

# Využití Markovových řetězců pro predikování pohybu cen akcií

Milan Svoboda

## Úvod

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

Jednou z možností používanou pro predikci budoucích cen akcií je technická analýza (TA). TA rozumíme rozsáhlý soubor metod, které z minulých cen a objemů obchodů, předvídají ceny budoucí. Akademici, na rozdíl od obchodníků, byli dlouho k TA skeptičtí. Důvodem byla všeobecně přijímaná Teorie efektivních trhů (Fama, 1970), která vylučuje možnost dosahovat nadprůměrných zisků. Druhým důvodem zřejmě bylo několik široce citovaných negativních empirických studií o technické analýze na akciových trzích (Fama & Blume, 1966) a (Jensen & Benington, 1970). Pozdější studie jako například (Sweeny, 1988) a (Brock, Lakonishok & Lebaron, 1992), však prokazují, že metody TA jsou schopny překonat trh. Se zlevněním výpočetního výkonu a s rozvojem elektronických databází roste i počet studií na zkoumající ziskovost různých metod TA.

Základní východiska technické analýzy lze shrnout do následujících tří tezí:

- Tržní cena je determinována pouze vzájemnou iterací mezi nabídkou a poptávkou. Poptávka a nabídka je ovlivňována fundamentálními a psychologickými faktory.

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

Základním předpokladem je pro technické analytiky druhý bod, což jim dává při včasné identifikaci trendu naději na nadprůměrný zisk. Hlavním cílem technických analytiků je prognózování krátkodobých cenových pohybů (terciální trend), přičemž důležitá není cenová úroveň, ale odhad cenových změn. Terciální trend je vlastně sekvence několika po sobě jdoucích dnů, kdy cena akcie roste (klesá). Pak následuje sekvence dnů, kdy se ceny akcie pohybuje opačným směrem. To ale není nic jiného než kolísání ceny akcie kolem dlouhodobého trendu.

Cílem této studie je ověření možnosti stochastického modelování krátkodobého kolísání cen akcií s využitím teorie Markovových řetězců a nalezení takových predikčních modelů, které by byly využitelné k tvorbě obchodních strategií pro aktivní obchodování na burze.

## 1. MARKOVOVY ŘETĚZCE

Teorie Markovových řetězců je v literatuře dobře popsána např. (Lukáš, 2009). Markovovy řetězce (dále MŘ) se používají pro modelování procesů, které se mohou nacházet v jednom z

konečného (spočetného) počtu stavů v diskretních časových okamžicích. MŘ rozumíme posloupnost diskretních náhodných proměnných  $X_1, X_2, X_3, \dots$ , mající Markovovu vlastnost, kterou můžeme formálně popsat následovně:

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

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

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

Pravděpodobnost přechodu ze stavu  $i$  do stavu  $j$  je dána vztahem:

$$p_{ij} = \frac{k_{ij}}{k_i},$$

kde  $k_i$  je počet výskytu stavu  $i$  a  $k_{ij}$  je počet výskytů stavu  $j$ , který následoval bezprostředně po stavu  $i$ .

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

$$(p(n))^T = (p(n-1))^T P \quad (2)$$

a postupným dosazováním získáme:

$$(p(n))^T = (p(0))^T P^n$$

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

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

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

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

Práce Vasanthi et al. se zabývá predikcím denního vývoje hodnoty akciových indexů. Predikovali pouze směr pohybu tj. růst nebo pokles ceny. K predikci použili pravděpodobnosti přechodu, které napočítali postupně za období posledních 5 let, 3 let a 1 roku. Závěr studie není překvapivý, nejlepší výsledky měla predikce využívající data z posledního roku.

## 2. METODIKA

### 2.1 DATOVÁ ZÁKLADNA

Využitelnost MŘ pro modelování pohybu cen akcií budeme ověřovat na datech společnosti Telefonica O2. Telefonica O2 je obchodována na Pražské burze a k dispozici máme denní otevírací a závěrečné ceny za sedmileté období od 5. ledna 2006 do 2. ledna 2013. Společnost ve sledovaném období pravidelně vyplácela dividendy. Abychom eliminovali propady cen, které byly způsobeny ztrátou nároku na dividendu, byly závěrečné ceny v den po rozhodném dnu (první den bez nároku na dividendu) navýšeny o čistou dividendu. Tento postup je korektní, neboť akcionářům byl pokles ceny akcie vykompenzován dividendou.

### 2.2 MODELY STAVOVÉHO PROSTORU

Obchodní strategie využívající aparát MŘ by mohly být úspěšné v případě, že najdeme takový model stavového prostoru, ve kterém budou stavy, ze kterých bude proces přecházet do určitých žádoucích stavů s vysokou pravděpodobností. V modelu potřebujeme nalézt takové stavy, ve kterých s dostatečně

vysokou pravděpodobností bude docházet ke změně trendu. Pro naše účely za dostatečně vysokou pravděpodobnost budeme považovat hodnoty cca. 0,67 a více, respektive 0,33 a méně.

Prvotním úkolem je tedy nalézt vhodnou definici stavového prostoru. Vzhledem k tomu, že nás zajímá terciální trend, který trvá obvykle několik dnů, budeme stavový prostor definovat na kumulativních denních změnách ceny. Kumulovanou změnu ceny akcie značíme  $K_t$  ( $k_t$  je procentuální vyjádření  $K_t$ ).  $K_t$  interpretujeme jako krátké bazické indexy denních zavíracích cen, kde základní období je den změny trendu tj. přechod z poklesu do růstu nebo naopak. Délka trvání trendu je určena počtem po sobě jdoucích rostoucích či klesajících závěrečných cen.  $K_t$  spočítáme podle následujících vztahů

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

nebo

$$(P_{t-2} \geq P_{t-1} \geq P_t),$$

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

kde  $P_t$  je závěrečná denní cena v čase  $t$ .

**Tab. 1 Ilustrace vztahů  $P_t$ ,  $K_t$  a  $k_t$**

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

*zdroj: výpočty autora*

Na hodnotách  $k_t$  budeme definovat stavový prostor. Pro rozřídění dat použijeme množinu s osmi stavy. Stavy, kdy cena akcie klesá, budeme označovat  $D_i$ . Stav  $D_1$  bude stav s nejmenším poklesem ceny a naopak stav  $D_4$  bude označovat stav s nejvyšším poklesem ceny. Stavy, kdy cena akcie roste, budeme označovat  $G_i$ . Stav  $G_1$  bude stav s nejmenším růstem ceny a naopak stav  $G_4$  bude označovat stav s nejvyšším růstem ceny. Jednotlivé modely stavového prostoru budeme definovat na následujícím principu:

$$D_4: kt < -3\Delta, \quad D_3: -3\Delta \leq kt < -2\Delta,$$

$$D_2: -2\Delta \leq kt < -1\Delta, \quad D_1: -1\Delta \leq kt < 0,$$

$$G_1: 0 \leq kt < 1\Delta, \quad G_2: 1\Delta \leq kt < 2\Delta,$$

$$G_3: 2\Delta \leq kt < 3\Delta, \quad G_4: 3\Delta \leq kt,$$

kde  $\Delta$  udává šíři intervalu. Pro nalezení nejvhodnějšího modelu budeme šíři intervalu postupně měnit, přičemž  $\Delta$  bude nabývat hodnot od 0,6% do 2,4% po kroku 0,2%.

V takto získaném MŘ provedeme filtraci. Filtraci rozumíme vypuštění po sobě jdoucích stejných stavů. Filtraci provádíme z toho důvodu, že pro aplikaci obchodních strategií nás nezajímají nepatrné cenové pohyby v rámci pokračujícího

daného trendu, kdy se předchozí stav nezmění. Zajímají nás větší změny, tedy kam se cena akcie následně posune. To zjistíme, provedeme-li filtraci získaného řetězce. Pro ilustraci procesu filtrace uvedeme řetězec před filtrací: D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>3</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> a po filtraci D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>.

V každém vyfiltrovaném modelu určíme počet výskytu jednotlivých stavů  $n_i$ , podmíněné pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy  $p_{ij}$  (prvky matice P) a podmíněné pravděpodobnosti přechodu z daného stavu do

některého z klesajících stavů  $d_i = \sum_{j=1}^4 p_{ij}$  a do

některého z rostoucích stavů  $g_i = \sum_{j=5}^8 p_{ij}$ .

## 2.3 OBCHODNÍ STRATEGIE

Na nejvhodnější modely stavového prostoru budeme následně aplikovat obchodní strategie. Obchodní strategie tvoříme na následujícím jednoduchém principu. Určitý stav vygeneruje nákupní signál a jiný stav vygeneruje prodejní signál. Jako nákupní signály postupně zkusíme všechny stavy poklesu  $D_i$  a pro každou variantu nákupního signálu postupně, jako prodejní signály, zkusíme všechny stavy růstu  $G_i$ . Nezkoušíme tedy jen stavy, které jsou vhodné pro generování obchodního signálu (s vysokou pravděpodobností změny trendu), ale propočítáme všechny kombinace. Pro každou obchodní strategii počítáme dosaženou hodnotu kapitálu  $C_n$  a celkový počet realizovaných transakcí  $n$ . Za úspěšné obchodní strategie budeme považovat ty strategie, ve kterých jsme dosáhli vyššího zhodnocení, než u pasivní strategie "kup a drž" (jsou započítány dividendy). Strategie "kup a drž" za sledované období dosáhla zhodnocení 1,14 (14%).

Pro všechny obchodní strategie počítáme jejich ziskovost (zhodnocení) za následujících pravidel. Jedním obchodem (transakcí) se rozumí nákup a následný prodej akcie. Je-li v nějaký den vygenerován nákupní či prodejní signál, je obchod realizován za otevírací hodnotu z následujícího dne. Vždy je investován celý kapitál (lze tedy kupovat i části

akcie). Neuvažujeme žádné transakční poplatky. Jsou započítány a reinvestovány čisté dividendy v případě, že jsme akcie drželi v rozhodný den. Neuvažuje se prodej nakrátko a nejsou možné dva nákupy po sobě. Hodnota investovaného kapitálu je počítána dle níže uvedeného vztahu:

$$C_i = C_{i-1} \frac{S_i + D_i}{B_i}$$

a po  $n$  – obchodech (transakcích) bude hodnota kapitálu:

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

kde  $C_0 = 1,000$  je počáteční výše kapitálu,  $C_n$  je hodnota kapitálu po  $n$ -té transakci,  $S_i$  je prodejní cena v  $i$ -té transakci,  $D_i$  jsou čisté dividendy vyplacené v průběhu  $i$ -té transakce,  $B_i$  je nákupní cena v  $i$ -té transakci.

Všechny výpočetní algoritmy byly naprogramovány v jazyce VBA v programovém prostředí MS Excel.

## 3. VÝSLEDKY

### 3.1 MODELY STAVOVÉHO PROSTORU

První model stavového prostoru budeme definovat pro  $\Delta=0,6\%$ . Stavový prostor je tedy definován následovně:

$$D_4: k_t < -1,8\%;$$

$$D_3: -1,8\% \leq k_t < -1,2\%;$$

$$D_2: -1,2\% \leq k_t < -0,6\%;$$

$$D_1: -0,6\% \leq k_t < 0;$$

$$G_1: 0 \leq k_t < 0,6\%;$$

$$G_2: 0,6\% \leq k_t < 1,2\%;$$

$$G_3: 1,2\% \leq k_t < 1,8\%;$$

$$G_4: 1,8\% \leq k_t,$$

Pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy jsou uvedeny v Tab. 2. Vzhledem k tomu, jak je definována veličina  $k_t$  a vzhledem k provedené filtraci, jsou pravděpodobnosti přechodu mezi některými stavy nemožné. V těchto nemožných přechodech je nula bez desetinných míst.

Tab. 2: Pravděpodobnosti přechodu ve vyfiltrovaném MŘ pro  $\Delta=0,6\%$ 

n-1 \ n	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	d <sub>i</sub>	g <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>
D <sub>4</sub>	0	0	0	0	0,362	0,237	0,125	0,276	1,000	0,000	152
D <sub>3</sub>	0,421	0	0	0	0,314	0,165	0,041	0,058	0,579	0,421	121
D <sub>2</sub>	0,238	0,219	0	0	0,238	0,169	0,081	0,056	0,544	0,456	160
D <sub>1</sub>	0,095	0,111	0,200	0	0,332	0,153	0,058	0,053	0,595	0,405	190
G <sub>1</sub>	0,041	0,062	0,160	0,304	0	0,232	0,093	0,108	0,433	0,567	194
G <sub>2</sub>	0,064	0,076	0,140	0,242	0	0	0,236	0,242	0,478	0,522	157
G <sub>3</sub>	0,067	0,087	0,192	0,212	0	0	0	0,442	0,442	0,558	104
G <sub>4</sub>	0,116	0,186	0,285	0,413	0	0	0	0	0,000	1,000	172

Zdroj: výpočty autora

Nás zajímají hlavně pravděpodobnosti přechodu z jednotlivých stavů do růstových stavů (hodnoty  $g_i$ ) nebo klesajících stavů (hodnoty  $d_i$ ). Tyto pravděpodobnosti se neblíží naší požadované pravděpodobnosti 0,33, respektive 0,67.

V dalších modelech už nebudeme prezentovat všechny pravděpodobnosti přechodu, ale jen pravděpodobnost poklesu z daného stavu tj. sloupec s  $d_i$ . Pravděpodobnost růstu z daného stavu je doplňkovým jevem k pravděpodobnosti poklesu. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3: Pravděpodobnosti poklesu ceny akcie z daných stavů

$\Delta$	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
0,6	0	0,421	0,456	0,405	0,567	0,522	0,558	1
0,8	0	0,431	0,377	0,423	0,600	0,585	0,537	1
1,0	0	0,402	0,354	0,386	0,647	0,586	0,618	1
1,2	0	0,333	0,354	0,359	0,627	0,611	0,598	1
1,4	0	0,353	0,317	0,329	0,670	0,623	0,636	1
1,6	0	0,345	0,320	0,297	0,692	0,651	0,737	1
1,8	0	0,293	0,288	0,284	0,704	0,686	0,739	1
2,0	0	0,333	0,260	0,258	0,732	0,728	0,775	1
2,2	0	0,324	0,256	0,238	0,753	0,758	0,788	1
2,4	0	0,290	0,232	0,218	0,763	0,777	0,828	1

Zdroj: výpočty autora

Z výsledků v Tab. 3 je zřejmé, že náš požadavek na stavy s minimálně dvoutřetinovou pravděpodobností změny trendu získáváme na modelech definovaných pro  $\Delta \geq 1,2\%$ . Podle očekávání se vzrůstajícím  $\Delta$  se zvyšuje pravděpodobnost změny trendu. Modely definované na  $\Delta \geq 1,2\%$  můžeme

považovat za vhodné pro aplikace obchodních strategií.

### 3.2 DOSAŽENÉ ZHODNOCENÍ OBCHODNÍCH STRATEGIÍ

Obchodní strategie budeme aplikovat na čtyřech modelech stavového prostoru.

Začneme modelem definovaným na  $\Delta = 1,2\%$  a  $\Delta$  budeme zvyšovat po kroku 0,4% až do 2,4%. Dosažené zhodnocení a počet uskutečněných transakcí je uveden v Tab. 4. Obchodní strategie, ve kterých jsme dosáhli vyššího zhodnocení než u strategie "kup a drž", jsme zvýraznili tučně.

Celkem jsme na čtyřech modelech stavového prostoru propočítali 64 obchodních strategií. Strategii "kup a drž" jsme porazili v 50 případech. Pokud bychom nezapočetli obchodní strategie, ve kterých je nákupní signál generován stavem  $D_1$  a prodejní signál stavem  $G_1$ , máme 36 obchodních strategií a v nich porážíme strategii "kup a drž" v 33 případech, což je 92% úspěšnost. Nezapočítání těchto stavů má své opodstatnění, neboť stav  $D_1$  generuje nákupní signál už při minimálním poklesu a cena akcie pravděpodobně může

dále klesat, naopak stav  $G_1$  generuje prodejní signál už při minimálním růstu a přicházíme tak o zisky při dalším pravděpodobném růstu. Tyto stavy bychom tedy při reálném obchodování pro generování obchodních signálů nepoužívali.

Z hlediska jednotlivých modelů stavového prostoru byl nejuspěšnější model definovaný na  $\Delta = 2\%$ . Pokud bychom nezapočetli už diskutované strategie se stavy  $D_1$  a  $G_1$ , pak tento model porazil strategii "kup a drž" vždy, stejně jako model s  $\Delta = 2,4\%$  a až na jednu výjimku model s  $\Delta = 1,6\%$ . Ale model s  $\Delta = 2\%$  dosáhl na těchto strategiích nejvyšší průměrné zhodnocení (počítáno jako aritmetický průměr) 1,74 tj. porazili jsme strategii "kup a drž" o 60 procentních bodů a průměrný roční výnos (počítáno jako geometrický průměr) byl 8,3%, oproti průměrnému ročnímu zhodnocení 1,9% strategie "kup a drž".

Tab. 4. : Dosažené zhodnocení pro jednotlivé obchodní strategie

		prodej		$G_1$		$G_2$		$G_3$		$G_4$	
		nákup		$C_n$	n	$C_n$	n	$C_n$	n	$C_n$	n
$D_1$	$\Delta=1,2\%$	0,720	257	0,560	146	0,837	90	<b>1,199</b>	51		
	$\Delta=1,6\%$	0,583	306	0,625	147	<b>1,504</b>	52	<b>1,215</b>	31		
	$\Delta=2,0\%$	0,589	352	0,827	126	<b>1,425</b>	39	<b>1,384</b>	19		
	$\Delta=2,4\%$	0,613	380	1,062	108	<b>1,430</b>	28	<b>1,203</b>	12		
$D_2$	$\Delta=1,2\%$	1,061	151	1,124	111	1,080	72	<b>2,005</b>	53		
	$\Delta=1,6\%$	<b>1,189</b>	128	<b>1,167</b>	100	<b>1,420</b>	48	<b>1,562</b>	30		
	$\Delta=2,0\%$	1,069	113	<b>1,287</b>	84	<b>2,153</b>	37	<b>1,535</b>	20		
	$\Delta=2,4\%$	<b>1,286</b>	93	<b>1,781</b>	65	<b>1,507</b>	23	<b>1,442</b>	12		
$D_3$	$\Delta=1,2\%$	<b>1,337</b>	70	<b>1,688</b>	69	<b>1,406</b>	52	<b>2,102</b>	43		
	$\Delta=1,6\%$	<b>1,155</b>	51	<b>1,276</b>	49	<b>1,530</b>	33	<b>1,826</b>	27		
	$\Delta=2,0\%$	<b>1,318</b>	34	<b>1,336</b>	28	<b>2,177</b>	21	<b>2,190</b>	18		
	$\Delta=2,4\%$	<b>1,239</b>	29	<b>1,183</b>	23	<b>1,368</b>	13	<b>1,325</b>	8		
$D_4$	$\Delta=1,2\%$	<b>1,342</b>	42	<b>1,689</b>	46	<b>1,897</b>	42	<b>2,835</b>	38		
	$\Delta=1,6\%$	<b>1,387</b>	26	1,133	27	<b>1,885</b>	23	<b>1,617</b>	19		
	$\Delta=2,0\%$	<b>1,389</b>	15	<b>1,458</b>	15	<b>1,598</b>	12	<b>1,971</b>	14		
	$\Delta=2,4\%$	<b>1,755</b>	10	<b>1,685</b>	9	<b>1,503</b>	6	<b>1,398</b>	7		

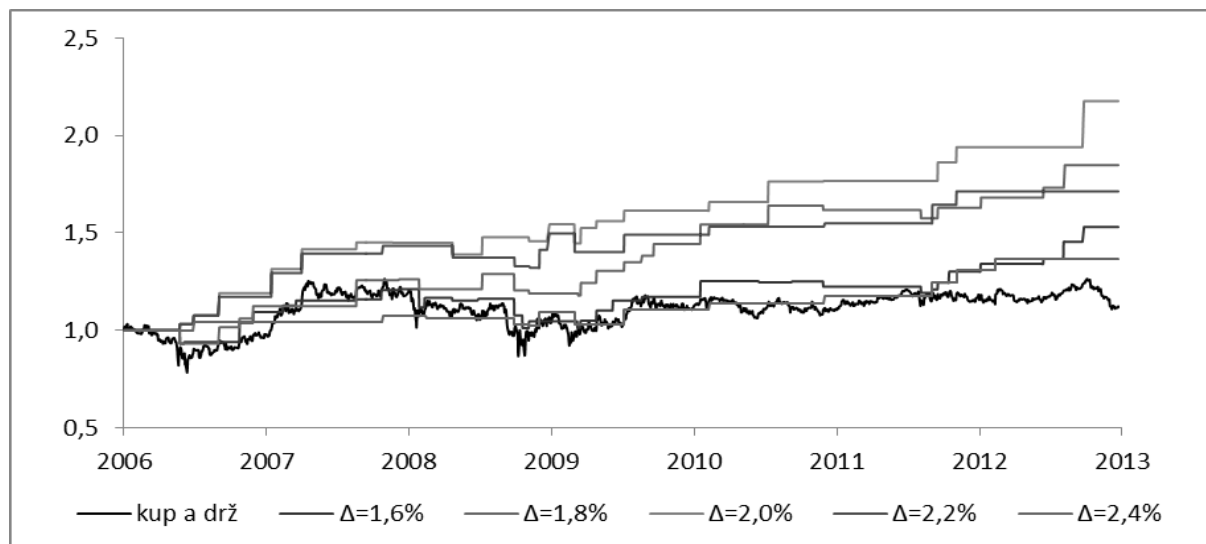
Zdroj: výpočty autora GRAFICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH STRATEGIÍ

### 3.3 GRAFICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH STRATEGIÍ

Pro další analýzu je důležitá představa o tom, jak se v průběhu času měnila hodnota investovaného kapitálu. Průběh zhodnocení

vybraných obchodních strategií je uveden v Obr. 1. Z důvodu přehlednosti zobrazíme pouze pět vybraných strategií a referenční strategii "kup a drž". Pro zobrazení jsme vybrali strategii  $D_3 - G_3$  na pěti různých modelech stavového prostoru.

Obr. 1. Průběh zhodnocení strategie  $D_3 - G_3$  pro vybrané modely



Zdroj: výpočty autora

Z průběhu zhodnocení lze konstatovat, že všechny zobrazené obchodní strategie porážely pasivní strategii "kup a drž" od druhé poloviny roku 2009, kdy se cena akcie pohybovala v postranním trendu. V období rostoucího trendu v druhé polovině roku 2006 a v první polovině roku 2007 poráží pasivní strategii pouze obchodní strategie definované na modelech s  $\Delta = 2,0\%$  a s  $\Delta = 2,2\%$ . Ostatní strategie dosahovaly podobného zhodnocení nebo nižšího. V období klesajícího trendu v roce 2008 na tom byly všechny sledované strategie lépe než pasivní strategie "kup a drž".

### ZÁVĚR

Tato studie ukázala, že má význam pokračovat ve výzkumu aplikace Markovových řetězců ke krátkodobé predikci pohybu ceny akcie. Pro akcie O2 jsme našli vhodné modely stavového prostoru, na kterých jsme aplikovali množství obchodních strategií, které porážely pasivní

strategii "kup a drž". Na výsledcích je cenné to, že se jednalo o kompaktní prostor modelů (od  $\Delta = 1,6\%$  do  $\Delta = 2,4\%$ ) a ucelenou množinu strategií (kombinace nákupních signálů ve stavech  $D_3$  a  $D_4$  s prodejními signály ve stavech  $G_3$  a  $G_4$ ), na kterých porážíme pasivní strategii.

Další výzkum budeme směřovat do následujících oblastí:

- Potvrzení výsledků této studie. Toho můžeme dosáhnout prodloužením časové řady nebo zahrnutím dalších akcií.
- Ověřit, zda daný přístup lze využít pro jiné frekvence časové řady. Primárně by se jednalo o výzkum intradenního obchodování.
- Aplikovat daný postup na vyspělé akciové trhy

Článek je jedním z výstupů projektu SGS-2014-047 „Kvantitativní modelování a experimenty pro ekonomii a podnikovou ekonomiku“ řešeného na Fakultě ekonomické Západočeské

univerzity v Plzni, jehož poskytovatelem je ZČU v Plzni.

## LITERATURA

Brock, W., Lakonishok, J., & LeBaron, B. (1992). Simple Technical Trading Rules and The Stochastic Properties of Stock Returns. *Journal of Finance*, 47(5), 1731–1764.

Doubleday, K., J., & Esunge, J., N. (2011). Application of Markov Chains to Stock Trends. *Journal of Mathematics and Statistics* 7(2), 103–106.

Fama, E., F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417.

Fama, E., F., & Blume, M., E. (1966). Filter Rules and Stock Market Trading. *Journal of Business*, 39, 283–306.

Jensen, M., C., & Benington, G., A. (1970). Random walks and technical theories: some additional evidence. *Journal of Finance*, 25, 469–482.

Lukáš, L. (2009). *Pravděpodobnostní modely v managementu – Markovovy řetězce a systémy hromadné obsluhy*. Praha: ACADEMIA, 2009. ISBN 978-80-200-1704-8

Sweeny, R., J. (1988). Some new filter rule tests: methods and results, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 23, 285–300.

Vasanthi, S., Subha M., V., & Nambi S., T. An empirical Study on Stock Index trend prediction using Markov Chain analysis. *JBFSIR*, 1(1), 72–90.

Zhang, D., & Zhang, X. (2009). Study on Forecasting the Stock Market Trend Based on Stochastic Analysis Method. *International Journal of Business and Management*, 4(6), 163–170.

### Adresa autora:

**Ing. Mgr. Milan Svoboda**

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta ekonomická

Katedra ekonomie a kvantitativních metod  
svobodm@kem.zcu.cz

## USING MARKOV CHAINS FOR PREDICTING THE STOCK PRICES MOVEMENT

**Milan Svoboda**

**Abstract:** This paper deals with stochastic modelling of short-term share prices movement using the Markov chains theory. The aim of the study is to find such prediction models which would be usable for creating business strategies for active trading at stock exchange. The research was carried out on the basis of day closing share prices of the company O2, negotiable at the Prague stock exchange during the seven years long period from the year 2006 to the year 2013. State space models were defined on the cumulative day price changes. On the basis of these cumulative day prices in total ten models of state space were calculated. We managed to find state space models with such states where a trend change occurs with sufficiently high probability. On four of these models the business strategies were applied. There were 16 business strategies applied on each model. In most of these strategies the passive buy-and-hold strategy was beaten. The highly valued aspect for the further research is the fact that it was a compact set of winning models and business strategies.

**Key words:** Markov chain analysis, transition probability matrix, technical analysis indicators, trading strategies.

**JEL Classification:** C02, C13, G14, G19