

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 427

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Tomáš Vícha

**Predikce cen ropy
pro potřeby firem angažovaných
v energeticky náročných výrobach**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV EKONOMIKY

Ing. Tomáš Vícha

**Predikce cen ropy pro potřeby firem angažovaných v energeticky
náročných výroбах**

Crude oil prediction for companies in energy demanding production

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Řízení a ekonomika podniku
Školitel: Prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc.
Oponenti: Prof. Ing. Emil Svoboda, CSc.
Prof. Dr. Ing. Miroslav Pokorný
Doc. Ing. Petr Dostál, CSc.
Datum obhajoby: 19. 10. 2007

Klíčová slova

Kvalitativní modelování, Teorie chaosu, Finanční časové řady, Predikce, Ropa

Keywords

Qualitative Modeling, Chaos Theory, Financial Time Series, Prediction, Crude oil

Místo uložení práce

Oddělení pro vědu a výzkum

Fakulta podnikatelská

Vysoké učení technické v Brně

Knihovna FP VUT v Brně

© Tomáš Vícha, 2007

ISBN 978-80-214-3515-5

ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	5
3 VYMEZENÍ POJMŮ	5
3.1 OBECNÉ INFORMACE O ROPĚ.....	5
3.2 VÝVOJ CENY ROPY.....	6
4 ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE A POUŽITÉ METODY VÝZKUMU ...	7
4.1 TEORIE CHAOSU.....	7
4.2 KVALITATIVNÍ MODELOVÁNÍ.....	8
5 APLIKACE KVALITATIVNÍHO MODELOVÁNÍ A CHAOSU	9
5.1 ANALÝZY CHAOTICKÉHO CHOVÁNÍ VÝVOJE CENY ROPY.....	9
5.2 KVALITATIVNÍ MODELOVÁNÍ CHAOTICKÉHO MODELU.....	10
5.2.1 <i>Rösslerův model pro směnné kurzy</i>	10
5.2.2 <i>Kvalitativní modelování Rösslerova modelu</i>	10
5.3 KVALITATIVNÍ DEGRADACE ČASOVÉ ŘADY	12
5.3.1 <i>Klouzavé průměry</i>	12
5.3.2 <i>Proložení polynomem vyššího stupně</i>	12
5.3.3 <i>Ruční proložení trendové křivky</i>	12
5.3.4 <i>Kombinace dříve uvedených přístupů</i>	12
5.3.5 <i>Vlastní přepis na posloupnost tripletů</i>	12
6 KVALITATIVNÍ PREDIKCE CENY ROPY	14
6.1 VSTUPNÍ DATA.....	14
6.2 KVALITATIVNÍ DEGRADACE REÁLNÝCH ČASOVÝCH ŘAD VE SPOJITOSTI S ROPOU	15
6.3 VLASTNÍ PREDIKČNÍ MODEL	17
6.3.1 <i>Fáze predikčního modelu</i>	17
6.3.2 <i>Ilustrace mechanismu historické kvalitativní shody</i>	18
6.3.3 <i>Dokončení popisu predikčního modelu</i>	19
6.3.4 <i>Statistiky úspěšnosti predikcí</i>	20
6.4 UKÁZKOVÉ VÝSLEDKY PREDIKCÍ SE STATISTIKAMI	22
6.5 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ Z MODELU.....	23
7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE	24
8 ZÁVĚR.....	25
9 LITERATURA	25
ABSTRAKT	28

CURICULUM VITAE – TOMÁŠ VÍCHA

Kontakt: tomasvicha@gmail.com

Vzdělání

2004-2007 (aktuální)

Vysoká škola: VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, doktorské studium:

- Obor Řízení a ekonomika podniku
- Školitel: Prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc.

2005

Vysoká škola: University of Wisconsin – Whitewater, USA, studijní stáž

2002-2005

Vysoká škola: VUT v Brně, Fakulta informačních technologií, doktorské studium:

- Obor Informační technologie
- 2004-2005 přerušeno, 2005 ukončeno, absolvování 3 semestrů, 6 zkoušek

2002-2005

Vysoká škola: VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, inženýrské studium:

- Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku / Ekonomika a management
- Diplomová práce: „Tvorba dotazníku pro podporu rozhodování drobného investora“
- 2005 úspěšně ukončeno, titul Ing., prospěch s vyznamenáním

1997-2002

Vysoká škola: VUT, Fakultu informačních technologií, inženýrské studium:

- Studijní obor: Informatika a výpočetní technika
- Diplomová práce: „Multimediální aplikace pro výuku výtvarného umění pro postiženou mládež“
- 2002 úspěšně ukončeno, titul Ing.

Vědecká činnost – granty

- Řešitel grantu FRVŠ – G5 – Projekt 2747/2006 – „Využití kvalitativního chaosu pro predikci ekonomických a finančních modelů“
- Spoluřešitel grantu FRVŠ – F5 a – Projekt 2732/2006 – „Inovace předmětu Finanční řízení a investiční rozhodování“
- Účast na řešení grantech Evropské unie – M4 a ASIA

Ekonomické zaměření

- Oblast investování, analýza kapitálových trhů, moderní teorie portfolia
- Řízení a ekonomika podniku
- Umělé inteligence využívaná v ekonomii

Odborné znalosti informatické

- Znalost operačních systémů Windows a Linux
- Znalost kancelářských programů na PC – Excel, Word, LaTeX, ...
- Programování: C, C++, Matlab, Perl, Pascal, HTML, Javascript, Java, ...
- Zkušenosti s multimediálními a grafickými nástroji

Znalost jazyků

- Angličtina (odborná, běžná – aktivní), němčina (běžná – pasivní).
- 2007 – FCE Certifikát (The Cambridge First Certificate in English)

1 ÚVOD

Cena ropy ovlivňuje v mnohém jak ekonomii a průmysl, tak i život každého civilizovaného jedince. Velký nárůst ceny ropy v posledních letech si vyžaduje pečlivě prozkoumat příčiny a vytvořit modely pro predikci vývoje ceny ropy.

Klasické predikce kvantitativního rázu, kdy se snažíme odhadnout vývoj přesnou numerickou hodnotou, jsou problematické (potřeba dostatečného množství dat) a bývají velmi nepřesné. Často by nám stačilo určit trend v souladu se známým heslem „trend je nejlepším kamarádem investora“. Trendové predikce nevyžadují kvantitativní informace o zkoumaném problému. Jestliže není možná predikce trendů, tak naděje na úspěšnou kvantitativní predikci je prakticky nulová. Na této myšlence je postaveno kvalitativní modelování. Kvalitativní modelování spadá do oblasti umělé inteligence. Další využitou metodu představuje teorie chaosu, která nám objasňuje nelineární chování finančních systémů. Souběžné využití těchto metod představuje jádro vytvořeného predikčního modelu.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavní cíl práce spočívá ve **vytvoření modelu pro predikci vývoje ceny ropy**, který může být pomocným nástrojem pro podniky při rozhodování spojených s vývojem cen ropy. Mimo tento hlavní cíl byly stanoveny i **dílčí cíle**, které vedou k úspěšnému řešení hlavního cíle.

- Vytvořit bázi chaotických modelů na základě rešerše zdrojů
- Kvalitativně vypočítat chaotické modely z báze
- Vybrat vhodné historické časové řady pro predikci
- Navrhnout způsob převedení časových řad na kvalitativní data
- Provést analýzu faktorů, které ovlivňují cenu ropy
- Navrhnout, jakým způsobem lze skloubit analýzu faktorů s predikčním modelem
- Ohodnotit spolehlivost predikčního modelu

3 VYMEZENÍ POJMŮ

3.1 OBECNÉ INFORMACE O ROPĚ

Ropa (surová nafta, **Crude Oil, Petroleum**) představuje hnědou až nazelenalou hořlavou kapalinu tvořenou směsí uhlovodíků, především alkanů. Je základní surovinou petrochemického průmyslu. Vyskytuje se společně se **zemním plynem (Natural Gas)**. Ropa a výrobky z ní jsou základním palivem pro dopravu a surovinou pro výrobu plastů. Vyrábějí se z ní i některé léky, hnojiva a pesticidy. Především chudší země používají ropné produkty také k výrobě elektřiny (asi 7 % celkové světové produkce elektřiny). [11] [32]

Typologie ropy

Ropný průmysl rozděluje ropu podle jejího původu (např. West Texas Intermediate, WTI nebo Brent) a často také podle její hustoty (lehká, Light, středně

těžká, Intermediate a těžká, Heavy); rafinérie ji také mohou označovat jako „sladkou“ (Sweet), což znamená, že obsahuje relativně málo síry, nebo jako „kyselou“ (Sour), protože tato ropa obsahuje více než 0,5 % síry a vyžaduje náročnější zpracování, aby vyhověla současným normám. Hlavní světové typy jsou:

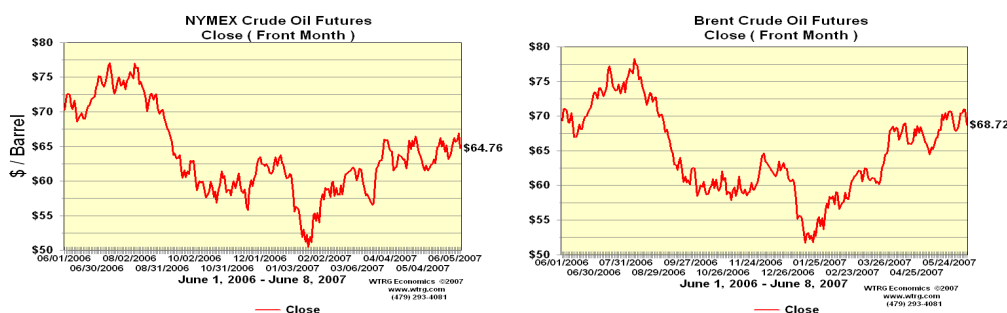
- Směsná ropa **Brent**, zahrnující 15 druhů ropy z nalezišť v Severním moři. Obchoduje se v Londýně na burze **ICE Futures** (Intercontinental Exchange).
- **West Texas Intermediate (WTI)**, za jejíž cenu se prodává ropa v USA. Obchoduje se na newyorské komoditní burze (**NYMEX**).

Všechny výše uvedené druhy se řadí mezi klasickou „konvenční“ ropu. Kromě ní existují také velká ložiska nekonvenční ropy, kterou tvoří živice v dehtových píscích a kerogen v ropných břidlicích. Nacházejí se hlavně v Kanadě a Venezuele. [32]

3.2 VÝVOJ CENY ROPY

Energy Information Administration (EIA) uveřejňuje historické časové řady pro ropu (s mírným zpožděním), viz [31]:

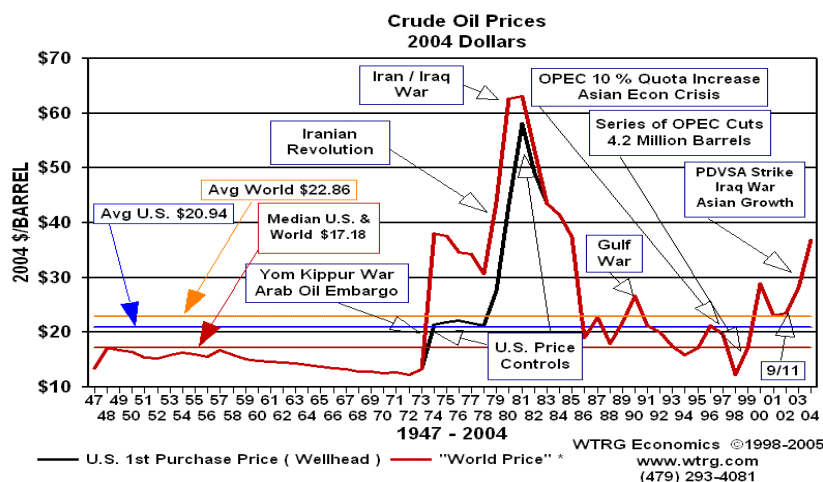
- **Spotové ceny (Spot Prices)** – spot price reprezentuje cenu pro jednorázovou transakci s okamžitým dodáním specifické kvantity produktu do specifické lokace, kde se komodita koupí na spot za současné tržní míry (Market Rates).
- **NYMEX Futures Prices** – zde jsou uvedeny 4 typy kontraktů na lehkou sladkou ropu (Light Sweet Crude Oil). Kontrakt 1 představuje futures kontrakt pro nejčasnější dodávku suroviny. Pro ropu kontrakt vyprší vždy třetí pracovní den před 25. kalendářním dnem v měsíci předcházejícím dodávkový měsíc. Jestliže 25. den v měsíci je nepracovní, pak obchodování přestane tři dny před posledním pracovním dnem před 25. v tom měsíci. Kontrakty 2-4 reprezentují následující měsíce dodávky po Kontraktu 1.
- **World Crude Oil Prices** – ceny rozdělené po konkrétních značkách ropy jednotlivých států rozříděné na OPEC a ostatní.



Obr. 1 – Futures prices pro ropu Brent a WTI – 06/2006 až 06/2007, [33]

Nejnovější vývoj cen obou hlavní druhů ropy (Brent, WTI) nalezneme na následujícím grafu Obr. 1. Na obrázku Obr. 1 jsou zobrazeny futures ceny pro Brent a WTI v intervalu červen 2006 až červen 2007. Na obrázcích vidíme zřetelně trendy, které jsou nezbytné pro možnou predikci. Obrázek Obr. 2 zobrazuje vývoj ceny ropy

od roku 1947 až 2004. Demonstrují se zde příčiny změn ceny v závislosti na světovém politickém dění.



Obr. 2 – Vývoj ceny ropy 1947 až 2004 s doplňkovými komentáři světového politického dění, [34]

4 ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE A POUŽITÉ METODY VÝZKUMU

Technika vědeckého poznávání představuje algoritmus posloupnosti činností v procesu realizace vědeckého poznávání, a to od formulace řešeného problému až po závěrečné hodnocení dosažených výsledků. Postup zpracování představuje souhrn fází vedoucích k dosažení cíle. [5]

Metody se chápeme jako plánovitý postup k dosažení cíle. Metodiku chápeme jako soubor vybraných a doporučených metod a postupů k úspěšnému řešení stanoveného cíle. Metodologie pak znamená vědecké učení, resp. nauku o metodách. [9]

Ve většině výzkumů nevystačíme jen s obecnými metodami a využíváme různé metody operační analýzy, modelování a matematické metody.

4.1 TEORIE CHAOSU

Pod pojmem **chaos** si většina lidí představí něco naprosto neuspořádaného a neorganizovaného či amorfního. V matematice a fyzice se teorie chaosu zabývá chováním jistých nelineárních dynamických systémů, které (za jistých podmínek) vykazují jev známý jako chaos, nejvýznamněji charakterizovaný **citlivostí na počáteční podmínky** (tzv. **motýlí efekt**, **Butterfly Effect**). V důsledku této citlivosti se chování těchto fyzikálních systémů, vykazujících chaos, jeví jako náhodné, i když model systému je deterministický v tom smyslu, že je dobře definovaný a neobsahuje žádné náhodné parametry.

Systémy, které vykazují matematický chaos, jsou v jistém smyslu uspořádané, mají tzv. **skrytý řád**. Tím je význam slova v matematice a fyzice v jistém nesouladu s obvyklým chápáním slova chaos jako totálního nepořádku. [2] [7]

4.2 KVALITATIVNÍ MODELOVÁNÍ

Důležitý znak kvalitativního uvažování (**Common Sense** – „selská logika“) představuje přechod k novému oboru proměnných, viz DAVIS (1990, [1]). V běžném životě se setkáváme se situacemi, které nás nutí úspěšně řešit problémy, které lze formálním způsobem vyjádřit pomocí diferenciálních rovnic. Kvalitativní modelování reprezentuje výsledek snahy zformulovat pravidla a odvozovací mechanismus pro takové každodenní uvažování.

Metodologie vytvoření kvalitativního modelu závisí v první řadě na dostupnosti matematického modelu konvenčního. Typickou situací představuje kvantitativní model, který je znám jen částečně a numerické konstanty jsou určeny jen přibližně. Pro konstrukci kvalitativního modelu však lze téměř vždy inženýrskou analýzou problému sestavit alespoň výchozí rovnice.

Množina řešení získané kvalitativní analýzou je vždy nadmnožina inženýrsky rozumných řešení, tj. nic „rozumného“ nemůže být přehlédnuto.

Využití kvalitativního modelování chaotického modelu nám určí nadmnožinu všech scénářů kvantitativního modelu. Jinak řečeno náš vymodelovaný kvalitativní model představuje zobecnění kvantitativního modelu. Podotkněme, že řešením kvalitativního modelu získáme i výsledky, které pak již nelze na kvantitativní úrovni dosáhnout, ale i tak se jedná o dobrý nástroj, jak určit možné obecné chování zkoumaného systému. Kvalitativní modelování nevylučuje kvantitativní přístupy. Kvantitativní metody mohou být vhodně využity pro testování kvalitativních výsledků. [14] [27]

Profesor Mirko DOHNAL (1991, [14]) popsal v článku „A methodology for common-sense model development“ **kvalitativní algebru**. Takto zvolená algebra se uvažuje ve všech částech disertační práce.

Předpokládejme, že oborem hodnot n kvalitativních proměnných (Qualitative Variables),

$$X_1, X_2, \dots, X_n, \quad (1)$$

je množina tří možných kvalitativních hodnot: **kladná** (rostoucí, **positive** +), **nulová** (konstantní, **constant**, 0) nebo **záporná** (klesající, **negative**, -).

Kvalitativním modelem pak nazveme soustavu kvalitativních rovnic. **Kvalitativní scénář (Qualitative Scenario)** kvalitativního modelu je specifikovaný pomocí všech n kvalitativních proměnných:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \quad (2)$$

kteří jsou popsány pomocí korespondujících **kvalitativních tripletů (Triplets)**:

$$(X_1, DX_1, DDX_1), (X_2, DX_2, DDX_2), \dots (X_n, DX_n, DDX_n), \quad (3)$$

kde DX_i a DDX_i jsou první a druhá derivace proměnné X_i vzhledem k nezávislé proměnné t (což bývá většinou čas). Množina odpovídajících n tripletů pak udává kvalitativní stav modelu ve zvoleném časovém okamžiku.

Řešením modelu (množina scénářů, Scenario Set) pak nazveme množinu všech možných scénářů.

$$((X_1, DX_1, DDX_1), (X_2, DX_2, DDX_2), \dots (X_n, DX_n, DDX_n))_j, \quad (4)$$

kde $j = 1, 2, \dots, m$.

	From	To	Or	Or	Or	Or	Or	Or
1	+++	→	+++0					
2	++0	→	+++	+-				
3	+-	→	++0	+0-	+00			
4	+0+	→	+++					
5	+00	→	+++	+-				
6	+0-	→	+-					
7	+-+	→	+0	+0+	+00	0-+	00+	000
8	+-0	→	+-	+-	0-0			
9	+-	→	+0	0--	0-0			
10	0++	→	++0	+-	++			
11	0+0	→	++0	+-	++			
12	0+-	→	+-					
13	00+	→	+++					
14	000	→	+++	--				
15	00-	→	--					
16	0-+	→	--					
17	0-0	→	--	--	--			
18	0--	→	--	--	--			
19	-++	→	+0	0++	0+0			
20	-+0	→	+-	+-	0+0			
21	-+-	→	+0	-0-	-00	0+-	00-	000
22	-0+	→	+-					
23	-00	→	+-	--				
24	-0-	→	--					
25	--+	→	-0	-0+	-00			
26	--0	→	--	+-				
27	---	→	-0					

Tab. 1 – Seznam možných jednodimenzionálních přechodů (přechodová pravidla), [14]

Jednoduchý algoritmus dokáže vypočítat všechny možné **přechody (Transitions)** mezi množinou jednodimenzionálních scénářů $n = 1$ (viz rovnice (4)). Možné jednodimenzionální přechody nalezneme v tabulce Tab. 1. Multidimenzionální přechody musí splňovat Tab. 1 pro n jednodimenzionálních přechodů. Pro grafickou reprezentaci množiny všech přechodů se využívá obvykle orientovaný graf.

Bližší o kvalitativní algebře se dočteme např. v literatuře DOHNAL (1991, [14]) a ŠILLER (1992, [24]).

5 APLIKACE KVALITATIVNÍHO MODELOVÁNÍ A CHAOSU

5.1 ANALÝZY CHAOTICKÉHO CHOVÁNÍ VÝVOJE CENY ROPY

První testy chaotičnosti finančních časových řad se datují do roku 1989, kdy FRANK a STENGOS (1989, [15]) našli důkaz nelineární struktury u řady pro výnosy ze zlata a stříbra. Následovaly studie chaotičnosti dalších ekonomických a finančních řad, jako např. SCHEINKMAN (1989, [22]), HSIEH (1991, [16]), DECOSTER (1992, [13]), YANG (1993, [29]) a KOHZADI (1995, [17]), ve kterých byla nalezeny důkazy chaotických struktur.

V článku „Are oil markets chaotic? A non-linear dynamic analysis“ od autorů PANAS a NINNI (2000, [19]) lze nalézt několik testů na chaotičnost produktů z ropy na dvou trzích s ropnými výrobky. V práci použili pět různých testů na potvrzení (resp. vyvrácení) chaotičnosti časových řad: Eckmann-Ruelle Condition, Saturation Correlation Dimension, Brock's Tudorem, Entropy, Saturation Lyapounov Exponent a BDS Statistic. Testy nejsou triviální, proto nebudou na tomto místě vysvětleny. Zájemce se podrobný popis dočte v uvedené publikaci [19]. Důležitější pro nás jsou vlastní výsledky, které autoři souhrnně zpracovali do tabulky Tab. 2. V posledním sloupci u jednotlivých produktů nalezneme zjištěný charakter konkrétní časové řady. Vidíme, že až na výjimky, většina produktů vykazuje chaotické chování.

Products	Eckmann–Ruelle condition	Saturation correlation dimension	Brock's theorem	Entropy	Saturation Lyapunov exponent	BDS statistic	Presence of
<i>Rotterdam</i>							
NAPHTHA	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap. ^a	CHAOS
MOGAS PREM. 0.15	?	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
G L JET FUEL (KERO)	No	No	Yes	No	No	Non-ap.	GARCH
GASOIL 0.2% SULFUR	No	No	Yes	No	No	Non-ap.	GARCH
FO 3.5% SULFUR	?	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
FO 1.0% SULFUR	Yes	Yes	?	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
MOGAS REG UNL	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
MOGAS PREM. UNL 95	No	No	Yes	No	No	Non-ap.	GARCH
<i>Mediterranean</i>							
NAPHTHA	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
MOGAS PREM. 0.15	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
G L JET FUEL (KERO)	No	No	Yes	No	No	Non-ap.	GARCH-M
GASOIL 0.2% SULFUR	No	No	Yes	No	Yes	Non-ap.	CHAOS
FO 3.5% SULFUR	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS
FO 1.0% SULFUR	Yes	Yes	?	Yes	Yes	Non-ap.	CHAOS

^aNon-ap., non-appropriate.

Tab. 2 – Souhrn výzkumu o chaotičnosti ropných produktů z výzkumu PANAS a NINNI, [19]

5.2 KVALITATIVNÍ MODELOVÁNÍ CHAOTICKÉHO MODELU

5.2.1 Rösslerův model pro směnné kurzy

Rösslerův model pro směnné kurzy (Exchange Rates), popsal v článku BELAIRE-FRANCH (2002, [12]). Navazuje na studii SERLETIS (1997, [20]), která dokazovala chaotické chování několika OECD směnných kurzů a dále na novější práci SERLETIS (2002, [21]) o trendech ve směnných kurzech.

Rösslerův model (rov. (5)) byl použit pro vytvoření nelineárních deterministických dat pro simulace, přesněji bylo vygenerováno 1000 pozorování x -komponenty Rösslerova systému za pomoci Runge-Kutta integrační metody 4. řádu (s časovým krokem 0.01 a parametry systému $a = 0.2$, $b = 10$, $c = 0.15$).

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= -y - z, \\
 \frac{dy}{dt} &= x + ay, \\
 \frac{dz}{dt} &= b + z(x - c),
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

5.2.2 Kvalitativní modelování Rösslerova modelu

Kvalitativní analýza modelu (např. chaotického) nám určí nadmnožinu všech přípustných scénářů tohoto kvantitativního modelu. Jinak řečeno náš získaný kvalitativní model představuje zobecnění kvantitativního modelu. Podotkněme, že řešením kvalitativního modelu získáme i výsledky, které již nelze na kvantitativní úrovni dosáhnout (**Spurious States**), ale i tak se jedná o dobrý nástroj, jak určit možné chování zkoumaného systému.

Pro názornost, kvalitativně vyřešíme Rösslerův model. Soustavu diferenciálních rovnic Rösslerova modelu (kvantitativní tvar) zobrazuje rov. (5). Převedeme kvantitativní model (5) na model kvalitativní (při převodu vypouštíme multiplikační konstanty):

$$\begin{aligned}
 DX + Y + Z &= 0, \\
 DY &= X + Y, \\
 DZ + Z &= Z * X + K,
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

kde K , v originálním tvaru modelu konstanta b , je aditivní konstanta, kterou budeme považovat za další kladnou proměnnou.

1	+	-	+	+	+	+	+	-	+	21	+	-	-	+	+	+	+	+	-
2	+	-	+	+	+	+	+	-	0	22	+	-	-	+	+	+	+	0	-
3	+	-	+	+	+	+	+	-	-	23	+	-	-	+	+	+	+	-	+
4	+	-	+	+	+	0	+	-	+	24	+	-	-	+	+	+	+	-	0
5	+	-	+	+	+	0	+	-	0	25	+	-	-	+	+	+	+	-	-
6	+	-	+	+	+	0	+	-	-	26	+	-	-	+	+	0	+	+	+
7	+	-	+	+	+	-	+	-	+	27	+	-	-	+	+	0	+	+	0
8	+	-	+	+	+	-	+	-	0	28	+	-	-	+	+	0	+	+	-
9	+	-	+	+	+	-	+	-	-	29	+	-	-	+	+	0	+	0	-
10	+	-	0	+	+	+	+	-	+	30	+	-	-	+	+	0	+	-	+
11	+	-	0	+	+	+	+	-	0	31	+	-	-	+	+	0	+	-	0
12	+	-	0	+	+	+	+	-	-	32	+	-	-	+	+	0	+	-	-
13	+	-	0	+	+	0	+	-	+	33	+	-	-	+	+	-	+	+	+
14	+	-	0	+	+	0	+	-	0	34	+	-	-	+	+	-	+	+	0
15	+	-	0	+	+	0	+	-	-	35	+	-	-	+	+	-	+	+	-
16	+	-	0	+	+	-	+	-	+	36	+	-	-	+	+	-	+	0	-
17	+	-	0	+	+	-	+	-	0	37	+	-	-	+	+	-	+	-	+
18	+	-	0	+	+	-	+	-	-	38	+	-	-	+	+	-	+	-	0
19	+	-	-	+	+	+	+	+	+	39	+	-	-	+	+	-	+	-	-
20	+	-	-	+	+	+	+	+	0										

Tab. 3 – Možné scénáře Rösslerova modelu

Pro zredukování výsledného počtu scénářů a přechodů stanovíme, že proměnné (X , Y a Z) nabývají jen kladných hodnot, tj. triplet pro proměnnou X bude ve tvaru (+, DX , DDX). Dále přepíšeme kód do instrukcí programu pro kvalitativní modelování, příkladem může být program Q-SENECA.

Výpočtem modelu získáme 39 rozdílných scénářů, viz Tab. 3. Každý scénář se specifikuje třemi trojicemi (triplety) pro proměnné X , Y , Z . Model s třemi proměnnými a tímto typem dotazu může mít teoreticky až 729 možností. Zde spočívá síla kvalitativní analýzy, protože nám říká, které situace nemůžou nastat přes jakékoli změny konstant originálního kvantitativního modelu.

Maximálně možný teoretický počet scénářů kvalitativního modelu vypočteme pomocí jednoduché formule:

$$(3^{O+1})^V \tag{7}$$

Kde O ... Řád derivace

V ... Počet proměnných

Řád derivace u obecných tripletů je 2, když však uvažujeme jen kladnou variantu modelu, musíme vnitřek závorky vydělit 3. V práci uvažujeme jen triplety, ale pro přesnější popis modelu lze využít i vyšší derivaci (čtvrtou, pátou, ...) a využívat např. kvartety a kvintety. Z tohoto důvodu ve vzorci (7) nalezneme proměnnou O . Teoreticky tak můžeme dosáhnout nekonečně přesný popis kvalitativního modelu. Dodejme, že přidáváním řádu derivace sice zpřesňujeme výsledky, ale také se počet scénářů zvětšuje exponenciálně.

Dále vypočteme existenci 377 přechodů mezi jednotlivými scénáři. Praktický důsledek kvalitativní analýzy spočívá ve vyloučení nepřipustných scénářů. Vždy se můžeme vrátit na úroveň kvantitativní a zjištěné údaje aplikovat.

5.3 KVALITATIVNÍ DEGRADACE ČASOVÉ ŘADY

Kvalitativní degradace časové řady, znamená převod kvantitativních dat na posloupnost následných tripletů. Na začátek je potřeba filtrovat reálnou časovou řadu na trendovou křivku, která se pak přepíše na posloupnost tripletů.

Existuje mnoho způsobů filtrace využitelných pro úlohu degradace časové řady, viz článek VÍCHA(2007, [25]).

5.3.1 Klouzavé průměry

Klouzavé průměry (Moving Average) patří mezi klasické nástroje technické analýzy. Vlastní výpočet je velmi jednoduchý, protože stačí vzít interval hodnot z historického průběhu určité délky a z hodnot vypočítat průměr. Tento výpočet přísluší přesněji tzv. **jednoduchému klouzavému průměru (Simple Moving Average)**. Trendová křivka se stane tím více vyhlazená, čím více dnů se použije pro výpočet průměrů. [6]

5.3.2 Proložení polynomem vyššího stupně

Každý stupeň navíc u polynomu přidává podrobnosti (záhyby) trendové křivce, problém spočívá v tom, že od určitého stupně začne problém s hladkostí křivky (na obou koncích). Metoda přináší vynikající výsledky u kratších řad s výraznými trendy, ale u delších členitějších řad není příliš vhodná, protože křivka obsahuje více záhybů, které pak nedokáže modelovat a získáme jen ty nejmarkantnější trendy. Taktéž příliš hrubá křivka zhoršuje využití proložení. Teorie viz HANSELMAN (2005, [3]).

5.3.3 Ruční proložení trendové křivky

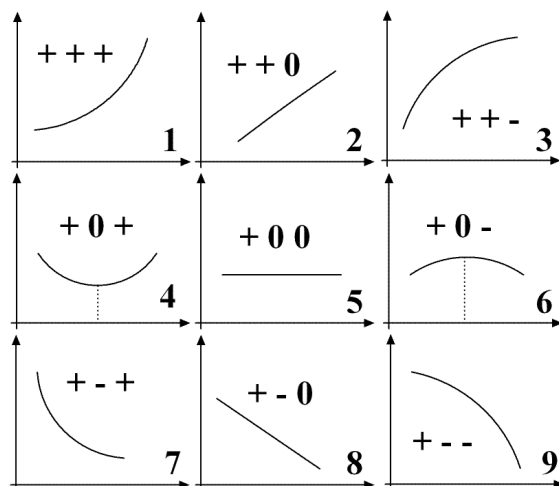
Odborník se může oprostít od předchozích statistických metod a využít vlastní intuici pro trendy, tento přístup vykazuje velmi rozdílné výsledky, co se kvality týče, tj. takováto křivka může být nejvíce (resp. nejméně) věrná, záleží totiž na schopnostech a zkušenostech konkrétního odborníka.

5.3.4 Kombinace dříve uvedených přístupů

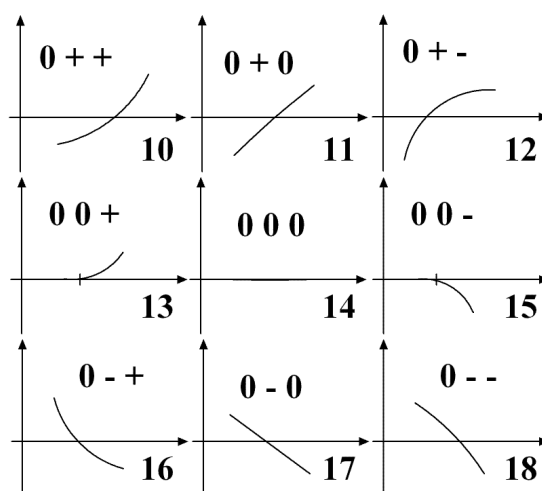
Hybridní přístup v sobě zahrnuje využití předešlých přístupů s různými parametry. Ilustrační soubor dat uvažuje kurzy v absolutní hodnotě. Pro predikce je ale lépe využít změny kurzů, viz WU a MCCALLUM (2005, [28]), což má ale za důsledek vysokou volatilitu dat. Využití klouzavého průměru vyšší hodnoty u takových dat má za výsledek plochou trendovou křivku kolem nulové hodnoty (poznatek vychází například z teorie efektivních trhů). Řešením popsanych obtíží může spočívat právě ve využití kombinace dříve uvedených přístupů, tak jak to bylo provedeno v této práci.

5.3.5 Vlastní přepis na posloupnost tripletů

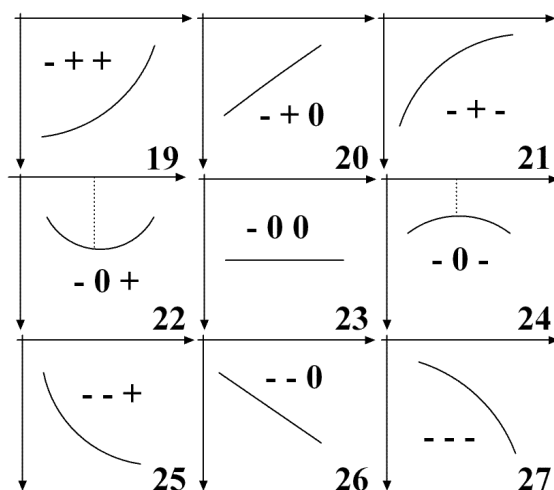
Dle využívané algebry pro tuto práci rozeznáváme 27 rozdílných tripletů (Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5).



Obr. 3 – Ilustrační triplety – kladné



Obr. 4 – Ilustrační triplety – konstantní



Obr. 5 – Ilustrační triplety – záporné

Jestliže získáme trendovou křivku, můžeme přejít k vlastnímu přepisu ještě pořád kvantitativní trendové křivky na kvalitativní posloupnost tripletů. Tento přepis může být buď ruční, nebo automatizovaný, pomocí počítače.

Ruční přepis se komplikuje při využívání časových řad relativních změn a hlavně, jestliže se degraduje více časových řad souběžně. Klasické chaotické modely jsou většinou trojdimenzionální, tedy vyžadují degradaci tří časových řad souběžně, proto je potřeba si vypomoci automatizovanými skripty vytvořených pro počítačové zpracování.

Automatizovaný přepis vyžaduje numericky vypočítat první a druhou derivaci v průběhu trendové křivky a z toho určit triplety. Teorii numerického výpočtu derivace nalezneme v mnohých matematických knihách, např. [8].

6 KVALITATIVNÍ PREDIKCE CENY ROPY

6.1 VSTUPNÍ DATA

Chaotická databáze obsahuje 21 trojdimenzionálních modelů, tj. dají se přepsat do tvaru o třech proměnných, které se standardně pojmenovávají x , y a z . Kvalitativní převod se provede stejně jak je ilustrováno v kapitole 5.2.2.

Zvolené chaotické modely:

- I. Lorenz model ([10])
- II. Rössler model ([10])
- III. Rose-Hindmarsh model ([10])
- IV. Lotka Volterra generalized – 3D ([10])
- V. Diffusionless Lorenz attractor ([10])
- VI. Chen's system ([10])
- VII. Hadley circulation ([10])
- VIII. ACT attractor ([10])
- IX. Rabinovich-Fabrikant attractor ([10])
- X. Moore-Spiegel oscillator ([10])
- XI. Halvarsen's cyclically symmetric attractor ([10])
- XII. Rucklidge attractor ([10])
- XIII. WINDMI attractor ([10])
- XIV. Simplest quadratic chaotic flow ([10])
- XV. Simplest cubic chaotic flow ([10])
- XVI. Nosé-Hoover oscillator ([10])
- XVII. Nosé-Hoover oscillator modification ([4])
- XVIII. Nosé-Hoover oscillator modification – reverse ([4])
- XIX. Rössler's fourth system ([23])
- XX. Sprott's Jerk – Case R ([23])
- XXI. Liu-Chen system ([18])

Klasické chaotické modely jsou většinou třírozměrné. Jestliže chaotický model má tři proměnné, potřebujeme pro predikce ropy získat tři časové řady, které jsou spjaty s ropou.

Zvolené historické časové řady denních kurzů:

- 1) AMEX Oil Index – uzavírací ceny ([35])
- 2) AMEX Oil Index – objemy obchodů ([35])

- 3) AMR Corp. – uzavírací ceny ([35])
- 4) AMR Corp. – objemy obchodů ([35])
- 5) Dow Jones-AIG Commodity Index – uzavírací ceny ([30])
- 6) Futures kontrakt 1 na WTI ropu – uzavírací ceny ([31])
- 7) Futures kontrakt 4 na WTI ropu – uzavírací ceny ([31])
- 8) Gazoline (benzín) – uzavírací ceny ([31])
- 9) Shell – uzavírací ceny ([35])
- 10) Shell – objemy obchodů ([35])
- 11) Spotové ceny na WTI ropu – uzavírací ceny ([31])

6.2 KVALITATIVNÍ DEGRADACE REÁLNÝCH ČASOVÝCH ŘAD VE SPOJITOSTI S ROPOU

Pro fázi filtrace se nejvýhodněji využije kombinovaný přístup přepisu, protože nejlépe vyhovuje automatickému zpracování programem. Kdybychom použili čistě metodu klouzavých průměrů, měli bychom problém získat křivku, která obsahuje jen nejdůležitější trendové změny a byla by dostatečně „hladká“ pro počítačové rozpoznávání tripletů. Taktéž metoda proložení polynomu vyššího stupně sama o sobě nedosahuje vhodné výsledky, protože původní nezpracovaná řada je příliš hrubá.

Z tohoto důvodu používáme přístup kombinovaný. Pro nezpracovanou řadu se vypočte klouzavý průměr přes malý počet vzorků (ideálně 3 až 5), pak se aplikuje proložení polynomu vysokého stupně (ideálně stupně cca 20), ale kvůli charakteru výpočtu proloženého polynomu nezbyvá než proložený polynom interpolovat splinem (kvůli jednoduše zpětné rekonstrukci interpolujeme jeden vzorek 5 či 10 novými body), aby se vyhladily okraje proloženého polynomu, protože jsou příliš „ostré/kostrbaté“ a tudíž problematické pro automatické rozpoznávání tripletů. V práci se využívá jednoduchý klouzavý průměr (Simple Moving Average). Poznamenejme ještě, že využití klouzavého průměru zkracuje řadu o svoji délku.

V lidské mysli uvažujeme trendovou křivku spojitě, ale data v počítači se ukládají v diskrétní formě (co den to jeden vzorek). Změny trendů, které nejsou ve vzorcích obsažené, musíme proložit odpovídajícím přechodovým trendem o délce jednoho vzorku, aby odpovídaly tabulce možných jednokrokových přechodů Tab. 1. Naštěstí, když známe dva nosné delší trendy, které jsou v křivce obsažené, lze jednoduše z tabulky odpozorovat, jaký scénář v posloupnosti chybí a doplnit ho.

Další logický krok představuje redukci posloupnosti tripletů o délce $n-2$ na posloupnost, která obsahuje jen takové triplety, kde každé dva sousedící se navzájem liší. Při této redukci je výhodné si zapamatovat přes kolik stejných tripletů proběhla tato redukce, a kterým vzorkem začínala. Nezapomeňme, že výše popsany postup je potřeba generalizovat a provést pro tři časové řady současně. Dostaneme posloupnost scénářů vždy po třech tripletech, každý z nich přísluší jedné vstupní časové řadě. Při redukci se díváme vždy na rozdílnost celých jednotlivých následných scénářů a ne jen tripletů. Pro popis jednotlivých tripletů využíváme

číselné označení 1 až 27, viz obrázky Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5. Každý scénář se pak specifikuje trojicí těchto čísel.

Stanovili jsme si 11 časových řad pro pokusy. Některé tyto řady jsou si velmi podobné, proto nemá smysl zkoumat například pokus se spotovou cenou a futures cenami zároveň, ale pro každý pokus vzít jen jednu z nich. Důvod spočívá v rozdílnosti časových průběhů proměnných x , y a z v chaotických modelech, proto není účelné používat na jeden pokus sobě podobně časové řady. Predikujeme cenu ropy, tedy vždy využijeme jednu časovou řadu cen této komodity.

V degradované posloupnosti scénářů pozorujeme informace typu, kolikrát se ten který scénář opakuje v posloupnosti, taktéž zjistíme celkový maximální počet opakování pro celou posloupnost a kolik nalezneme rozdílných scénářů. Údaje nám poskytují prvotní informace o charakteru vstupních časových řad. Např. kdybychom řešili dlouhé řady vygenerované oscilačními modely, tak bychom z těchto údajů zjistili, že se řada opakuje, protože rozdílných scénářů by bylo málo v porovnání s počtem rozpoznávaných scénářů, maximální počet opakování by nám pak odpověděl na otázku, kolik cyklů vygeneroval oscilační model ve vstupních řadách.

Uveďme si nyní výsledky degradace pro vhodnou trojici časových řad – spotová cena ropy (Crude Oil Spot Prices), AMEX Oil Index uzavírací ceny (AMEX Oil Index Close Prices) a Shell objemy obchodů (Shell Volumes).

Uvedený pokus provedeme pro roční (denní změny od 31.3.2006 až 30.3.2007) a tříleté časové řady (denní změny 31.3.2004 až 30.3.2007) s následujícími parametry:

- Klouzavý průměr přes 4 vzorky
- Proložení polynomu řádu 21
- 10-ti vzorková interpolace splinem

Výsledky degradace nalezneme v Tab. 4. Tabulka obsahuje údaje o počtu původních vzorků, počtu vzorků po provedení filtrace, délce posloupnosti (počet scénářů), nejdelším scénáři z posloupnosti v počtu vzorků (filtrovaných), počtu různých scénářů (délka redukované posloupnosti) a maximálním počtu opakování scénářů v posloupnosti.

Pořadí	Časový interval	Počet pův. V	Počet filtr. V	Délka P	Nejdelší scénář	Délka red P	Max Opak.
1	31.3.2004 - 31.3.2005	249	2441	243	117	192	3
2	31.3.2005 - 31.3.2006	251	2461	239	90	211	3
3	31.3.2006 - 30.3.2007	248	2431	255	72	216	3
4	31.3.2004 - 30.3.2007	748	7431	564	300	287	17

Tab. 4 – Statistiky degradace ilustračních časových řad

Tab. 4 ilustruje mnoho zajímavých informací. Zarážející se může jevit, jak je možné, aby u třetího řádku byl údaj o počtu vzorku (změny denních dat) nižší než délka posloupnosti (počet scénářů). Jako vysvětlení si projdeme proces degradace podrobněji pro tento řádek. Z původních 248 vzorků se při filtraci klouzavým průměrem počet dat zredukuje na 244. Proložení polynomu tento počet nemění, ale 10-ti vzorková interpolace splinem nám zvýší počet vzorků na 2431, viz (8).

$$(\text{Počet vzorků} - 1) * \text{Řad interpolace} + 1 = (244 - 1) * 10 + 1 = 2431 \quad (8)$$

Podrobná interpolace nám vyhladila hranaté trendy doplněním nových pomocných vzorků, proto již nemůžeme uvažovat původní počet vzorků, i když pořád můžeme mít uchované informace pro zpětné získání originálních vzorků. Tím by ale nebyl tento jev řádně vysvětlen, protože i když teď máme podrobněji vzorkovanou křivku, pořád není zaručeno, že nové vzorky jsou obsažené ve všech místech změny trendů. Již dříve byla zmíněna nutnost přidání nového tripletu (resp. scénáře), který nám doplní posloupnost o tento přechodový zlom (extrémy, inflexní body, přechod přes nulovou osu).

Tříroční časová řada měla původně logicky třikrát více vzorků než roční, ale po kvalitativní degradaci má jen něco více než dvakrát více scénářů, než vznikly z ročních řad. Když se podíváme na redukovaná data, vidíme dokonce, že nemá ani o polovinu více rozdílných scénářů. To naznačuje i parametr maximálního počtu opakování, který je výrazně vyšší než u ročních řad (17 vůči 3). Vysvětlení spočívá v použití stejných filtračních parametrů na jinak dlouhý interval, přesněji jiný počet vstupních dat. Proložení polynomu stejného řádu roční řady umožnilo větší detaily než u řad tříletých, protože řád polynomu udává, kolik záhybů můžeme získat. U tříleté řady po filtraci zbylo více obecné a cykličtější chování systému.

6.3 VLASTNÍ PREDIKČNÍ MODEL

6.3.1 Fáze predikčního modelu

Uvedme si použité fáze predikčního modelu:

- Filtrace časových řad do podoby vhodné pro degradaci (viz 6.2)
- Degradace tří časových řad souběžně na posloupnost scénářů (viz 6.2)
- Kvalitativní výpočet setu 21 chaotických
- Výpočet historické shodnosti scénářů tripletů s chaotickými modely
- Pro konfiguraci chaotického modelu s nejvyšší historickou shodou zjistit všechny možné následné scénáře
- Provést interpretaci výsledků (nejde automatizovaně)

Nyní jsme ve fázi, kdy máme všechna vstupní data převedena na kvalitativní, tj. scénáře a přechody chaotických modelů a časové řady převedené na posloupnost tripletů, resp. vždy tři časové řady (scénáře) převedené na posloupnost trojic tripletů.

Posloupnost scénářů reprezentující kvalitativní vyjádření reálných časových řad si můžeme představit jako novou „časovou“ řadu, kde čas není měřen dny, ale kvalitativními scénáři. V každém tomto scénáři si můžeme nechat uchovanou informaci, jaký časový okamžik z původní kvantitativní časové řady obsahuje (např. pomocí údaje pořadového čísla vzorku a délky trvání tripletu v podobě počtu vzorků). Provádíme kvalitativní predikce a chceme zjistit budoucí trendy, proto nejsou v tento moment původní kvantitativní informace příliš důležité. Takové informace by mohly být cenné pro odborníky, kteří by tento predikční model využívali při interpretaci výsledů.

Nyní provedeme porovnání shody všech chaotických modelů (i pro všechny konfigurace, viz tabulka Tab. 6) s kvalitativní posloupností reálných řad. V zásadě můžeme tyto historické výpočty provést, jak pro všechny scénáře z posloupnosti, tak

pro jeden konkrétní zadaný. Pro zrychlení pozdějších experimentů se jeví vhodné provést historické výpočty shody pro všechny scénáře posloupnosti. Matlabový skript pro výpočet všech scénářů je koncipován tak, aby skript pro výpočet jednoho scénáře se postupně vyvolal pro všechny (opět rys modulárního programování).

6.3.2 Ilustrace mechanismu historické kvalitativní shody

Výpočet shody si ilustrujeme na příkladě tří denních změn časových řad (spotové uzavírací ceny ropy, uzavírací ceny společnosti Shell a objemy obchodů indexy AMEX Oil Index) v horizontu 3.4.2006 až 30.3.2007. Všechny tři časové řady byly souběžně kvalitativně degradované pomocí kombinovaného přístupu, viz kapitola 6.2. Získali jsme tím posloupnost tripletů o délce 220 scénářů, prvních 26 nalezneme v tabulce Tab. 5. Čísla uvnitř tabulky odpovídají tripletům z obrázků Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5.

Na této posloupnosti provedeme **výpočty historické shody**. Pro zvolený scénář zjistíme, přes kolik scénářů průběh posloupnosti kvalitativně odpovídá Lorenzovu modelu (pro všechny možné konfigurace Lorenzova modelu), tj. scénáře z posloupnosti nalezneme ve scénářích Lorenzova modelu (model č. I) řádně pospojované přechody. Existuje šest konfigurací způsobených tím, že oba modely obsahují tři proměnné a je potřeba vždy vyzkoušet všechny možnosti, jak tyto dva modely propojit, viz tabulka Tab. 6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Ropa	7	7	7	4	1	1	2	3	3	3	3	3	6	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7	7	7	7
Amex	7	16	25	22	19	19	19	19	20	21	12	3	3	3	3	3	6	9	8	7	7	7	7	7	4	1
Shell	7	7	7	7	4	1	1	1	2	3	3	3	3	3	6	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7	7

Tab. 5 – Prvních 26 scénářů posloupnosti vzniklé kvalitativní degradací, [26]

Konfigurace	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
X	X	X	Y	Z	Y	Z
Y	Y	Z	X	X	Z	Y
Z	Z	Y	Z	Y	X	X

Tab. 6 – Šest možných konfigurací pro operace dvou chaotických modelů, [26]

Pořadí	X	Y	Z
9	1	1	19
20	1	2	19
31	1	3	19
65	2	3	20
99	3	3	21
96	3	3	12
91	3	3	3
124	3	6	3

Tab. 7 – Výřez scénářů z chaotického Lorenzova modelu, [26]

Pro scénář 13 (číslo scénáře vidíme v prvním řádku tabulky Tab. 5) z posloupnosti dostaneme výsledek, že při III. konfiguraci nám kvalitativně odpovídá Lorenzův model přes dva poslední scénáře a při konfiguraci V. dokonce přes 8 posledních scénářů. Slovo „odpovídá“ znamená, že oba modely obsahují stejné scénáře a přechody. Jak se k tomu došlo ilustruje vztah tabulek Tab. 5 a Tab. 7. Např. scénář v Lorenzovu modelu s pořadovým číslem 20 (viz Tab. 5) má svůj

ekvivalent v 7. scénáři posloupnosti, viz Tab. 7. A to při V. konfiguraci, tj. scénář (1, 2, 19) zapíšeme jako (2, 19, 1). Jinak vyjádřeno, proměnná X z kvalitativního Lorenzova modelu odpovídá proměnné Shell v posloupnosti. Takto bychom mohli pokračovat dále. [26]

6.3.3 Dokončení popisu predikčního modelu

Mechanismus ilustrovaný v minulé kapitole ve finálním predikčním modelu počítá se všemi modely z chaotické báze. Pro každý scénář posloupnosti počítá historickou shodu 126-krát (21 modelů * 6 konfigurací = 126 výpočtů). Pro pozdější pokusy a výpočty statistik, se vytváří tzv. **master**, který má stejný počet řádků jakou má délku posloupnosti a 126 sloupců. Master obsahuje vypočtené historické shody pro všechny scénáře posloupnosti. Z masteru můžeme získat mnoho zajímavých informací.

Největší historická shoda představuje velice důležitou informaci, která nám udává, jaká největší historická shoda se v masteru vyskytla. Je vhodné uchovat údaje, pro který scénář, model a jeho konfiguraci, se největší historická shoda vyskytla.

Pořadí historické shody představuje období vlastního masteru, jen v každém řádku nemáme hodnoty historických shod, ale pořadí modelů a jejich konfigurace seřazené od nejvyšší po nejnižší. Nejvyšší pořadí má konfigurace, u které v masteru nalezneme nejvyšší hodnotu.

V posloupnosti lze občas nalézt scénáře (tzv. **prázdný scénář**), pro které jsou **nulové historické shody** pro všech 126 výpočtů. V masteru lze takovou situaci reprezentovat řádkem se 126 nulami. K takovým situacím může dojít ze dvou důvodů, protože 21 chaotických modelů nereprezentuje všechny možnosti, které v reálné situaci můžou nastat a taktéž program na degradování může reálnou situaci ohodnotit nereálně (méně časté). Scénáře s nulovou historickou shodou můžeme využít při fázi interpretace výsledků.

Pojem **prediktibilita** (*PRED*) definujeme jako průměrnou historickou shodu (*HS*) pro jednotlivé modely a jejich konfigurace:

$$PRED_j = \frac{\sum_{i=1}^n HS_j}{n} \quad (9)$$

Kde n ... počet scénářů v posloupnosti

j ... představuje jednotlivé modely a jejich konfigurace (1 ... 126)

HS ... historická shoda

PRED ... prediktibilita

Prediktibilitu lze počítat pro všechny scénáře z posloupnosti nebo od zadaného scénáře zpětně. Prediktibilita takto pojatá, by se dala označit za **zpětnou**, ale nic nám nebrání vypočítat prediktibilitu inverzní ke zpětné, tedy **dopřednou**.

Největší prediktibilita pak udává údaj, pro který model a konfiguraci byla získána nejvyšší prediktibilita.

Pokračujeme v ilustračním příkladě z kapitoly 6.2. Statistiky ohledně degradace těchto časových řad nalezneme v tabulce Tab. 4. Statistiky spojené s aktuální kapitolou nalezneme v tabulce Tab. 8.

Pořadí	Časový interval	Největší historická shoda				Největší prediktibilita			Počet prázdných scénářů
		Hodnota	Model	Konfig.	Scénář	Hodnota	Model	Konfig.	
1	31.3.2004 - 31.3.2005	53	7	4	187	16.49	7	6	4
2	31.3.2005 - 31.3.2006	39	7	6	151	6.38	7	6	1
3	31.3.2006 - 30.3.2007	47	7	6	213	6.96	7	6	1
4	31.3.2004 - 30.3.2007	85	7	6	305	18.95	7	6	1

Tab. 8 – Statistiky predikce ilustračních časových řad

Podle údajů uvedených v tabulce Tab. 8 bychom mohli ke vstupním řadám přiřadit jako nejlépe odpovídající model č. VII „Hadley circulation“ ze setu 21 chaotických modelů. V tabulce uvádíme jen maximální hodnoty a těmi se nemůžeme vždy řídit, protože predikujeme-li jeden konkrétní scénář posloupnosti, můžou být výsledky největší historické shody a prediktibility pro tento scénář jiné.

6.3.4 Statistiky úspěšnosti predikcí

Úspěšnost predikčního modelu zjistíme pomocí pokusů na historických datech, kdy se vrátíme do minulosti do scénáře v bodě t a vypočítáme predikci a porovnáme s realitou v bodě $t + 1$ (resp. v době novější než t). Nutno si uvědomit kvalitativní charakter výpočtu, a tedy nemožnost očekávat jednoznačné predikce, co v budoucnu nastane, ačkoliv bychom si to přáli. Důvod tkví v tom, že predikujeme na základě zjištění nejbližší podobnosti vstupních řad s jedním z chaotických modelů, případně s více z nich. Kvalitativní analýza nám neposkytuje pravděpodobnosti přechodů, tedy nevíme, který přechod může nastat častěji. Takové údaje si může doplnit jen odborník, který využije svých zkušeností, při interpretaci výsledků. Naše predikce nám tedy říká, s jakou pravděpodobností se reálné časové řady budou chovat podle predikovaného chaotického modelu v následujícím kroku. Chaotický model nám poskytuje v daném scénáři obecně více možných přechodů a my tím redukuje všechna možná chování časových řad na ty, které odpovídají přechodům predikovaného chaotického modelu.

Za **úspěšně ověřenou predikci** pokládáme takovou, kdy predikční model správně označil chaotický model a konfiguraci, ve kterém nás v dalším kroku jeden z možných přechodů dostal do scénáře, který se shodoval s následujícím scénářem z posloupnosti.

V predikčním modelu jsou navrženy dva predikční módy:

- **Mód 1** – založený čistě na výběru modelu s největší historickou shodou
- **Mód 2** – uvažuje kromě historické shody i zpětnou prediktibilitu

První mód funguje na principu popsaném dříve. Druhý mód přidává zpětnou prediktibilitu, protože v prvním módu může nastat (a často nastává) situace, kdy výběr pomocí největší historické shody nám označí za nejvěrnější více kandidátů. Kandidátů existuje teoreticky 126. Za nejvěrnější se v druhém módu pokládá model s největší historickou shodou a největší zpětnou prediktibilitou (od aktuálního scénáře až po počátek posloupnosti). Výhoda i nevýhoda tohoto módu tkví v preferování modelů a konfigurací, které byly nejúspěšnější v minulosti.

Rozhodnutí, který mód v predikci využít, záleží čistě na konkrétní situaci a rozhodnutí odborníka, který by tento systém využíval.

Dále pro predikci můžeme zavést **práh**, který nám říká od jak velké historické shody považujeme systém za hodnověrný pro predikci. Takový práh má smysl například pro extrémní situace, kdy posloupnost obsahuje prázdný scénář na i -tém místě, tím se historická shoda vynuluje pro všech 126 modelů a konfigurací. Vypočítáváme-li predikci pro scénář $i + 1$, může maximální historická shoda dosáhnout hodnoty 1 pravděpodobně v mnoha případech. V takové případě, je na zvážení, zda vůbec nechat systém predikovat, protože výsledek nebude příliš hodnověrný. Kdybychom se chtěli vyhnout popsané situaci, nastavili bychom práh na hodnotu 1 a vyšší.

Jak tedy můžeme ohodnotit úspěšnost predikčního modelu? Jak už bylo zmíněno, použijeme historická data a budeme se posouvat od začátku posloupnosti až po předposlední scénář a vždy provedeme predikce, které pak porovnáme se skutečným vývojem časových řad. Poslední scénář již nemáme s čím zkonfrontovat, proto ho již nevyužíváme. Výsledky pro jednotlivé scénáře si zapamatováváme a následně statisticky vyhodnotíme v jednu hodnotu, která nám bude udávat úspěšnost predikce.

Pro každý řádek masteru (resp. aktuální scénář posloupnosti) se vypočte nejvyšší historická shoda, kterou často dosahuje více modelů a konfigurací současně, přesněji 1 až 126. Proto výsledek naší predikce představují všechny modely, které mají nejvyšší historickou shodu, s výjimkou módu 2, kde se ještě započítává nejvyšší zpětná prediktibilita od začátku posloupnosti až po aktuální scénář. Ověření predikce pak znamená porovnání s realitou. Výpočet statistiky označíme STAT1 a vypočte se dle následujícího vzorce:

$$STAT1 = \frac{\sum_{Zap} \frac{P_Usp}{P_Pot}}{P_Zap} \quad (10)$$

Kde P_Usp ... počet úspěšné ověřených poten. modelů pro jeden scénář

P_Pot ... počet potenciálních modelů pro jeden scénář

$\sum Zap$... počítáno pro všechny započítatelné

P_Zap ... počet započítatelných scénářů, které splňují prahové omezení

Výpočty statistik se dají ještě variovat pomocí měnění prahu.

Pro ozřejmění informací popsaných v této kapitole, budeme pokračovat v našem ilustračním příkladu, viz tabulka Tab. 9. Navážeme tak na údaje uvedené v tabulkách Tab. 4 a Tab. 8. Zkratka Pr v Tab. 9 představuje zvolený práh pro ověření predikcí.

Pořadí	Časový interval	Mód 1		Mód 2	
		Pr = 1	Pr = 2	Pr = 1	Pr = 2
1	31.3.2004 - 31.3.2005	90,2	90,8	90,3	91,0
2	31.3.2005 - 31.3.2006	86,2	86,6	86,5	86,7
3	31.3.2006 - 30.3.2007	86,1	86,2	86,4	86,4
4	31.3.2004 - 30.3.2007	92,8	92,8	92,9	93,0

Tab. 9 – Statistické vyhodnocení predikcí pro ilustrační časové řady

I zde nalezneme výsledky, které vypovídají o tom, že při stejné filtraci pro různé dlouhé horizonty, dostaneme pro delší horizont lepší výsledky, protože v systému se uvažují více obecné trendy. Důkazem toho může být řádek s pořadím 4, ve kterém nalezneme vždy největší procentuální hodnoty u všech sloupců.

6.4 UKÁZKOVÉ VÝSLEDKY PREDIKCÍ SE STATISTIKAMI

Statistiky dvaceti vzorových pokusů nalezneme v tabulce Tab. 10.

Vysvětlivky k tabulce Tab. 10:

x, y, z – Identifikátor časové řady, kde číslo koresponduje s kapitolou 6.2.

IN – časové intervaly A: 31.3.2004 - 31.3.2005,

B: 31.3.2005 - 31.3.2006,

C: 31.3.2006 - 30.3.2007,

D: 1.4.2006 - 30.3.2007,

E: 31.3.2004 - 30.3.2007

KP – Přes kolik vzorků se vypočítává klouzavý průměr časových řad

PL – Řád polynomu, kterým se prokládají časové řady

IP – Počet vzorků pro interpolaci časových řad

DP – Délka degradované posloupnosti (počet scénářů)

DRP – Délka redukované degradované posloupnosti (bez opakování scénářů)

NHS – Největší historická shoda

HOD – Hodnota největší prediktibility

MD – ID modelu s největší prediktibilitou na daném intervalu

KF – Konfigurace modelu s největší prediktibilitou na daném intervalu

PP – Počet prázdných scénářů

Mód 1, Mód 2 – Predikční módy, zde všechny predikce s prahem 2 v %

Pro stejnou řadu jak z našeho ilustračního příkladu (č. 1) byly provedeny další pokusy s jinými parametry degradace (č. 19 a 20) a vidíme, že pro tyto nové parametry dosahují statistiky ještě lepší výsledky.

	Řady			Parametry						Max Predikt.				Mód 1	Mód 1	
	x	y	z	IN	KP	PL	IP	DP	DRP	NHS	HOD	MD	KF			PP
1	11	1	10	A	4	21	10	243	192	53	16,5	7	6	4	90,81	91,02
2	11	1	10	B	4	21	10	239	211	39	6,4	7	6	1	86,55	86,65
3	11	1	10	C	4	21	10	255	216	47	7,0	7	6	1	86,19	86,44
4	11	1	10	E	4	21	10	564	287	85	19,0	7	6	1	92,84	92,95
5	6	8	10	A	4	21	10	219	188	55	11,0	7	6	4	91,14	91,49
6	6	8	10	B	4	21	10	221	173	57	10,6	7	6	0	87,53	87,58
7	6	8	10	C	4	21	10	271	202	47	7,8	7	4	1	87,52	87,62
8	6	8	10	E	4	21	10	746	279	129	19,7	8	4	0	93,85	94,00
9	11	8	10	A	3	20	10	225	179	49	8,5	7	6	4	88,86	88,86
10	11	8	10	B	3	20	10	217	184	55	10,3	7	6	0	88,53	86,29
11	11	8	10	C	3	20	10	215	187	39	4,8	6	3	0	87,72	87,88
12	11	8	10	E	3	20	10	379	183	63	11,1	6	3	0	88,20	88,60
13	7	1	10	D	4	20	10	225	186	27	5,7	7	4	4	87,33	87,64
14	7	2	9	D	4	20	10	243	200	29	3,4	7	1	4	84,21	84,21
15	6	1	4	D	4	20	10	234	194	28	4,3	7	6	3	82,68	83,31
16	6	2	3	D	4	20	10	233	186	23	3,6	7	5	9	82,24	82,53
17	6	5	10	D	4	20	10	210	162	37	4,3	11	2	3	87,75	87,55
18	6	5	10	E	4	20	10	335	166	61	11,5	6	3	0	88,61	89,19
19	11	1	10	A	3	20	10	223	175	99	26,5	7	6	4	93,00	93,00
20	11	1	10	A	4	20	10	229	178	103	27,2	7	6	5	92,66	92,66

Tab. 10 – 20 statistik predikcí časový řad

6.5 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ Z MODELU

Uvažujme opět stejný ilustrační příklad, pro který statistiky nalezneme v tabulkách Tab. 4, Tab. 8, Tab. 9.

Ukázkový příklad

Jsme firma, která potřebuje udělat predikci pro budoucí vývoj ceny ropy a máme k tomu uvedené ilustrační časové řady a náš predikční model. Máme historické údaje včetně dneška (predikci děláme až po ukončení obchodování na burzách).

Poř. číslo	X	Y	Z
634	8	19	7
635	9	19	7
639	8	20	7
640	9	20	7
709	8	19	8
714	8	20	8
715	9	20	8
801	8	19	9
802	9	19	9
808	8	20	9
809	9	20	9

Tab. 11 – Příklad č. 1: 11 scénářů, které mohou následovat aktuální scénář

Převědeme si tyto údaje do posloupnosti scénářů po třech tripletech. Získáme tím kvalitativní posloupnost o délce 50 scénářů. Aktuální scénář reprezentují triplety 9, 19, 8 (viz obrázky Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5). Triplet 8 nám říká, že se pravděpodobně jedná o přechodový scénář mezi dvěma scénáři se stabilnějším trendem, což potvrzuje i délka tohoto tripletu ve vzorcích (1 vzorek). Predikční model nám vypočte historické shody pro všechny modely a jejich konfigurace. Jedná se o 126 výpočtů. Zjistí, že podle historické shody nejlépe aktuální část posloupnosti modeluje jen jeden model č. IX „Rabinovich-Fabrikant attractor“ (viz tabulka) v VI. konfiguraci (viz Tab. 6). Informace „jeden“ značí jednoho potenciálního kandidáta pro predikci a tedy predikce ve vyhodnocení může být buď stoprocentní, nebo úplně neúspěšná podle vývoje v budoucnosti. V tomto případě nezáleží, jestli používáme predikční mód 1 nebo 2. Predikční model za nás prohlédne chaotický model č. IX a vyhledá v něm aktuální scénář (scénář s č. 710) ve formátu VI. konfiguraci (8, 19, 9) a zjistí všechny možné přechody a přes ně následné scénáře, které si můžeme prohlédnout v tabulce Tab. 11 (pořadová čísla jsou převedena kvůli VI. konfiguraci). Následný scénář v posloupnosti může být jen jeden z těchto jedenácti.

V tomto momentě začíná vlastní interpretace výsledků. Odborník z dat zjistí existenci pěti možných následných scénářů:

- 7 ... (+, -, +)
- 8 ... (+, -, 0)
- 9 ... (+, -, -)
- 19 ... (-, +, +)
- 20 ... (-, +, 0)

Proměnná spotová cena ropy (viz sloupec X Tab. 11) může být reprezentována jen jedním z tripletů 8 nebo 9. Oba triplety jsou klesající a liší se jen znaménkem druhé derivace. Můžeme formulovat tvrzení: „Cena ropy bude klesat v nejlepším případě konstantně (přesněji změna ceny ropy).“

Podobnou myšlenku můžeme provést i pro změny kurzů AMEX Oil Indexu, protože triplety 19 a 20 jsou oba klesající. Objemy obchodů společnosti Shell taktéž budou klesat, ale na rozdíl od ceny ropy, zde může být i možnost zpomaleného poklesu, nejen konstantního nebo zrychleného.

Dále do úvahy můžeme zahrnout různé externí faktory, které si kvalitativně ohodnotíme – např. růst HDP, letní sezóna, vývoj akciového trhu, apod.

Shrnutí poskytnutých možností

Na základě kvalitativní analýzy se dozvíme mnoho zajímavých informací o našich vstupních časových řadách: jestli se v nich často opakují trendy a jaké, nejdelší trend apod. Predikční model nám na základě našich vstupních dat umí určit, jaký model (resp. modely) ze setu 21 chaotických modelů historicky nejdéle obsahuje naši posloupnost. Taktéž se dozvíme informaci, který model není schopný modelovat naši řadu. Kdyby nás zajímal jen jeden konkrétní model, dostaneme porovnání, jak si stojí v porovnání s ostatními. Dále získáme možné scénáře, mezi kterými je jeden, který může reprezentovat chování našich řad v dalším kroku. Na historické řadě (před aktuálním scénářem) si můžeme vypočítat statistiky úspěšnosti predikcí. Podle nich se můžeme zařídit. Musíme si uvědomit, že sice máme více možných kandidátů na následující scénář, ale známe hlavně zbylé scénáře, které nemůžou nastat. I tato informace se jeví velmi důležitá, protože model predikuje, co se nemůže stát jednoznačně.

Množinu potenciálních scénářů na nástupnictví můžeme zredukovat pomocí externích kvalitativních vztahů, např. vývoj na akciovém trhu, HDP, aj. U těchto faktorů se jen musíme zamyslet, v jakém časovém horizontu probíhají. Jestliže faktor ovlivňuje cenu v dlouhodobém horizontu, není možné ho použít pro krátkodobé predikce apod.

7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavní přínos disertační práce pro podnik spočívá ve vytvořeném predikčním modelu predikce ceny ropy. Práce obsahuje několik přínosných témat:

- Příprava dat z reálné finanční časové řady (např. využití filtrace)
- Degradace časové řady na posloupnost tripletů (resp. scénářů)
- Proces identifikace chaotického modelu k reálné časové řadě
- Kvalitativní modelování chaotického modelu – soustavy diferenciálních rovnic
- Analýza faktorů ovlivňujících vývoj ceny ropy a jejich kvalitativní interpretace

Práce má jak praktické výsledky využitelné v podnikové praxi, tak přínosné teoretické poznatky. Při řešení práce byl kladen důraz, aby nové teoretické poznatky byly publikované na mezinárodních konferencích a v odborných časopisech.

8 ZÁVĚR

Disertační práce popisuje problematiku vývoje ceny ropy a možnosti predikce tohoto vývoje. Oblast predikce vývoje ceny ropy patří mezi velmi aktuální a ožehavá témata, kterými se zabývají jak teoretici, tak praktici.

V práci nalezneme popsanou tvorbu predikčního modelu, který je založený na myšlence kvalitativního modelování chaotických systémů. Právě vytvořený model představuje znak úspěšně splněného hlavního cíle disertační práce, protože tento systém lze využít pro předvídaní trendů ceny ropy a jiných vztažených časových řad. Toto předvídaní je omezené z důvodu kvalitativní povahy výpočtu, protože kvalitativní model neudává pravděpodobnosti přechodů možných scénářů. Za to nám udává jednoznačně, jaké kvalitativní situace nemůžou nastat. Nejednoznačnost vývoje zkoumaných řad nám umožní odstranit dodatečná analýza tzv. kvalitativní interpretace, viz kapitola 6.5.

Pro úspěšné řešení hlavního cíle byly vytyčeny dílčí cíle, které nalezneme řešené v textu disertační práce (u zkrácené nemusíme všechny nalézt). Všechny stanovené cíle (hlavní i dílčí) v disertační práci byly řádně splněny.

9 LITERATURA

Knihy

- [1] DAVIS, E. *Representations of Commonsense Knowledge*. Morgan Kauffman Pub., 1990. 515 p. ISBN 1558600337.
- [2] DOSTÁL, P., RAIS, K., SOJKA, Z. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1338-1.
- [3] HANSELMAN, D., LITTLEFIELD, B. *Mastering Matlab 7*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 852 p. ISBN 0-13-185714-2.
- [4] HOOVER, W.G. *Computational Statistical Mechanics*. New York: Elsevier Science Pub Co, March 1991. 314 p. ISBN 0444881921.
- [5] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E. *Řešení problémů modelování*. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1998. 335 s. ISBN 80-124-1233-X.
- [6] NESNÍDAL, T., PODHAJSKÝ, P. *Obchodování na komoditních trzích*. Praha: Grada, 2. vyd., 2006. ISBN 80-247-1851-0.
- [7] PETERS, E.E. *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility*. New York: John Wiley & Sons, 1996. ISBN 0-471-13938-6.
- [8] REKTORYS, K. a kol. *Přehled užití matematiky*. Praha: SNTL, 2. vyd., 1968. 1140 s. 04-002-68.
- [9] SAUDERS, M., LEWIS, P., THORNHILL, A. *Research Methods for Business Students*. Harlow: Prentice Hall / Pearson Education Limited, 3th ed., 2003. ISBN 0-273-65804-2.

- [10] SPROTT, J.C. *Chaos and Time-Series Analysis*. New York: Oxford University Press, First ed., 2003. 507 p. ISBN 0-19-850840-9.
- [11] STOCKLEY, C., OXLADE, Ch., WERTHEIM, J. *Velká ilustrovaná encyklopedi: Fyzika – Chemie – Biologie*. Praha: Levné knihy, 2003. 386 s. ISBN 80-7200-810-2.

Odborné články a příspěvky z konferencí

- [12] BELAIRE-FRANCH, J., CONTRERAS, D., TORDERA-LLEDÓ, L.: Assessing nonlinear structures in real exchange rates using recurrence plot strategie, *Physica D: Nonlinear Phenomena*. Vol. 171, No. 4, listopad 2002, str. 249-264. ISSN 0167-2789.
- [13] DECOSTER, G.P., LABYS, W.C., MITCHELL, D.W. Evidence of chaos in commodity futures prices. *Journal of Future Markets*. No. 12, 1992, p. 291-305. ISSN 0270-7314.
- [14] DOHNAL, M. A methodology for common-sense model development. *Computers in Industry*. Vol. 16, Issue 2, June 1991, p. 141-158. ISSN 0166-3615.
- [15] FRANK, M., STENGOS, T. Measuring the strangeness of gold and silver rates of return. *The Review of Economic Studies*. Vol. 56, 1989, p. 553-567. ISSN 0034-6527.
- [16] HSIEH, D.A. Chaos and nonlinear dynamics: application to financial markets. *Journal of Finance*. Vol. 46, 1991, p. 1839-1877. ISSN 00221082.
- [17] KOHZADI, N., BOYD, M.K. Testing for chaos and nonlinear dynamics in cattle prices. *Canadian Journal of Agricultural Economics*. Vol. 43, 1995, p. 475-484. ISSN 0008-3976.
- [18] LIU, J., CHEN, G., A new chaotic attractor coined. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. Vol. 12, Iss. 3, 2002, p. 659-661. ISSN 0218-1274.
- [19] PANAS, E., NINNI, V. Are oil markets chaotic? A non-linear dynamic analysis. *Energy Economics*. Vol. 22, 2000, p. 549-568. ISSN 0140-9883.
- [20] SERLETIS, A., GOGAS, P. Purchasing power parity, nonlinearity and chaos. *Applied Financial Economics*. Vol. 10, 2000, p. 615–622. ISSN 0960-3107.
- [21] SERLETIS, A., ZIMONOPOULOS, G. Breaking trend functions in real exchange rates: evidence from seventeen OECD countries. *Journal of Macroeconomics*. Vol. 19, 1997, p. 781–802. ISSN 0164-0704.
- [22] SCHEINKMAN, J.A., LEBARON, B. Nonlinear dynamics and stock returns. *Journal of Business*. Vol. 62, 1989, p. 311-337. ISSN 0021-9398.
- [23] SPROTT, J.C., LINZ, S.J. Algebraically Simple Chaotic Flows. *International journal of chaos theory and applications*. Vol. 5, Iss. 2, 2000, p. 3-22. ISSN 1453-1437.

- [24] ŠILLER, A., POPELA, P., DOHNAL, M. Linear Qualitative Models: Solution, Application and Engineering Interpretation, Part I - Qualitative Algebra. *Computers and Artificial Intelligence*. Vol. 11, Iss. 6, 1992, p. 535-544. ISSN 0232-0274.
- [25] VÍCHA, T. Kvalitativní degradace časové řady cen ropy. In *Mezinárodní Baťova doktorandské konference 2007*. Mezinárodní konference, Zlín, Fakulta managementu a ekonomiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 12. 4. 2007. ISBN 978-80-7318-529-9.
- [26] VÍCHA, T. Qualitative modeling of crude oil prices. In *Management, economics and business development in the new European conditions*. V. International Scientific Conference. Mezinárodní konference, Brno - Rozdrojovice, Fakulta podnikatelská, VUT v Brně, 25.5 – 26.5. 2007. ISBN 978-80-7204-532-7.
- [27] VÍCHA, T., DOHNAL, M. Qualitative Identification of Chaotic Systems Behaviours. *Chaos, Solitons & Fractals*. V tisku. ISSN: 0960-0779.
- [28] WU, T., MCCALLUM, A. Do Oil Futures Prices Help Predict Future Oil Prices? *FRBSF economic letter*. Vol. 2005, No. 38, December 30, 2005. ISSN 0890-927X.
- [29] YANG, S.R., BRORSEN, B.W. Nonlinear dynamics of daily futures prices: conditional heteroskedasticity or chaos? *The Journal of Futures Markets*. Vol. 13, 1993, p. 175-191. ISSN 0270-7314.

Internetové zdroje

- [30] Dow Jones – AIG Commodity Index, *Data* [on-line]. Dokument ve formátu HTML [cit.28.8.2006]. Dostupné z <<http://www.djindexes.com/mdsidx/index.cfm?event=showAigDataCharts>>
- [31] Energy Information Administration, *Topics for Petroleum Prices* [on-line]. Dokument ve formátu HTML [cit.9.8.2006]. Dostupné z <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_top.asp>
- [32] Wikipedia, *Ropa* [on-line]. Dokument ve formátu HTML [cit. 1.8.2006]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropa>>
- [33] WTRG Economics, *Graphs Oil and Natural Gas Prices* [on-line]. Dokument ve formátu HTML [cit.9.8.2006]. Dostupné z <<http://www.wtrg.com/#Crude>>
- [34] WTRG Economics, *Oil Price History and Analysis* [on-line]. Dokument ve formátu HTML [cit.9.8.2006]. Dostupné z <<http://www.wtrg.com/prices.htm>>
- [35] YAHOO, *Finance* [on-line]. Dokumenty ve formátu HTML [cit.10.7.2007]. Dostupné z <<http://finance.yahoo.com/>>

ABSTRAKT

Práce se zabývá predikcí vývoje ceny ropy a je koncipovaná pro potřeby podniků, které jsou na ropě silně závislé a potřebují se na výkyv cen připravit, příp. zabezpečit. Cena ropy ovlivňuje cenu ropných produktů (benzínu, nafty, atd.), proto znalost vývoje se jeví prospěšná pro většinu subjektů působících v ekonomice. Predikce na kvantitativní úrovni jsou problematické. Trendové predikce vyžadují méně přesných informací o zkoumaném modelu. Použité metody pro tvorbu predikčního modelu spadají do oblasti umělé inteligence, přesněji kvalitativního modelování a teorie chaosu. Kvalitativní algebra rozeznává jen tři možné hodnoty (kladnou, nulovou a zápornou). Investiční časové řady mají chaotický ráz a kvalitativní modelování nám umožňuje zjistit charakter reálných časových řad a přiřadit je k chování známých chaotických modelů. Postup tvorby predikčního modelu je detailně popsán a rozpracován do následných fází. Text obsahuje statistiky predikcí získaných na základě reálných historických dat a interpretaci dosažených výsledků.

ABSTRACT

The dissertation deals with prediction of crude oil price and is tailor-made for such companies which are heavily crude oil related. The main dissertation target is to make sure that such companies can get ready for price changes and safeguard themselves against negative consequences. Crude oil prices are the main factor which affects prices of such final products as petrol. It is a well known fact that quantitative predictions are not reliable and all those who are forced to real on such vague data set for their decision-making are reluctant to use them. That's how we would like to have at least the correct trend information. The dissertation introduces some concepts originally developed within artificial intelligence theory for the crude oil predictions. Specifically common sense algorithms and qualitative interpretation of some aspects of theory of chaos are the main contribution towards expanding of available prediction tools described by the dissertation. A systematic analysis of a sequence of qualitative solutions is the key part of the dissertation.