram totiž normální rozdelení připouští. Navíc, již tehdy byla k dispozici pro normální rozdelení řada statistických testů, takže bylo praktické jej předpokládat, protože pro jiná rozdelení takové testy neexistovaly.

## Submartingalový model

Dalším speciálním případem spravedlivé hry je submartingalový model

$$E(r_{j,t+1} | \Phi_t) \geq 0. \quad (8)$$

Podmíněno informační množinou  $\Phi_t$  je očekávaný výnos  $r_{j,t+1}$  nezáporný — tvoří submartingal. Pokud vztah (8) platí jako rovnost, je posloupnost výnosů *martingal*.

Kdyby bylo na trhu dostupné jediné aktivum, je zřejmé, že za platnosti submartingalového modelu by obchodní strategie založená na  $\Phi_t$  nikdy nemohla při stejném riziku výkonností překonat *kup a drž*, jehož výnos podmíněný  $\Phi_t$  je nezáporný a žádná dodatečná informace, která by umožnila vydělat více, neexistuje. Navíc, kup a drž není nikdy horší strategií než neinvestování — držení hotovosti ji může v reálu překonat pouze „pokud se situace vyvine nadprůměrně špatně“.

## 3.2 Modely s více aktivy a jejich vzájemnou korelací

Dosud jsem sice hovořil o více aktivech ( $j = 1, \dots, J$ ), ale výše popsané modely si plně vystačí s jediným (a hotovostí jako jeho doplňkem) — pokud jich je více, není uvažován žádný vzájemný vztah a mohou být posuzována jednotlivě.

Potenciální investor se však jistě bude zajímat o to, zda dvě nebo více aktiv je oceněno korektně ve vzájemném srovnání. Tato otázka vede k potřebě rovnovážného oceňovacího modelu, což je problém dalece přesahující hypotézu výkonnosti. A stejně jako ekonomové nejsou zajedno, zda je trh

výkonný, nejsou zajedno, který rovnovážný oceňovací model je korektní nebo dokonce nejlepší.

Protože testování výkonnéosti za komplexního působení externích faktorů na ceny aktiv a současného vzájemného působení těchto aktiv se bez takového modelu neobejde, padá testování po hlavě do *problému spojených hypotéz*, nastíněného již na začátku kapitoly. Tato překážka stojí v cestě již od samého počátku historie zkoumání výkonnéosti a mohlo by se zdát, že ji celou zamlžuje natolik, že není dále zajímavé se jí zabývat. Ale jak píše Fama [13] (strana 1576):

Činí fakt, že výkonnost trhu musí být testována spolu s rovnovážným oceňovacím modelem, empirický výzkum výkonnéosti nezajímavý? Činí problém spojených hypotéz empirickou práci s modely oceňování aktiv nezajímavou? Jde koneckonců o symetrické otázky se stejnou odpověďí. Moje odpověď je nepochybně ne. Empirická literatura o výkonnéosti a oceňování aktiv úspěšně překonává zásadní otázku vědecké užitečnosti. Změnila náš náhled na chování výnosů napříč aktivy a časem. Akademici svorně souhlasí s fakty zjištěnými při testech, jakkoliv nemusí souhlasit s jejich důsledky pro hypotézu výkonnéosti. Empirická práce na výkonnéosti a oceňovacích modelech rovněž změnila názory a praktiky burzovních profesionálů.

Většina modelů, které uvažují vzájemnou korelaci jednotlivých aktiv a trhu jako celku, skládá jejich výnos ze dvou složek: bezrizikové výnosové míry, která je stejná pro všechna aktiva na trhu a která má význam zhodnocení, jež investoři požadují jako odměnu za poskytnutí svých peněz (včetně pokrytí inflace atp.), a dále z odměny za riziko spojené s držbou konkrétního aktiva — panuje totiž obecné přesvědčení, že čím rizikovější aktivum z hlediska svého budoucího výnosu je, tím vyšší očekávaný výnos by mělo přinést<sup>5</sup>, a rovněž že stejně riziková aktiva by měla nést stejný očekávaný výnos. Jednotlivé modely oceňování aktiv se pak liší zejména v tom, co je za míru rizika považováno.

Jelikož vzájemným působením aktiv ani tvorbou ceny na základě exogenních faktorů se tato práce nezabývá, zmíňuji zde jen nejzákladnější z těchto modelů. Ačkoliv zjevně trpí mnoha nedostatky, je v praxi stále hojně využívaný. Jde o model *Sharpe-Lintnerův*. Fama [12] jej na straně 402 zapisuje

---

<sup>5</sup>Je přitom nutno poznamenat, že *rizikem* se zde nemyslí zdaleka pouze riziko bankrotu dlužníka a nesplacení závazku, ale rovněž riziko přechodného poklesu tržní ceny aktiva, jeho likvidity, termínů výplat atp.

v následujícím tvaru:

$$E(r_{j,t+1}|\Phi_t) = r_{f,t+1} + \left[ \frac{E(r_{m,t+1}|\Phi_t) - r_{f,t+1}}{\sigma(r_{m,t+1}|\Phi_t)} \right] \frac{\text{cov}(r_{j,t+1}, r_{m,t+1}|\Phi_t)}{\sigma(r_{m,t+1}|\Phi_t)}, \quad (9)$$

kde

- $r_{f,t+1}$  je bezrizikový výnos v období od  $t$  do  $t+1$ ,
- $r_{m,t+1}$  je výnos tržního portfolia (akciového indexu),
- $\text{cov}(r_{j,t+1}, r_{m,t+1}|\Phi_t)$  je podmíněná kovariance  $j$ -tého aktiva s výnosem tržního portfolia,
- $\sigma^2(r_{m,t+1}|\Phi_t)$  je podmíněný rozptyl výnosu  $j$ -tého aktiva.

První zlomek druhého sčítance je shodný pro všechna aktiva obchodovaná na daném trhu a je interpretován jako *tržní cena rizika*, zatímco druhý zlomek je pro každé aktivum (společnost emitující danou akci) individuální a vyjadřuje jeho expozici vůči tržnímu riziku.

Přepsáním (9) získáme dobře známou rovnici *přímký kapitálového trhu*:

$$\begin{aligned} E(r_{j,t+1}|\Phi_t) &= [E(r_{m,t+1}|\Phi_t) - r_{f,t+1}] \frac{\text{cov}(r_{j,t+1}, r_{m,t+1}|\Phi_t)}{\sigma^2(r_{m,t+1}|\Phi_t)} = \\ &= [E(r_{m,t+1}|\Phi_t) - r_{f,t+1}] \beta_j, \end{aligned} \quad (10)$$

kde  $\beta_j$  je *tržní beta*  $j$ -té akcie vyjadřující, kolikanásobek  $r_{m,t+1} - r_{f,t+1}$  ve střední hodnotě vynese, a implicitně obsahuje její tržní riziko, zejména ve formě volatility tržní ceny.

## 4 Přehled vybrané dosavadní práce

### 4.1 Začátky — do roku 1969

Pochopitelně nelze určit přesný okamžik v minulosti a říci „zde začíná výzkum výkonnosti kapitálového trhu a předtím nebylo vykonáno nic, co by s ním mohlo být jakkoliv spojeno“. Principy a definice této teorie byly po prvé postulovány Eugenem F. Famou v polovině 60. let 20. století v jeho doktorandské práci [11]. Pět let poté, v roce 1969, sepsal tehdejší dostupné výsledky týkající se hypotézy ve svém prvním souhrnu — *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work* [12]. Logicky se nezaměřuje pouze na práce se slovy *výkonnost kapitálového trhu* v abstraktu, ale obecně na dosavadní výzkum chování cen akcií na burze.

První vlaštovkou v této oblasti byl Bachelier [1] na přelomu 19. a 20. století. Tvrdil, že *spekulace by měla být spravedlivou hrou* — očekávaný nadvýnos spekulantů by měl být nulový, a jako první testoval model náhodné procházky.

Dlouho však zůstal bez výrazných následníků, ti přišli až v 50. letech 20. století, kdy nástup výpočetní techniky velmi zjednodušil analýzu časových řad, čehož se pochopitelně mnoho statistiků a ekonomů chopilo. Tehdy šlo zejména o zkoumání denních výnosů, jejich vzájemné závislosti a snahu o hledání pravděpodobnostního rozdělení, jímž by se řídily, přičemž se očekávala platnost hypotézy náhodné procházky.

Např. Kendall [20] (převzato [12]), který v roce 1953 studoval týdenní změny 19 britských průmyslových akciových titulů a ceny bavlny, pozorováním „zcela jednoznačně vypadajících“ grafů dospěl k závěru, že:

Časová řada vypadá jako náhodně putující, jakoby každý týden Démon náhody vylosoval náhodné číslo z pevného symetrického rozdělení a přičetl jej k dosavadní ceně, a tím stanovil cenu pro příští týden.

Exaktní matematické zkoumání bylo tehdy ještě dost opomíjeno.

Mnoho autorů si tehdy v počátcích pomáhalo zjednodušováním předpokladů do podoby, která mohla být sotva považována za konzistentní s reálným trhem: např. Osborne [23] odvodil tržní podmínky, které by vedly k chování cen aktiv dle náhodné procházky, z předpokladu, že rozhodnutí investorů jsou nezávislá transakci od transakce, což je velmi silný požadavek, který zjevně nemůže být pravdivý ani s akceptováním drobné odchylky od něj.

## 4.2 Fama 1970

Na konci 60. let však již řada autorů místo *silně intuitivních* výsledků podložených pouze pozorováním grafů prezentovala i výsledky plynoucí z exaktních statistických studií.

Již ve své dizertaci Fama [11] prezentuje své výpočty sériové korelace výnosů 30 velkých amerických akcií<sup>6</sup>. Zveřejněné výsledky vcelku dobře podporují hypotézu sériové nezávislosti, což slabou formu výkonnosti podporuje, ačkoliv striktně statisticky vzato, nulová hypotéza nulové autokorelace by byla zamítнутa: v případě denních výnosů přesahuje výběrová první autokorelace dvojnásobek své odhadnuté směrodatné odchyly pro 11 ze 30 sledovaných titulů, ve 22 případech je kladná. Pro autokorelace vyšších řádů jsou výsledky méně průkazné, stále však vykazují časté a opakující se odlišnosti od nulové střední hodnoty a symetrického rozdělení autokovariancí.

Výkonnost trhu Fama přes nález těchto protiargumentů hájí tím, že pro její platnost není zcela nutné, aby autokorelace byly *přesně* nulové. Stačí, když nedovolí vybudovat nadvýnosný obchodní systém. A to koeficienty ve výši 0.06, což přibližně byla hranice statistické významnosti pro první autokorelace, zjevně nedovolují. I nejvyšší pozorovaná hodnota (v absolutní hodnotě) byla jen 0.123.

Odhadování přesně matematicky definovaných parametrů časové řady o ní sice dává dobrou představu, ale interpretace výsledků je silně zamlžena nejistotou, jaká výše autokorelace je ještě konzistentní s praktickou hypotézou výkonnosti trhu. Bylo tedy třeba přejít od odhadů bez přímého praktického významu k testům konkrétních obchodních algoritmů, které porušení náhodné procházky nějak využívají, a dokázat, zda tyto algoritmy jsou schopny generovat nadvýnos. Přesně tento postup jsem ostatně byl nucen použít i já v praktické části práce, tj. v kapitole 8.

Řada autorů se zaměřila na pravidla zvaná *y%-filtry*. Takové pravidlo pro zafixované  $y$  říká: pokud cena aktiva vzrostla alespoň o  $y\%$  od svého posledního minima, kup aktivum a drž ho, dokud cena neklesne alespoň o  $y\%$  z posledního maxima. Tehdy jej prodej a navíc prodej na krátko<sup>7</sup>. A tak pořád dokola. Menší než  $y\%-ní$  výkyvy ceny jsou označeny za šumy a ignorovány.

---

<sup>6</sup>Volil právě akcie, které tehdy tvořily index DJIA — Dow Jones Industrial Average stock index. Jde o vážený průměr cen 30 velkých amerických společností, počítaný již od roku 1896. Složení je průběžně obměňováno. Na straně jedné jde snad o nejpopulárnější světový akciový index, na straně druhé profesionály je značně neobliben, zejména kvůli své úzkosti a velmi problematické (nelogické) metodice výpočtu.

<sup>7</sup>Terminologická poznámka: *prodejem aktiva na krátko* zde rozumím ekvivalent anglického *short sell*, neboli vytvoření záporné pozice — zpravidla formou zapůjčení daného aktiva ve výře, že ho v budoucnu budu moci koupit a vrátit za nižší cenu a vydělám tak na poklesu ceny. Český překlad termínu *short sell* není jednotný, používá se např. i „krátký“

Takové obchodovací algoritmy souvisí s testováním (sub)martingalového modelu (8). Pro malá  $y$  (do 1.5) jej zpravidla zamítají, neboť se zdá, že jsou schopny strategii kup a drž porazit. Ale autoři prezentující takové výsledky jedním dechem dodávají, že na reálném trhu tato pravidla nejspíš výdělečná nejsou — jejich úspěch je totiž způsoben generováním obrovského množství transakcí, z nichž každá v průměru nese malý zisk. Jenže každý, kdo na trhu obchoduje, včetně členů burzy<sup>8</sup>, musí za své obchody platit poplatky minimálně burze a provozovateli vypořádacího systému, a i minimální poplatky ve výši 0.1% obchodníkova obratu postačují ke kompletní likvidaci nadvýnosu tenkým filtrem (malé  $y$ ) vydělaného.

Výdělečnost těchto pravidel za předpokladu nulových poplatků je konzistentní s pozorovanou mírnou kladnou autokorelací denních akciových výnosů — tenké filtry zpravidla otvírají a zavírají pozice v horizontu několika hodin až dní, tedy právě v horizontu přetrvalání pozorované statisticky významné a kladné autokorelace.

Spekulant na trhu však má vždy více než *jedinou* možnost, do níž může investovat své peníze. Kromě testů modelů *jedno aktivum a hotovost* je tedy třeba zmínit se i o systémech s více ovlivňujícími se aktivity. To v 60. letech 20. stol. byla novinka, prakticky jediný dobře popsaný model byl Sharpe–Lintnerův (9). Fama reinterpretací cizích výsledků konstatuje, že „ačkoliv změny cen akcií se jeví být sériově nekorelované, přitomna je silná křížová korelace *současných* výnosů různých akcií“ a „v průměru zhruba 50% rozptylu výnosu jednotlivé akcie může být přičteno obecnému tržnímu faktoru“.

Interpretace tohoto výsledku je snadná a přímočará: současné výnosy různých akcií nejsou nezávislé, existují síly, které současně podstatně ovlivňují akcie všech firem obchodovaných na burze. To je pochopitelné, naopak, bylo by velmi překvapující, kdyby globální faktory, jako např. změna užívané diskontní míry, válka atd. nezměnily dramaticky ocenění všech akcií, a to zpravidla stejným směrem. Malá část volatility ceny jednotlivé akcie může dále být vysvětlena odvětvovým faktorem. Zbytek je pak výsledkem faktorů specifických pro danou firmu. Avšak toto zjištění nikterak *nepomáhá predikci* budoucích výsledků — akcie jsou *současně* korelované, ale korelace výnosu dané akcie v čase  $t$  s výnosem v jiném čase  $s$ , jak svým, tak jiné akcie, je zanedbatelná, při obchodování nevyužitelná.

Jakmile se Fama [12] dotýká testů **středně silné formy hypotézy výkonnosti**, která se zabývá rychlostí přizpůsobování tržních cen novým

---

prodej“ či „prázdný prodej“, profesionálové ve svém slangu zpravidla prostě používají výraz „shortnout“. *Krátkou pozici* je obecně myšleno vlastnictví záporného množství.

<sup>8</sup>Členy burzy je jen malé množství silně regulovaných subjektů — na pražské burze jich je v současnosti jen 21. Většina zájemců o burzovní obchod, zejména drobných soukromých investorů, se jej musí účastnit jejich prostřednictvím.

kurzotvorným informacím, ihned konstatuje první problém, který výsledky poněkud zamlžuje: nikdy není testována reakce na *veškeré nové* informace. Naopak, každý jednotlivý test se zaměřuje na jeden typ události, přičemž zastáncům středně silné výkonnosti nezbývá, než doufat, že se postupně nahromadí dostatek důkazů pro velké množství různých takových událostí, což umožní hypotézu prohlásit za platnou.

Právě takto Fama sumarizuje tehdejší dostupné výsledky a konstatuje, že téměř všechny středně silnou formu výkonnosti podporují, ale jsou limitovány na několik málo důležitých typů kurzotvorné informace.

Jedním z nich je oznámení **štěpení akcií**, jakkoliv to tak na první pohled vůbec nevypadá. Štěpení akcií totiž slouží „pouze“ ke zvýšení počtu kusů akcií v oběhu a současnemu snížení jednotkové ceny, bez změny celkové tržní kapitalizace. Fama, Fisher, Jensen a Roll (FFJR) [10] mu však přisuzují hlubší význam, což se snaží doložit chováním výnosu akcie v období kolem jejího štěpení. Spolehají přitom na mírně pozměněný model (10)

$$r_{j,t+1} = \alpha_j + \beta_j r_{M,t+1} + u_{j,t+1}, \quad (11)$$

kde  $u_{j,t+1}$  značí náhodnou odchylku regresního modelu od očekávané hodnoty.

Sledují chování pozorovaných reziduí měsíčních výnosů, která sčítají do kumulovaných reziduí  $\hat{U}_m = \sum_{k=-29}^m \sum_{j=1}^N \frac{\hat{u}_{j,k}}{N}$  (kde  $N$  je počet akcií a 29 měsíců před štěpením jako počátek pozorování je kompromisní volba mezi hrozbou zanedbání starších významných pozorování nebo naopak zahrnutí velkého množství zbytečných hodnot) a dosahují zdánlivě velmi přesvědčivých výsledků: při  $N =$  téměř 1000 akcií na NYSE<sup>9</sup> shledávají posloupnost kumulovaných reziduí monotónně a zřetelně rostoucí od cca. 1.5 roku před štěpením po jeho realizaci.

Ale protože štěpení je zpravidla oznamováno nejvýše čtyři měsíce předem, FFJR konstatují, že mimořádná výkonnost akcie více než půl roku před jeho realizací není *následkem*, nýbrž *příčinou* — společnosti mají tendenci provádět štěpení v nadprůměrně dobrých časech, poté, co cena jejich akcie vzrostla více, než by odpovídalo její korelace s průměrem trhu.

Po provedení štěpení kumulovaná rezidua setrvávají přibližně na hodnotě dosažené před štěpením, bez ohledu na zjištění, že růst dividendového výnos akcií v roce po štěpení je v průměru vyšší než průměr trhu — FFJR to objasňují to domněnkou, že trh považuje oznamení o štěpení za signál společnosti, že je připravena udržovat dividendy na nadprůměrné úrovni, což okamžitě způsobuje růst cen dotyčných akcií. Potvrzují to separátní analýzou akcií, jejichž dividendy po štěpení skutečně rosty více než byl průměr trhu, a těch, které za očekáváním zaostaly. Zatímco kumulované reziduum první

---

<sup>9</sup>New York Stock Exchange, nejvýznamnější světová burza, známá jako Wall Street.

skupiny pokračuje v růstu ještě několik měsíců po realizaci štěpení, i když již velmi mírném, kumulované reziduum druhé skupiny klesá, neboť očekávání lepších časů se nenaplnilo, rezidua přibližně během jednoho roku po štěpení padají na úroveň, kde byla v době, kdy bývá štěpení oznameno.

Jakkoliv silný důkaz platnosti středně silné formy výkonnosti je zde přeložen, Fama [12] neopomíjí poznamenat, že tato zjištění nepoškozuje její *slabou formu*. *Průměrná* rezidua se totiž nechovají stejně, jako rezidua jednotlivých akcií: reziduum jednotlivé akcie vykazuje po většinu času nulovou střední hodnotu, jen v několika málo měsících je velké a kladné. Stále zůstává sériově nekorelované. Různé akcie mají svá rezidua velká a kladná v různých měsících, následkem čehož je průměrné reziduum kladné soustavně. Spekulant nemůže předem identifikovat dobré měsíce konkrétní akcie a v čas si ji nakoupit. A jelikož kumulativní reziduum *všech akcií* zůstává po štěpení zhruba konstantní, nemůže ani určit, zda zrovna jeho investice se zařadí mezi vítěze či poražené, dokud nebude nová výše dividendy oznamena a cenou okamžitě absorbována. Shrnutu,

trh činí nestranné předpovědi důsledků štěpení na budoucí dividendy a tyto předpovědi jsou plně reflektovány v ceně akcie před koncem měsíce realizace štěpení.

Fama ještě cituje práci Balla a Browna [2], kteří velmi podobným způsobem testovali reakci cen na **ohlášení výsledků hospodaření**, přičemž došli k velice podobnému výsledku, a nakonec Scholese [25], jenž se zaměřil na **velké sekundární nabídky akcií**, což jsou objemné prodeje již dříve upsaných a vydaných akcií. Shledal jejich omezený negativní vliv — říká, že takováto nabídka je pro kurz akcie špatným signálem, neboť když se někdo snaží prodat významný objem akcií nějaké firmy, vždy existuje riziko, že jde o osobu disponující vnitřní (neveřejnou) informací, která může cenu významně negativně ovlivnit v okamžiku, kdy se stane veřejně známou. Ještě silnější tento efekt je, pokud je nabídka učiněna vysoce postavenou osobou z *vnitřku* dotčené společnosti (je-li její identita známa), protože pak je předpoklad vlastnictví neveřejné informace prakticky jistý, i když nemusí být přímým motivem prodeje.

Poslední část [12] je věnována testům *silné formy výkonnosti trhu*. Zamýšlením nad burzovními specialisty kontrolujícími objednávkové knihy je konstatováno zjevné porušení hypotézy, naopak výsledky podílových fondů jsou s ní v souladu:

Specialista na burze je osoba, která vede knihu obsahující prodejní a nákupní příkazy týkající se jedné konkrétní akcie a páruje je. Na žádost ostatních obchodníků podává informace o několika aktuálně nejlepších nabídkách a poptávkách (tzv. *hloubka trhu*), ze zákona mu však je zakázáno zveřejnit

celý obsah knihy. Sám ho ale zná a nikoho nepřekvapí, že na jeho základě je schopen následující pohyb ceny odhadovat a využívat ke svým nadstandardním ziskům. Niederhoffer a Osborne [22] prezentují výsledky týkající se obchodů těchto specialistů a skutečně konstatují, že využívají svůj výlučný přístup k informaci a nadstandardní zisky dosahují. Jakkoliv je to silný důkaz *proti* silné formě výkonnosti, autoři tvrdí, že částky specialisty takto vydělané nejsou nikterak závratné — oni je ostatně ani nepotřebují, jelikož jsou velmi dobře placeni z poplatků od ostatních obchodníků. Porušení silné formy výkonnosti je tak pouze marginální.

V dnešní době tento fakt, který Fama označoval za jeden z mála skutečně významných důkazů svědčících proti výkonnosti trhu, již není relevantní. Jak sám na konci 60. let předpověděl, roli specialistů plně převzaly automatizované, počítací řízené obchodní systémy.

Druhou skupinou účastníků trhu, důvodně podezřelých z vlastnictví do-dodatečné informace více než kdo jiný, jsou správci podílových a investičních fondů. Kdo jiný by měl být dobré informován než profesionálové, kteří tráví mnoho hodin denně přímo na burze nebo analýzou potenciálních investic, často s podporou početného týmu profesionálních analytiků? Přitom výkonost jimi spravovaných fondů je pravidelně zveřejňována, na rozdíl např. od portfolio manažerů obhospodařujících majetek institucionálních investorů, kteří nejsou povinni svoji úspěšnost rozhlašovat do světa.

Vyvstávají dvě základní otázky: mají tito lidé takové informace, aby byli schopni vydělat alespoň také nad průměr trhu, aby pokryli poplatky, které svým klientům účtuje? A jsou některé fondy v získávání nebo využívání takové informace lepší než jiné? Navíc, kladná odpověď na první otázku vyvolává další, a sice zda správci fondů jsou jen schopni lépe využívat stejné zprávy, jaké mají i všichni ostatní, nebo mají výsostný přístup ke zprávám navíc?

Fama [12] cituje práce Jensen [18, 19], který vyhodnotil výkonnost 115 amerických investičních fondů mezi lety 1955 a 1964 ve srovnání s indexem Standard and Poor's 500<sup>10</sup> s následujícími závěry:

---

<sup>10</sup>Spolu s DJIA jde o druhý hojně sledovaný index amerického akciového trhu. Zatímco DJIA sestává pouze z největších společností, přičemž metodika jeho výpočtu je profesionály velmi často zpochybňována, S&P 500 je mnohem širší index zahrnující téměř všechny významné akcie na NYSE a odborníky je uznávaný jako skutečný etalon zdraví trhu a americké ekonomiky vůbec. Mnoho správců portfolií ho používá jako referenční portfolio, jež se snaží překonávat, nebo naopak prostým kopírováním složení S&P 500 stavují pasivní fondy nabízející podílníkům výkonnost kopírující trh při malých nákladech na analytiky a aktivní správu portfolia. S&P 500 je vážen tržní kapitalizací, tj. skutečnou hodnotou firmy počítanou jako počet vydaných akcií krát jejich jednotková cena.

- Fondy *nedokáží* překonat trh natolik, aby vydělaly svým klientům zpět vstupní, správní a další poplatky — 89 ze 115 fondů vykázalo horší čistou výkonnost než S&P 500, a to v průměru o 1.5% ročně.
- Vyloučení vstupních poplatků (jsou příjmem prodejce, nikoliv fondu) tento závěr výrazně nezlepšuje: 72 z fondů za tržním indexem stále zaostává, průměrný roční podvýnos oproti němu je 0.9%.
- Ani když jsou zpět k výkonnosti fondu přičteny *veškeré* zveřejňované poplatky, takže otázka prostě zní, zda jejich správci jsou schopni vybírat akcie lépe než náhodně nebo kopírováním indexu, odpověď stále není kladná: polovina fondů za indexem zaostává, průměrně o 0.25% ročně.

Ačkoliv jsou správci fondů v oblasti kapitálových trhů velmi nadstandardně vzdělaní a denně na nich pracují, přesto nejsou v průměru schopni dosahovat lepších výsledků než referenční portfolio, což je jednoznačná podpora silné formy výkonnosti trhu, i když byla testována z jediného úhlu pohledu. Nutno dodat, že sledované desetileté období je krajně nedostatečné pro posouzení, zda nejlepší fondy své postavení nabyla náhodou nebo nadprůměrnou kvalitou managementu.

Fama [12] tak pro svou vlastní, čerstvě formulovanou hypotézu, nalézá prakticky pouze podporu. Když už naráží na nějaký fakt svědčící spíše proti, zejména její slabé formě, zpravidla jej označuje za *zajímavou otázku* týkající se tvorby ceny, tržních mechanismů nebo vzorců chování obchodníků. V žádném z nich ale neshledává náznak, že by na něm bylo možné založit abnormálně a setrvale výdělečný obchodní algoritmus. Pokud jde o výsledky týkající se středně silné a silné formy výkonnosti, kromě výlučného přístupu specialistů ke knihám nerealizovaných pokynů nenachází žádné porušení. Dostupných studií těchto dvou úrovní nicméně tehdy existovalo velmi málo a nešly tak označit za důkaz teorie, pouze za podporu pro ni.

### 4.3 Vývoj představy o pravděpodobnostním rozdělení akciových výnosů

Zde činím malou odbočku a zmiňuji se pár odstavci o tom, jak se vyvíjely představy ekonomů a tržních profesionálů o pravděpodobnostním rozdělení denních výnosů akcií (i ostatních aktiv, zejména dluhopisů a komodit). Pro testování výkonnosti trhu je to totiž otázka poměrně důležitá ovlivňující jak použité statistické prostředky, tak interpretaci výsledků.

Dlouhou dobu bylo denním změnám tržních cen přisuzováno normální nebo lognormální rozdělení (jejichž rozdíl v relevantních studiích není příliš významný, viz pohled na rozdíl mezi lineární (3) a logaritmickou (2) definicí

výnosu v podkapitole 3.1). Ale již od 50. let 20. století byly pozorovány těžké chvosty — výrazně častější výskyt velkých hodnot (kladných i záporných), než by normálnímu rozdělení odpovídalo. Mnoho statistiků, včetně Famy, ve snaze najít lepší model reality, došlo ke třídě *stabilních rozdělení*, která jsou podobného tvaru jako normální (to je ostatně jejich speciálním případem), ale mají požadované těžké chvosty.

Ekonomové nicméně toto „vylepšení“ nechtěli přijmout, zejména protože pro normální rozdělení měli k dispozici velké množství statistických testů, a naopak pro obecné stabilní rozdělení neměli (skoro) žádné. Navrhovali tak raději approximaci akciových výnosů směsí (součtem) normálně rozdělených náhodných veličin s různými rozptyly. To nakonec ve druhé polovině 80. let vedlo k široce přijatým modelům podmíněné heteroskedasticity ARCH a GARCH, o nichž se zmiňuji dále v kapitole 8.1.

Nešlo jen o těžké chvosty, ale i o zjevnou neplatnost předpokladu, že výnosy jsou (v čase) stejně rozdělené. Při zakreslení jejich dostatečně dlouhé časové řady do grafu si nelze nevšimnout, že „velmi velké“ výnosy se v čase nevyskytují osamoceně a zcela náhodně, jak by náhodná procházka předepisovala, ale mají tendenci vyskytovat se pospolu. Jejich znaménka nicméně zůstávají zdánlivě náhodná, stejně jako jindy. Fama [11] o tomto jevu říká:

Velké denní změny se zdají být následovány velkými denními změnami. Znaménka po sobě jdoucích pozorování jsou nicméně zjevně náhodná, což značí jasné odmítnutí modelu náhodné procházky, ne však hypotézy výkonnosti trhu.

Při zamýšlení pak dochází k závěru, že podle hypotézy výkonnosti, když k obchodníkům dorazí nová významná kurzotvorná informace, ceny se jí musí přizpůsobit. To vysvětluje první velký pohyb následující po řadě malých. Ale obchodníci si zpravidla nejsou jisti *přesným* vlivem nové informace na cenu — někdy jej odhadnou větší, někdy menší, a v dalších hodinách či dnech cena hledá skutečnou správnou novou úroveň. To vysvětluje následující řadu relativně velkých pohybů. Pokud rychle nedorazí další významná informace, volatilita ceny se postupně sníží zpět ke „klidovým“ hodnotám. Tyto denní změny jsou náhodné ve znaménku, Fama tak konstatuje, že v takovém chování *není obsažen žádný důkaz, že první reakce (velká změna ceny) není nevychyřená*, a tedy ani žádný důkaz proti platnosti hypotézy výkonnosti.

Příklad jasně vystihující popsané chování cen akcií, přesněji akciových indexů, je obsažen v tabulce 1. Je v ní ukázáno chování pěti akciových indexů během čtyř týdnů kolem 27. února 2007, kdy po dlouhém období klidného celosvětového růstu čínský trh za jediný den propadl téměř o 10% prostě kvůli obavám investorů o další růst. Jde o indexy trhů rozvinutých — amerického (DJIA) a britského (FTSE) — i rozvojových — čínského (SSE), brazilského

(BVSP) a českého (PX). Pro každý index a den je obsažena zavírací hodnota a mezdenní změna, „—“ v některých polích tabulky značí, že příslušná burza byla kvůli státnímu svátku zavřena.

Poslední dva řádky tabulky obsahují výběrové směrodatné odchylky denních výnosů,  $std_1$  za dva týdny před 27. únorem, a  $std_2$  za dva týdny poté. V tomto druhém období jsou směrodatné odchylky dvojnásobně větší než předtím, z 11 denních změn od 27. února dále je vždy 3 až 7 v absolutní hodnotě větších, než maximum (v absolutní hodnotě) před ním. Maximum v první části a všechny hodnoty je přesahující v části druhé jsou vyznačeny tučně. Tabulka obsahuje velmi silný důkaz heteroskedastického chování akciových výnosů v čase.

datum	DJIA		FTSE		SSE		PX		BVSP	
	val	ret	val	ret	val	ret	val	ret	val	ret
12.2.	12552.56	-0.22	6353.5	-0.46	178.67	1.82	1679.9	-0.29	43935	-0.79
13.2.	12654.85	<b>0.81</b>	6381.8	0.44	180.23	0.87	1694.3	0.84	45197	<b>2.83</b>
14.2.	12741.86	0.69	6421.2	0.62	184.22	<b>2.19</b>	1708.9	0.86	45996	1.75
15.2.	12765.01	0.18	6433.3	0.19	188.08	2.07	1703.2	-0.33	45955	-0.09
16.2.	12767.57	0.02	6419.5	-0.21	187.59	-0.26	1701.3	-0.11	45849	-0.23
19.2.	—	—	6444.4	0.39	—	—	1706.9	0.33	—	—
20.2.	12786.64	0.15	6412.3	-0.50	—	—	1686.6	<b>-1.20</b>	—	—
21.2.	12782.87	-0.03	6357.1	<b>-0.86</b>	—	—	1672.2	-0.86	46090	0.52
22.2.	12686.02	-0.76	6380.9	0.37	—	—	1686.0	0.82	46452	0.78
23.2.	12647.48	-0.30	6401.5	0.32	—	—	1704.8	1.11	46016	-0.94
26.2.	12632.26	-0.12	6434.7	0.52	188.91	0.70	1706.2	0.08	46207	0.41
27.2.	12216.24	<b>-3.35</b>	6286.1	<b>-2.34</b>	173.27	<b>-8.64</b>	1635.8	<b>-4.21</b>	43145	<b>-6.86</b>
28.2.	12268.63	0.43	6171.5	<b>-1.84</b>	178.34	<b>2.88</b>	1628.0	-0.48	43892	1.72
31.3.	12234.34	-0.28	6116.0	<b>-0.90</b>	172.32	<b>-3.43</b>	1593.6	<b>-2.14</b>	43517	-0.86
2.3.	12114.10	<b>-0.99</b>	6116.2	0.00	173.40	0.62	1613.0	<b>1.21</b>	42370	-2.67
5.3.	12050.41	-0.53	6058.7	<b>-0.94</b>	161.44	<b>-7.15</b>	1595.7	-1.08	41179	<b>-2.85</b>
6.3.	12207.59	<b>1.30</b>	6138.5	<b>1.31</b>	163.17	1.07	1629.1	<b>2.07</b>	43218	<b>4.83</b>
7.3.	12192.45	-0.12	6156.5	0.29	170.70	<b>4.51</b>	1626.9	-0.14	42667	-1.28
8.3.	12260.70	0.56	6227.7	<b>1.15</b>	172.07	0.80	1667.6	<b>2.47</b>	43466	1.86
9.3.	12276.32	0.13	6245.2	0.28	169.74	-1.36	1674.7	0.43	44133	1.52
12.3.	12318.63	0.34	6233.3	-0.19	172.28	1.49	1662.6	-0.73	44249	0.26
13.3.	12075.96	<b>-1.99</b>	6161.2	<b>-1.16</b>	173.03	0.43	1661.8	-0.05	42749	<b>-3.45</b>
14.3.	12133.40	0.47	6000.7	<b>-2.64</b>	169.87	-1.84	1628.4	<b>-2.03</b>	43288	1.25
$std_1$		0.44		0.47		0.88		0.72		1.14
$std_2$		0.84		1.16		3.03		1.43		2.40

Tabulka 1: Evidentně heteroskedastické (různorozptylové) chování akciových indexů přibližně dva týdny před a dva týdny po korekci vyprovokované prostě nejistotou investorů ohledně dalšího růstu

#### 4.4 Bouřlivý vývoj v 70. a 80. létech

Nyní se letmo podívejme na vývoj výzkumu akciových výnosů během dvaceti let po Famově definici výkonného trhu. Ten byl podnícen jak bouřlivým

rozvojem výpočetní techniky, tak přímo Famovou hypotézou. Dovoluji si zde zmínit trojici prací, všechny z konce 80. let.

### **Makroekonomické veličiny ovlivňující cenu akcií**

Mnoho autorů se zaměřilo na konstrukci multifaktorových modelů tržní rovnováhy, tedy hledání faktorů, které determinují cenu a výnos akcií. Chen, Roll a Ross (ChRR) [8] se zaměřili na makroekonomické veličiny a jejich změny z pohledu, zda jsou jakožto rizikové faktory trhem oceňovány<sup>11</sup>.

S ohledem na hojně akceptovaný dividendový diskontní model (1) očekávají, že veličinami ovlivňujícími ceny akcií jsou právě ty, které ovlivňují očekávané dividendy a/nebo očekávanou diskontní míru. Přitom pokud předpokládáme platnost hypotézy výkonnosti trhu, měly by nepredikovatelnou informací způsobující změny cen akcií být nepředpokládané změny těchto veličin.

Autoři vybrali a testovali následující faktory jako ty, jejichž změny jsou z přímého ovlivňování cen podezřelé: bezrizikovou výnosovou míru; kreditní spread spekulativních dluhopisů<sup>12</sup> jako prémii za riziko; mezní užitek reálného bohatství, měřený skutečnou spotřebou, jako faktor poptávky; inflaci, ovlivňující jak budoucí nominální dividendu, tak požadovaný výnos; očekávanou úroveň výroby a míru produkční aktivity, neboť riziková prémie dluhopisů neobsahuje nejistotu výroby; časový spread<sup>13</sup>; cenu ropy.

Vytvořili regresní model závislosti akciového výnosu na těchto proměnných (kromě ceny ropy), považovaných zde za exogenní, a následně užitím výnosů dvaceti akciových portfolií jako realizací závisle proměnné odhadli jeho parametry.

Za celé zmíněné období se jim jako statisticky významné faktory jevily růst průmyslové výroby, neočekávaná inflace a kreditní spread, zatímco časový spread pouze nevýznamně a očekávaná inflace vůbec. Pro různá zkoumaná podobdobí se výsledky více či méně liší v závislosti na celkovém stavu ekonomiky v daném období. Např. oba inflační faktory se jevily vysoce významné v letech kolem ropného šoku v roce 1973, ale jindy ne.

Když k vysvětlujícím proměnným přidali akciový index, a „dali mu stejnou šanci být významný“, poněkud překvapivě se významný nejevil a ani

<sup>11</sup>Jak již bylo zmíněno dříve, očekávaný výnos aktiva je zpravidla tvořen součtem bezrizikové výnosové míry a prémie za riziko dané investice, kde pojem „riziko“ je velmi obecný a různí autoři si pod ním mnohdy představují odlišné veličiny.

<sup>12</sup>Rozdíl mezi úrokovou mírou státních dluhopisů považovanou za bezrizikovou a průměrným výnosem dluhopisů ve spekulativním stupni ratingu, zpravidla BB a B dle Standard and Poor's.

<sup>13</sup>Rozdíl mezi úrokovou mírou krátkodobých a dlouhodobých dluhopisů stejné kvality — zpravidla nejkratších státních pokladničních poukázek a dlouhodobých státních dluhopisů.

hodnoty ostatních parametrů se v jeho přítomnosti téměř nezměnily. Obdobně pak pro spotřebu a cenu ropy.

ChRR [8] tak potvrzuje, že existují stavové veličiny, jejichž změny mají systematický efekt na tržní oceňování akcií a jsou oceňovány (jako riziko) s vahami odpovídajícími jejich vlivu. Na straně druhé, některé veličiny, které analytikům mnohdy intuitivně připadají významné, se takové být neukázaly. Přítomnost spotřeby v této skupině navíc vrhá dosti špatné světlo na oceňovací modely na ní založené.

Opět s argumentem, že ceny akcií s výše zmíněnými faktory jsou korelované současně, nikoliv s časovým odstupem, nemůže být tato práce považována za přímý test slabé formy hypotézy výkonnosti. Mnohem silnější je spojitost se středně silnou formou: je prokázáno, že existují veličiny se silným vlivem na oceňování akcií a akcie na jejich zveřejnění rychle reagují.

Chen [7] na tuto práci navázal, když se zabývá nejen vztahem akciových výnosů a jednotlivých makroekonomických stavových veličin, ale i vztahem těchto veličin k růstu ekonomické aktivity, jakožto měřítku celkového zdraví ekonomiky, a vztahem mezi výnosy a růstem ekonomiky.

Původní faktory rozšiřuje o dividendový výnos — průměrný poměr výše dividendy a tržní ceny akcie. To proto, že zatímco první práce modeluje akciové výnosy proměnnými považovanými za exogenní, tato připouští vzájemné působení výnosů a použitých proměnných a používá tak i veličinu *zevnitř trhu*.

Regresí výnosu zvlášť na každou navrženou proměnnou označuje za významné determinanty dividendový výnos, kreditní spread, časový spread (všechny s kladným znaménkem) a růst průmyslové výroby (s mínušem, tzn. čím více výroba roste, tím menší tržní prémie je požadována). Koeficienty determinace této regrese jsou ovšem velmi nízké, vesměs pod 0.10.

Síla vlivu týchž regresorů na růst ekonomické aktivity je podobná, avšak znaménka opačná. To je konzistentní se zjištěním, že minulý růst ekonomiky je negativně korelován s tržní prémii, tj. pozitivně s akciovými výnosy: při špatném stavu ekonomiky je požadována vysoká prémie za riziko, které v takovém případě akcie nesou, což tlačí jejich ceny dolů. Naopak, vysoký předpovídáný růst hrubého domácího produktu zpravidla vede k vyšším očekávaným výnosům akcií (i dluhopisů), zatímco chování tržní prémie není zcela zřejmé — nelze říci, že vyšší výnos si vynucuje nižší prémii, neboť vyššího výnosu nemusí být dosaženo pouze nižším diskontem, ale i vyšším očekávaným nominálním výnosem (v peněžních jednotkách).

## Autokorelace v dlouhém horizontu

Fama a French [14] se zaměřují na zcela jiný aspekt cen akcií: *predikovatelnost v dlouhém období*, způsobenou (údajnou) silnou autokorelací tří- až pětiletých výnosů, pozorovanou mnoha autory. Jde přitom o velmi odlišný přístup od běžného náhledu na slabou a středně silnou výkonnost trhů, který je zpravidla spojen s pohyby krátkodobými, nejčastěji denními.

Fama a French dospěli k výsledku, že ve tří- až pětiletém horizontu bylo predikovatelných 25% až 40% akciového výnosu a nabídli dvě možnosti, cím takto velké číslo může být způsobeno: buďto jde o následek pomalu mizící stacionární komponenty způsobené iracionálním nevýkonným trhem, nebo jde o následek v čase proměnlivého očekávaného rovnovážného výnosu generovaného racionálním oceňováním na výkonnému trhu.

Teorie dlouhých, pomalu mizících výkyvů vychází z předpokladu, že časově proměnlivé očekávané výnosy (vysoce autokorelované a s tendencí navracet se zpět k dlouhodobému průměru) jsou nekorelované se šoky do racionálních předpovědí výnosů (dividend). Šok do očekávaného krátkodobého výnosu má silný vliv na současnou cenu akcie, ale žádný vliv na výnos v daleké budoucnosti, a pomalu vymizí.

Přeloženo do matematiky, Fama a French definují:

$$\begin{aligned} p_t &= q_t + z_t \\ q_t &= q_{t-1} + \mu + \eta_t, \end{aligned} \tag{12}$$

kde  $p_t$  je přirozený logaritmus ceny akcie v čase  $t$ ,  $z_t$  je stacionární komponenta a  $q_t$  je náhodná procházka, jejíž hodnota v čase  $t$  je součtem předchozí hodnoty, driftu  $\mu$  a náhodné chyby  $\eta_t$ . Stacionární komponenta je považována za pomalu mizející, tj. např. formy AR(1) procesu  $z_t = \Phi z_{t-1} + \epsilon_t$ , kde  $\Phi$  je konstanta blízká ale menší jedné. Hypotéza je pak formulována ve smyslu, že dočasností šoku je způsobena predikovatelnost v dlouhém horizontu.

Teoretickým vyšetřením sklonu regresní přímky v modelu, kde  $r(t, t+T)$  (výnos od času  $t$  do  $t+T$ ,  $T \gg 0$ ) je regresorem a  $r(t-T, t)$  vysvětlující proměnnou), zjišťují, že

1. kdyby ceny akcií byly tvořeny jen náhodnou procházkou, autokorelace výnosů všech řádů by byla 0,
2. kdyby byly tvořeny jen stacionární komponentou, autokorelace by byla nenáhodná a konvergovala by k  $-0.5$
3. pokud jsou přítomny obě komponenty, autokorelace je blízká nule pro  $T$  malé. Pro  $T$  velké, ale ne příliš se stane významně zápornou, avšak

při  $T$  dále rostoucím nakonec převáží kumulovaný bílý šum který autokorelace stačí zpět k nule.

Zpravidla pozorovaná kladná autokorelace jednodenních výnosů přitom není v rozporu se 3., což vypadá jako nejpravděpodobnější popis reality — snadno si lze představit, že tentýž šok ovlivní současnou cenu negativně, ale dlouhodobý očekávaný výnos pozitivně (např. snížení vyplácených dividend ve prospěch jejich investic do rozvoje).

Praktickým odhadem modelu pro mnoho různých portfolií sestavených dle velikosti (tržní kapitalizace) firem, průmyslových odvětví i ze všech dostupných akcií, když použili kompletní dostupná data z let 1926-1985, získávají následující výsledky (s varováním před nepřesnostmi způsobenými jak nedostatečným množstvím dat — pětiletých nepřekrývajících se úseků je v 60 letech jen 12 — tak nekonzistentní odhadu):

- Až na minimum výjimek jsou všechny autokorelace odvětvových portfolií přes 1- až 10-leté periody záporné. Největší (v absolutní hodnotě) jsou pro  $T = 3$  až 5 let, kdy dosahují hodnot od  $-0.3$  do více než  $-0.5$  a jsou jasně statisticky významné.
- Podobně pro portfolia založená na velikosti firem. Přitom je pozorován silný vztah velikosti firmy a chování výnosů. Ač ne zcela monotónně, regresní koeficienty jsou s rostoucí velikostí firmy blíže nule. Zatímco tříletá autokorelace je kolem  $-0.3$  pro všechna portfolia, 4- a 5-letá ve výnosech velkých firem je již blízká nule, zatímco v případě malých dosahuje minima až pro  $T = 5$  let.

Když se Fama a French omezili na data po roce 1940, neboť tehdy volatilita cen akcií velmi poklesla, výsledky se staly mnohem méně průkaznými, ačkoliv vypuštěna byla pouze čtvrtina dat. Statistická významnost je najednou velmi sporá. Odhadnuté koeficienty sice dále převážně zůstávají záporné, ale jsou výrazně menší. To autory nakonec nutí k závěru, že většina důkazů o pozorovaných návratech výnosů k dlouhodobým průměrům pramení z dat před rokem 1940, po němž snad podíl stacionární komponenty ceny výrazně klesl nebo zcela zmizel.

## 4.5 Fama 1991

Ve svém druhém souhrnu Fama [13] pojednává, co se za 20 let od souhrnu prvního změnilo, či bylo nově objeveno. Pochopitelně nemohl postihnout veškerou práci, již velmi rozsáhlou, a tak se věnuje zejména slabé formě, která je mu nejbližší a jejíž výsledky zároveň byly a jsou nejvíce sporné.

Práci otevírá neradostným konstatováním, že co se o 20 let dříve zdálo jako celkem dobrý popis reality — zejména modely s konstantními očekávanými a nepredikovatelnými pozorovanými výnosy — bylo v 80. letech zcela zavřeno, neboť řada studií prokázala predikovatelnost výnosů a proměnlivost jejich očekávání. Podívejme se na ně blíže.

V nejstarších testech byla sice pozorována slabá sériová korelace krátkodobých akciových výnosů, pro výkonnost ale byla označena za zanedbatelnou s tím, že se pohybuje na hranici statistické významnosti a není využitelná pro vydělání nadvýnosu reálném na trhu.

Avšak díky detailnějším databázím vývoje cen akcií<sup>14</sup> byli výzkumníci schopni nalézt mnoho specifických vzorců (pravidel) v chování cen, odhalující zejména výrazně odlišné chování „malých“ a „velkých“ akcií (podle tržní kapitalizace — tj. celkové hodnoty firmy).

Téměř všechny vlastnosti naznačující predikovatelnost se zdají být silnější pro malé akcie: pozorované výnosy a jejich volatilita, autokorelace nebo *lednový efekt*, což je témeř bájny fenomén říkající, že průměrné akciové výnosy jsou mnohem vyšší na konci (v několika posledních obchodních dnech) prosince a během ledna, než po zbytek roku.

Zatímco u největšího decilu akcií obchodovaných na NYSE v letech 1962–1985 byla odhadnuta první autokorelace týdenních výnosů 0.09 a autokorelace vyšších řádů statisticky zanedbatelné, pro nejmenších 40% akcií byla první autokorelace 0.3 a i druhá až čtvrtá byly statisticky významné a kladné. Tento jev je nazýván *efekt velikosti* a je zpravidla vysvětlován jako důsledek nesoučasného obchodování. Totiž, obchody s různými akcemi se nedějí současně, nýbrž jsou náhodně rozloženy do obchodních hodin burzy. Velké akcie jsou obchodovány mnohokrát denně, zatímco malé nemusí být obchodovány i několik po sobě jdoucích dní. A když už se obchod s malou akcí uskuteční, je v pozorované změně tržní ceny zahrnuta veškerá informace nakumulovaná *od předchozího obchodu*.

S tím je poněkud v rozporu mnoho studií prokazujících zápornou autokorelací v rádu několika (cca. čtyř) obchodních dní, ačkoliv zpravidla není významně nenulová. To bývá připisováno *hlučnému obchodování*, jemu, kdy na trhu obchoduje mnoho neinformovaných účastníků, kteří prostě jdou s davem, při obecně pozitivní náladě nakupují a při negativní prodávají. Takovéto neinformované obchody způsobují vychýlení ceny od správné — odpovídající skutečně existujícím informacím — což musí být a je korigováno, a to během několika obchodních dní, způsobujíc právě zápornou autokorelací.

---

<sup>14</sup>Autori nejčastěji využívají data z Centra pro výzkum cen aktiv — Center of Research in Stock Prices (CRSP), které poskytuje data z NYSE a AMEXu (American Express, další významný americký trh) od roku 1962.

French a Roll [16] testují přítomnost hlučného obchodování podíly rozptylu (viz vztah 15 v kapitole 6)  $N$ -denních výnosů k denním a zjišťují, že takový efekt může být skutečně přítomen, avšak příliš malý, než aby mohl způsobit nevýkonnost trhu — jimi spočítaná horní mez vlivu je 11.7% denního rozptylu celkově a pro nejmenší kvintil akcií z NYSE stále jen 26.9%. Jsou-li tato čísla očištěna o vliv bid–ask spreadu (rozdílu mezi cenami, za něž lze okamžitě kupit nebo prodat), obě padají pod 5%.

Tento jev tak může být akceptován jako přítomný na trhu, ale zanedbatelného vlivu na jeho výkonnost.

Problematiku predikce dlouhodobých výnosů, zmíněnou v předchozí podkapitole, Fama [13] odbývá tím, že výsledky sice nejprve vypadaly velmi silné v neprospěch výkonnéosti trhu, nakonec se ale ukázaly být přinejmenším kontroverzní. Jednak mohou být následkem nevhodně zvoleného časového období, při jehož změně hypotéza dlouhodobých, pomalu mizících výkyvů budě to zcela selhává, nebo jsou výsledky velmi neprůkazné. Za druhé, iracionální bubliny akciových cen jsou nerozlišitelné od racionálních změn očekávaných výnosů v průběhu let. A za třetí, jelikož za míru očekávaných výnosů jsou brány *pozorované* výnosy, které jsou velmi kontaminované náhodnými chybami, výsledky jsou prostě nutně rovněž velmi kontaminované.

Raná hypotéza, že denní akciové výnosy jsou nezávislé stejně rozdelené, byla nahrazena důkazy, že očekávání se v čase mění a závisí na (současně realizovaných) makroekonomických proměnných, viz [7, 8]. A právě to může vysvětlit dlouhodobé negativně autokorelované výkyvy výnosů *ve prospěch* hypotézy výkonnéosti. Záporně korelované hrubé očekávané výnosy v různých obdobích mohou být prostě následkem hospodářských cyklů.

Dalším závažným argumentem proti výkonnéosti trhu se jevily různé formy sezónnosti pozorované ve výkonnéosti akcií. Nejznámější je již zmíněný lednový efekt. Fama [13] dále cituje autory tvrdící, že pondělní výsledky jsou v průměru horší, než po zbytek týdne, že výnosy jsou v průměru vyšší poslední den před svátkem (prázdninami) a poslední den měsíce.

Možné vysvětlení? Všechny zmíněné anomálie jsou sice pozorovány, avšak vyjma lednového efektu zjevně nepřevyšují bid–ask spread průměrné akcie. Neobvyklé výnosy na přelomu roku jsou sice větší, stále však malé vzhledem k bid–ask spreadu malé akcie. Sezónnosti by tedy mohly být objasněny prostě tím, že ceny akcií autory používané jako *jediné ceny* (zpravidla jde o denní zavírací ceny), jsou někdy cenou nabídkovou a jindy poptávkovou.

Mnoho anomalií se jeví být důsledkem zvoleného souboru dat — na jakémkoliv jiném najednou nefungují, některé se vyskytují pouze v určitém období nebo do určitého data, po němž vymizely. Spornost lednového efektu je pak dostatečně ilustrována srovnáním výkonnéosti portfolia malých akcií na základě dat CRSP a skutečného podílového fondu společnosti DFA zaměře-

ného na malé akcie: zatímco v letech 1982–1990 byl průměrný lednový výnos teoretického portfolia 5.32%, fond vydělal pouze 3.58%, což je již jen o málo více než výnos indexu S&P 500 3.20%. Mnohdy je prostě třeba rozlišovat mezi teoretickými databázovými čísly a reálně investovatelným portfoliem.

Přejděme nyní opět k otázce rozhodování mezi více aktivy současně. Jeho zásadní potíží je *problém spojených hypotéz*. Mnoho anomálií vydávaných zprvu za popření výkonnosti trhu bylo později zdůvodněno užitím jednofaktorového Sharpe–Lintnerova modelu (9). Ten byl po mnoha letech užívání nakonec zamítнут jako nedostatečný a anomálie označeny za jeho nepřesnost. Zejména bylo prokázáno, že *tržní beta* jakožto jediná míra rizika je zcela nedostatečná a zdaleka nezahrnuje všechny vlastnosti firmy s potenciálně zásadním vlivem na výnosnost jejích akcií — speciálně ty jednoznačně rizikové, jako míra páky<sup>15</sup> nebo balancování firmy na hraně krachu. To je typické pro firmy s nízkou tržní kapitalizací (tj. malé), které bud'to přežijí, zkonsolidují se a v následujících letech jsou jejich akcie šampióny, nebo zkrachují a zmizí z kurzových lístků.

Jako mnohem užitečnější se Famovi jeví multifaktorový model vysvětlující očekávaný akciový výnos několika makroekonomickými proměnnými, např. již zmíněný model ChRR [8]. Tato citovaná práce mimo jiné ukazuje, že tržní beta neobsahuje oproti zvoleným veličinám prakticky žádnou dodatečnou informaci — síla modelu se po jeho přidání nezvýší. Avšak zatímco některí autoři tento model chválí, např. proto, že dokáže vysvětlit efekt velikosti nepostihnutý Sharpe–Lintnerovým modelem, jiní mu vyčítají, že se zdá být příliš citlivý na volbu vyšetřovaných aktiv a způsob, jakým jsou odhadnuty parametry.

Výzkum reakcí cen akcií na zveřejnění nových informací, tedy testy **středně silné formy hypotézy**, prodělal v 70. a 80. letech opravdový boom, bylo odhaleno velké množství zajímavých pravidelností, mnohdy nečekaných:

- Neočekávaná změna dividend je zpravidla spojena s pohybem ceny akcie stejným směrem. Překvapivý byl tento výsledek zejména proto, že v době výzkumu, tj. v 70. letech, byly v USA dividendy zdaněny vyšší sazbou než kapitálové zisky.
- Nová emise již obchodovaných akcií je špatnou zprávou a naopak jejich zpětné odkupy jsou dobrou zprávou. Ač by se mohlo zdát, že opak bude pravdou — firma má při dodatečné emisi dobré investiční vyhlídky — převládají spíše obavy z asymetrie informace — vedení vydává akcie, když jsou nadhodnocené, nebo když má firma špatné cash flow.

<sup>15</sup>Počet jednotek cizího kapitálu na jednotku kapitálu vlastního, použitých při financování firmy.

- Nabídky převzetí či manažerské výkupy zpravidla způsobují vysoký růst ceny a tím bohatství současných akcionářů.

Typickým výsledkem testů středně silné formy hypotézy, od 70. let v USA silně podpořených existencí databáze CRSP poskytující denní výnosy většiny amerických akcií, je závěr, že ceny se nové informaci přizpůsobí nejpozději během jediného dne, a je tak častý, že je obvykle pouze konstatována zjevná konzistence s hypotézou výkonnosti, načež se autor věnuje jiným aspektům.

Fama [13] sice narází na určité otázky, které středně silnou formu výkonnosti alespoň trochu zamlžují, avšak vzhledem k obrovskému množství studií, které byly v té době na toto téma vypracovány, je určitý výskyt anomálií očekávaný. Fama tak uzavírá, že studie událostí jsou nejjasnějším důkazem platnosti hypotézy výkonnosti (nejméně zamlženy problémem spojených hypotéz) a v drtivé většině případů ji potvrzuje.

V názorech na **silnou formu výkonnosti trhu** zásadní převrat nenastal. Na burze sice je zjevná existence obchodníků, kteří výlučný přístup k určité informaci mají. Jde zejména o osoby z vnitřku dané společnosti, takzvaných *insiderů*. Nicméně možnost, že by na jejich obchodech mohl vydělat kdokoliv, je zavržena s tím, že práce toto tvrdící používají nedostatečný Sharpe–Lintnerův model.

Co je podstatnější, testy *burzovních profesionálů*, kteří nemají vnitřní informaci, silnou výkonnost trhu nevyvrací: dodatečná informace *analytiků* jakožto burzovních profesionálů je studována zejména ve spojení s výsledky akcií doporučených vždy pro následující období společnosti *Value Line Investment Survey*. Efekty změn jejich žebříčku na tržní ceny se sice zdají být pro zamítnutí dostatečné. Týkají se však pouze určitých akcií, v 90. letech prakticky mizí a pozorované výsledky nejen skutečného fondu společnosti Value Line do téhoto akcií investujícího, ale i teoretického portfolia na základě doporučení sestaveného, byly zřetelně horší než odpovídající akciový index. Pokud tedy vůbec jde o důkaz proti výkonnosti trhu, je velmi slabý.

A to jsme ještě opomněli, že získání dodatečné informace analytikem nese náklady. Za ně jsou pak subjekty, které je vynaložily, kompenzovány právě mírně větším výnosem. Trh tak nakonec z praktického pohledu lze považovat za plně výkonný, neboť subjekt získá obdobný čistý očekávaný výnos, pokud investuje neinformovaně naslepo, jako když věnuje prostředky na analýzu a díky ní je vzápětí díky mírně vyššímu výnosu získá zpět.

Studie výkonnosti správců fondů vesměs vycházejí z již citovaného Jensaena [18, 19]. Nové výsledky jsou mnohdy rozporné, závislé na použitém rovnovážném modelu, žádný přímý důkaz pro porušení silné formy výkonnosti neposkytuje. Nejméně sporně nakonec vyznívá zjištění, že nadvýnosy podílových fondů jsou v záporném vztahu s jejich náklady, neboli pokud fondy

jsou oněmi subjekty vydávajícími prostředky na získání dodatečných informací, které jim mají pomoci k vyšším výnosům, pak je ovšem vynakládají za hranicí mezního kladného přínosu a ve skutečnosti na výzkumu prodělávají.

## 4.6 Aktuální výsledky

Výzkum hypotézy a kapitálových trhů obecně pokračoval i dále a rozšiřoval se, jak další autoři nacházeli další oblasti zájmu potenciálně s tématem výkonnosti trhu spojené.

Pád komunistických vlád ve střední a východní Evropě, jejichž politika striktně existenci jakékoli formy kapitálového trhu vylučovala, na konci 80. let přinesl nové možnosti a výzvy, kdy nově vznikající akciové trhy v těchto transformačních ekonomikách měly nejen v počátku, ale i po mnoha letech kapitalistického vývoje velmi daleko k charakteristice výkonnosti.

Přibližně v téže době vlivem rychle postupující globalizace a internacionálizace trhů umožněné masivním rozšířením elektronického obchodování došlo i k markantnímu růstu vlivu trhů v rozvíjejících se ekonomikách, zejména v Jižní Americe, Jižní a Východní Asii. Najednou tak bylo výkonnost možno studovat nejen na „témař dokonalých“ tradičních trzích, ale i na nových, často trpících mnoha nedokonalostmi, ať již z legislativy nebo nezkušenosti.

Ve zbytku této kapitoly zmiňuji dva články z posledních let (2002 a 2003), které mě zaujaly: první z nich zejména kvůli jeho úzké souvislosti s praktickou částí této práce — zabývá se praktickou výkonností technických pravidel obchodování na americké a čínské burze. Druhý je pak reakcí na množství anomálií, které byly za několik desetiletí výzkumu výkonnosti trhu nalezeny a prezentovány v její neprospěch.

### Slabá forma výkonnosti Čínského trhu

V současnosti existuje vícero teorií tvorby a vývoje ceny akcie na trhu:

**Obchodování za předpokladu výkonnosti trhu** znamená prosté investování do diverzifikovaného portfolia, když diverzifikací je zajištěna ochrana před specifickými faktory jednotlivých společností či odvětví. Není přitom třeba využívat jakýchkoliv analýz trhu, neboť z hypotézy výkonnosti plyne, že aktiva jsou správně oceněna.

**Fundamentální analýza** nepředpokládá soustavně korektní ocenění instrumentů, ale očekává racionální chování trhu. Hledá spravedlivou vnitřní hodnotu akcie (na základě očekávaných peněžních toků, ziskové síly firmy atp.), k níž by se tržní cena v delším časovém horizontu měla přiblížit. Na základě takového ohodnocení radí investovat do těch titulů, které jsou označeny za na trhu podhodnocené.

**Technická analýza** nepředpokládá existenci správné hodnoty akcie v jakémkoliv smyslu, spoléhá na existenci trendů ve vývoji cen a opakování vzorců vývoje. Techničtí analytici využívají zejména grafy historického vývoje cen a objemů obchodů, hledají v nich známé obrazce a podle nich predikují budoucí vývoj kurzu.

Různé teorie **psychologie davu** říkají, že většina subjektů působících na trhu se nechová racionálně a při svých obchodech podléhá euforiím a panikám. Příkladem je již zmíněné hlučné obchodování. Za základ úspěchu na takovém trhu je zpravidla považováno zachovat si klidnou hlavu, náladám davu nepodléhat a často i jednat v protikladu s nimi, tj. nakupovat, když deprese při propadu cen vrcholí a „hluční obchodníci“ prodávají, a prodávat, když vrcholí euforie provázející dlouhodobý růst cen.

Na technické analýze, či přesněji technických indikátorů, je založena studie Tian, Wan a Guo [26]. Aplikuje a vyhodnocuje celkem 412 různých algoritmů technické analýzy na historické hodnoty indexu DJIA a indexů nových — rozvojových čínských akciových trhů v Shanghaji a Shenzhenu.

Očekávaným výsledkem je, že zatímco na americkém trhu (považovaném za výkonný) by měla být dosažena minimální, až zanedbatelná nadstandardní výnosnost použitých algoritmů, na čínském trhu by naopak měly být přítomny různé nedokonalosti projevující se alespoň teoretickou ziskovostí algoritmů negujících hypotézu výkonnosti.

Použití 412 modelů sice vypadá jako obrovské číslo, ve skutečnosti však jde pouze o trojici základních modelů technické analýzy, pro něž autoři testovali desítky až stovky kombinací jejich parametrů:

**Pravidla prolomení tržního rozpětí** (PTR) pracují s maximem a minimem kurzu za daný počet předchozích obchodních dní, přičemž vysílají signál k nákupu dodatečné jednotky, pokud aktuální kurz toto maximum překročí o danou mez nahoru, respektive k prodeji, pokud o tuto mez dolů přesáhne minimum. Taková pozice je poté držena určitý počet dní.

**Klouzavé průměry s variabilní dobou držby** (KPV) pracují s dvěma klouzavými průměry minulé ceny akcie a vysílají nákupní signál, když průměr za kratší období zdola přesáhne průměr za delší období o danou mez. Pozice je udržována tak dlouho, dokud krátký průměr nepřekročí adekvátně posunutý dlouhý průměr zpět, čímž je vyslan opačný signál.

**Klouzavé průměry s fixní dobou držby** (KPF) jsou podobné předchozím, avšak pozice je po jejím vytvoření udržována po pevně stanovenou dobu, bez ohledu na vývoj.

Tian, Wan, Guo počítají pro každou ze zvolených strategií zejména její anualizovaný roční nadvýnos vůči strategii kup a drž, průměrný počet ob-

chodu<sup>16</sup> algoritmem ročně vygenerovaný a z nich plynoucí teoretické náklady na transakci — zlomovou cenu (*break-even cost*), která by nadvýnos vynulovala. Při prezentaci výsledků se přitom zaměřují na průměrné (napříč parametry) výnosy, neboť v okamžiku, kdy se obchodník rozhoduje o použití takového pravidla, zjevně netuší, jaké konkrétní parametry modelu má zvolit, a přitom nelze předpokládat stabilitu jejich optimální volby v čase.

Část výsledků pro index DJIA je shrnuta v převzaté tabulce 2.

Pravidlo	Výnos p.a. (%)	Ročně signálů	Zlomová cena (%)
1926-1991			
84 KPV	5.12	4.98	0.51
288 KPF	0.46	1.71	0.13
40 PTR	1.37	3.55	0.19
Všechna	1.50	2.56	0.29
1926-1943			
84 KPV	9.53	5.44	0.88
288 KPF	1.53	1.95	0.39
40 PTR	3.18	4.15	0.38
Všechna	3.32	2.88	0.58
1976-1991			
84 KPV	1.13	5.15	0.11
288 KPF	0.39	1.72	0.11
40 PTR	-0.57	3.70	-0.08
Všechna	0.45	2.61	0.09

Tabulka 2: Vypočítané výsledky aplikace technické analýzy na index DJIA

Celková čísla za období 65 let nejsou příliš vypovídající, je totiž zjevné, že během této doby se drasticky změnily tržní podmínky — způsobem uzavírání burzovních obchodů počínaje, přes rychlosť a kvalitu šíření cenotvorných informací po transakční náklady. Zajímavější je pohled na jednotlivá kratší období, v nichž lze očekávat přibližnou stabilitu podmínek.

V období před 2. světovou válkou tak na jedné straně vidíme vysoký nadvýnos nejen pro konkrétní volby parametrů, ale i pro jejich průměr — klouzavé průměry s variabilní délkou držby dosahují nadvýnos téměř 10%

---

<sup>16</sup>Skutečný počet obchodů je dvojnásobný oproti počtu signálů algoritmem vyslaných, který je uváděn v tabulkách. Signál totiž dává pokyn ke tvorbě pozice (1 obchod), která ale ještě později musí být uzavřena (další obchod).

ročně. Více než 5 signálů každoročně generovaných však znamená, že náklady na jednotlivý nákup či prodej akcií by musely být menší než 1% z jeho objemu, aby se aplikace takové strategie vyplatila. Takto nízké poplatky jsou sice obvyklé v současnosti, před 70 lety však byly mnohonásobně vyšší. Navíc, nejde jen o poplatky z obratu, ale i o bid–ask spread, který není v denních zavíracích cenách indexu nikterak zohledněn.

V období po roce 1976 sice na NYSE došlo k podstatnému snížení poplatků z obratu, růstu objemů obchodů a tím i bid–ask spreadů, výkonnost amerického trhu však stoupla natolik, že nadvýnos dosažený metodami technické analýzy poklesl na hodnoty, které jsou eliminovány již náklady na obchod ve výši kolem 0.1%. To jsou čísla, kterým se snad může přiblížit poplatek zprostředkovateli či přímo burze za uzavření obchodu, bid–ask spread však zůstává v poměru k němu příliš velký.

Pravidlo	Výnos p.a. (%)	Ročně signálů	Zlomová cena (%)
DJIA			
84 KPV	0.47	5.62	0.04
288 KPF	-0.67	1.84	-0.18
40 PTR	0.50	3.52	0.07
Všechna	-0.32	2.78	-0.06
Shanghai B			
84 KPV	18.95	3.79	2.50
288 KPF	10.24	1.75	2.92
40 PTR	13.74	2.82	2.39
Všechna	12.33	2.27	2.72
Shenzhen B			
84 KPV	32.45	2.28	5.75
288 KPF	8.09	1.31	3.10
40 PTR	21.18	2.91	3.65
Všechna	14.33	1.77	4.05

Tabulka 3: Spočítané výnosy z aplikace technické analýzy na index DJIA a portfolio akcií obchodovaných na Čínských akciových trzích v letech 1991–2000

Tabulka 3 (opět převzato z [26]) značí markantní rozdíl mezi výnosy dosaženými technickou analýzou na datech z amerického a čínského trhu v poslední dekádě 20. století (starší data z Číny nejsou k dispozici). Zatímco nadvýnosnost proti kup a drž je v USA zanedbatelná či dokonce záporná,

při aplikaci na portfolia čínských akcií dosahuje nadvýnosu v řádu desítek procent ročně! Po přepočtu na jednotlivý obchod pak dosahují zlomové ceny stále několika procent, což by v případě poplatků shodných s vyspělými trhy znamenalo jednoznačnou výhodnost těchto strategií. Avšak na rozvojových trzích, Čínu nevyjímaje, jsou poplatky a bid–ask spready přeci jen obvykle vyšší, a tak by pravděpodobně ani takto průkazné teoretické výsledky nedovedly k praktickému nadvýnosu (nezapomínejme, že se stále pohybujeme v 90. letech 20. století, tedy starší a z hlediska poplatků jistě méně příznivé době, než je nejnovější období použité dál v této práci).

Autoři uzavírají, že pro americké akcie teoretický nadvýnos z aplikace algoritmů technické analýzy v čase postupně klesal a patrně byl vždy pod úrovní reálných nákladů na aplikaci testovaného algoritmu, takže nebyl nikdy skutečně prakticky využitelný. To je v souladu s hypotézou výkonnosti trhu, byť ne s její čistou teoretickou formou, ale „pouze“ s formou praktickou, přizpůsobenou reálnému nedokonalému trhu znemožňujícímu dokonalé přizpůsobování reálné tržní ceny akcie veškeré dostupné informaci.

V případě čínských akcií se ale zdá, že technická analýza využitelná být může, a to i pokud by náklady na burzovní obchod dosahovaly 1 až 2% z obratu. Zde je však velmi na místě zdůraznit, že dle mého názoru jsou prezentovaná čísla velmi zkreslená a neodpovídají *skutečné* výnosnosti algoritmů. Zlomové ceny jsou totiž počítány z *anualizovaného* výnosu (což je v textu dokonce explicitně uvedeno) — jako kdybychom otevřeli signalizovanou pozici, a tu byli schopni *rok* držet, přičemž by po celou tu dobu nesla prezentovaný nadvýnos, a až poté bychom ji uzavřeli. Popsaná pravidla ji však uzavírají zpravidla po několika týdnech, a *nominální* výnos z nich je tak řádově nižší. Ale náklady obchodu jsou stejné, ať ho uzavíráme na den nebo deset let...

### **Snahy zarytých zastánců vysvětlit nevysvětlitelné**

Relativně čerstvá (2003) práce Malkiel [21] je reakcí zastánce výkonnosti trhu na takřka nepřeberné množství anomálií, které jako argumenty *proti* výkonnosti neustále prezentují její odpůrce.

Kromě obvyklého argumentu zastánců, včetně mě, že

pozorovaná data pocházejí z nedokonalého trhu, a nelze tedy očekávat, že potvrdí *dokonalou* verzi hypotézy. Všemožné důkazy proti ní nejsou ve zjevném rozporu s *ekonomickou* verzí výkonnosti, tj. tvrzením, že pozorovaná data odpovídají hypotéze, že na *reálném* trhu nelze aplikací algoritmů prokazujících neplatnost *teoretické* verze hypotézy nadprůměrně vydělat,

navíc tvrdí, že

zřejmě důkazy proti hypotéze jsou zpravidla stejně zamáleny jako argumenty pro ni.

Nejprve se zaměřuje na rozporování jednotlivých „obecných anomálií“, považovaných za vyvrácení výkonnosti, a vysvětluje je naopak *v souladu* s ní:

- Často tvrzené *soustavné podceňování* nové informace odmít již Fama [12] — reakce na ni je sice zpravidla nepřesným, avšak *nevychýleným* odhadem.
- *Dlouhé pomalu mizející výkyvy* od střední hodnoty způsobující zápornou autokorelaci výnosů v dlouhém období jsou primárně následkem chybých předpokladů, zejména konstantního očekávaného výnosu.
- Pozorování *sezónnosti* ve výnosech je buďto pouze následkem konkrétní volby datového souboru, nebo bid–ask spreadu.
- Stejně tak *predikční síla* dividendového výnosu či poměru P/E<sup>17</sup>, P/BV<sup>18</sup> je důsledkem volby datového souboru, v jiných obdobích se neprokázala.
- *Nadměrná ziskovost malých společností* je důsledkem užití nefunkčního Sharpe–Lintnerova modelu, nebo faktu, že velké firmy zpravidla krize přežijí, kdežto malé buďto přežijí a následně prudce rostou, nebo zkrajují a v testovaných datech se neobjeví.
- Jen v otázce *skládanky akciové prémie* (equity premium puzzle) si není příliš jistý. Na průměrný výnos akcií o 5% vyšší než u kvalitních dluhopisů, což dle Benartziho a Thalera [3] odpovídá *opravdu extrémní rizikové averzi investorů*<sup>19</sup>, odpovídá pouze spekulací, zda takovýto dlouhodobě pozorovaný vysoký výnos byl skutečně *očekávaný*, nebo jde o *neočekávaně vysoké realizace* nižšího očekávaného výnosu.

Druhou část práce pak věnuje třem konkrétním historickým událostem, zpravidla označovaným za silně nekonzistentní s výkonností trhu:

---

<sup>17</sup>Price/earning ratio, tržní cena akcie ku poslednímu zveřejněnému čistému zisku na akci.

<sup>18</sup>Price/book value ratio, tržní cena ku účetní hodnotě vlastního jmění na akci.

<sup>19</sup>Pro vysvětlení 6% roční rizikové prémie by údajně bylo potřeba tak extrémní rizikové averze, že investor by byl indiferentní vůči jistotě výplaty \$51,209, a hře, v níž s poloviční pravděpodobností získá \$50,000 a s poloviční \$100,000.

1. *19. října 1987* akciový index DJIA propadl o 22.6%, do konce měsíce indexy většiny významných světových akciových trhů propadly až o 45%. Zdá se nemožné, aby za jediný den trh zasáhla tak silná informace, že by způsobila takový pokles. Malkiel [21] nicméně namítá, že za dané makroekonomické situace v USA (výše a prudký růst bezrizikové úrokové míry, hrozba dalšího poklesu hodnoty dolaru) lze vysvětlit i rychlý pád cen akcií o *třetinu*. Rozporem tak pouze zůstává, jak to, že tento pád nebyl rozložen do několika týdnů, ale realizoval se za *jediný den*.
2. *Internetová bublina* na konci 90. let znamenala evidentně nesprávné (vzhledem k historickým a fundamentálním informacím) ocenění technologických akcií, což by znamenalo nevýkonný trh. Jenže martingalovou formulací hypotézy (8), s ohledem na silná *budoucí očekávání*, trh *výkonný byl*: i když víme, že na trhu je bublina, pokud cena akcie příští týden s 90% pravděpodobností o 5% vzroste nebo s 10% pravděpodobností o 45% klesne, je stále korektně oceněna. Tvrzili to i profesionální investoři, kteří, ať by byli jakkoliv racionální, nemohli na zřejmé bublině bezpracně vydělat.
3. Pro zodpovězení otázky *lepší výkonnosti profesionálních investorů* zopakoval Jensenovy [18, 19] testy — s podobným výsledkem. Navíc tvrdí, že podprůměrné (třeba i kvůli smůle) fondy jsou pohlceny nadprůměrnými, a realita je tak ještě horsí než obsah kurzových lístků. A konečně — pokud by „amatéři“ na burze soustavně obchodovali za špatné ceny, kdo jiný než „profesionálové“ by je měli využít a tak vydělat?

## 5 Zamyšlení

Čistá teoretická podoba hypotézy výkonnosti kapitálového trhu je definována vcelku jednoznačně: v závislosti na zvolené informační množině  $\Phi_t$  a tím určené úrovni hypotézy požaduje, aby *veškerá* informace v této množině zahrnutá byla obsažena v ocenění zkoumaných aktiv na kapitálovém trhu — zpravidla akcií.

Striktní platnost takové hypotézy pak vyžaduje, aby neexistovala *jakákoli* možnost na základě nějaké informace  $\phi \subset \Phi_t$  dosáhnout při stejném riziku ve střední hodnotě *jakéhokoli* dodatečného zisku oproti naivní strategii nákupu a pasivní držbě tržního portfolia nebo jednotlivé dotyčné akcie, a to ani teoreticky při zanedbání všech reálných bariér typu transakčních cen.

Na straně druhé máme hypotézu výkonnosti kapitálového trhu v *praktickém* (ekonomickém) smyslu, jak ji definuje např. Malkiel [21], kdy perfektní chování po trhu není požadováno, neboť jeho požadavky v praxi nejsou dosažitelné, a zastánce výkonnosti se spokojí s tím, že ceny aktiv informaci obsaženou ve  $\Phi_t$  reflekují do té míry, že jakoukoliv  $\phi \subset \Phi_t$  nelze využít k dosažení středního rizikově očištěného nadvýnosu na *reálném* kapitálovém trhu.

Pochopitelně čistý teoretický model je v praxi *nutně chybný*, jelikož reálné tržní podmínky nikdy nebyly, nejsou a nikdy nebudou tak perfektní, jak je staví matematika do svých předpokladů. Nová informace se nešíří okamžitě a bezchybně zdarma ke všem uživatelům trhu, ti nejsou schopni na ni okamžitě reagovat, navíc jejich reakce v podobě uskutečnění obchodu je mimo jiné zkomplikována povinností zaplatit nezanedbatelný poplatek za jeho provedení a vypořádání. Nelze obchodovat libovolné množství aktiva za libovolnou cenu ( $[množství, cena] \in (0, +\infty)^2$  zcela bez omezení). Naopak, obě hodnoty musí být prvky určitých stanovených diskrétních množin.

Dost možná ještě závažnější je fakt, že ačkoliv změny tržní ceny v praxi nastávají v náhodných<sup>20</sup> bodech spojitého časového intervalu a během dané periody jich nastává náhodné množství, teoretické výzkumy si pozorované časové řady zpravidla zjednodušují na časově ekvidistantní (odmyslíme-li si víkendy a jiné dny, kdy burza neobchoduje) pozorování aktuálního kurzu. I když je tento kurz mnohdy cenou posledního obchodu, tedy reálně dosaženou, není zaručeno, že v okamžiku zvoleného pozorování časové řady aktivum bylo možné za takovou cenu (před započtením poplatků) koupit nebo prodat, například kvůli bid–ask spreadu nebo tomu, že cena odpovídající momentální informaci již může být výraznějiná.

---

<sup>20</sup>Alespoň není zjevný důvod je za náhodné nepovažovat.

Užití závěrečných cen jednotlivých burzovních dnů, které jsou v kurzových lístcích zveřejňovány a tedy i v testech využívány nejčastěji, přímo možnost obchodu za zaznamenanou cenu vylučuje. Ani praxe obchodovat vždy daný čas před zavřením trhu nepomůže — spekulant by musel volit mezi velkým rizikem neuskutečnění obchodu a obchodem za horší cenu (nejlepší momentální nabídku či poptávku), pokud by obchodoval těsně před zavřením burzy, nebo riskovat velký rozdíl mezi cenou svéjí dosaženou a do časové řady zaznamenanou, pokud by si nechal odstup větší — nic jako lipschitzovskost ceny akcie v čase totiž jistě nelze zaručit.

Právě tyto rozdíly mezi matematickou teorií a obchodnickou praxí jsou příčinou výrazně horší než očekávané výkonnosti např. fondu společnosti Value Line, zmíněné v podkapitole 4.5, části o silné formě výkonnosti.

Problematikou diskrétnosti obchodovaných jednotek, jednotkových cen, odlišnosti cen užívaných od realizovatelných, bid–ask spreadem a dalšími otázkami přímo souvisejícími s mikrostrukturou trhu se v této práci zabývat nebudu. Nejen, že by samy o sobě vydaly na mnoho samostatných prací, ale k jejich praktickému zkoumání je navíc zapotřebí detailních časových řad zachycujících každý jednotlivý uskutečněný obchod, jeho čas a ideálně i mnoho dalších údajů jako například objem či kdo a proti komu (tvůrce trhu či běžný účastník) jej inicializoval. Taková data bývají zpravidla velmi obtížně dostupná a vyžadují užití specifických analytických technik. Jejich teorii i praktickým výsledkům je věnována kapitola 3 knihy [6].

Namísto toho, stejně jako drtivá většina ostatních autorů, použiji reálitě obchodníka příliš neodpovídající denní zavírací ceny. Platnost hypotézy výkonnosti budu zkoumat zejména v její ekonomické formě, tj. zda lze nějaký typ teoretické nedokonalosti v praxi využít k dosažení systematicky nadprůměrných výnosů.

### **Náklady spojené s realizací obchodu**

Mým cílem je prozkoumání *jediné* z nedokonalostí, a to transakčních nákladů. I když totiž pomineme všechny chyby vzniklé právě zmíněnými i jinými bariérami, tato zůstane nepřekonatelná. Jak zásadně ovlivňuje přizpůsobování cen nové informaci, lze snadno ukázat:

Předpokládejme nejprve, že trh je bez tření zcela, včetně nulových poplatků za obchod. Pokud by na něm existovaly známky neefektivnosti, ten, kdo by je poznal, by je dokázal využít k výdělku, ať by byly jakkoliv malé.

Mějme bezkuponový dluhopis s deterministickým chováním kurzu. Jeho výnos je 0.1% za týden. Kurz však je z nějakého důvodu v pondělí pravidelně 0.05% pod správným, tato chyba se následně vyrovnává a v pátek obrací na 0.05% nad správný kurz. Příští týden se to stane nanovo. Správný

kurz 1. pondělí (SZ1) by byl 80%, ale je 79.95% (Z1). V pátek by měl být 80.1% (SK1), ale je 80.15% (K1). (SZ2, Z2, SK2, K2) = (80.1%, 80.05%, 80.2%, 80.25%) atd. Obchodník, který toto vypozoruje, vždy v pondělí dluhopis koupí, v pátek prodá a navíc prodá nakrátko, po víkendu krátkou pozici pokryje, nahradí dlouhou atd. Oproti správnému výnosu 0.1% týdně získá navíc 0.1% z každé správně otevřené a uzavřené pozice, dlouhé i krátké, celkem tak za týden vydělá 0.3%. Toho by si pochopitelně měli rychle všimnout ostatní, použitím stejné strategie nakonec pondělní kurzy poptávkou zvýšit, páteční nabídkou snížit, anomálii v oceňování tak napravit a kurz dluhopisu by nakonec byl soustavně správný.

Nyní nechť každý obchodník musí z každého uzavřeného obchodu zaplatit burze poplatek 0.1% z jeho objemu. Co se stane? Při (SZ1, Z1) = (80.0%, 79.95%) budou skutečné náklady na kupu 80.05%. Naopak, 1. pátek, i při nadsazeném ocenění dluhopisu by jeho prodejem obchodník získal jen čistých 80.05%. Čtvrtý pátek bude tržní cena 80.45%, ale investor obdrží jen 80.35%, což vstaženo na jeden týden činí výnos 0.075%. Pasivní investor, který dluhopis celkovým nákladem 80.05% 1. pondělí zakoupil a drží jej 200 týdnů až do splatnosti při kurzu 100%, získá průměrný týdenní výnos 0.09975%. Toto číslo *nelze* obchodováním na základě evidentně špatného oceňování nikdy překonat! Soustavné podceňování na začátku týdne a přečeňování na jeho konci tak zůstane přítomno po celou dobu života dluhopisu! Jediné, k čemu bude moci vlastník tuto informaci o špatném ocenění využít, je načasování nákupu či prodeje při dlouhodobém investičním záměru na nejvhodnější okamžik.

I velmi nízké transakční náklady tak mají moc zamezit korekci zjevného selhání při tvorbě tržní ceny aktiva. Taková selhání, pokud nepřekročí náklady na jejich využití, se mohou objevovat soustavně až zcela zjevně, ale pokud nebude síly, která by jejich výskytu zabránila, tedy obchodníků, kteří by je dokázali využít ve svůj prospěch, budou přítomny neustále. Takové anomálie nakonec budou teoretiky odhaleny a prezentovány jako jasný důkaz porušení výkonnosti trhu. Ano, takový trh je skutečně silně nevýkonný v čisté teoretické podobě. Je však zjevně *ekonomicky výkonný*: ačkoliv všichni pozorují anomálii, nikdo není schopen ji využít k získání soustavných nadprůměrných výnosů.

Zásadní nevýhodou efektů souvisejících s transakčními náklady je, že *vůbec netušíme*, jak by se skutečná tržní cena chovala, kdyby jich nebylo. Dokázali by obchodníci odhalit anomálie pozorované za přítomnosti transakčních nákladů a bez nich je dlouhodobě využívat ve svůj prospěch? Nebo by tyto anomálie vůbec nebyly přítomny, neboť nulové náklady na jednotlivý obchod by trh o tolik přiblížily čistému teoretickému modelu výkonnosti, než nyní ve skutečnosti je, a anomálie by tak vůbec nemohly vzniknout?

Jak uvádí Fama [12] (viz podkapitola 4.2) pro tenké filtry nebo Tian, Wan, Guo [26] (viz podkapitola 4.6) hned pro trojici technických pravidel, teoreicky krátkodobé autokorelace výnosů akcií k vytvoření určitého nadvýnosu využít lze. K jeho eliminaci však stačí transakční náklady ve výši do 0.1% obratu. Byly by tyto algoritmy využitelné, kdyby transakční náklady neexistovaly? Jak by v takovém případě vypadaly pozorované tržní ceny? To bohužel nikdo nedokáže říci, neboť ekonomové nemohou provádět kontrolované experimenty za požadovaných předpokladů.

Dále pokračuji zamýšlením nad některými jednotlivými aspekty v minulosti užívaných dat a prezentovaných výsledků týkajících se hypotézy výkonnosti, jejich specifik, anomalií, mýtů či přímo omylů:

### **Frekvence pozorování hodnot a délka časové řady**

Základní dvě otázky, před nimiž statistik chystající experiment stojí. Asi nejdelsí dostupná akciová časová řada jsou hodnoty indexu DJIA dostupné minimálně od 20. let 20. století, což dává přibližně tisíc měsíčních pozorování, když měsíc je zpravidla nejnižší frekvence používaná ve výzkumech hypotézy výkonnosti<sup>21</sup>. Z pohledu statistika a asymptotiky je toto opravdu luxusní vzorek. Denních pozorování je pak ještě dvacetkrát více.

Takto dlouhá časová řada je výjimkou — data o většině ostatních akciových indexů a drtivé většině akcií jsou výrazně kratší — v případě rozvojových trhů je dostupná historie maximálně 20letá. I tak však je zpravidla k dispozici 500 až 1000 týdenních či až 5000 denních pozorování.

Je používání *takto dlouhých* řad ve svém maximálním rozsahu nezbytné? Jaké výhody a negativa nese? Jaká je optimální časová délka zkoumaného vzorku? A jaká je optimální frekvence pozorování?

Různí autoři na to mívají různé názory, a to i při zkoumání obdobných krátkodobých charakteristik trhu. Fama [11, 12] při analýze sériové korelace používá data jednotlivých obchodních dní za necelých 5 let. V odstavci o filtroch, tedy technické analýze, však zmiňuje užití denních dat za více než 60 let. Fama [13] zmiňuje při zkoumání autokorelací týdenní výnosy za 23 let (cca. 1200 pozorování). Tian, Wan a Guo [26] pro svoji technickou analýzu použili prakticky celou dostupnou historii denních hodnot indexu DJIA, celkem 17 740 pozorování. Při srovnání amerického trhu s čínským pak desetiletou dostupnou historii čínských akcií a DJIA za stejné období (nabízí se ožehavá otázka, proč tato data nepoužili i pro první analýzu zaměřenou jen na americký trh? Zatímco v prvním případě rokem 1991 končí, ve druhém

<sup>21</sup>Poněkud jiná je situace při makroekonomických studiích, včetně jejich vztahu s akciovým trhem — viz např. [8, 7] — neboť veličiny typu růstu průmyslové výroby jsou mnohdy zveřejňovány pouze čtvrtletně.

začínají). Vošvrda, Kapička a Filáček [27] aplikují své testy na denní hodnoty indexu PX50 pražské burzy pouze za období od ledna 1995 do října 1997 (649 hodnot) prostě proto, že větší rozsah nebyl k dispozici.

Jsem jednoznačně zastáncem denních pozorování. K tržní realitě se totiž přiblížíme tím více, čím více zkoumaná data přiblížíme tomu, co trh ve skutečnosti produkuje, a s čím musí praktický investor počítat. Týdenní a měsíční pozorování se této realitě velmi vzdalují a výsledky analýz zamlžují.

V hledisku délky časové řady jsem pak názoru, že správná volba leží někde mezi extrémy, které byly v minulosti s různými motivy aplikovány. Příliš krátká řada (stovky hodnot) nenese dostatečnou statistickou sílu testů, vzhledem k nehomogenitě trhu napříč časem bychom se navíc vystavili riziku postižení třeba i jen jediného typu aktuální tržní situace. To by snadno mohlo vést snad k silným, ale silně vychýleným výsledkům — vhodnou volbou dat a modelu lze „prokázat“ téměř jakýkoliv požadovaný výsledek. Na straně druhé, jsou-li dostupná data za mnoho desetiletí zpět, jistě není vhodné použít je v plném rozsahu. Trhy totiž neprocházejí pouze jednotlivými zpravidla se opakujícími cykly souvisejícími s cyklem hospodářským, ale i postupným vývojem a obecnou změnou tržních podmínek v čase. Realita trhu v 50. letech byla evidentně zcela jiná než současná (z hlediska rychlosti a kvality šíření informací, přístupu jednotlivých účastníků na trh, mechanismů obchodování a nákladů na něj atd.). Výsledky Tiana, Wana a Guo [26] při použití celé 65leté časové řady tak považuju za zcela bezcenné.

Obecně se při výzkumu slabé formy hypotézy výkonnosti kapitálového trhu kloním k použití dat přibližně za 6 až 12 let, která zpravidla dobře postihnou různé fáze hospodářského cyklu, zároveň však umožní podržet důležitý předpoklad téměř nezměněných pravidel fungování trhu, samozřejmě nenastala-li mezičím zjevná strukturální změna typu zrušení monopolu národní burzy, brokera atp.

### **Jednotlivé akcie či portfolio?**

V citovaných pracích jsou statistické odhadovány a testy zpravidla aplikovány na různá portfolia, ač autoři těchto prací měli k dispozici časové řady cen či výnosů jednotlivých akcií. *Proč* se nezabývali přímo jimi?

Troufám si tvrdit, že testy, které se přímo dotýkají otázek možných aplikací případných porušení hypotézy výkonnosti při praktickém obchodování, jako autokorelace či obchodovací algoritmy, by především měly být zaměřeny na skutečně investovatelné instrumenty. Těmi jsou jednotlivé akcie vždy. U portfolia nastává ten problém, že je sice investovatelné, ale ne současně a v přesně požadovaných vahách, nemluvě o jejich udržování. Investovatel-

nost indexů je pak ekvivalentní existenci ETF<sup>22</sup> tento index kopírujícího, anebo derivátu (zejména futures) majícího jej za podkladové aktivum. Např. ETF na index S&P 500 patří k vůbec nejlikvidnějším akciím na světě, nejsem si však vědom existence likvidního instrumentu zastupujícího index DJIA.

Přitom chování jednotlivé akcie může být od celého portfolia velmi odlišné, což Campbell, Lo a MacKinley [6] teoreticky ukazují pro efekt ne-současného obchodování: zatímco neobchodování způsobuje (při nenulovém očekávaném výnosu) negativní autokorelaci jednotlivé akcie, v případě portfolia způsobuje autokorelaci kladnou.

Při výzkumu stochastických vlastností výnosů realizovaných na kapitálovém trhu tak preferuji analýzu jednotlivých akcií, výlučně na nich jsou založeny praktické testy v kapitole 8 této práce. Využívání časových řad portfolií, ať již uměle vytvořených nebo v podobě akciových indexů, by mělo být spíše jen doplňkem ilustrujícím „průměrné chování“.

### Efekt nesoučasného obchodování

Jde o jeden z jevů úzce souvisejících s tržní mikrostrukturou a nekonzistence mezi skutečnými daty produkovanými trhem a těmi, které ekonomové zpravidla užívají jako vstup pro své modely.

Přitom je mezi nimi z hlediska jeho vlivu na pozorované vlastnosti zkoumaných dat asi nejlépe prozkoumaný. Poměrně obsáhle jej popisují Campbell, Lo a MacKinley [6].

Obvykle užívané časové řady cen akcií odpovídají burze, kde obchod s akcemi probíhá tak, že investoři jednou za pevnou časovou periodu zadají své objednávky na nákup či prodej a tyto objednávky jsou následně podle určitých pravidel současně vyhodnoceny a je stanovena jediná cena, za niž jsou realizovatelné objednávky spárovány. Přitom objednávky na různé akcie jsou vyhodnocovány současně, aby zadávání objednávek do téhož aukčního kola pro akcie B nemohlo být ovlivněno již známými výsledky aukce akcií A. Takto určená cena je jedinou možnou a je zaznamenána jako jeden prvek své časové řady.

Takovéto systémy burzovních obchodů skutečně existují, vyznačují se však nízkou likviditou a neumožňují účastníkům obchodovat za proměnlivou cenu průběžně přizpůsobovanou aktuálním podmínkám, a tak se používají pouze na lokálních burzách a/nebo pro vedlejší trhy málo likvidních akcií.

<sup>22</sup>Exchange traded fund, neboli investiční fond investující do portfolia složením co nejvíce odpovídajícího vybranému akciovému indexu. Akcie ETF takový index velmi přesně kopírují, přičemž jsou standardně a často i za vysoké likvidity obchodovány na významných světových burzách.

Na takové burze neexistuje vzájemná korelace jednotlivých titulů a každá pozorovaná změna ceny zahrnuje právě nové cenotvorné informace zveřejněné od minulého aukčního kola (je-li v každém aukčním kole realizován aspoň jeden obchod). Pokud je pro nějakou akciu pozorována autokorelace výnosů, jde zjevně o porušení hypotézy výkonnosti trhu, neboť část výnosu v nadcházejícím aukčním kole je predikovatelná na základě výsledků kol předchozích a alespoň za předpokladu trhu bez tření lze získat nadvýnos.

Všechny významné burzy však v současnosti fungují zcela jinak: při jejich otevření sice může být realizována aukce popsaná výše, avšak poté po celý zbytek obchodního dne již účastníci své objednávky zadávají průběžně a pokud to jejich parametry umožňují, jsou hned realizovány — transakce se tak uskutečňují v náhodných časech během souvislého intervalu. Aktuální cena se mění zpravidla transakcí od transakce, někdy jde o cenu nabídkovou, jindy poptávkovou, může tak divoce oscilovat, ačkoliv „střední cena“ sleduje monotónní denní trend. V každé změně střední ceny od posledního obchodu je obsažena nová informace nakumulovaná od tohoto předchozího obchodu, který mohl nastat před 3 minutami stejně tak jako před 3 dny. Na konci obchodního dne je zaznamenána závěrečná cena, což je *jediná* cena, kterou má následně výzkumník k dispozici.

Pokud na *takové* burze odhalíme nenulovou autokorelaci, značí to přítomnost skutečně využitelné příležitosti vydělat více než průměr? Zjevně nikoliv. Nenulová autokorelace minimálně může být způsobena mnohdy podstatným rozdílem mezi tím, co je v okamžiku uzavření trhů a zaznamenání závěrečné ceny považováno za cenu odpovídající aktuálním informacím (která by byla dosažena, pokud by v tu chvíli byla vyhlášena aukce a jejím výsledkem jediná cena shodná pro nákup i prodej) a jaká je ona skutečně zaznamenaná cena.

## Sezónní efekty

Jak již bylo zmíněno, velmi oblíbeným tématem útočícím na teorii výkonnosti trhů byly v minulých letech různé sezónnosti v akciových výnosech, zejména lednový efekt. Řada autorů ho považovala za nezvratný — ale existoval vůbec? Bylo možno ho využít k nadvýnosu? V dnešní době, kdy podstatná většina obchodů s akcemi je činěna institucionálními investory, by měl své logické opodstatnění. Pro institucionální investory je velmi důležitým ukazatelem výkonnost jejich portfolií za kalendářní rok. A tak když před koncem roku potřebují hotovost, vylepšit obraz svého hospodaření nebo prostě snížit rizikovou expozici a uzamknout si dosažené výnosy, prodávají primárně akcie menších společností, které za končící rok nezaznamenaly příliš pozitivní výsledky. A když poté na začátku roku nového potřebují znovu zainvestovat spravovaná portfolia, sahají primárně po akcích, které se zdají být pod-

hodnocené — právě po těch, které v loňském roce nezaznamenaly excelentní výsledky a jejich cena byla prodejným tlakem o měsíc dříve ještě více stlačena.

K lednovému efektu mohou přispět i drobní soukromí investoři, které sice mnohem více zajímá dlouhodobé zhodnocení než výnos od Nového roku do Vánoc, jsou však motivováni daňovými vlivy, které s kalendárním rokem přímo souvisí: výnosy z individuálních akciových investic podléhají ve většině států dani z příjmu fyzických osob. Zpravidla ale lze proti zdánitelnému zisku z úspěšných obchodů započítat ztrátu z neúspěšných. To může vést právě k prodejům akcií, pro které byl končící rok neúspěšný. Vždyť přeci nebude problém si je po Novém roce zpět dokoupit...

Campbell, Lo a MacKinley [6] zmiňují lednový efekt v souvislosti s bid-ask spreadem: většinou je spojován s menšími akciami s nižší jednotkovou cenou a vyšším spreadem. Do časových řad se v prosinci dostávají ceny prodejní, v lednu nákupní. Několikaprocentní průměrný lednový nadvýnos je na světě...

Důkazy lednového efektu každopádně v poslední době významně zesláblý. Je to logické, pokud by akcie řekněme v prvních pěti obchodních dnech nového roku skutečně nadprůměrně vynášely, proč je nekoupit již poslední den roku starého. A když cena půjde nahoru již poslední den před koncem roku, nakoupíme příště ještě o den dřív... takže se dnes říká, že lednový efekt přichází již na Díkůvzdání (na konci listopadu), nebo se změnil na Santa rally — výrazný růst cen okolo Štědrého dne.

Analýzu lednového efektu a Santa rally jsem si zkousil provést na 60 jednotlivých amerických akciích (jde právě o tituly použité i v testech v kapitole 8) v letech 1995 až 2007. Srovnáním vždy období okolo Nového roku a zbytku roku následujícího jsem k žádným průkazným závěrům nedošel — pozorovaný výnos se ve zvoleném *údajně ziskovějším* období jeví lepší než po zbytek roku podobně často jako horší. Přítomnosti lednového efektu ani Santa rally na Wall Streetu v posledních letech tak nic nenasvědčuje.

Těžkou ránu zarytým zastáncům zásadně dobré výkonnosti v počátku roku nakonec zasadil leden roku 2008 — hned od prvního obchodního dne veškeré světové trhy prudce klesaly a nezastavily se prakticky po celý měsíc, mnohé z nich ztratily přes 20% počáteční hodnoty. Někteří jen nevěřícně zírali na monitory, a kdo ještě měl náladu vtipkovat, říkal „ještěže máme ten lednový efekt — jak hluboko bychom byli bez něj...?“

## Tržní bubliny

Mnoho lidí tvrdí, že *trhy prostě nemohou být výkonné, neboť se na nich zjevně vyskytují bubliny, a bubliny jakožto zjevný příklad chybného ocenění aktiv jsou v příkrém rozporu s výkonností trhu*. Je to však za všech okolností pravda?

Zde se dostaváme zpět k definici výkonného trhu. Pokud do informační množiny  $\Phi_t$  zahrneme i konsenzus analytiků či širokého investičního publiku o budoucích vyhlídkách sledované společnosti, najednou se nemusí nic jevit jako neadekvátně nízké či vysoké ocenění. Pokud bychom v případě slabé formy výkonnosti měli zůstat u historických cen, dividendového výnosu a podobných údajů o akci a vyneschali bychom očekávání budoucího vývoje, můžeme snadno dospět ke zjevně špatnému ohodnocení. V dnešní době by těžko někdo vysoko oceňoval akcie firmy vyrábějící parní lokomotivy, i když by třeba díky servisní činnosti nebo demontážím vyřazených strojů stále udržovala dobré historické i současné zisky a dividendový výnos...

Pokud na výkonnost kapitálového trhu budeme nahlížet jako na mechanismus, který stanovuje tržní ceny aktiv tak, že neumožňují v průměru vydělat nadstandardní rizikově očištěný výnos, pak i bubliny a různé psychologické teorie aplikované na kapitálový trh mohou být s výkonností konzistentní. Vždyť na bublinách se snaží přizivit i zkušení a racionální profesionální investor, jakkoliv si jich jsou vědomi a je jim jasné, že musí dříve nebo později drasticky splasknout. Jenže, bude to zítra nebo za 2 roky? Stát v takovém případě stranou akciového trhu nebo dokonce prodávat předražené akcie nakrátko znamená vystavovat se riziku, že než bublina praskne, vyrostou ceny akcií ještě o 50%.

Bráno dle maringalového modelu: s pravděpodobností 90% během příštího měsíce cena akcie vzroste o dalších 5%. S pravděpodobností 10% již bublina praskne a ceny akcií spadnou o 45%. Střední hodnota držení akcií podmíněna současnou informací je nulová, akcie jsou tak správně oceněny současné informaci...

## Středně silná a silná forma výkonnosti

Jelikož v praktické části této práce není pro tato dvě téma prostor, venuji jím zde aspoň krátké zamýšlení:

Jak uvádí Fama [13], přizpůsobování cen zveřejnění nové informace je velmi dobře probádáno. V dnešní době informačních kanálů přenášejících data na druhý konec světa za zlomek sekundy můžeme jasně pozorovat, že ceny akcií na zveřejnění důležitých makroekonomických ukazatelů reagují tak rychle, že denní data pro jejich studium zdaleka nepostačují. Prudký výkyv od předchozí ceny se odehráje v řádu sekund a do několika hodin ceny naleznou novou úroveň, na níž čekají na nové informace. Přitom někdy po úvodním skoku pokračují dále pozvolna stejným směrem, jindy ho korigují. Tedy přesně jak Fama říká, trhy *jsou výkonné ve středně silné formě* a přizpůsobování cen nové informaci, jakkoliv může být v prvním okamžiku nepřesné, je nestranné.

Silná forma výkonnosti trhu je evidentně narušována osobami zevnitř podniku, kteří občas provedou obchod, při němž pro ně trh výkonný není. To je fakt a nejspíš se nikdy nezmění.

Pokud ale jde o burzovní profesionály, silná výkonnost trhu podle mě není v ohrožení. Jejich analytické týmy se starají spíše o to, aby jim *neunikla žádná důležitá informace*, nebo dodávají rady pro delší období — například fundamentální analýzu akcií. Ale určitě za správci portfolií nechodí se slovy „akcie XYZ zítra zaručeně půjde o 2.3% nahoru“. Mimochodem — pokud by správci fondů byli *stabilně lepší než trh*, proč by si svá referenční portfolia *očišťovali od nákladů*, aby vůbec měli šanci je překonat?

## 6 Empirické testy — teorie

Jak ukázat, zda trh je výkonný ve smyslu vybrané definice? Je to závislé zejména na tom, s jakou statistickou vlastností hypotézu ztotožňujeme, nebo alespoň kterou považujeme za nepřímý důkaz.

V nejjednodušším případě testování slabé formy výkonnéosti trhu, testování náhodné procházky, si vystačíme s jednoduchými statistickými testy, například neparametrickými testy nekorelovanosti, nesezónnosti či nulové střední hodnoty. Jde např. o test znaménkový, mediánový či Spearmanovým koeficientem. Pokud je navíc součástí hypotézy rozdělení náhodné veličiny, lze testovat přímo konzistentnost dat s tímto rozdělením např. Kolmogorovovým–Smirnovovým testem. Informativní je pochopitelně i prostý výpočet výběrové autokorelační funkce.

Tyto testy sice mohou poskytnout zajímavé informace o pozorovaném procesu, nejsou však příliš informativní z hlediska predikovatelnosti. Pochopitelně jsem je nemohl zcela opominout, mají však pouze charakter empirického úvodu do problému — výpočtem empirické autokorelační funkce, jejím grafem a testy na jejích hodnotách založenými si lze udělat určitý úvodní obrázek o možné přítomnosti autokorelace umožňující predikovatelnost, tu je však nutno následně potvrdit či vyvrátit praktičtěji zaměřeným testem.

### Stacionarita časových řad

Ještě předtím se však zaměřím na stacionaritu časových řad, neboť mnoho statistických testů klade na zkoumaná data právě tento předpoklad. V praktických podkapitolách 8.6 a 8.7 jdou sice veškeré parametrické předpoklady stranou — nicméně i kdybych dělal pouze tyto testy, je dobré charakter časových řad z tohoto hlediska znát.

V ostatních praktických podkapitolách navíc (slabá) stacionarita význam má. V podkapitole 8.5 dívající se na predikovatelnost výnosů prakticky z hlediska lineární regrese by nestacionarita přinejmenším měla pro odhad regresního modelu nepříjemné důsledky v podobě horší přesnosti.

Nakonec, odhad autokorelační funkce procesu v podkapitole 8.2 a na něj navázané testy v podkapitolách 8.3 a 8.4 jsou založené na výběrových odhadech střední hodnoty a rozptylu procesu a silné porušení stacionarity může vést ke značně zkresleným výsledkům.

**Definice** *Mějme náhodný proces  $\{X_t\}_{t \in T}$ . Tento náhodný proces je*

- **Striktně stacionární**, když pro libovolné  $n \in \mathbb{N}$ , libovolná  $x_1, \dots, x_n$  a  $t_1, \dots, t_n$  a  $h$  taková, že pro  $1 \leq k \leq n$  je  $t_k \in T$ ,  $t_{k+h} \in T$ , pro

sdruženou distribuční funkci  $F$  platí

$$F_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = F_{t_1+h, \dots, t_n+h}(x_1, \dots, x_n).$$

- **Slabě stacionární**, když  $\mu_t = EX_t$  je konstantní pro každé  $t \in T$ ,  $\text{var}R_t < \infty \forall t \in T$  a navíc autokovarianční funkce  $\text{cov}(X_t, X_s)$ ,  $t, s \in T$  je funkcí pouze rozdílu  $t - s$ .
- **Kovariančně stacionární**, když  $\text{cov}(X_t, X_s)$ ,  $t, s \in T$  je funkcí pouze rozdílu  $t - s$ .

(Formulace dle Prášková [24]).

V případě statistického zkoumání časové řady akciových výnosů je zajímavá v první řadě proměnlivost střední hodnoty v čase. Například při odhadu regresního modelu, kde závisle proměnnou je očekávaný výnos akcie (a je jedno, co je vysvětlujícími proměnnými), by volba takového časového intervalu pozorování, v němž je střední hodnota silně proměnlivá, vedla k evidentně nesprávným odhadům parametrů modelu.

Nutno říci, že výzkumníci na poli akciových výnosů mnohdy stacionaritu tiše předpokládají, aniž by ji důkladně testovali. Pro stacionární procesy je totiž k dispozici řada parametrických testů, zatímco pro nestacionární procesy nikoliv. Nebo by bylo potřeba řadu stacionarizovat.

Konstantní střední hodnotu  $\mu_t$  v případě kratších časových řad (do několika let) zpravidla předpokládat lze, pokud během sledované doby nenastala významná strukturální či makroekonomická změna. Ostatně střední hodnota krátkodobého (denního či kratšího) akciového výnosu je mnohdy zcela ignorována a pokládána za nulovou, neboť ve srovnání se svojí variabilitou je o dva řády nižší — při očekávaném ročním výnosu 10% připadá na 1 obchodní den výnos 0.04%, denní pohyby kurzu však obvykle jsou v řádu percent. Pokud je přesto nutno s proměnlivostí střední hodnoty počítat (velké makroekonomické změny i v krátkém časovém horizontu, zkoumání dlouhé řady delších než denních výnosů), mnohdy postačí odečtení úrokového výnosu krátkodobých státních dluhopisů (pokladničních poukázek) jakožto měřítka bezrizikové úrokové míry.

Otzáka stacionarity rozptylu je závažná v modelech, které z něj nějakým způsobem vycházejí. Je-li požadována, je její porušení výrazně obávanější, odstranění je totiž složitější. Modely podmíněné heteroskedasticity, které to umožňují, byly vyvinuty až v 80. letech 20. století.

Pro detekci stacionarity jsem v této práci použil dvojici různých testů:

Skoro stejně starý, jako hypotéza výkonnosti kapitálového trhu, je návod Fielitz [15] z roku 1971, který nabízí jednoduchý *trendový test*, používaný ve statistice standardně k testování náhodnosti reziduů modelu. Při testování

stacionarity nejprve rozdělí pozorovanou časovou řadu na  $r$  nepřekrývajících se úseků. V každém úseku jsou spočítány výběrové průměry  $\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{j \in J_i} X_i$  a  $\nu_i = \frac{1}{n} \sum_{j \in J_i} X_i^2$ ,  $i = 1, \dots, r$ , kde  $J_i$  jsou indexy náležící do  $i$ -tého intervalu. Volba  $r$  musí být dostatečná pro konvergenci testové statistiky k jejímu asymptotickému rozdělení a pro sílu testu. Testová statistika se počítá z  $\frac{r(r-1)}{2}$  hodnot, postačí tak volba  $r \geq 25$ . Současně je ale nutno dbát na to, aby délka každého úseku  $\lfloor \frac{N}{r} \rfloor$  byla dostatečná, aby úsekové výběrové statistiky měly rozumný význam, tj. aby délka úseku byla alespoň cca. 8. Splnění obou těchto podmínek je v případě časových řad, které jsem zpracovával, zcela bezproblémové.

Z hodnot  $\mu_i, i = 1, \dots, r$  je spočítána testová statistika

$$\tau_1 = \#\{\mu_k > \mu_j \text{ & } k > j; \ j, k = 1, \dots, r\},$$

která má za platnosti nulové hypotézy stacionarity střední hodnoty střední hodnotu  $\frac{r(r-1)}{4}$  a rozptyl  $\frac{r(2r+5)(r-1)}{72}$ . Vzhledem k  $r \nearrow \infty$  pak má asymptoticky normální rozdělení s těmito parametry.

Analogicky je z hodnot  $\nu_i, i = 1, \dots, r$  spočítána testová statistika pro test stacionarity rozptylu pozorování.

Druhým, modernějším z použitých testů, je BDS test popsaný Brockem, Dechertem a Scheinkmanem [5]. Testuje nulovou hypotézu, že jednotlivá pozorování časové řady jsou nezávislé, stejně rozdělené náhodné veličiny, proti obecné alternativě, že tuto vlastnost nemají. Má tak sílu proti širokému spektru porušení nulové hypotézy, zamítnutí však neposkytuje žádnou informaci o příčině.

Test je založen na teorii chaosu a využívá výpočet *prostorové korelace*. Z časové řady vybírá všechny  $m$ -tice následujících pozorování (vyžaduje tedy parametr  $m$  nazývaný *dimenze vnoření*), které interpretuje jako body  $m$ -rozměrného prostoru, a počítá *korelační integrál*, tj. podíl všech možných dvojic bodů, které jsou od sebe vzdáleny méně než druhý parametr  $\varepsilon$ . Testová statistika má asymptoticky normální rozdělení.

Je zřejmé, že přijetí nulové hypotézy BDS testu znamená přijetí silné stacionarity zkoumaného náhodného procesu, z něhož za předpokladu konečného rozptylu plyne slabá stacionarita.

## Portmaneau test

Po otestování stacionarity časových řad a informativním odhadu autokorelačních funkcí aplikují dvojici testů na nich založených. Popis obou uvádí např. Campbell, Lo a MacKinlay [6]:

Nechť  $\{\epsilon_i\}_{i=1}^N$  je náhodný proces,  $r_k(\epsilon)$ ,  $k = 1, \dots$  posloupnost jeho k-tých výběrových autokorelačních koeficientů. Označme

$$\hat{Q}_m = N \sum_{k=1}^m r_k^2(\epsilon) \quad (13)$$

výběrovou Portmanteau statistiku (též nazývanou *Box–Pierceovo Q*). Za platnosti nulové hypotézy sériové nekorelovanosti výchozí časové řady  $\{\epsilon_i\}_{i=1}^N$  má  $\hat{Q}_m$  asymptoticky rozdělení  $\chi_m^2$ .

Jde o snadnou detekci přítomnosti *obecné* sériové korelovanosti v časové řadě. Zatímco totiž prostý výpočet výběrových autokorelačních koeficientů a jejich srovnání s kritickými hodnotami založenými na směrodatné odchylce odhadu jsou schopny podat obrázek o právě jednom z koeficientů, Portmanteau test odhalí i přítomnost více společně působících menších autokorelačních koeficientů. Pochopitelně odhalí i případ, kdy „celková“ sériová závislost je způsobena jediným velkým koeficientem.

Problémem při aplikaci tohoto testu je určení čísla  $m$  — kolik autokorelačních koeficientů bude scítáno. Volba příliš nízkého  $m$  může způsobit opominutí významné autokorelace vyššího rádu, naopak volba příliš velkého by v situaci, kdy koeficienty vyšších rádů jsou nulové nebo zanedbatelné, vedla k nízké síle testu. Jsou-li k dispozici dostatečně výpočetní prostředky, je tak pochopitelně nejlepší vypočítat více statistik pro dostatečný rozsah voleb  $m$ .

Campbell, Lo a MacKinley [6] nabízí i zpřesnění testové statistiky (13) pro krátké časové řady — nízká  $N$ . Ty však v této práci vzhledem k dostatečnému počtu pozorování v rádu tisíců nevyužiji.

## Test podíly rozptylů

Jiným přístupem k testování autokorelací je myšlenka, že pokud jsou členy časové řady sériově nekorelované, musí být rozptyl součtu několika těchto členů roven součtu jejich rozptylů.

Nechť časová řada  $\{\epsilon_i\}_{i=1}^N$  je homoskedastická. Pak pro zvolené  $k = 2, 3, \dots$  označíme  $\epsilon_t(k) = \epsilon_t + \epsilon_{t-1} + \dots + \epsilon_{t-k+1}$  a

$$VR(k) = \frac{Var[\epsilon_t(k)]}{k \cdot Var[\epsilon_t]}. \quad (14)$$

Pro nejjednodušší případ  $k = 2$  máme

$$VR(2) = \frac{Var[\epsilon_t + \epsilon_{t-1}]}{2Var[\epsilon_t]} = \frac{2Var[\epsilon_t] + 2Cov[\epsilon_t, \epsilon_{t-1}]}{2Var[\epsilon_t]} = 1 + \rho(1), \quad (15)$$

přičemž poslední rovnost lze zobecnit i pro  $k > 2$  (viz [6]).

Pro sériově nekorelovanou časovou řadu je podíl rozptylů pro všechna  $k$  roven jedné. Za předpokladu, že známe rozdělení jeho výběrové verze, lze vypočítané hodnoty použít k testu sériové korelovanosti dané časové řady.

V případě heteroskedastické časové řady, což je zřejmý případ akciových výnosů (viz tabulka 1), je výpočet rozptylu odhadu obtížnější, stále však realizovatelný. Odvození pro tento obecný případ a omezující podmínky, za nichž lze provést, lze nalézt v knize [6] na stranách 53–55, zde tedy uvedu pouze výslednou heteroskedasticky–konzistentní testovou statistiku:

$$\psi(q) = \frac{\sqrt{nq}(\overline{VR}(q) - 1)}{\sqrt{\hat{\theta}(q)}} \stackrel{a}{\sim} \mathcal{N}(0, 1) \quad (16)$$

kde  $q$  je „řád“ podílu rozptylů ( $k$  v rovnici (14)),  $n$  je počet pozorování podílu rozptylů (nikoliv  $N$  = počet členů časové řady, ale přibližně  $\frac{N}{q}$ ) a  $\hat{\theta}(q)$  je heteroskedasticky–konzistentní odhad rozptylu odhadu, s jehož rozepsáním z důvodu šetření místem pouze odkázu na Campbell, Lo, MacKinlay [6].

## Regresy na předchozí pozorování

Poté, co odhadneme autokorelační funkci zkoumané časové řady akciových výnosů, provedeme testy její nulovosti a tím zjistíme, že autokorelace není ani evidentně nulová, ani evidentně nenulová, je čas učinit krok od čisté teorie k čisté praxi: zamyslet se nad modelem, který se nedívá na teoretický charakter stochastického procesu generujícího pozorovaná data, ale který simuluje chování spekulanta na trhu a přímo počítá jím dosažený výnos.

Spekulant si zvolí jednoduché pravidlo nebo třeba složitější statistický model, který bude aplikovat na předchozí pozorování a na základě spočítané předpovědi nakoupí nebo prodá dané aktivum. Nyní již nás vůbec nezajímá, jaké rozdělení jednotlivé výnosy mají, zda jsou sériově korelované či nikoliv, ale pouze to, zda jsme nebo nejsme schopni vydělat více, než při jednoduchém nákupu aktiva na začátku sledovaného období a jeho prodeji na konci.

Prvním rozhodovacím algoritmem, který se každému statistikovi přímo nabízí a který přímo souvisí s autokorelačními koeficienty, je užití lineární regrese na dostupné historické hodnoty, kdy při rozhodování o investici pro periodu  $(t-1, t)$  (nákup za cenu v čase  $t-1$  a realizace výnosu v čase  $t$ ) jsou závisle proměnnými postupně pozorované výnosy  $r_{t-k}, k = 1, \dots, K$  a nezávisle proměnnými jsou pro konkrétní  $k$  hodnoty  $r_{t-k-m}, m = 1, \dots, M$ , kde  $M$  a  $K$  musíme co možná nejlépe zvolit, pochopitelně s ohledem na dostupnou historii dat a zjevný požadavek  $M \ll K$ .

Při práci s denními výnosy patrně za  $M$  zvolíme číslo v intervalu 1 až 20. Těžko se lze domnívat, že by zítřejší výnos mohl silně záviset právě třeba na výnosu před 37 dny. Zda však zvolíme  $M = 2$  nebo 15, je již silně subjektivní otázka.

Volbu  $K$  je nutno učinit tak, aby použité období bylo dostatečně dlouhé, abychom model odhadovali na dostatku dat, současně je ale třeba uvažovat proměnlivost tržních podmínek, jak z hlediska globálního, tak z pohledu jednotlivé firmy, a nepoužít kompletní dostupnou historii.  $K$  tak patrně zvolíme v intervalu od několika desítek do několika stovek, tj. denní pozorování za několik měsíců až let, což splňuje jak podmínu dostatečné kvality odhadu, tak relativní stability tržních podmínek.

Konkrétní volby parametrů, které jsem použil, uvádím přímo v kapitole 8.

Algoritmus obchodování může v extrémním případě vypadat tak, že spekulant si před každým rozhodnutím o investici (před každým obchodním dnem) za daných  $M, K$  odhadne z nejčerstvějších pozorování parametry regresního modelu, dosadí do něj hodnoty  $r_{t-1}, \dots, r_{t-M}$  a podle toho se roz hodne o investici pro čas  $t$ .

Protože takový postup by byl v praktické části této práce extrémně výpočetně náročný, byl jsem nucen přistoupit k poněkud jednodušší alternativě: kompletní sledované období jsem rozdělil na úseky délky  $K$  a vždy na začátku nového období jsem na základě hodnot z období právě končícího od hadl parametry regresního modelu, který jsem aplikoval v období začínajícím.

## Filtry

Obchodovací algoritmus nazvaný  *$q\%-filtre$*  byl již několikrát zmíněn. Jedná se o algoritmus založený na předpokladu kladné sériové korelace výnosů, kdy malé změny jsou označeny za šumy a ignorovány (filtrovány) a ty významné jsou využity k realizaci obchodu (změně tržní pozice).

$q\%-filtr$  pracuje tak, že v okamžiku, kdy cena vzrostla od posledního minima alespoň o  $q\%$ , vysílá signál k nákupu, a naopak, pokud cena klesla o  $q\%$  od posledního maxima, vysílá signál k prodeji.

Celý obchodní algoritmus je tak určen jediným parametrem, mezí  $q\%$ . Případně může být dále doplněn instrukcí, jak na signály reagovat — např. zda vždy nákupem/prodejem jedné jednotky aktiva, nebo nákupem/prodejem dodatečných jednotek při výrazném překročení meze apod. Tyto složitější či vícestupňové filtry jsem však netestoval, užívám jen základní pravidlo: nákupní signál znamená koupit jednu jednotku aktiva a držet ji až do okamžiku prodejního signálu. Pokud byla aktuální pozice při vyslání nákupního signálu záporná, znamená nákupní signál navíc její pokrytí, tj. ve skutečnosti nákup dvou jednotek. Při prodejném signálu je chování analogické.

## Klouzavé průměry

Dostí oblíbeným pravidlem technických analytiků<sup>23</sup> jsou klouzavé průměry, testované v citované práci Tian, Wan, Guo [26].

Jedná se o srovnání aritmetického průměru např. za 200 obchodních dní zpět a za 50 obchodních dní zpět. Pokud kratší průměr protne zespoda delší, znamená to pozitivní vliv nejnovějších pozorování, které do kratšího průměru vstupují padesátnovou vahou, kdežto do delšího pouze dvousetinovou. Je-likož se předpokládá, že současný pozitivní vývoj bude ještě nějaký čas po-kračovat, je vyslán nákupní signál. Dlouhá (kladná) pozice v aktivu je pak držena dokud není vyslán prodejný signál, což nastane právě tehdy, když kratší průměr protne shora průměr delší.

Kromě různé volby délky obou průměrů jsou možné i další obměny tohoto pravidla, například stanovení meze, o niž musí krátký průměr překonat dlouhý, aby byl signál vyslán, s účelem filtrace šumů při nejasném cenovém trendu a oscilaci krátkého průměru v blízkosti dlouhého. Moje filtry tak mají trojici parametrů — dvojici délky průměrů a tuto mez nutného překročení.

Tian, Wan a Guo [26] rozlišují klouzavé průměry na pevnou a variabilní dobu trvání, a to podle toho, zda po vyslání signálu je pozice držena pevný počet obchodních dní, nebo do vyslání opačného signálu, jak bylo zmíněno zde. Já se v této práci klouzavými průměry s pevnou dobou trvání nezabývám, v praktických výpočtech jsem implementoval pouze algoritmus založený na variabilní délce.

---

<sup>23</sup>Ve skutečné investorské praxi v současnosti technická analýza zpravidla není profesionály zcela opomíjena, ani jí však není zpravidla přisuzována žádná zázračná moc — bývá používána spíše jako doplněk či posvěcení k výsledkům fundamentální analýzy a „investorské rationality“ obecně.

## 7 Použitá data

Jak již jsem zmínil a odůvodnil v kapitole 5, časové řady, které v praktické části této práce používám, jsou

- **Výnosy jednotlivých akcií**, neboť se domnívám, že při testech dotýkajících se aplikací určitých algoritmů na reálných trzích je třeba testovat hodnoty o aktivech, se kterými na takových trzích skutečně lze obchodovat.
- **Denní frekvence pozorování**, neboť čím blíže se přiblížíme skutečnému vývoji ceny akcie, tím větší praktickou vypovídací hodnotu bude test mít. Denní zavírací ceny jsou přitom nejmenší frekvencí, jaká je ve volně přístupných databázích běžně dostupná ve formě čísel.
- „**Jen“ za posledních 8 let**, neboť to zajišťuje přibližnou neměnnost situace na burzách z hlediska transakčních nákladů, dlouhodobých průměrných objemů obchodů (s čímž je přímo spojena likvidita) a dalších parametrů souvisejících s praktickou výkonností trhu. Současně je zajištěn dostatečně velký počet pozorování pro sílu testů.
- **Jen ze dvou diametrálně odlišných burz**, přitom dělené na „velké“ a „malé“ akcie. V zadání této práce stojí „... vybraných kapitálových trhů, a to jak těch rozvinutých (např. New York, Londýn, Tokio), tak i těch (v celosvětovém měřítku) méně rozvinutých (např. Praha).“ Volím raději mnoho různých akcií z jednoho trhu rozvinutého a jednoho rozvojového namísto jednotek reprezentantů mnoha různých trhů, neboť taková volba dle mého názoru znamená menší riziko náhodné volby akcie zcela se vymykající charakteristikám svého trhu.

Za reprezentanta rozvinutého trhu jsem zvolil *americké trhy obečně*. Tato volba je jednoznačná: New York Stock Exchange je největším světovým trhem co do denního objemu obchodů i tržní kapitalizace na ní obchodovaných titulů, má dlouhou historii s tradicí masové účasti individuálních investorů. Pokud výkonné trhy existují, pak NYSE je jistě jedním z nich. V mých datech se nevyskytují pouze akcie z NYSE, ale navíc i z NASDAQ, což je elektronický trh vzniklý v USA v 70. letech jako konkurent právě tradiční NYSE. Oba trhy působí v totožném prostředí a pokud jde o výkonnost trhů, platí pro ně prakticky totéž.

Jako reprezentanta rozvojových trhů jsem zvolil korejskou burzu. Jde o jeden z nejvýznamnějších (celkovou tržní kapitalizací, objemem obchodů či celosvětovým významem zde obchodovaných společností) rozvojových trhů,

přitom funguje v demokratickém systému a nejsou na něm ve velkém uplatňovány různé restrikce jako v Číně. Co je podstatné, o tamních titulech jsou dostupné poměrně rozsáhlé a kvalitativně dostačující časové řady cen/výkonnosti.

Jelikož jsem práci psal na české univerzitě, nabízela by se pochopitelně volba burzy pražské (BCPP), která je rovněž řazena mezi rozvojové trhy. Proti tomu však hovoří dva zásadní faktory: jednak v jejím jediném likvidním segmentu SPAD bylo až do června 2004 obchodováno pouhých 6 akciových titulů. A hlavně, časové řady pražských akcií nejsou běžně volně přístupné.

Výhradním zdrojem dat mi byl server <http://finance.yahoo.com>, odkud jsem čerpal časové řady tržních cen jak amerických, tak korejských akcií. Tamní databáze je volně zdarma přístupná.

Můj soubor dat dohromady tvoří:

**30 akcií velkých firem** (podle tržní kapitalizace) z amerických trhů. Jde právě o 30 titulů, které tvořily v lednu 2008 index DJIA. V drtivé většině případů jsou obchodovány na NYSE, ale obsažen je např. i Microsoft obchodovaný primárně na NASDAQ. Tržní kapitalizace těchto vybraných firem kromě General Motors ležela na začátku roku 2008 v rozmezí od 28 do 501 miliard dolarů.

**30 akcií středních a malých firem z amerických trhů.** Jedná se o 30 „náhodně“ vybraných titulů z indexu Standard and Poor's 600 SmallCap index. Výběr byl realizován tak, že po rozdelení titulů indexu do skupin podle odvětví jsem podle abecedy vybíral každý 20. titul. Vyřazoval a nahrazoval jsem přitom tituly, které nesplňovaly požadavky použitelnosti pro mé testy — tj. zejména dostatečně dlouhou historii (alespoň od roku 1996) a odpovídající tržní kapitalizaci. Tu jsem požadoval přibližně v intervalu od 0.25 do 4 miliard dolarů, což odpovídá tržní kapitalizaci menších českých akcií obchodovaných na hlavním trhu BCPP, u nichž je to 0.4 až 2 miliardy dolarů — Pegas 6 miliard Kč, Orco 20 mld., Zentiva 35 mld.

Použití firem s vůbec nejnižší kapitalizací by bylo krajně nevhodné, protože časové řady jejich denních výnosů jsou značně ovlivněny nízkou frekvencí obchodování a kvůli nízké likviditě i vysokou ovlivnitelností ceny jedním obchodem. Zpravidla mají vysoký bid–ask spread. To vše je činí značně nevhodnými pro zkoumání na denní bázi za alespoň přibližného předpokladu trhu bez tření. Ačkoliv jsem ve skutečnosti použil akcie, které se svou tržní kapitalizací nacházejí výrazně *nad* mediánem trhu, přesto jsou nezanedbatelně kontaminovány neobchodováním či vlivem bid–ask spreadu.

Jegadeesh a Titman [17] kromě vyhýbání se dvěma dolním kvintilům titulů podle kapitalizace navíc navrhují vynechání i těch, jejichž cena za kus byla na počátku sledovaného období nižší než \$5, neboť jednotný minimální krok kotace (rozdíl sousedních přípustných cen) na NYSE ve výši  $\$ \frac{1}{8}$

tvořící v takovém případě i 3% ceny je již velmi vzdálen od ideálu neomezeně malých možných změn cen umožňujících reakci ceny akcie i na informaci s minimálním vlivem. Toto omezení však na přelomu tisíciletí padlo, nyní již jsou přípustné kroky kotace řádově menší (ve výši centu či ještě nižší) a tak není nutno tyto akcie opomíjet.

**30 akcií velkých firem korejské burzy.** Velikost firem byla posouzena podle objemu obchodů s těmito akcemi dne 5.3.2008 jako zástupná veličina k tržní kapitalizaci, kterou jsem neměl k dispozici. Vybral jsem 30 titulů s nejvyššími peněžně vyjádřenými objemy (tedy ty nejlikvidnější), avšak pouze takové, pro něž na Yahoo byla dostupná kompletní historie, což pro Koreu je od 4.1.2000. Vyrazeny byly i ty, jejichž objem obchodů v daný den mnohonásobně převyšoval tříměsíční průměr.

Denní objem obchodů pro vybrané tituly dosáhl od 32 do 212 miliard wonů, tedy asi od 560 do 3700 milionů Kč. Přitom obvyklý denní objem obchodů na BCPP dosahuje od 10 milionů Kč pro malé tituly po několik miliard v případě ČEZ, v případě složek indexu DJIA na amerických burzách pak řádově stovek milionů dolarů, tj. miliard Kč. Objemy obchodů největších korejských akcií tedy odpovídají velkým českým či nadprůměrným, ale ne největším americkým titulům.

**30 akcií středních a malých firem korejské burzy.** Zvolil jsem společnosti s objemem obchodů 5.3.2008 mezi 1.8 a 3 miliardami wonů (20 až 60 milionů Kč, což opět odpovídá např. české Zentivě), s plnou historií a bez extrémní odchylky objemu od tříměsíčního průměru. Ačkoliv jde o „malé“ tituly, jejichž denní časové řady atakují hranici použitelnosti, opět jde o tituly nacházející se v pořadí objemů obchodů a patrně i tržní kapitalizace korejských akcií mezi 65. a 75. percentilem! Index všech akcií korejské burzy *KOSPI composite* má asi 740 složek, přitom tyto „malé“ akcie se v žebříčku velikosti nacházejí mezi 170. a 250. místem!

Z toho je jasně vidět, že když Fama [13] citovaný v podkapitole 4.5 hovoří v souvislosti s efektem velikosti o malých akciích a má tím na mysli dolní dva kvintily, hovoří o datech, která já považuji za prakticky netestovatelná.

Volba délky použitých časových řad byla jednoduše determinována dostupností korejských: ty na Yahoo začínají 4.1.2000, tak jsem použil řady od tohoto data do 31.1.2008. V případě amerických dat to znamená 2028 pozorování výnosu, v případě korejských 1970 (asi o 8 obchodních dní ročně méně).

Data z USA bylo možné použít prakticky bez úprav v té podobě, v jaké jsem je z Yahoo stáhl. Jelikož je zdrojem americký server, má dobře pokryté volné dny tamních burz a v časových řadách se takové dny, kdy nulový výnos vykazují všechny sledované tituly, prakticky nevyskytují. Navíc, jelikož je sběr dat dostatečně podchycen a pečlivě sledován, jsou v časových řadách správně

zohledněny výplaty dividend či štěpení akcií, které by jinak prostou řadu cen za jednu akciu značně deformovaly. Databáze přímo nabízí pro každý titul kromě skutečné zavírací ceny i otvírací, minimální, maximální a zejména očištěnou<sup>24</sup>. Stačí si jen vybrat tu správnou.

Podstatné problémy vyžadující poměrně rozsáhlé korekce dat se však týkaly korejských akcií. Kvalita bezplatných historických časových řad pochopitelně nepatří mezi priority amerického serveru. V podstatě mohu být rád, že tam vůbec jsou dostupné. Při jejich využití je nutné dbát zvýšené obezřetnosti:

- Korejské obchodní dny se neshodují s americkými, v korejských řadách se tak vyskytuje i řada svátků (s nulovým výnosem pro všechny tituly), které je třeba odstranit.
- Korejské akcie často před svým štěpením několik týdnů vůbec nejsou obchodovány. To znamená 5 až 20 nulových pozorování a následný skok, v němž jsou akumulované veškeré kurzotvorné informace za období s přerušeným obchodováním. Tento problém snad lze uhlídat při detailním sledování několika málo titulů, ne však při užití několika desítek, kde pro rozumně jednoduché společné zpracování je nutná určitá uniformita dat. Tyto tituly, ačkoliv by podle ostatních pravidel byly vybrány, jsem tak raději zcela vypustil a nahradil jinými.
- Štěpení akcií vůbec je v časových řadách upravených zavíracích cen ošetřeno poměrně špatně. Bylo tak nutné štěpení (extrémní skoky cen o desítky procent — i při štěpení 2 za 1 jde o změnu nominálního kurzu o 50%) ohlídat a ručně upravit na smysluplné hodnoty.
- Nepřesně jsou v korejských datech na Yahoo zahrnuty i dividendy — do upravených zavíracích cen jsou všechny zahrnuty v jeden či dva konkrétní dny na konci roku, případně pololetí, ačkoliv změna nominální ceny výplatě uvedené dividendy absolutně neodpovídá. V těchto dnech jsem tak raději denní očištěné výnosy, které v praktických testech používám, vypočítal ze změn nominálních cen namísto z upravených.

---

<sup>24</sup>V praxi řada vypadá tak, že v nejnovější historii se očištěná cena shoduje se zavírací. Starší hodnoty jsou upraveny dělením multiplikátorem, který dividendy a štěpení zohledňuje tak, aby očištěná cena přímo říkala, kolik bych *tehdy* musel zaplatit, abych při průběžné reinvestici dividend *nyní* měl právě jednu akciu.

## 8 Empirické výsledky

Mým hlavním cílem v této praktické sekci je prokázat hypotézu, že pozorovaná data sice neodpovídají teorii výkonného trhu v jeho nejčistší teoretické formě, tj. že za extrémních předpokladů trhu bez tření lze nalézt algoritmy, jejichž užitím by průměrně bylo dosaženo zřetelně vyššího výnosu než při strategii kup a drž, ale že současně díky přítomnosti (zejména) *nenulových cen za nákup či prodej aktiv* je trh ekonomicky výkonný — tzn. že ve skutečné obchodní praxi *nelze* stabilně nadstandardních zisků dosahovat, a to kvůli neplatnosti předpokladů trhu bez tření.

Nejprve se v podkapitole 8.1 zabývám otázkou stacionarity zkoumaných dat. Následně podkapitoly 8.2 až 8.4 se zabývají standardními statistickými testy zaměřenými na rozpoznání charakteru zkoumaných časových řad z hlediska sériové korelace jejích prvků. Tyto testy nemají přímé důsledky pro tvrzení o hypotéze výkonnéosti trhu.

Naopak podkapitoly 8.5 až 8.7 ponechávají teoretický charakter řad zcela stranou a zaměřují se na implementaci praktických obchodovacích algoritmů a přímý výpočet výnosu na zkoumaných datech.

Při určení klíčového parametru — výše transakčních nákladů — vycházím ze skutečných poplatků na Burze cenných papírů Praha a každý z výpočtů obchodovacích algoritmů opakuji třikrát pro různé úrovně poplatku.

Za prvé, výpočty provádí v prostředí bez poplatku, tj. uvažuji nulovou cenu za transakci. Pokud jsou platná tvrzení autorů, že v takovém prostředí by trh výkonný nebyl, měl by být průměrný výnos testovaných strategií vyšší než výnos strategie kup a drž.

Za druhé, uvažuji poplatek ve výši 0.08% z objemu transakce. Tuto hodnotu považuji za dolní mez, k níž se snad spekulant na akciovém trhu může za určitých okolností přiblížit. Poplatek člena BCPP za uzavření obchodu ve SPAD činí v současnosti 0.07% a toto číslo tak činí teoretickou dolnímez<sup>25</sup>. Běžný obchodník navíc členem burzy není, ke svým obchodům musí užívat brokera<sup>26</sup> a tomu platit další poplatek. I pro obchodníka s velkým objemem transakcí tak patrně náklady na obchod přesáhnou 0.1% objemu.

<sup>25</sup>Tzv. tvůrce trhu pro určitý akciový titul má pro něj poplatek snížený až na 0.01%. Nemůže jej však nakupovat a prodávat dle své libovůle, ale naopak z titulu své funkce je povinen za účelem zajištění likvidity neustále vypisovat jak nákupní, tak prodejní kurzy, za něž je *povinnen* v případě zájmu jiného člena burzy danou akcií v určitém objemu koupit nebo prodat. Hlavním zdrojem jeho zisku je pak rozdíl mezi nižší cenou, za niž akcií poptává, a vyšší za niž ji nabízí.

<sup>26</sup>Člena burzy jako zprostředkovatele.

Třetí mnou uvažovaná teoretická výše transakčních nákladů vychází z poplatků pro drobného investora obchodujícího v segmentu KOBOS<sup>27</sup> pražské burzy, kde na začátku roku 2008 bylo možno prostřednictvím retailových brokerů obchodovat za poplatek kolem 0.4% objemu obchodu. Konzervativním odhadem z tohoto čísla jsem dospěl ke třetí hodnotě parametru 0.25%.

Jelikož americký trh „velkých“ akcií je velmi rozvinutý, likvidní, považovaný za výkonný a v USA panuje velká konkurence mezi brokersy, lze očekávat, že obchodovací algoritmy budou vykazovat na velkých US akciích při nulové transakční ceně mírné zisky, ale již při nižší transakční ceně 0.08% se zhroutí k nule či do záporu. To ostatně tvrdí řada autorů, jako např. Tian, Wan a Guo [26], kteří sice své modely přímo s konkrétními transakčními cennami netestují, ale z vypočtených nadvýnosů při nulových nákladech a z počtu za tím účelem vygenerovaných transakcí vyvozují, že tyto zdánlivě ziskové modely přestávají fungovat již při transakčních nákladech pod 0.1%.

Naopak, v případě ostatních časových řad jednotlivých akcií — malých amerických a velkých i malých korejských — lze malou výnosnost nad očekávání při nákladech 0.08% tolerovat, jak kvůli vyšším skutečným poplatkům požadovaným brokersy, tak kvůli dalším faktorům, které lze mezi transakční náklady zahrnout, např. bid–ask spread. Náklady ve výši 0.25% by je však již měly spolehlivě přebít a prokázat tak slabou výkonnost trhu v praktické verzi.

Nejen moje obchodovací algoritmy počítají v případě predikce záporného budoucího výnosu s prodejem nakrátko, tedy prodejem akcie, kterou spekulant v dané chvíli nevlastní — půjčí si ji od brokersy ve vře, že ji v budoucnu bude moci koupit a vrátit levněji. To je zejména na rozvinutých trzích poměrně běžná praxe, kterou brokeři skutečně nabízejí. Účtují si za ni však vyšší poplatky a/nebo úroky z poskytnuté půjčky, což znamená reálně ještě vyšší transakční náklady spojené s krátkou pozicí.

Pro úsporu místa zde nejsou otištěny kompletní výsledky. Lze je však nalézt na přiloženém CD. Z celkových 30 hodnot pro jednotlivé akcie každé ze 4 skupin je vždy prezentováno 8: trojice nejmenších (v tabulce označeny min, (2), (3)), první quartil, medián (jako aritmetický průměr 15. a 16. hodnoty), třetí quartil a trojice největších ((28), (29), max). Dále je uveden aritmetický průměr všech hodnot — je však potřeba si uvědomit, že kvůli logaritmické definici výnosu (součet logaritmů se nerovná logaritmu součtu) je jeho význam problematický, záleží na tom, jak k obchodovacím signálům budeme přistupovat. Pokud za jednotku aktiva vezmeme pevný počet kusů, pak ztráta 200% nebude znamenat propad majetku do mínu, ale pouze

---

<sup>27</sup>Narození od SPADu má minimální obchodovatelné množství akcií stanovené na 1 kus a je tak přístupný i osobám s kapitálem několika tisíc Kč.

z 1 na  $e^{-2}$ . Aritmetické průměry výnosů akcií přitom nebudou mít rozumný význam. Naopak, pokud jednotkou bude pevný objem peněz, aritmetický průměr bude dobrou mírou „středu“, obchodník však skutečně může skončit se záporným majetkem.

## 8.1 Stacionarita časových řad

### Trendový test

Jelikož mám k dispozici časové řady délky přibližně 2000 pozorování, mám velkou volnost ve volbě parametru  $r$  — počtu úseků na něž řadu rozložím. Použiji tak hned 3 volby délky úseků, a to  $\lfloor \frac{N}{r} \rfloor = L = 12, 18 \text{ a } 30$ , což znamená  $r$  od 65 do 169. S faktrem, že délka řad není přesným násobkem zvolených délek úseků, se vypořádávám jednoduše tak, že nejstarší přebytečná pozorování nepoužiji. Vzhledem k množství dat bych tím neměl ztratit žádnou důležitou informaci.

Výsledky — počty akcií, pro něž byla stacionarita střední hodnoty, resp. rozptylu na 5%ní hladině významnosti zamítnuta — jsou shrnuty v tabulce 4. Pro velké americké akcie je stacionarita střední hodnoty přijata v 89 z 90 zkoumaných případů (30 akcií krát 3 volby  $L$ ). Naopak pro všechny akcie s výjimkou General Motors je zamítnuta stacionarita rozptylu, a to i na hladinách spolehlivosti o mnoho řádů nižších než požadovaný.

skupina	$\mu$			$\sigma^2$		
	$L = 12$	$L = 18$	$L = 30$	$L = 12$	$L = 18$	$L = 30$
USA velké	0	1	0	29	29	29
USA malé	3	3	4	27	25	24
Korea velké	3	3	3	25	24	24
Korea malé	3	4	3	24	23	19

Tabulka 4: Počty zamítnutí stacionarity střední hodnoty (první tři sloupce) a rozptylu (druhé tři sloupce) výnosů pro různé skupiny akcií a volby parametru  $L$

Pro malé americké akcie je pozorováno častější porušení stacionarity střední hodnoty i častější nezamítnutí stacionarity rozptylu. Jelikož malé akcie jsou obecně považovány za volatilnější a nevyzpytatelnější, není to žádné velké překvapení.

Výsledky obdobné, ale ještě o něco dále od striktních závěrů pro velké americké akcie jsou pozorovány pro velké i malé korejské. Nutno dodat, že trojí zamítnutí stacionarity střední hodnoty pro každou z voleb  $L$  není

způsobeno zamítnutím pro každou volbu v případě 3 akcií — jen pro jedinou akcií je zamítnuto třikrát. P-value testů se pro konkrétní akcie při různých  $L$  neliší diametrálně, přitom není zjevná monotonie p-value v závislosti na  $L$  ani jedním směrem.

Zatímco při zamítnutí stacionarity střední hodnoty výnosu zpravidla testová statistika kritickou hodnotu nepřevyšuje diametrálně — p-value se i v případech zamítnutí obvykle pohybují mezi 1% a 5% — v testech stacionarity rozptylů se p-value zpravidla pohybují mnoho řádů pod  $10^{-5}$ .

### BDS test

Podívejme se nyní na výsledky BDS testu, který by měl být silnější, ale méně informativní při zamítnutí, a to i proti trendovému testu, který podává více informace alespoň samostatným testováním různých momentů.

Parametr dimenze vnoření  $m$  jsem volil od 2 do 5. Parametr velikosti okolí bodu  $\varepsilon$  volil automaticky použitý software. Výsledky jsou shrnutы v tabulce 5. Hodnoty značí, v kolika případech ze 480 (30 akcií krát 4 volby parametru  $m$  krát 4 volby parametru  $\varepsilon$ ) *nebyla* na 5% hladině významnosti zamítnuta nulová hypotéza, že časová řada je posloupností nezávislých stejně rozdelených náhodných veličin, a jaký to je podíl (druhý rádek). Vypočtené hodnoty p-value jsou zpravidla monotónní v parametru dimenze vnoření, avšak nikoliv stejným směrem — někdy p-value s rostoucí dimenzí roste, jindy klesá. Přitom druhý případ převažuje. Pokud jde o monotónnost ve volbě  $\varepsilon$ , ta evidentně přítomna není.

	USA		Korea	
	velké	malé	velké	malé
počet	0	0	2	0
podíl	0%	0%	0.4%	0%

Tabulka 5: Počty a podíly *nezamítnutí* hypotézy, že jednotlivá pozorování jsou nezávislé stejně rozdelené náhodné veličiny

Výsledky jsou zcela jednoznačné: nulová hypotéza je zamítnuta ve všech až na dva případy z 1920 testovaných. P-value testů jsou přitom v drtivé většině případů o mnoho řádů níže, než standardní požadované hladiny významnosti. Pouze výjimečně (max. ve 20 případech ze všech) je pozorována p-value mezi 0.1% a 5%.

Tyto výsledky jsou s výsledky předchozích trendových testů konzistentní — ty sice nezamítlaly konstantní střední hodnotu, ale ve velké většině případů

jednoznačně zamítaly stacionaritu rozptylů. BDS test přitom testuje mnohem silnější sdruženou vlastnost, jejíž součástí je právě i stacionarita rozptylů.

Shrnutím obou testů mohu konstatovat, že základní požadovaná vlastnost — stacionarita střední hodnoty — se zdá být víceméně splněna. Pro korejské akcie sice podlámání zamítá výrazně přesahuje 5%, jak by tomu za platnosti nulové hypotézy bylo, na druhou stranu však při volbě hladiny významnosti 1% bych ze 180 testů nezamítl ani jednou.

Kovarianční stacionarita evidentně neplatí — časové řady evidentně nejsou homoskedastické, což má za následek prakticky bezvýhradné zamítání BDS testem.

### Podmíněná heteroskedasticita v časových řadách

Testová statistika trendového testu stacionarity rozptylu vypověděla o charakteru nestacionarity toliko to, že výběrové rozptyly byly větší ve starších pozorovaných hodnotách než novějších<sup>28</sup>. Vzhledem k poměrně krátkému intervalu, v němž byla mnou použitá data sbírána, ve srovnání s délkou makroekonomických cyklů, to však neznamená, že by se rozptyl akciových výnosů v průběhu desetiletí trvale snižoval. Jde pouze o pozorování konzistentní s tím, že počátek časových řad pochází z období prasknutí internetové bubliny, přičemž korekce jsou vždy doprovázeny vysokou volatilitou. Naopak druhá část dat pochází převážně z období relativně stabilní růstové situace na akciových trzích.

Již po několik desetiletí ekonomové uznávají, že akciové výnosy jsou heteroskedastické — potvrzuje to i tabulka 1, byť za velmi krátký časový interval. V popsání pozorované heteroskedasticity se v 80. letech 20. století poměrně významně angažovaly nově vytvořené modely ARCH a GARCH (analogie autoregresních a ARMA procesů, přičemž však předmětem (G)ARCH modelu není vlastní hodnota časové řady, ale její rozptyl).

Zkusil jsem tedy své testy zpřesnit aplikací GARCH modelu. Pokud by časové řady výnosů transformované odhadnutým GARCH modelem již vykazovaly stacionaritu, znamenalo by to, že podmíněná heteroskedasticita je jedinou příčinou nestacionarity prokázané v předchozích testech, přičemž navíc charakter heteroskedasticity jsme schopni popsat.

Model GARCH jakožto rozšíření dřívějšího ARCH popisuje Bollerslev [4]. Pro jeho odhad jsou dnes již poměrně běžně dostupné naprogramované procedury.

---

<sup>28</sup>Test je nazýván *trendový* proto, že je silný proti alternativě trendu v testované veličině — pokud testová statistika  $\#\{X_k > X_j \& k > j; j, k = 1, \dots, K\}$  výrazně převyšuje hodnotu očekávanou za nulové hypotézy stacionarity, znamená to, že vyšší hodnoty se kumulují dále v čase (vyšší  $k$ ) a řada tak vykazuje rostoucí trend, a naopak.

Pokud se časová řada reziduí  $\{\epsilon_t | \psi_{t-1}\}_{t \in T}$ , kde  $\psi_{t-1}$  je  $\sigma$ -algebra informací (historie) do času  $t - 1$ , řídí modelem GARCH( $p, q$ ), pak

$$\begin{aligned} \epsilon_t | \psi_{t-1} &\sim \mathcal{N}(0, h_t) \\ h_t &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j}. \end{aligned} \quad (17)$$

Podmíněný rozptyl rezidua  $\epsilon_t$  je tedy lineární kombinací konstanty,  $q$  předchozích druhých mocnin realizace rezidua a  $p$  předchozích rozptylů rezidua.

Zatímco autoregresní složka  $\sum_{i=1}^q \alpha_i \epsilon_{t-i}^2$  zajišťuje pozorovanou vlastnost akciových výnosů, že *velké hodnoty (libovolného znaménka)* jsou následovány *velkými hodnotami (libovolného znaménka)*, člen  $\sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j}$  zajišťuje „lepší paměť“ — jedna či dvě malé realizace ve volatilním období nepostačují k opětovnému návratu nízkých rozptylů, jak by tomu bylo za přítomnosti pouze autoregresní složky (což je model ARCH(q)).

GARCH model proces se v modelování časových řad výnosů akcií ukaže jako úspěšnější než ARCH. Ten sice je schopen dosáhnout podobných výsledků, avšak za cenu vysokého rádu autoregresce. GARCH model je mnohdy dostačující již při nejjednodušší volbě  $(p, q) = (1, 1)$ , což jsou parametry, které jsem použil i zde.

Jak ukazují tabulky 6 a 7, aplikací GARCH(1,1) modelu na zkoumané časové řady (když za rezidua  $\epsilon_t$  jsem bral přímo pozorované výnosy) jsem dosáhl mnohem lepších výsledků ve prospěch stacionarity, než v původním případě.

skupina	$\mu$			$\sigma^2$		
	L = 12	L = 18	L = 30	L = 12	L = 18	L = 30
USA velké	1	2	2	13	12	10
USA malé	2	2	2	19	17	16
Korea velké	6	5	4	0	1	2
Korea malé	3	0	4	9	9	9

Tabulka 6: Počty zamítnutí stacionarity střední hodnoty (první tři sloupce) a rozptylu (druhé tři sloupce) výnosů pro různé skupiny akcií a volby parametru  $L$ , když původní časové řady byly transformovány odhadnutým GARCH(1,1) modelem

Srovnáním tabulek 6 a 4 vidíme, že stacionarita střední hodnoty je v drtivé většině případů přijata i pro řady transformované GARCH modelem. Velmi významně však poklesl počet případů zamítnutí stacionarity rozptylu: pro americké akcie je to zhruba v polovině případů (pro velké méně, pro malé

	USA		Korea	
	velké	malé	velké	malé
počet	136	179	100	122
podíl	28.3%	37.3%	20.8%	25.4%
počet, $m = 2$	27	45	23	23
podíl, $m = 2$	22.5%	37.5 %	19.2%	19.2%

Tabulka 7: Počty a podíly zamítnutí hypotézy, že jednotlivá pozorování jsou nezávislé stejně rozdelené náhodné veličiny, když původní časové řady byly transformovány odhadnutým GARCH(1,1) modelem

více), pro malé korejské ve 30% (přesně), pro velké korejské je stacionarita zamítnuta dokonce jen ve 3 z 90 testů.

Ještě větší zlepšení je pozorováno při BDS testech, jak ukazuje srovnání tabulek 7 a 5. Zatímco dříve byla hypotéza nezávislosti a stejného rozdělení zamítnuta téměř bezvýhradně, nyní se míra zamítnutí pohybuje jen mezi 20% a 40%. Více pro americké akcie, méně pro korejské. To zní sice překvapivě, nicméně vysvětlení patrně lze nalézt v obecně výrazně vyšší volatilitě korejských akcií, která implikuje vyšší kritické hladiny pro zamítání hypotézy homoskedasticity.

V posledních dvou řádcích tabulky 7 jsou ještě uvedeny výsledky pro speciální volbu parametru BDS testu dimenze vnoření  $m = 2$ , pro nějž bylo z testovaných možností zamítáno nejméně často. To však prostě může být následkem malé síly testu při takovém parametru.

Ačkoliv to nebylo primárním smyslem těchto testů, výsledky BDS testu pro transformované hodnoty *poskytují velmi silnou podporu ve prospěch slabé výkonnosti trhu*. Ve více než dvou třetinách případů totiž byla přijata nulová hypotéza, že prvky časové řady *jsou nezávislé stejně rozdelené náhodné veličiny*. Přitom GARCH transformace pouze znormovala jejich rozptyl.

## 8.2 Autokorelační funkce

Kromě otestování stacionarity je dalším jednoduchým způsobem, jak získat představu o vyšetřovaných datech, odhadnutí a zakreslení jejich autokorelačních funkcí. Mým cílem zde bylo zejména srovnání chování mých dat s výsledky zhusta prezentovanými v literatuře podobného zaměření, kde jsou často prezentovány nenulové autokorelace nízkých řádů, avšak nikterak velké, zpravidla jen mírně přesahující 5%ní hranici statistické významnosti. Autori pak zpravidla konstatují, že určitá autokorelace je patrně přítomna,

avšak vzhledem ke koeficientům pod 0.1 se nezdá, že by mohla být rozumně využitelná pro ekonomicky efektivní predikci.

S ohledem na zjištění předchozí podkapitoly však nutno připustit, že vzhledem ke kovarianční nestacionaritě testovaných časových řad (v těchto i následujících výpočtech i testech jsem pracoval pouze s neupraveným heteroskedastickými daty) mohou být výsledky značně nepřesné.

Pro všechny časové řady jsem vypočítal autokorelace po 12. rád. Již letmým pohledem na výsledky<sup>29</sup> shrnuté v tabulce 8 lze konstatovat, že některá z prvních čtyř autokorelací je zpravidla blízká 5%ní hladině statistické významnosti jejich nenulovosti, mnohdy ji i přesahuje.

Patrné jsou však výrazné rozdíly mezi americkými a korejskými akcemi: v případě velkých amerických akcií je nejzřetelnějším jevem záporná druhá autokorelace, kde pro Pfizer dosahuje vůbec největší absolutní hodnoty ze všech spočítaných 360 autokorelačních koeficientů, a to -0.138. I druhé největší číslo a zároveň jediné další větší než 0.1 najdeme mezi druhými autokorelaciemi, pro Johnson's and Johnson's je -0.106. Průměrná druhá autokorelace je -0.038, druhá největší je jedenáctá, -0.020. Druhá autokorelace je záporná pro 26 ze 30 sledovaných akcií. Obecně lze říci, že autokorelace jsou spíše záporné — průměr je kladný jen pro dvojici rádů, dosahuje přitom malých hodnot.

Obecně záporná zůstává autokorelace i pro malé americké akcie. Zde však již není největší pro druhý, ale první rád, a dosahuje přitom výrazně vyšších hodnot: vůbec největší je pro Trust Bank New York, a to -0.243. Záporných je 24 ze 30 prvních autokorelací, jejich průměr dosahuje -0.053, což již je poměrně vysoká hodnota kolem hranice statistické významnosti. Záporných je opět 10 ze 12 prvních průměrných autokorelací. Největší kladný pozorovaný autokorelační koeficient dosahuje „jen“ 0.080.

Pro velké korejské akcie je situace podobná velkým americkým v tom, že záporné druhé autokorelace jsou stále významné — největší -0.117 pro SK-Telecom — předstihly je však první autokorelace, které jsou většinou kladné. V absolutní hodnotě vůbec největší dosažená hodnota je pozorována pro Hyundai Mipo Dock, a to první autokorelace ve výši +0.119. Záporné jsou pouze dvě z prvních autokorelací, průměr je +0.046. Naopak průměr druhých autokorelací je -0.033, kladné jsou jen 3 ze 30.

Konečně pro malé korejské akcie jsou výsledky podobné velkým, není pozorován žádný významný skok směrem k větší korelovanosti jako v případě amerických. Zdaleka největší pozorovanou hodnotou je opět první autokorelace, a to +0.138 pro Hanjin Transport, největší hodnota z jiných než prvního

---

<sup>29</sup>Zde prezentuji pouze extrémní a průměrné hodnoty autokovariancí, intuitivnější grafy pro prostorovou náročnost nikoliv, obsaženy jsou na přiloženém CD.

USA velké										
	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1	0.041	0.038	0.030	0.013	-0.007	-0.021	-0.049	-0.062	-0.064	-0.007
2	0.038	0.014	0.003	-0.009	-0.032	-0.044	-0.082	-0.106	-0.138	-0.034
3	0.063	0.054	0.036	0.022	-0.001	-0.016	-0.056	-0.065	-0.087	-0.002
4	0.077	0.055	0.046	0.022	-0.006	-0.029	-0.048	-0.050	-0.063	-0.004
5	0.049	0.031	0.018	0.006	-0.012	-0.032	-0.041	-0.043	-0.044	-0.013
6	0.041	0.023	0.019	0.006	-0.012	-0.031	-0.051	-0.064	-0.080	-0.015
7	0.037	0.025	0.022	0.005	-0.014	-0.026	-0.060	-0.063	-0.068	-0.014
8	0.049	0.046	0.038	0.019	0.010	-0.010	-0.041	-0.062	-0.082	0.001
9	0.055	0.049	0.047	0.013	-0.003	-0.026	-0.039	-0.039	-0.045	-0.004
10	0.067	0.041	0.034	0.019	0.001	-0.018	-0.039	-0.044	-0.060	-0.001
11	0.034	0.024	0.018	0.004	-0.020	-0.036	-0.054	-0.056	-0.070	-0.020
12	0.067	0.049	0.048	0.030	0.016	-0.006	-0.014	-0.022	-0.030	0.013
USA malé										
	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1	0.061	0.023	0.023	-0.005	-0.043	-0.082	-0.164	-0.183	-0.243	-0.053
2	0.036	0.034	0.028	0.002	-0.026	-0.043	-0.069	-0.088	-0.089	-0.024
3	0.049	0.033	0.028	0.019	-0.003	-0.022	-0.037	-0.040	-0.081	-0.003
4	0.048	0.022	0.016	0.004	-0.005	-0.024	-0.048	-0.056	-0.063	-0.010
5	0.080	0.046	0.037	0.021	-0.008	-0.023	-0.032	-0.042	-0.048	-0.003
6	0.035	0.017	0.010	-0.007	-0.017	-0.029	-0.051	-0.062	-0.087	-0.021
7	0.061	0.044	0.037	0.015	-0.003	-0.018	-0.037	-0.049	-0.059	-0.002
8	0.038	0.036	0.024	0.012	-0.006	-0.023	-0.049	-0.061	-0.075	-0.007
9	0.034	0.033	0.030	0.017	-0.006	-0.015	-0.027	-0.028	-0.064	-0.002
10	0.039	0.031	0.027	0.012	-0.007	-0.021	-0.036	-0.040	-0.053	-0.006
11	0.048	0.043	0.039	0.026	0.011	-0.006	-0.021	-0.029	-0.037	0.009
12	0.062	0.053	0.048	0.021	0.005	-0.008	-0.019	-0.022	-0.028	0.008
Korea velké										
	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1	0.119	0.096	0.088	0.075	0.056	0.027	0.007	-0.026	-0.105	0.046
2	0.034	0.030	0.003	-0.013	-0.029	-0.047	-0.093	-0.096	-0.116	-0.033
3	0.055	0.037	0.029	0.018	-0.004	-0.037	-0.054	-0.061	-0.071	-0.010
4	0.057	0.005	0.001	-0.009	-0.030	-0.043	-0.057	-0.060	-0.069	-0.028
5	0.020	0.004	0.002	-0.009	-0.024	-0.040	-0.049	-0.057	-0.065	-0.024
6	0.039	0.037	0.037	0.011	-0.003	-0.024	-0.048	-0.059	-0.063	-0.006
7	0.067	0.049	0.045	0.030	0.002	-0.014	-0.038	-0.041	-0.084	0.003
8	0.027	0.023	0.022	0.005	-0.023	-0.026	-0.051	-0.052	-0.052	-0.014
9	0.048	0.030	0.029	0.012	-0.007	-0.021	-0.043	-0.044	-0.044	-0.005
10	0.040	0.022	0.020	0.010	-0.001	-0.012	-0.036	-0.037	-0.039	-0.003
11	0.037	0.029	0.025	0.003	-0.006	-0.016	-0.038	-0.039	-0.052	-0.007
12	0.030	0.027	0.027	0.013	-0.003	-0.017	-0.043	-0.044	-0.046	-0.005
Korea malé										
	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1	0.138	0.112	0.106	0.057	0.018	-0.015	-0.046	-0.048	-0.057	0.022
2	0.039	0.032	0.027	-0.004	-0.020	-0.039	-0.062	-0.064	-0.072	-0.019
3	0.074	0.064	0.051	0.030	0.009	-0.011	-0.038	-0.041	-0.042	0.011
4	0.022	0.009	0.006	-0.004	-0.019	-0.030	-0.050	-0.056	-0.072	-0.019
5	0.035	0.030	0.019	-0.007	-0.029	-0.060	-0.093	-0.097	-0.108	-0.035
6	0.019	0.014	0.012	-0.006	-0.023	-0.037	-0.050	-0.060	-0.072	-0.023
7	0.052	0.038	0.032	0.015	0.000	-0.011	-0.032	-0.034	-0.034	0.002
8	0.052	0.043	0.040	0.012	-0.010	-0.023	-0.055	-0.077	-0.082	-0.008
9	0.049	0.041	0.041	0.021	0.000	-0.019	-0.022	-0.026	-0.026	0.001
10	0.077	0.069	0.055	0.033	0.020	-0.007	-0.026	-0.032	-0.048	0.015
11	0.036	0.015	0.013	0.004	-0.009	-0.023	-0.059	-0.062	-0.066	-0.013
12	0.058	0.045	0.023	0.005	-0.016	-0.029	-0.044	-0.044	-0.054	-0.012

Tabulka 8: Vypočtené výběrové autokorelační koeficienty pro všechny testované časové řady. Pro každý koeficient (řádky) jsou uvedeny tři nejmenší hodnoty, výběrové kvartily, tři největší hodnoty a aritmetický průměr.

řádu (celkově třetí) je tentokrát *pátá* autokorelace HanmiPharm, a to  $-0.108$ . Obecně jsou mnohem častěji pozorovány vyšší autokorelace vyšších řad. Je otázka, zda je to způsobeno odlehlymi pozorováními spojenými s neobchodováním, nebo třeba velkým celkovým rozptylem zamlžujícím autokorelace nižších řad. I zde v průměru převládá záporná korelace, spíše však ve velikosti průměrů než četnosti.

Překvapilo mě, že korejské akcie vykazují menší porušování hypotézy nulovosti sériových korelací. Hranici významnosti překračují méně často než akcie americké a hlavně, zatímco americké akcie hranici překračují někdy i dvojnásobně, korejské jen mírně. Jako nejpravděpodobnější vysvětlení se mi jeví fakt, že akcie na rozvojových trzích bývají výrazně volatilnější než tituly na vyspělých, z čehož plynou vysoké kritické hodnoty.

Stejně tak jsem očekával, že výběrové autokorelace budou zřetelně vyšší v případě malých společností než v případě velkých — jsou totiž snáze ovlivnitelné neobchodováním nebo naopak silně nadprůměrnou obchodní aktivitou jediného subjektu na trhu. Toto se však projevilo pouze u amerických akcií — zatímco velké zpravidla nepřekračují autokorelati 0.1 a hranici významnosti výrazněji překračují pouze výjimečně, malé místy dosahují i autokorelace blížící se 0.2, což je několikanásobné překročení pásma.

Závěrem nutno dodat, že tyto výsledky nemohou být brány jako důkaz pro nebo proti výkonnosti trhu, stejně jako výsledky testů na nich přímo založených v dalších dvou podkapitolách. Jsou pouze odrazovným můstkom k testům, které skutečně prozkoumají profitabilitu různých obchodovacích algoritmů. Významná závislost v jakémkoliv směru by se měla projevit při obchodování založeném na regresi, autokorelace výrazné kladné hodnoty a nízkého řádu pak ve filtroch či klouzavých průměrech. Již zde tak můžu poznamenat, že lze očekávat zdánlivé (při nulové transakční ceně) zamítnutí výkonnosti trhu obchody založenými na regresi (pro všechny akcie) a dále filtrovým obchodováním pro korejské akcie.

### 8.3 Portmanteau test

Portmanteau test přímo využívá výběrové autokorelační koeficienty a na jejich základě stanoví „obecnou“ míru autokorelace řady. Jelikož vyžaduje přesnou volbu, kolik prvních autokorelací má být uvažováno, a přitom špatná volba může negativně ovlivnit jeho sílu, spočítal jsem raději všechny hodnoty pro volby  $m = 1, \dots, 12$ . Výsledky jsou následující:

- Pro velké americké akcie zamítá nulovost autokorelací ve 127 ze 360 případů (30 akcií krát 12 různých voleb  $m$ ). Pro  $3 < m \leq 12$  zamítá

pro dané  $m$  vždy pro 12 až 17 akcií. Medián p-value se pohybuje mezi 5% a 9%.

- Pro malé americké akcie zamítá ve 187 ze 360 případů, tedy přibližně v polovině. Počet zamítnutí je pro dané  $m$  vždy od 14 do 16, test je pro konkrétní akcie na volbu  $m$  víceméně stabilní — buďto zamítnete pro většinu  $m$ , nebo pro skoro žádné. Medián p-value se pohybuje mezi 2.5% a 5.5%.
- Pro velké korejské akcie zamítá ve 251 ze 360 případů, tedy téměř v 70%. To je způsobeno častým výskytem velkých (v absolutní hodnotě — test nerozliší) prvních autokorelací, které postačí pro zamítnutí i při rostoucí kritické hodnotě. Medián p-value pro žádné  $m$  nepřesahuje 1.7%.
- O něco méně významné jsou autokorelace pro malé korejské akcie, kdy test zamítá ve 204 případech. Pro dané  $m > 4$  však vždy v alespoň 18 ze 30. Mediány p-hodnot jsou pro tato  $m$  menší než 2.5%

Toto zjištění je konzistentní s pohledem na odhadnuté autokorelační funkce, kdy kritické hodnoty jsou nezřídka překračovány, i když zpravidla nikterak výrazně. Je konzistentní i se zjištěními ostatních autorů, že autokorelace je zjevně přítomna, i když relativně malá.

To sice lze považovat za důkaz nebo alespoň příznak proti slabé výkonnosti trhu v jeho čisté formě, stále to však mnoho nevypovídá o praktické využitelnosti autokorelací. Vzhledem k tomu, že ve 30 až 65% případů nulovost autokorelací zamítnuta nebyla, nelze její statistickou významnost stále považovat za obecně prokázanou a všudypřítomnou: jelikož test obvykle pro danou akcií soustavně zamítal nebo nezamítal bez ohledu na volbu parametru, lze tvrdit, že pro jednu až dvě třetiny akcií autokorelace není prokázána. I kdyby prokázaná autokorelace byla při obchodech využitelná, zůstává otázkou, zda by spekulant byl schopen odhalovat ji správně a včas, aby ji mohl využít. Alespoň v této práci nezodpovězenou totiž zůstává otázka časové stability znaménka i velikosti autokorelací.

## 8.4 Podíly rozptylů

Druhým komplexním testem založeným na autokorelacích, který jsem použil, je test podíly rozptylů popsaný Campbell, Lo, MacKinley [6].

V situaci, kdy Portmanteau testem byla prokázána převažující (byť ne všeobecná) přítomnost autokorelací mírně nad hranicí statistické významnosti, se může zdát zbytečné tyto další testy dělat. Myslím však, že jako

obohacení práce mohou být zajímavé, zejména pro svoji povahu a netriviální implementaci v případě heteroskedasticity, proto si dovolím zde své výsledky (založené na implementaci vzorců odvozených v knize [6]) prezentovat.

Obdobně jako v případě Portmanteau testu nastupuje i zde horká otázka volby parametru — rozptyl kolikadenních ( $j$ ) výnosů bude testován proti součtu rozptylů výnosů jednodenních. Naštěstí mě tu nelimituje fakt, že původní počet pozorování  $N$  se redukuje na  $\frac{N}{j}$ , neboť mé časové řady by unesly i redukci na dvacetinu. Využívám předchozího zjištění, že vyskytuje-li se u nějaké akcie statisticky významné autokorelace, jde o nižší řády, a volím parametr  $j$  od 2 do 5.

Výsledky jsou následující:

- Pro velké americké akcie test na 5%nlí hladině zamítá pouze v 18 ze 360 případů, což je právě 5%. Přitom s výjimkou akcí ropy společnosti Exxon Mobile, jejíž podíly rozptylů naznačují významnou zápornou autokorelací (rozptyl vícedenního výnosu je menší než součet rozptylů), pro niž test zamítá vždy, v žádném jiném případě nezamítá častěji než ve 2 ze 4 případů volby parametru. 1. kvartil p-value dosahuje hodnot od 11% do 31%, což již je výrazně nad zvolenou 5%nlí hranicí.
- Konzistentě s výsledky prezentovanými v kapitole 8.2, pro malé americké akcie test zamítá výrazně častěji, a sice ve 47 případech (cca. 13% celku). Normalizovaná testová statistika často dosahuje významných záporných hodnot, což naznačuje významné záporné autokorelace. 1. kvartil p-value dosahuje hodnot od 0.3% ( $j = 3, 4$ ) do 3.4% ( $j = 2$ ), hodnot p-value přes 10% zde dosahují spíše teprve mediány.
- Pro velké a malé korejské akcie jsou výsledky podobné — test zamítá ve 28, resp. 27 případech, 1. kvartil p-value je od 3.4% do 18%, což je zpravidla mírně nad zvolenou hranicí významnosti. Normalizované testové statistiky jsou zpravidla kladné, konzistentně s tím, že u korejských akcií převažuje kladná autokorelace nízkých řádů nad zápornou.

To může být po poměrně silných výsledcích Portmanteau testu dost zklamání, zejména pro odpůrce výkonného trhu. Četnost zamítnutí nulovosti autokorelací zpravidla jen mírně převyšuje zvolenou spolehlivost testu. Je to způsobeno tím, že zatímco předchozí test je jako stvořený pro detekci tohoto typu sériové závislosti, test podíly věrohodnosti je vlivem větší obecnosti (komplikované heteroskedasticity konzistentní odhadu rozptylu testu) a  $j$ -krát menšího rozsahu výběru prostě slabší. V případě korejských akcií pak jejich obecně vysoká volatilita generuje vysoké kritické hodnoty, které je obtížnější překonat.

## 8.5 Regrese na historické výnosy

Nyní se konečně dostávám k jádru celé práce, a to k praktickým algoritmům, které na daných historických datech zkoušeji obchodovat a testují, zda jsou využitelné ke skutečnému nadstandardně ziskovému obchodování.

Prostý odhad modelu lineární regrese, kdy vysvětlovanou proměnnou je výnos akcie v čase  $t$  a vysvětlujícími proměnnými výnosy v časech předchozích, aplikovaný na celou časovou řadu při  $k = 12$  vytvořil modely, v nichž se zpravidla (ne však naprosto vždy) vyskytovaly statisticky významně nenulové koeficienty. Z hlediska toho, zda šlo o koeficient u výnosu zpožděného o jeden či 12 dní, však vůbec nebyly konzistentní. Koeficienty determinace se v nejlepších případech pohybovaly mezi 0.05 a 0.08. To není příliš povzbudivé, nelze se však divit, vzhledem k tomu, jak slabá autokorelace byla v časových řadách odhalena. I takový model ale může být generováním velkého množství transakcí s průměrným malým kladným nadstandardním výnosem významně ziskový. Pochopitelně však nelze na nějakých datech model odhadnout a poté ho na tatáž data aplikovat, to by sice patrně vedlo k velmi významnému kladnému výnosu, avšak takový algoritmus je v praxi nerealizovatelný.

Jak jsem již uvedl v kapitole 6, v praxi nejspíš nejlepší (alespoň intuitivně) realizací by bylo každý den model znova odhadnout na nejčerstvějších datech. To by však v mém případě, kdy bylo potřeba spočítat dva tisíce dní pro více než stovku různých akcií najednou, bylo velmi výpočetně náročné. Zvolil jsem proto již popsané zjednodušení — rozdelení na úseky se společným odhadem koeficientů. Mé volby parametrů byly:

- 40 úseků po  $T = 50$  dnech v případě amerických akcií, resp. po 49 dnech v případě korejských (cca. o 8 obchodních dní za rok méně). To odpovídá úseku délky cca. 2.5 měsíce.
- 16 úseků po 125, resp. 123 dnech, což odpovídá pololetím.
- 8 úseků od 1. ledna do 31. prosince každého roku.

Výnosy obchodovacího algoritmu byly vždy počítány až od druhého období, neboť první (nejstarší) vždy sloužilo jen pro odhad modelu pro druhé. Tomu odpovídá i srovnávací výnos strategie kup a drž — vždy je uvažován až od prvního dne druhého období.

Za parametr  $k$ , kolik minulých výnosů bude považováno za regresory, jsem postupně volil 4, 8 a 12.

To by spolu s různými volbami předpokládané transakční ceny stačilo, já však algoritmus obohatil ještě o dodatečný parametr  $\omega$  jako meze pro zaujetí dvojnásobné pozice při jeho překročení. Algoritmus tak znal následující variány ( $\alpha$  je poplatek za jednotku obchodu):

- $\gamma \in (-\alpha, +\alpha)$  ... je zachována dosavadní pozice, neboť predikovaný výnos je menší než náklady na její změnu
- $\gamma \in [+ \alpha, +\omega)$  ... pokud dosavadní pozice byla nulová či záporná, kup tolík jednotek akcie, aby nová pozice byla  $+1$
- $\gamma \in (-\omega, -\alpha]$  ... pokud dosavadní pozice byla nulová či kladná, prodej (na krátko) tolík jednotek akcie, aby nová pozice byla  $-1$
- $\gamma \geq +\omega$  ... kup tolík jednotek akcie, aby nová pozice byla  $+2$
- $\gamma \leq -\omega$  ... prodej (na krátko) tolík jednotek akcie, aby nová pozice byla  $-2$

Hodnoty  $\omega$  jsem určil pro jednotlivé skupiny akcií (nikoliv pro jednotlivé akcie) hrubým odhadem směrodatné odchylky jejich denního výnosu. Volby jsou následující:

- $\omega = 2\%$  pro velké americké akcie
- $\omega = 3\%$  pro malé americké a velké korejské akcie
- $\omega = 3.5\%$  pro malé korejské akcie

Ještě doplním, že při dosavadní pozici  $+2$  a predikci výnosu v intervalu  $(-\alpha, +\omega)$  se pozice nemění, neboť je stále predikován kladný výnos, anebo záporný ale tak malý, že očekávaná ztráta je menší než náklady na likvidaci dlouhé pozice. Analogicky pro dosavadní pozici  $-2$  a predikci výnosu v intervalu  $(-\omega, +\alpha)$ .

No a konečně tedy k získaným výsledkům:

Pro **velké americké akcie** a délky úseků 40 a 125 dní je spočítaný nadvýnos navrženého obchodovacího algoritmu při nulové transakční ceně v průměru i mediánu v 5 ze 6 případů (dvojí délka úseku a trojí volba  $k$ ) kladný, a to v průměru 15.1% za celé sledované období 7 let, tedy asi 2.15% ročně. To sice ve srovnání s dlouhodobým průměrným výnosem amerických akcií cca. 10% ročně není nějak moc, ale za významně kladný výsledek to již považovat lze. Přitom u jediné volby parametrů, kdy je jak medián, tak aritmetický průměr záporný (úsek 40 dní,  $k = 12$ ), jsou tato negativní čísla „malá“ — v případě průměru cca. -1% ročně, pro medián pak -1.5% ročně.

Samostatný výsledek pro úsek 125 dní je přímo ohromující: průměrný nadvýnos strategie je +19% až +25% za necelých 7 let, medián pro  $k = 8$  pak dosahuje dokonce +57.5%.

Naopak pro roční úseky jsou v průměru dosahovány podvýnosy, patrně následkem příliš velkého vzorku, na němž je model odhadován, a příliš dlouhé

doby mezi sběrem a aplikací dat, což vede k rozmělnění krátkodobých autokorelací. Šestiletý průměrný nadvýnos je od  $-0.4\%$  do  $-13\%$ , medián pak od  $-13.3\%$  do  $-20.6\%$ . Další kvantily lze nalézt v tabulce 9.

Máme tedy skvělý důkaz toho, že určitá využitelná autokorelace je v pozorovaných datech přítomna a za předpokladu nulové transakční ceny lze v průměru nadstandardně vydělat. Podívejme se však, jak se situace změní, když do modelu zahrneme poplatek z objemu obchodu, který nejen změní kumulovaný výnos, ale ovlivní i samotný rozhodovací algoritmus tím, že posunuje práh, kdy se *ještě nic nedělá, neboť by se nadělalo více škody než (očekávaného) užitku*.

Výsledky plně podporují moji hypotézu, že zdánlivá využitelnost autokorelací se již zahrnutím minimální transakční ceny ve výši  $0.08\%$  z objemu obchodu zcela hroutí. Dříve nadprůměrně výnosné strategie založené na úsecích délky 40 či 125 dní najednou způsobují v průměru o  $102\%$  za 7 let (tj.  $16\%$  ročně) horší výsledek, než kup a drž! I nejlepší z nich (úsek 125 dní,  $k = 4$ ) je plných  $68\%$  v mínu, nejhorší dokonce o  $155\%$ ! To vše jen kvůli nepatrnému dodatečnému nákladu. Obdobná (tentokrát nikoliv výrazně horší) situace je u ročních úseků.

Výsledky při transakční ceně  $0.25\%$  snad již ani nestojí za zmínku, asi nikoho nepřekvapí že jsou o dalších  $5\%$  až  $35\%$  ročně horší než při třetinové transakční ceně.

V případě **malých amerických akcií** je situace obdobná, viz. tabulka 10. Vlivem silnějších autokorelací jsou výsledky lepší, což je patrné zejména pro situaci bez transakčních nákladů. Aritmetické průměry nadvýnosů jsou kladné u všech 9 strategií, a to v průměru téměř  $+60\%$  za 7 let ( $+8.5\%$  ročně). Nejlépe opět vychází pro 125denní úseky, kde proti kup a drž přinášejí v průměru asi  $10.5\%$  ročně navíc. Pokud úspěšnost budeme poměrovat mediány, je výsledek mírně horší, stále však jde o nadvýnos mezi  $2\%$  a  $10\%$  ročně. 2 z 9 mediánů jsou sice záporné, nejvíce však  $-1.2\%$  ročně.

Ačkoliv jsem se původně domníval, že pro malé americké akcie (stejně jako pro oboje korejské) může díky relativně vysokým pozorovaným autokorelacím algoritmus dosahovat nadvýnosu ještě i při transakční ceně  $0.08\%$ , opak se ukázal být pravdou. Průměrný nadvýnos je vždy záporný, činí nejméně  $-0.5\%$ , nejvíce téměř  $-18\%$  a v průměru téměř  $-8\%$  ročně. V případě mediánů je situace obdobná (opět vždy horší), o situaci při transakční ceně  $0.25\%$  ani nemluvě.

Lze snad očekávat nějaké překvapení pro **velké korejské akcie**? Kupodivu ano, viz tabulka 11: regresní algoritmus najednou nefunguje již ani při nulové transakční ceně. Oproti kup a drž dosahuje v průměru o  $12\%$  ročně horší výsledek.

úseky délky 50 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	2.468	1.669	1.401	0.845	0.114	-0.195	-1.875	-2.146	-4.249	0.054
	0.08%	1.917	0.723	0.251	-0.225	-0.966	-1.424	-2.481	-2.913	-5.271	-1.000
	0.25%	-0.155	-0.804	-0.994	-1.437	-1.838	-2.466	-3.988	-4.153	-6.145	-2.203
8	0	2.779	2.060	2.042	1.030	0.317	-0.484	-1.428	-1.862	-2.227	0.245
	0.08%	1.007	0.921	0.812	-0.081	-1.261	-1.898	-2.690	-3.271	-4.040	-1.078
	0.25%	-0.005	-1.125	-1.530	-2.172	-2.861	-3.859	-4.611	-4.616	-6.175	-3.045
12	0	2.614	2.302	1.385	0.733	-0.105	-0.728	-1.802	-2.055	-2.467	-0.075
	0.08%	0.833	0.680	0.147	-0.825	-1.408	-2.057	-3.576	-3.957	-4.234	-1.554
	0.25%	-1.201	-1.244	-1.759	-2.968	-3.708	-4.895	-5.483	-6.453	-7.830	-3.971
úseky délky 125 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	2.499	2.056	1.680	0.856	0.198	-0.516	-1.173	-1.521	-1.577	0.242
	0.08%	1.751	1.205	0.661	0.165	-0.782	-1.347	-1.972	-2.491	-3.213	-0.680
	0.25%	1.237	0.627	0.383	-0.674	-1.397	-1.804	-2.719	-2.769	-3.147	-1.250
8	0	3.178	1.895	1.664	0.990	0.575	-0.860	-1.461	-1.501	-2.422	0.192
	0.08%	2.742	1.272	0.745	0.009	-0.784	-1.767	-2.497	-2.530	-3.766	-0.862
	0.25%	0.459	0.016	-0.234	-0.954	-2.112	-2.648	-3.280	-3.745	-4.071	-1.949
12	0	2.047	1.998	1.852	1.006	0.155	-0.487	-0.678	-1.013	-2.201	0.248
	0.08%	0.920	0.859	0.826	-0.095	-1.090	-1.565	-1.900	-2.811	-3.514	-0.950
	0.25%	-0.481	-0.622	-0.793	-1.642	-2.136	-3.193	-3.907	-4.392	-4.769	-2.385
úseky roční délky											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	2.017	1.801	1.568	0.496	-0.133	-0.419	-1.299	-1.659	-1.922	-0.004
	0.08%	1.219	1.138	0.400	-0.040	-0.630	-1.390	-2.154	-2.254	-2.503	-0.736
	0.25%	0.851	0.381	0.380	-0.390	-1.104	-1.660	-2.480	-2.566	-3.052	-1.056
8	0	1.787	1.520	1.372	0.502	-0.206	-0.632	-1.073	-1.143	-2.171	-0.094
	0.08%	0.568	0.507	0.310	-0.663	-1.144	-1.545	-2.128	-2.214	-2.830	-1.071
	0.25%	0.027	0.011	-0.008	-0.788	-1.396	-2.310	-2.696	-2.753	-3.263	-1.486
12	0	1.959	1.608	1.099	0.317	-0.184	-0.715	-1.112	-1.117	-1.409	-0.130
	0.08%	1.053	0.792	0.228	-0.635	-1.414	-1.827	-2.358	-2.414	-2.536	-1.255
	0.25%	0.060	-0.254	-0.272	-1.294	-1.841	-2.295	-2.726	-3.023	-3.086	-1.734

Tabulka 9: Výsledky obchodovacího algoritmu založeného na lineární regresi na historické výnosy pro velké americké akcie

úseky délky 50 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	avg
4	0	6.078	4.527	3.501	1.366	0.434	-1.311	-2.196	-2.489	-2.686	0.402
	0.08%	4.880	2.733	2.450	0.434	-0.606	-2.338	-3.423	-3.455	-3.847	-0.755
	0.25%	3.064	0.715	0.541	-1.155	-2.505	-3.491	-4.813	-5.569	-6.470	-2.284
8	0	6.803	3.117	2.682	1.252	-0.084	-1.459	-2.678	-2.695	-3.884	0.072
	0.08%	5.775	2.534	1.503	-0.144	-1.267	-2.771	-4.017	-4.173	-5.486	-1.248
	0.25%	3.870	0.463	-0.766	-2.219	-3.235	-4.906	-6.176	-6.270	-8.624	-3.328
12	0	8.065	5.296	5.197	1.021	0.126	-1.265	-2.585	-2.618	-3.675	0.262
	0.08%	6.490	3.839	3.575	-0.112	-1.266	-2.730	-3.636	-4.191	-5.238	-1.102
	0.25%	3.120	0.530	0.363	-2.598	-4.285	-5.200	-6.443	-6.698	-6.989	-3.861
úseky délky 125 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	avg
4	0	5.790	5.536	3.250	1.819	0.162	-0.350	-1.237	-1.413	-1.444	0.802
	0.08%	4.320	3.829	1.987	0.870	-0.644	-1.049	-2.225	-2.622	-3.068	-0.200
	0.25%	3.354	1.735	1.160	0.250	-1.095	-1.946	-2.404	-2.653	-3.170	-0.804
8	0	6.755	5.206	4.702	1.724	0.570	-0.259	-0.872	-1.181	-3.631	0.968
	0.08%	5.818	3.391	2.808	0.556	-0.785	-1.541	-2.258	-2.621	-4.836	-0.313
	0.25%	4.256	1.201	0.725	-0.618	-2.012	-2.990	-3.458	-3.918	-4.641	-1.768
12	0	6.698	3.854	3.764	2.246	0.097	-0.509	-1.767	-2.382	-4.246	0.655
	0.08%	5.708	2.321	2.230	0.662	-0.958	-2.193	-3.114	-3.322	-5.391	-0.754
	0.25%	3.846	0.611	-0.069	-1.344	-2.783	-3.578	-5.005	-5.058	-6.882	-2.480
úseky roční délky											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	avg
4	0	7.056	6.634	3.811	1.913	-0.028	-0.504	-1.142	-2.053	-2.479	0.741
	0.08%	5.520	5.255	2.003	0.862	-0.634	-1.292	-2.218	-2.228	-2.421	-0.038
	0.25%	3.514	3.065	0.886	0.004	-0.894	-1.751	-2.734	-3.297	-4.600	-0.826
8	0	6.217	5.392	3.377	2.030	0.252	-0.361	-0.999	-1.307	-2.747	0.824
	0.08%	5.141	4.203	2.381	0.946	-0.597	-1.254	-2.463	-2.522	-4.357	-0.225
	0.25%	3.909	2.792	1.138	-0.652	-1.485	-2.228	-3.927	-4.202	-6.584	-1.438
12	0	6.541	4.791	2.786	1.663	0.027	-0.375	-1.458	-1.895	-2.935	0.577
	0.08%	5.245	4.016	1.881	0.200	-0.934	-1.706	-2.832	-3.169	-4.174	-0.583
	0.25%	3.402	2.422	0.106	-0.825	-2.167	-2.964	-4.115	-4.613	-4.950	-1.912

Tabulka 10: Výsledky obchodovacího algoritmu založeného na lineární regresi na historické výnosy pro malé americké akcie

úseky délky 49 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	2.835	1.716	1.573	0.860	-0.775	-1.767	-3.014	-4.286	-4.494	-0.711
	0.08%	1.698	0.540	0.517	-0.277	-1.539	-3.331	-4.370	-4.753	-5.111	-1.830
	0.25%	-0.161	-0.480	-1.311	-2.096	-3.415	-4.939	-5.904	-5.915	-6.171	-3.501
8	0	2.858	2.721	1.662	-0.191	-1.319	-2.198	-3.720	-4.720	-5.059	-1.234
	0.08%	1.929	1.566	0.207	-1.222	-2.813	-3.486	-4.919	-6.083	-6.438	-2.604
	0.25%	-0.418	-0.844	-1.399	-3.704	-5.278	-5.863	-7.697	-7.984	-9.201	-4.929
12	0	4.864	2.252	2.132	0.545	-1.093	-2.089	-3.089	-3.764	-6.397	-0.867
	0.08%	3.098	0.949	0.411	-0.646	-2.004	-4.008	-4.749	-6.391	-7.667	-2.275
	0.25%	-0.003	-0.814	-1.107	-3.438	-4.259	-6.780	-8.340	-8.464	-10.068	-4.900
úseky délky 123 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	4.213	2.454	2.051	0.876	-0.383	-1.380	-2.428	-2.721	-4.002	-0.261
	0.08%	3.320	1.854	0.738	0.061	-1.349	-2.281	-4.064	-4.157	-4.158	-1.337
	0.25%	1.700	0.959	-0.496	-1.088	-2.402	-3.734	-5.244	-5.523	-6.529	-2.496
8	0	4.001	2.381	1.767	0.652	-0.271	-1.920	-3.963	-4.150	-4.264	-0.676
	0.08%	2.679	1.337	0.120	-0.264	-1.491	-3.402	-4.469	-4.801	-5.190	-1.770
	0.25%	0.388	-0.863	-1.039	-2.117	-3.602	-4.828	-5.979	-6.557	-7.332	-3.648
12	0	3.057	1.457	1.362	0.632	-0.609	-2.302	-4.062	-4.769	-5.324	-1.003
	0.08%	1.673	-0.002	-0.089	-1.072	-2.053	-3.448	-5.502	-6.099	-6.487	-2.410
	0.25%	-0.694	-1.460	-1.794	-2.992	-3.891	-5.859	-6.637	-7.351	-8.755	-4.390
úseky roční délky											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	1.808	1.734	1.682	0.563	-0.248	-1.165	-3.451	-3.509	-4.162	-0.574
	0.08%	1.394	0.810	0.286	-0.295	-1.215	-2.168	-3.608	-3.824	-4.758	-1.396
	0.25%	0.651	-0.178	-0.258	-1.389	-2.700	-3.815	-4.569	-5.053	-5.081	-2.576
8	0	1.797	1.735	1.403	0.486	-0.775	-1.630	-3.868	-4.384	-6.065	-1.031
	0.08%	1.017	0.860	0.387	-0.711	-2.076	-2.779	-4.463	-4.659	-6.359	-2.050
	0.25%	-0.125	-0.734	-0.858	-2.384	-3.212	-4.229	-5.011	-6.370	-7.027	-3.210
12	0	2.689	1.595	1.298	0.313	-1.308	-2.458	-3.372	-3.404	-5.757	-1.169
	0.08%	1.380	0.533	0.266	-0.774	-2.178	-3.256	-4.192	-4.629	-6.181	-2.085
	0.25%	-0.483	-0.623	-1.233	-2.183	-3.480	-4.336	-5.496	-5.602	-6.857	-3.422

Tabulka 11: Výsledky obchodovacího algoritmu založeného na lineární regresi na historické výnosy pro velké korejské akcie

Lze si tak pouze klást otázku, čím je to způsobeno? Americké akcie jsou považovány za obecně méně volatilní a za sledované období zaznamenaly zpravidla průměrný růst do 8% ročně (index S&P 500 dokonce za celé toto období 7 let nevzrostl ani o 10%), naopak korejské akcie za výrazně vyšší volatility převážně rostly, zejména v letech 2004 až 2006, podobně jako většina akcií na ostatních rozvojových trzích. Ze 30 sledovaných akcií velkých korejských firem pouze 2 za dané období skončily v mínusu, průměrný růst celé skupiny naopak byl asi 23% ročně. Lze se tak domnívat, že zatímco regresní algoritmus dobře funguje v prostředí uměřeně rostoucích a uměřeně volatilních cen, v situaci divoce volatilního prudkého růstu selhává.

Jako samozřejmý pak již zní dodatek, že při zahrnutí transakční ceny 0.08% se průměrný výsledek algoritmu za 7 let zhorší o 80% až 120% a při ceně 0.25% ještě více.

Nakonec, pro **malé korejské akcie**, viz tabulka 12, je situace obdobná jako pro velké, převažuje horská výkonnost navrženého algoritmu oproti kup a drž. Situace je sice o něco lepší, průměrný výnos pro úseky 40 a 125 dní je „jen“ asi 3.5% ročně pod kup a drž a v jednom případě (úseky 125 dní,  $k = 4$ ) dokonce kladný (mírně přes +1% ročně), stále však zůstavá značně za očekáváním.

Při přidání efektu transakčních cen se celkový sedmiletý podvýnos opět markantně zhoršuje o 100% až 150% pro  $\alpha = 0.08\%$  a o dalších 100% až 250% pro  $\alpha = 0.25\%$ .

## 8.6 Filtry

Filtry jakožto obchodovací algoritmy v sobě oproti regresi na zpožděné proměnné alespoň na první pohled skrývají mnohem méně statistiky a mnohem více „kouzel“. Zatímco regrese zjevně stojí na pevných teoretických základech a nematematikovi bez pomoci patrně přijde implementace algoritmu použitého v předchozí části takřka nemožná, filtry s podstatou *pokud cena stoupala/klesla o určitou hodnotu od nedávného minima/maxima, kup/prodej* jsou velmi intuitivní a snadno pochopitelné, avšak pro matematika aspoň na první pohled bez vědeckého základu.

Onen statistický základ se nalézt dá za předpokladu, že v časových řadách by byla přítomna krátkodobá pozitivní autokorelace: pokud v posledních okamžicích ceny rostly, je větší pravděpodobnost, že dále porostou, než že klesnou. Požadavek pozitivní autokorelace nízkých řad je však v rozporu se zjištěním podkapitoly 8.2 pro americké akcie, podle něhož převažují autokorelace záporné. Fama [12], když prezetuje výnosnost filtrů pro americké akcie, vychází jednak z diametrálně odlišného období, kdy americký akciový

úseky délky 49 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	6.457	2.980	2.880	1.457	-0.144	-1.779	-3.230	-4.108	-4.596	-0.203
	0.08%	4.751	2.684	2.632	0.034	-1.355	-2.617	-4.554	-4.776	-5.929	-1.256
	0.25%	4.178	1.189	1.114	-2.105	-3.367	-4.198	-5.383	-5.959	-7.835	-3.020
8	0	4.718	3.390	3.007	1.479	-0.472	-1.460	-3.673	-3.843	-4.769	-0.348
	0.08%	3.458	2.324	1.624	0.281	-1.840	-3.124	-5.292	-5.970	-6.196	-1.777
	0.25%	0.642	-0.306	-1.242	-2.334	-3.983	-5.808	-7.824	-8.093	-8.409	-4.133
12	0	5.050	3.713	3.462	0.791	-0.695	-2.424	-4.292	-4.959	-5.162	-0.729
	0.08%	3.075	1.907	1.673	-0.192	-1.684	-3.868	-6.286	-6.294	-6.716	-2.099
	0.25%	-0.301	-0.478	-0.948	-3.194	-4.979	-6.843	-8.677	-8.752	-10.967	-5.025
úseky délky 123 dní											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	3.587	2.895	2.694	1.687	0.323	-1.256	-3.322	-3.701	-3.780	0.073
	0.08%	2.420	1.410	1.240	0.481	-0.880	-2.349	-4.355	-4.518	-5.097	-1.046
	0.25%	1.414	1.274	1.174	-0.580	-1.845	-3.273	-5.045	-5.690	-7.443	-2.183
8	0	3.963	3.649	3.485	1.354	-0.078	-1.521	-3.353	-3.949	-3.986	-0.118
	0.08%	3.682	3.325	2.451	-0.297	-1.467	-2.670	-4.502	-4.697	-5.599	-1.335
	0.25%	2.391	1.153	1.085	-1.712	-3.086	-4.094	-5.910	-7.044	-7.813	-3.004
12	0	3.926	3.925	3.855	0.671	-0.581	-1.390	-3.909	-4.032	-4.106	-0.164
	0.08%	3.398	2.484	2.484	-0.351	-1.616	-2.774	-5.318	-5.560	-5.706	-1.493
	0.25%	1.800	0.445	0.171	-2.182	-3.913	-4.937	-6.998	-7.391	-7.426	-3.590
úseky roční délky											
k	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
4	0	2.629	2.559	2.540	0.127	-1.163	-2.328	-2.760	-3.084	-4.519	-0.920
	0.08%	2.361	1.785	1.563	-0.615	-2.334	-2.982	-3.631	-3.920	-4.867	-1.814
	0.25%	1.399	0.231	-0.823	-1.519	-2.841	-3.127	-4.750	-4.797	-6.097	-2.592
8	0	4.466	2.337	1.215	0.181	-1.111	-2.209	-3.552	-3.770	-3.929	-0.971
	0.08%	3.411	1.293	0.019	-1.026	-2.526	-3.029	-4.461	-4.773	-4.970	-2.113
	0.25%	1.627	-0.387	-0.579	-2.161	-3.258	-4.691	-5.370	-6.551	-6.589	-3.352
12	0	4.715	1.663	1.232	0.020	-1.409	-2.823	-3.716	-3.813	-4.625	-1.295
	0.08%	3.607	0.697	0.261	-0.914	-2.543	-3.875	-5.110	-5.354	-5.356	-2.353
	0.25%	1.792	-0.500	-0.904	-2.286	-3.571	-5.180	-6.799	-7.100	-7.116	-3.653

Tabulka 12: Výsledky obchodovacího algoritmu založeného na lineární regresi na historické výnosy pro malé korejské akcie

trh mohl být v obdobné situaci jako dnes korejský, navíc pro *portfolia akcií*, jimiž se zpravidla zabývá, je první autokorelace často kladná i v současnosti.

Matematický popis algoritmu, jak jsem jej implementoval, je následující: stanovme parametr filtru  $\omega$ . Mějme poslední minimum  $VMin$  a maximum  $VMax$  (pochopitelně  $VMin \leq VMax$ ), pozici v akcii  $\psi$ , dnes jsme pozorovali výnos  $\gamma$  a celkový kumulovaný výnos je  $\Gamma$ . Na začátku sledovaného časového období je  $\psi = 0$ ,  $VMin = VMax = 0$ ,  $\psi$  může nabývat pouze hodnot  $\{-1, 0, +1\}$  jednotek:

- $\gamma \geq 0, \psi = +1 \dots$  pozice se nemění, je-li  $\Gamma > VMax$ , polož  $VMax \leftarrow \Gamma$
- $\gamma \geq 0, \Gamma < (VMin + \omega) \dots$  pozice se nemění, neboť kumulovaný výnos sice vzrostl, ale nepřesáhl mez filtru
- $\gamma \geq 0, \psi < +1, \Gamma \geq (VMin + \omega) \dots$  nákupní signál, pozice není kladná  
 $\Rightarrow$  kupuj.  $\psi \leftarrow +1, VMax \leftarrow \Gamma$  (resetuje se)
- $\gamma < 0, \psi = -1 \dots$  pozice se nemění, je-li  $\Gamma < VMin$ , polož  $VMin \leftarrow \Gamma$
- $\gamma < 0, \Gamma > (VMax - \omega) \dots$  pozice se nemění, neboť kumulovaný výnos sice klesl, ale nepřesáhl mez filtru
- $\gamma < 0, \psi > -1, \Gamma \leq (VMax - \omega) \dots$  prodejný signál, pozice není záporná  
 $\Rightarrow$  prodej.  $\psi \leftarrow -1, VMin \leftarrow \Gamma$  (resetuje se)

Pochopitelně nulové výnosy lze ignorovat, neboť nemůžou nic změnit. Je zřejmé, že při dlouhé pozici v akcii nás zajímá pouze hodnota  $VMax$ , podstatná pro její prodej, hodnota  $VMin$  je nezajímavá, neboť zaujetí dodatečné (násobené) dlouhé pozice nepřipouštíme. V okamžiku, kdy je dlouhá pozice následkem signálu nahrazena krátkou, je třeba  $VMin$  nastavit na aktuální úroveň kumulovaného výnosu, neboť od nynějška nás v souvislosti s nákupním signálem začíná zajímat (a přestává nás zajímat  $VMax$ ).

Parametr algoritmu je požadován jediný, mez  $\omega$ . Své testy jsem provedl pro dvě různé volby parametru, a to

- pevnou mez  $\omega = 1\%$ ,
- mez rovnou přibližně odhadnuté směrodatné odchylce akcií v dané skupině, obdobně jako v případě meze pro dvojnásobnou pozici regresního algoritmu, tedy  $\omega = 2\%$  pro velké americké akcie,  $3\%$  pro malé americké a velké korejské akcie a  $3.5\%$  pro malé korejské akcie.

Spolu s obvyklou trojí volbou transakční ceny tak mám šestici různých výsledků pro každou akcii, opět prezentované ve formě nadvýnosu dané strategie proti kup a drž. Výsledky jsou shrnutы v tabulce 13 a jsou následující:

USA velké											
$\omega$	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1%	0	2.219	1.056	0.838	-0.137	-0.721	-1.263	-1.847	-3.033	-3.069	-0.695
2%	0	1.835	0.703	0.526	0.087	-0.673	-1.335	-2.458	-2.659	-2.801	-0.713
1%	0.08%	1.194	0.253	-0.259	-0.997	-1.636	-2.170	-2.664	-3.965	-4.016	-1.598
2%	0.08%	1.184	0.215	0.146	-0.453	-1.237	-1.883	-2.926	-3.200	-3.315	-1.254
1%	0.25%	-0.983	-1.452	-2.323	-2.767	-3.525	-4.093	-4.881	-5.946	-6.027	-3.517
2%	0.25%	-0.198	-0.661	-0.824	-1.673	-2.433	-3.085	-3.920	-4.351	-4.408	-2.403
USA malé											
$\omega$	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1%	0	3.692	2.037	1.384	-0.127	-1.930	-4.130	-5.883	-8.826	-9.031	-2.152
3%	0	4.656	0.919	-0.070	-1.041	-1.859	-3.616	-5.776	-6.844	-7.877	-2.392
1%	0.08%	2.441	0.977	0.254	-1.123	-3.031	-5.284	-7.065	-10.039	-10.235	-3.229
3%	0.08%	3.876	0.541	-0.658	-1.435	-2.457	-4.272	-6.403	-7.524	-8.425	-2.923
1%	0.25%	-0.216	-1.276	-2.148	-3.206	-5.177	-7.551	-9.575	-12.618	-12.794	-5.517
3%	0.25%	2.219	-0.263	-1.440	-2.334	-3.641	-5.515	-7.734	-8.971	-9.590	-4.051
Korea velké											
$\omega$	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1%	0	6.227	4.388	4.090	3.124	2.324	0.145	-0.928	-1.968	-5.582	1.742
3%	0	4.315	2.296	2.283	1.422	0.433	-1.208	-3.011	-3.050	-5.462	-0.024
1%	0.08%	5.080	3.347	3.063	2.046	1.263	-0.915	-2.071	-2.990	-6.592	0.677
3%	0.08%	3.616	1.734	1.660	0.877	-0.168	-1.682	-3.595	-3.617	-5.922	-0.614
1%	0.25%	2.644	1.136	0.980	-0.222	-0.985	-3.167	-4.500	-5.161	-8.740	-1.586
3%	0.25%	2.132	0.566	0.308	-0.403	-1.591	-2.853	-4.823	-4.838	-6.899	-1.868
Korea malé											
$\omega$	$\alpha$	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
1%	0	8.864	5.609	5.189	2.915	1.198	-1.145	-2.556	-3.067	-4.232	1.107
3.5%	0	5.940	3.749	3.713	1.917	-0.242	-1.779	-3.212	-3.217	-5.145	0.140
1%	0.08%	7.852	4.619	4.225	1.830	0.067	-2.355	-3.681	-4.146	-5.393	0.015
3%	0.08%	5.430	3.315	3.217	1.417	-0.809	-2.351	-3.683	-3.795	-5.706	-0.379
1%	0.25%	5.702	2.516	2.177	-0.477	-2.176	-4.921	-6.073	-6.439	-7.859	-2.307
3%	0.25%	4.347	2.471	2.154	0.355	-1.951	-3.425	-4.674	-5.034	-6.898	-1.482

Tabulka 13: Nadvýnosy filtrových obchodovacích algoritmů

Pro **velké americké akcie** není filtrovací algoritmus v průměru výhodný ani při nulové transakční ceně. Průměrný nadvýnos za sledovaných 7 let činí  $-69.5\%$  pro  $\omega = 1\%$  a velmi podobných  $71.6\%$  pro  $\omega = 2\%$ . Algoritmus je výhodný pouze přibližně pro čtvrtinu akcií — hodnoty 3. kvartilu jsou blízké nule. Mediány tentokrát dosahují velmi podobných hodnot jako aritmetické průměry.

V případě zahrnutí transakčních nákladů se tentokrát algoritmus chová zcela stejně jako bez nich — nijak totiž do mezí pro obchodovací signál nevstupují, pouze do výpočtu celkového výnosu. Celkové výnosy algoritmů lišících se jen parametrem poplatku za obchod se liší právě o počet vygenerovaných transakcí násobený rozdílem transakčních cen. Nadvýnos je tak při vyšší transakční ceně nutně nižší. Pro velké americké akcie je za cca. 2000 obchodních dní generováno zpravidla 900 až 1300 transakcí<sup>30</sup> při mezi 1% a přibližně o třetinu méně při mezi 2%, výnos za 7 let je tak nižší o 50 až 100% při ceně 0.08% a o dalších 100 až 200% při nákladu 0.25%.

Ještě horší situace je pro **malé americké akcie**. Filtr pro ně i při nulových transakčních nákladech v průměru generuje o více než 30% horší výnos než kup a drž, jak pro  $\omega = 1\%$  tak pro  $\omega = 3\%$ . V prvním případě je algoritmus ziskový pouze pro 6 ze 30 akcií, ve druhém dokonce jen pro dvě. Při transakční ceně 0.08% a mezi 1% vykazuje algoritmus nadvýnos již jen pro 3 akcie (při mezi 3% stále pro 2), pro cenu 0.25% již není nikdy ziskový při nižší mezi a v jediném případě při vyšší. Nižší mez 1% stejná jako pro velké akcie, avšak při vyšší volatilitě těchto, pochopitelně způsobuje větší počet transakcí — zpravidla 1200 až 1500, zatímco pro mez 3% zůstává jejich počet obvykle mezi 500 a 800, neboť obdobně jako volatilita vzrostla právě i mez.

Zcela opačný výsledek pozorujeme u **velkých korejských akcií**. Zde se naopak filtry za předpokladu nulové transakční ceny díky kladné první autokorelace jeví jako účinná strategie. Při  $\omega = 1\%$  generují *roční* nadvýnos  $+25\%$ ! Při mezi 3% je však již nadvýnos téměř nulový (mírně záporný) — filtr s příliš velkou mezí zjevně ignoruje příliš mnoho výkyvů, generuje jen o málo více než polovinu transakcí — zatímco nižší mez jich generuje zpravidla 1300 až 1400, vyšší jen 700 až 900.

Ani takto vysoký počet transakcí (200 ročně) nezpůsobí, aby transakční cena 0.08% stáhla výnos algoritmu do záporu. Jelikož tyto náklady z něj ukousnou „jen“ 16% ročně, zůstává pro mez 1% stále roční průměrný nadvýnos téměř 10%. Pro mez 3%, neúspěšnou již bez trasakčních nákladů, padá nadvýnos algoritmu na  $-9\%$  ročně. Hypotézu výkonného trhu spolehlivě za-

---

<sup>30</sup>Kromě první změny pozice z 0 na  $+1$  nebo  $-1$  jde vždy současně o *dva* obchody — uzavření stávající pozice a otevření opačné.

chraňuje transakční cena na korejském trhu předpokládaná, ve výši 0.25%, která stahuje průměrné nadvýnosy algoritmů na -22.5%, resp. -27% ročně.

Nakonec, velmi podobně algoritmus vynáší s **malými korejskými akciemi**. Při nulové transakční ceně je v průměru výrazně lepší než kup a drž, pro  $\omega = 1\%$  dokonce o 15% ročně. V čistě matematickém smyslu je tedy přítomna predikovatelnost umožňující zamítnout čistou teoretickou verzi slabé formy výkonnosti trhu.

Avšak již při transakční ceně 0.08%, která je pro malé akcie na rozvojovém trhu *velmi* konzervativním až nereálným odhadem, je lepší výsledek ze dvojice velmi blízký nule (pro  $\omega = 1\%$  průměrný nadvýnos 1.5% za 7 let, medián 6.7%), pro horší z nich je již záporný (průměr -38% za 7 let pro  $\omega = 3\%$ ). Realitě spíše odpovídající transakční cena 0.25% z objemu pak nadvýnos algoritmu zcela stahuje do záporu, v průměru o 34%, resp. 21% ročně, když strategie je výnosná jen pro 6, resp. 8 ze sledovaných 30 akcií. Nadvýnosy v nejlepších případech jsou pak menší než absolutní hodnota podvýnosů v nejhorších případech. Tím je tedy nepřímo potvrzena výkonnost trhu v praktickém smyslu.

## 8.7 Klouzavé průměry

Posledním zkoumaným indikátorem jsou klouzavé průměry, pracující s jednoduchou myšlenkou, že když krátkodobý průměr (více závislý na nejnovějších pozorování) zespoda protne průměr dlouhodobý, případně posunutý o určitou hodnotu, znamená to současnou pozitivní situaci a tedy signál k nákupu. Koupěná dlouhá pozice je pak držena až do chvíle, kdy krátkodobý průměr protne dlouhodobý shora dolů naznačujíc, že situace je špatná a ceny budou dále klesat. Spekulant zaujmě krátkou pozici a drží ji zase až do „lepších časů“... Praktická implementace je opět jednoduchá i pro nematematika, hodnoty vybraných klouzavých průměrů jsou dokonce v grafech na termínech makléřů mnohdy přímo generovány.

Při volbách parametrů algoritmu vycházím z Tian, Wan, Guo [26], již citovaných v podkapitole 4.6. Ti jich vyzkoušeli opravdu velké množství, avšak na akciovém indexu se značně jinou autokovarianční funkcí své časové řady, za nesmyslně dlouhé časové období a hlavně bez přímého vlivu transakčních cen. Metodiku této práce zde částečně kopíruji, jednak při volbě parametrů, a dále při interpretaci výsledků jejich průměrováním přes některé parametry, protože spekulant, který by chtěl klouzavé průměry použít, dopředu patrně neví, která volba parametrů je optimální.

Trojici parametrů rozšiřuji výší transakční ceny na čtverici a zkoumám všechny jejich možné kombinace:

- Transakční cena jako vždy nabývá hodnot 0, 0.08% a 0.25%
- Dlouhý klouzavý průměr nabývá délku 50, 100, 150 a 200 dní
- Krátký průměr nabývá délku 1, 3, 5 a 10 dní
- Mez přičítanou/odečítanou od dlouhého průměru volím ve výši dvojnásobku transakční ceny, 0.5%, 1% a 2%

Pro každou možnou dvojici [transakční cena, mez] (12 možností)<sup>31</sup> tak mám 16 voleb krátkého a dlouhého průměru. Výsledky, viz tabulka 14, jsou následující:

Pro **velké americké akcie** nejsou klouzavé průměry vhodnou volbou. Při nulové transakční ceně a různých mezích byl algoritmus v průměru o 43.5% až 44.5% za 7 let horší než kup a drž. Výsledek je přitom dvojitým průměrem — přes délky průměrů a ještě přes jednotlivé akcie. Zahrnutí transakčních nákladů průměrný výsledek dále zhoršuje, na -48.5% až -53% pro náklad 0.08% a na -57.7% až -66% pro náklad 0.25%. V případě jednotlivých akcií se pak strategie jeví jako výhodná jen pro 8 až 9 akcií pro transakční cenu 0 a 0.08% a jen pro 6 akcií při ceně 0.25%.

Velmi podobné výsledky napříč volbami [transakční cena, mez] a v téměř  $\frac{3}{4}$  případů záporné výsledky mě donutily k hlubšímu prozkoumání výsledků pro *jednotlivé čtverečice* parametrů a jednotlivé akcie. Zjistil jsem tak, jak velký vliv má zmíněné dvojí průměrování: pro jednotlivé akcie je výnosnost algoritmu značně nestabilní vzhledem k volbě délky průměrů. Například pro akcie společnosti Alcoa při pevné transakční ceně 0 a mezi 0 dosahují nadvýnosy pro 16 různých dvojic délky průměrů od -107% do +34% za 7 let. Jejich zprůměrováním však tato pestrost mizí a průměry se najednou chovají pro různé dvojice transakční ceny a meze velmi podobně, ačkoliv pro pevnou dvojici délky průměrů a různých zbylých parametrech se mnohdy chovaly značně rozdílně. Kompletní velmi rozsáhlé výsledky lze nalézt na přiloženém CD.

Po odhalení tohoto faktu na mě čekala další otázka: jsou některé kombinace voleb parametrů [mez, dlouhý průměr, krátký průměr] výrazně lepší než jiné? Pokud ano a současně by byla prokázána dostatečná stabilita výhodnosti takových voleb v čase (aby ji spekulant byl schopen odhalit a poté ještě využít), mohlo by to znamenat prostě to, že algoritmus je v principu správný, já však pouze zamlžil výsledky zahrnutím parametrů dávajících špatné výsledky.

---

<sup>31</sup>Ve skutečnosti je různých dvojic jen 11, neboť pro transakční cenu (značenou  $\alpha$ ) 0.25% jsou volby hranice 0.5% nebo dvojnásobku transakční ceny totožné. To jsem však ignoroval.

USA velké											
$\alpha$	mez	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
0	0	1.541	0.906	0.662	0.068	-0.569	-1.031	-1.368	-1.446	-1.657	-0.441
	0.5%	1.360	0.921	0.740	0.122	-0.551	-1.083	-1.345	-1.357	-1.640	-0.436
	1%	1.322	0.825	0.799	0.123	-0.557	-1.027	-1.323	-1.462	-1.643	-0.443
	2%	1.378	0.969	0.673	0.162	-0.533	-1.017	-1.440	-1.561	-1.573	-0.442
	0.16%	1.387	0.838	0.584	-0.009	-0.667	-1.134	-1.484	-1.489	-1.778	-0.529
	0.08%	1.288	0.853	0.677	0.050	-0.630	-1.150	-1.414	-1.433	-1.734	-0.508
	0.5%	1.260	0.767	0.747	0.064	-0.622	-1.078	-1.393	-1.524	-1.721	-0.501
	1%	1.260	0.767	0.747	0.064	-0.622	-1.078	-1.492	-1.609	-1.630	-0.485
0.25%	2%	1.330	0.930	0.626	0.118	-0.577	-1.051	-1.292	-1.568	-1.594	-1.933
	0.5%	1.137	0.707	0.542	-0.097	-0.797	-1.292	-1.568	-1.594	-1.933	-0.659
	0.5%	1.137	0.707	0.542	-0.097	-0.797	-1.292	-1.541	-1.656	-1.888	-0.625
	1%	1.127	0.644	0.637	-0.062	-0.760	-1.186	-1.602	-1.712	-1.751	-0.577
USA malé											
$\alpha$	mez	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
0	0	2.207	1.663	1.084	-0.422	-1.438	-1.858	-2.520	-2.858	-3.061	-1.077
	0.5%	2.218	1.681	1.038	-0.431	-1.429	-1.737	-2.517	-2.698	-2.810	-1.042
	1%	2.243	1.546	1.023	-0.356	-1.402	-1.676	-2.433	-2.610	-2.848	-1.035
	2%	2.384	1.306	1.195	-0.287	-1.223	-1.714	-2.475	-2.559	-2.676	-0.975
	0.16%	2.104	1.569	0.966	-0.531	-1.556	-1.907	-2.651	-2.983	-3.086	-1.173
	0.08%	2.140	1.614	0.973	-0.517	-1.508	-1.814	-2.603	-2.814	-2.897	-1.122
	0.5%	2.175	1.486	0.964	-0.428	-1.476	-1.744	-2.518	-2.684	-2.922	-1.103
	1%	2.335	1.262	1.153	-0.334	-1.267	-1.753	-2.535	-2.607	-2.730	-1.018
0.25%	2%	1.974	1.471	0.836	-0.700	-1.698	-1.983	-2.813	-3.060	-3.081	-1.294
	0.5%	1.974	1.471	0.836	-0.700	-1.698	-1.983	-2.813	-3.060	-3.081	-1.294
	1%	2.028	1.360	0.839	-0.572	-1.632	-1.888	-2.698	-2.840	-3.080	-1.248
	2%	2.231	1.169	1.064	-0.435	-1.362	-1.836	-2.662	-2.707	-2.845	-1.111
Korea velké											
$\alpha$	mez	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
0	0	0.874	0.151	0.129	-0.493	-1.211	-1.708	-2.293	-2.358	-2.792	-1.090
	0.5%	0.887	0.185	0.075	-0.489	-1.291	-1.752	-2.300	-2.349	-2.823	-1.125
	1%	0.739	0.224	-0.060	-0.525	-1.222	-1.706	-2.267	-2.346	-2.815	-1.146
	2%	0.589	0.116	-0.273	-0.662	-1.308	-1.674	-2.294	-2.366	-3.109	-1.217
	0.16%	0.771	0.098	0.063	-0.574	-1.341	-1.828	-2.344	-2.449	-2.837	-1.183
	0.08%	0.818	0.131	0.021	-0.559	-1.376	-1.827	-2.374	-2.423	-2.896	-1.196
	1%	0.679	0.177	-0.109	-0.586	-1.290	-1.770	-2.331	-2.410	-2.879	-1.208
	2%	0.546	0.082	-0.304	-0.708	-1.348	-1.716	-2.336	-2.416	-3.155	-1.259
0.25%	0.5%	0.673	0.018	-0.094	-0.708	-1.555	-1.981	-2.531	-2.579	-3.051	-1.347
	0.5%	0.673	0.018	-0.094	-0.708	-1.555	-1.981	-2.531	-2.579	-3.051	-1.347
	1%	0.550	0.077	-0.212	-0.715	-1.435	-1.907	-2.467	-2.547	-3.016	-1.339
	2%	0.456	0.010	-0.370	-0.804	-1.433	-1.805	-2.426	-2.523	-3.252	-1.348
Korea malé											
$\alpha$	mez	max	max(2)	max(3)	3Q	median	1Q	min(3)	min(2)	min	averg
0	0	3.544	2.760	1.035	0.160	-0.717	-1.555	-2.465	-2.655	-3.085	-0.586
	0.5%	3.565	2.747	0.961	0.090	-0.738	-1.591	-2.235	-2.626	-2.998	-0.590
	1%	3.556	2.807	0.989	0.051	-0.673	-1.581	-2.075	-2.617	-3.025	-0.585
	2%	3.391	2.699	1.066	0.015	-0.635	-1.507	-2.052	-2.504	-3.241	-0.605
	0.16%	3.479	2.699	0.863	0.041	-0.791	-1.631	-2.618	-2.744	-3.119	-0.674
	0.08%	3.503	2.679	0.892	0.024	-0.811	-1.670	-2.346	-2.719	-3.091	-0.663
	1%	3.502	2.747	0.932	-0.008	-0.737	-1.648	-2.164	-2.699	-3.103	-0.649
	2%	3.356	2.659	1.034	-0.027	-0.666	-1.545	-2.098	-2.559	-3.291	-0.645
0.25%	0.5%	3.371	2.536	0.747	-0.116	-0.966	-1.829	-2.581	-2.915	-3.289	-0.820
	0.5%	3.371	2.536	0.747	-0.116	-0.966	-1.829	-2.581	-2.915	-3.289	-0.820
	1%	3.389	2.621	0.812	-0.143	-0.874	-1.772	-2.353	-2.873	-3.270	-0.784
	2%	3.281	2.575	0.965	-0.115	-0.737	-1.625	-2.195	-2.674	-3.397	-0.729

Tabulka 14: Průměrná nadvýnosnost (proti kup a drž) obchodovacích algoritmů užívajících klouzavé průměry různé délky

Odpověď je poměrně jednoznačná: žádné výrazně lepší volby neexistují. Každá dvojice délek průměrů byla testována na 30 různých akciích (stále je řeč jen o velkých amerických). Pro nulovou transakční cenu ze 64 kombinací [mez, dlouhý průměr, krátký průměr] každá byla lepší než kup a drž alespoň pro 6 akcií (58 kombinací navíc alespoň pro 8) ale přitom ne více než pro 14 (přitom pouze 2 kombinace právě pro 14 a další 4 pro 13). 52 ze 64 kombinací parametrů je tedy úspěšných pro 8 až 12 akcií, přitom však pro různé akcie jsou vhodné různé volby parametrů. Pro nenulové transakční ceny jsou výsledky velmi podobné, jen počet nadvýnosných pozorování je logicky nižší. Ze všech 5760 kombinací akcie a parametrů je nadvýnosných 1758, tedy asi 30.5%. Bez transakční ceny se úspěšnost blíží 35%, zatímco pro kladnou transakční cenu (obojí velikosti) klesá na 28%.

Pro **malé americké akcie** jsou výsledky velmi podobné a stejně jako v případě filtrů horší. Průměrný nadvýnos za 7 let dosahuje přibližně –15% ročně bez transakční ceny, pro náklad 0.08% je pak ještě asi o 1% ročně a pro náklad 0.25% o další 2% ročně horší.

Velmi podobná situace nastává i pro **velké i malé korejské akcie**, průměrné výnosy jsou v případě velkých asi o 15% ročně horší než kup a drž, v případě malých akcií je situace přeci jen lepší, když průměrný roční výnos je proti pasivní strategii horší o 8.5% bez zahrnutí transakční ceny, o 9.5% při nákladu 0.08% a o 11.5% při nákladu 0.25%.

Lze tak pouze konstatovat, že klouzavé průměry se neukázaly být vhodným technickým indikátorem pro obchodování s akcemi. Nelze je sice zavrhнуть zcela, neboť za předpokladu nulového nákladu na obchod přibližně ve třetině případů přeci jen dosahují lepších výsledků než pasivní strategie, při zahrnutí tohoto nákladu pak stále přibližně ve čtvrtině. Otázka volby „vítězných“ parametrů se však jeví mnohem více jako otázka štěstí, než důkladného prozkoumání dostupných historických dat, neboť pro různé akcie „vítězily“ odlišné volby parametrů a i pro jednotlivou akci byl výnos strategie na volbu parametrů značně citlivý.

## 9 Závěr

V teoretické části práce jsem se seznámil s dosavadním vývoje hypotézy výkonné kapitálových trhů. Poznal jsem, že v 60. letech 20. století, kdy byla formulována, se jevila jako obecný popis reality, ale v následujících letech spolu s rychlým nástupem výpočetní techniky do laboratoří a dostupnosti kvalitních dat z burz byla podrobována tvrdé kritice, až nakonec byla ve své čisté teoretické podobě zamítnuta.

Výkonnost trhu je však mnohem více věcí praktickou než teoretickou: je testována na datech posbíraných na reálném trhu s reálnými omezeními a jejím hlavním objektem zájmu je, zda v případě jejího zamítnutí lze na reálném trhu dosahovat nadstandardních výnosů.

Zatímco tak byla zejména v 70. a 80. letech 20. století identifikována řada anomálií použitých k zamítnutí čisté teoretické verze hypotézy, po řádném vysvětlení těchto anomálií nedokonalostmi reálného trhu se naopak staly mezníkem mezi zamítnutou čistou hypotézou a její přijatou praktickou verzí.

Pokud odlehčíme definici výkonného trhu z formulace *cena aktiva plně odráží veškerou dosavadní informaci na očekávaný výnos z obchodování zařazeného na dosavadní informaci je martingal*, lze konzistentně s platností hypotézy výkonného přijmout i řadu jevů, které její odpůrci používají jako protiargumenty. Například při bublině na trhu cena akcie zjevně neodpovídá fundamentu, avšak její očekávaný výnos je stále kladný v „obvyklé“ výši (nevychýlený): nikdo totiž neví, jak dlouho a vysoko cena ještě poroste, než bublina praskne.

V praktické části práce jsem se zaměřil na vliv nákladů, které musí obchodník na burze vynaložit pro uzavření každého obchodu. Jsou totiž vždy nenulové a představují tak jednoznačné porušení předpokladů trhu bez tření, který je téměř nutnou podmínkou pro perfektně výkonného trhu. Přitom mají zjevnou moc omezovat přizpůsobování tržní ceny aktiva nové informaci — je-li hodnota takové informace menší než náklady na obchod, tržní cena na informaci nezareaguje. Dle mého názoru přitom v dosavadní literatuře nebyly dostatečně probádány, jakkoli jsou často zmínovány.

Jádro práce tvoří podkapitoly 8.5 a 8.6, v nichž tržní ceny přímo implementuji do rozhodování navržených obchodovacích algoritmů a přímým výpočtem výnosnosti takového algoritmu proti pasivní strategii kup a drž se snažím prokázat, že zatímco za předpokladu nulových transakčních nákladů dosahuje tento algoritmus nadvýnosu, což je konzistentní s tvrzenou neplatností hypotézy výkonného trhu, již při zahrnutí konzervativně odhadnutých transakčních nákladů se výsledek strategií propadá do hlubokého mínu a prokazuje tak, že trhy *jsou výkonné* z pohledu spekulanta, který by onu

tvrzenou nevýkonnost a předpověditelnost budoucího vývoje cen rád využil k vydělání nadstandardního výnosu.

První z navržených obchodovacích algoritmů, založený na lineární regresi denních výnosů jednotlivých akcií na výnosy minulé, dává jasné výsledky zejména pro akcie z amerických trhů, které zde používám jako reprezentanty trhů rozvinutých, které zpravidla za výkonné jsou považovány. Bez transakčních nákladů tyto algoritmy většinou dosahují velmi výrazných kladných výnosů, a umožňují tak zamítat čistou formu výkonnosti, zatímco se zahrnutím nákladů, které do nich vstupují např. i jako hranice oddělující predikovaný výnos, při němž již má nebo ještě nemá smysl vůbec obchod realizovat, se výsledky velmi rychle propadají do záporu, a potvrzují tak výkonnost ekonomickou.

Pro korejské akcie, zvolené za zástupce rozvojových trhů, považovaných zpravidla za méně výkonné, sice algoritmus založený na regresi selhává a i při nulové transakční ceně vykazuje záporné výsledky, což je patrně způsobeno vysokou volatilitou denních výnosů, která rozumně použitelný odhad regresního modelu velmi ztěžuje. Velmi dobře pro ně ale díky malé kladné autokorelace fungoval algoritmus zvaný *q%-filtr*. Platí zde to, co platilo pro americké akcie a regresi: při nulových transakčních nákladech jsou výnosy aktivního algoritmu výrazně vyšší než zisky pasivního kup a drž. Avšak již při velmi konzervativním odhadu transakčních nákladů tyto nadvýnosy padají k nule nebo dokonce do záporu a pro realističtější odhad nákladů propadají hluboko do záporu. To vše kvůli tomu, že obchody generované algoritmem jsou sice kladné, ale menší než náklady na ně.

Bohužel tato obchodovací strategie nepřinášela kladné nadvýnosy pro americké akcie. To však není na závadu: pro zamítnutí výkonnosti trhu není nutné, aby predikovatelnost výnosů prokazovala *každá* strategie, která spekulanta napadne nebo která je úspěšná na jiné burze. Postačí, když taková strategie existuje a je dostatečně stabilní při volbě různých akcií a hlavně v průběhu času, alespoň v jednotkách let — aby ji, pokud by existovala, spekulant byl schopen odhalit a následně ještě využít.

Prozkoumal jsem rovněž klouzavé průměry, často zmiňované v literatuře technické analýzy. Tyto strategie se však ukázaly převážně nefunkční jak pro americké, tak pro korejské akcie. Nelze přitom tvrdit, že jsou nefunkční zcela — z mnoha možných kombinací jejich parametrů, vždy cca. čtvrtina až třetina strategií pro danou akci generovala větší zisk než kup a drž. Avšak vyjdeme-li z předpokladu, že spekulant dopředu neví, které kombinace parametrů jsou lepší, neboť nejsou stabilní v čase ani napříč akcemi, a hodnotíme tak jejich účinnost podle průměrné účinnosti z více možností, vycházejí tyto aktivní strategie výrazně hůře, než strategie pasivní.

Ke konstrukci nové hypotézy, k níž potenciálně zadání této práce vybízí, tak nebyl důvod. Základní klíč k pochopení tohoto tvrzení tkví v pochopení rozdílu mezi *čistě teoretickou* formou hypotézy výkonnosti trhu a její *praktickou (ekonomickou) formou*. Čistě teoretická forma má řadu nedostatků, které umožňují její zamítnutí. Pokud však uvolníme předopklady na prostředí, v němž jsou data generována, musíme uvolnit i očekávání od hypotézy, kterou na nich testujeme. Tuto konzistence dat a hypotézy splňuje právě *praktická forma* hypotézy, která svoji definici staví na nepredikovatelnosti budoucích výnosů, nikoliv na striktním požadavku aby *ceny obsahovaly veškerou informaci*. Praktická forma hypotézy výkonnosti kapitálového trhu se jeví jako kvalitní popis reality, kterou můžeme každodenně pozorovat na burzách, což potvrzuje i mé praktické výsledky.

Poněkud stranou těchto výsledků zaměřených na výdělečnost některých obchodovacích systémů pak stojí mé testy stacionarity zkoumaných časových řad v podkapitole 8.1. Trendovým testem se ukázalo, že v dané situaci volby přibližně osmileté periody jakožto zdroje dat, kdy v jejím průběhu nedošlo k markantní strukturální či makroekonomické změně, lze přijmout hypotézu konstantní střední hodnoty akciového výnosu. Naopak je nutno zamítnout jejich kovarianční stacionaritu. Mojí domněnkou bylo, že tato nestacionarita je z velké části způsobena podmíněnou heteroskedasticitou výnosů, proto jsem dané časové řady transformoval modelem GARCH(1,1) a testy stacionarity aplikoval znova. Výsledkem bylo přijetí hypotézy stacionarity rozptylů (v případě trendového testu), respektive nezávislosti a stejného rozdělení jednotlivých pozorování (v případě BDS testu) v 60 až 80% případů akcií a různých voleb parametrů testů. Heteroskedasticita je tedy velmi významným zdrojem nestacionarity, přitom jsme však schopni ji odstranit a pro transformovanou časovou řadu dokonce můžeme přijmout hypotézu náhodné procházky.

## Reference

- [1] Louis Bachelier. *Théorie de la Speculation*. Paris: Gauthier-Villars, 1900; reprinted in [9], 1900.
- [2] Ray Ball and Phillip Brown. An empirical evaluation of accounting income numbers. *Journal of Accounting Research*, 6:159–178, 1968.
- [3] Shlomo Benartzi and Richard H Thaler. Myopic loss aversion and the equity premium puzzle. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(1):73–92, February 1995.
- [4] Tim Bollerslev. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 1986.
- [5] W. A. Brock, W.D. Dechert, and J. A. Scheinkman. A test of independence based on the correlation dimension. *SSRI Working Paper No. 8702. Department of Economics, University of Wisconsin-Madison*, 1987.
- [6] John Y. Campbell, Andrew W. Lo, and A.Craig MacKinlay. *The econometrics of financial markets*. Princeton, NJ: Princeton University Press. xxviii, 611 p., 1997.
- [7] Nai-Fu Chen. Financial investment opportunities and the macroeconomy. *The Journal of Finance*, 46(2):529–554, 1991.
- [8] Nai-Fu Chen, Richard Roll, and Stephen A. Ross. Economic forces and the stock market. *The Journal of Business*, 59(3):383–403, 1986.
- [9] Paul Cootner (ed.). *The Random Character of Stock Market Prices*. Cambridge: M.I.T., 1964.
- [10] Fama Eugene F., Lawrence Fisher, Michael C. Jensen, and Richard Roll. The adjustment of stock prices to new information. *International Economic Review*, 10(1):1–21, 1969.
- [11] Eugene F. Fama. The behavior of stock-market prices. *The Journal of Business*, 38(1):34–105, 1965.
- [12] Eugene F. Fama. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2):383–417, 1970.
- [13] Eugene F. Fama. Efficient capital markets: Ii. *The Journal of Finance*, 46(5):1575–1617, 1991.

- [14] Eugene F. Fama and Kenneth R. French. Permanent and temporary components of stock prices. *The Journal of Political Economy*, 96(2):246–273, 1988.
- [15] Bruce D. Fielitz. Stationarity of random data: Some implications for the distribution of stock price changes. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 6(3):1025–1034.
- [16] Kenneth R. French and Richard Roll. Stock return variances: The arrival of information and the reaction of traders. *Journal of Financial Economics*, 17:5–26, 1986.
- [17] Narasimhan Jegadeesh and Sheridan Titman. Profitability of momentum strategies: An evaluation of alternative explanations. *The Journal of Finance*, 56(2):699–720, 2001.
- [18] Michael C. Jensen. The performance of mutual funds in the period 1945–1964. *The Journal of Finance*, 23(2):389–416, 1968.
- [19] Michael C. Jensen. Risk, the pricing of capital assets, and the evaluation of investment portfolios. *The Journal of Business*, 42(2):167–247, 1969.
- [20] M. G. Kendall and A. Bradford Hill. The analysis of economic time-series-part i: Prices. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 116(1):11–34, 1953.
- [21] Burton G. Malkiel. The efficient market hypothesis and its critics. *The Journal of Economic Perspectives*, 17(1):59–82, 2003.
- [22] Victor Niederhoffer and M. F. M. Osborne. Market making and reversal on the stock exchange. *Journal of the American Statistical Association*, 61(316):897–916, 1966.
- [23] M.F.M. Osborne. Brownian motion in the stock market. *Operations Research*, 7:147–153, 1959.
- [24] Zuzana Prášková. *Základy náhodných procesů II*. Univerzita Karlova v Praze — Nakladatelství Karolinum, 2004.
- [25] Myron Scholes. A test of the competitive hypothesis: The market for new issues and secondary offerings. *Unpublished Ph.D. thesis*, 1969.
- [26] Gary Gang Tian, Guang Hua Wan, and Mingyuan Guo. Market efficiency and the returns to simple technical trading rules: New evidence from u.s. equity market and chinese equity markets. *Asia-Pacific Financial Markets*, 2002.

- [27] Miloslav Vošvrda, Jan Filacek, and Marek Kapicka. The efficient market hypothesis testing on the prague stock exchange. *Seminární papír*, 1998.

## Použitý software

Veškeré statistické výpočty	R 2.4.1
Podpůrné výpočty, úprava dat	Microsof Office Excell 2003
Sazba textu	Kile 1.8.1 — editor a kompilátor TExU

## Obsah přiloženého CD

- Text této práce ve formátu PDF
- Použité časové řady akciových výnosů (adresář Data)
- Kompletní zde prezentované výsledky, pro každou jednotlivou akci (adresář Vysledky)
- Grafy odhadnutých autokorelačních funkcí (Vysledky/01\_autokorelace)
- Podrobný popis obsahu CD — soubor obsah\_adresare.txt a seznam akcií, jejichž výnosy byly v testech použity, včetně zkratek<sup>32</sup> použitých pro ně v ostatních souborech — soubor seznam.txt

Všechny soubory dat a výsledků jsou ve formátu TXT, kromě grafů (EPS)

---

<sup>32</sup>V případě amerických akcií jsou zkratkami tzv. *tickery*, neboli jakési zkrácené volby pro přístup ke konkrétním akciím na terminálech makléřů, ale třeba i na <http://finance.yahoo.com>. Zatímco u amerických akcií je ticker obvykle o zkratku názvu, pro korejské společnosti jsou to šestipísmenné kódy, proto jsem použil zkratky vlastní.

## Seznam použitých akcií a jejich zkratok

<b>USA velké</b>		<b>USA malé</b>	
Alcoa	aa	DaelimInd	daelim
American International Group	aig	Daewoo Securities	daewooSecu
American Express	axp	DCChemical	dcc
Boeing	ba	GC E&C	gs
Citigroup	c	HanjinShipping	hanjin
Caterpillar	cat	Hanwha	hanwha
DuPont	dd	HHI	hhi
Walt Disney	dis	Hyosung	hyosung
General Electric	ge	Hyundai Motor	hyundai
General Motors	gm	Hyundai Dvp Co.	hyundaiDvp
Home Depot	hd	HyundaiMipoDock	hyundaiMipo
Honeywell	hon	Hyundai Securities	hyundaiSecu
Hewlett-Packard	hpq	Hyundai Steel	hyundaisteel
IBM	ibm	CheilInd	cheillnd
Intel	intc	KAL	kal
Johnson's and Johnson's	jnj	KEPCO	kepco
JPMorgan Chase	jpm	KorLine	korline
Coca-Cola	ko	KorZinc	korzinc
McDonald's	mcd	KT&G	ktg
3M	mmm	LS Cable	lscable
Altria Group	mo	POSCO	posco
Merck	mrk	Samsung Electronics	samsung
Microsoft	msft	SamsungCorp	samsungCorp
Pfizer	pfe	SamsungElecMech	samsungEM
Procter & Gamble	pg	Samsung Heavy Industry	samsungHeavy
AT&T	t	Samsung SDI CO. LTD.	samsungSDI
United Technologies Corporation	utx	Samsung Securities	samsungSecu
Verizon Corporation	vz	Samsung Techwin	samsungTechw
Wal-Mart	wmt	Shinsegae	shinsegae
ExxonMobil	xom	SK Telecom	sktel
<b>Korea velké</b>		<b>Korea malé</b>	
Analogic Corp.	alog	Baemyung Metal	baemyung
Apogee Enterprises	apog	Binggrae	bingrae
Arris Group Inc.	arrs	Bukwang Pharmaceuticals	bukwang
Boston Private Financial Holdings	bpfh	Daesung Industries	daesungInd
Castle (A.M.)	cas	Daiyang Metal	daiyang
Cognex Corp.	cgnx	Dongkook Industries	dangkookInd
Cabot Oil & Gas	cog	Dongwon	dongwon
Curtiss-Wright Corp.	cw	DWS	dws
Ethan Allen Interiors	eth	HallaClimControl	hallaclim
First Commonwealth Financial	fcf	Hanil Cement	hanil
FEI Company	feic	Hanjin Transport	hanjintrnspt
Hilb Rogal & Hobbs Co.	hrh	Hankuk Carbon	hankuk
ICU Medical	icui	HanmiPharm	hanmi
J&J Snack Foods	jjsf	HHYSSCO	hhysco
Laclede Group	lg	Hyundai Elevators	hyundaiElev
Landry's Restaurants Inc.	lny	CheilComm	cheilcomm
LoJack Corp.	lojn	Ilsung Pharmaceuticals	ilsung
Landstar System Inc.	lstr	KC Technologies	kctech
Noven Pharmaceuticals	novn	Kolon Eng.&Const.	kolon
Oxford Indus	oxm	Korea Iron & Steel	koriron
Phoenix Technologies	ptec	Kukbo Transport	kukbo
RLI Corp.	rli	MERITZ	meritz
Aaron Rents	rnt	Mirae	mirae
Spherion Corp.	sfn	Lotte Chilsung	lcb
Shuffle Master	shfl	Shinsung Engineering	shin
Supertex Inc.	supx	Shinheung Securities	shinsung
Savient Pharmaceuticals	svnt	Sungee Constructions	sungjee
TrustCo Bank Corp NY	trst	Sungshin Cement	sungshin
Universal Electronics	ueic	Sunwoos & T	sunwoos
Wausau Paper Corp.	wpp	Taeyoung E&C	taeyoung