

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Automatický obchodní systém s fuzzy strategií

Praha, 2015

Autor: Yury Kasimov



## Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ podpis

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Sovovi za cenné rady, věcné připomínky a trpělivost při konzultacích a vypracovávání bakalářské práce. Mé poděkování patří též mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

## Abstrakt

Tato práce se zabývá automatickým obchodováním na burze pomocí technické analýzy. V dané oblasti je zcela zásadní úspěšné předpovídání pohybu cen, přičemž úspěšnost předpovídání pohybu ceny záleží primárně na tom, jak je obchodník schopen interpretovat signály různorodých indikátorů. Vzhledem k výše uvedenému je implementace expertního systému, který napodobuje způsoby uvažování člověka, zcela zásadním cílem. Fuzzy logika popisuje chování systému pomocí lingvistických pravidel, díky čemuž je možné navrhnout obchodní systém, který napodobí rozhodování člověka. Na počátku této práce bylo navrženo několik jednoduchých strategií pro ukázkou funkčnosti technických indikátorů. Poté byl navržen automatický systém s fuzzy strategie, jež byl následně otestován na historických datech. Výsledky testování ukázaly, že navržený systém je schopen generovat stabilní zisk, nicméně pro zvětšení zisku je zapotřebí optimalizovat parametry systému.

## Klíčová slova

technická analýza, automatický obchodní systém, analýza signálu, fuzzy logika, obchodní strategie, technické indikátory

## **Abstract**

This thesis explores technical analysis to develop an automated trading system. Successful prediction of price movements essentially depends on how a trader is capable of interpreting the available signals. Implementation of a system, which simulates human considerations, is an extremely important goal in developing fully automated trading system. In this paper we combine technical analysis with fuzzy logic. At the beginning of the paper simple strategies were designed to show principals of technical indicators. After that a trading system with fuzzy strategy was implemented. Suggested fuzzy strategy was tested on historical data. Test results show that system generates stable profit, however in order to increase gains further parameters optimization is necessary.

## **Key words**

technical analysis, automated trading system, signal analysis, fuzzy logic, trading strategy, technical indicators

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student:** Yury Kasimov  
**Studijní program:** Kybernetika a robotika (bakalářský)  
**Obor:** Robotika  
**Název tématu:** Automatický obchodní systém s fuzzy strategií

### Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou fuzzy logiky a s možností jejího využití v systémech pro podporu rozhodování.
2. Seznamte se s problematikou obchodování na burze a s formátem výstupních dat. Jako zdroj dat použijte např. <http://finance.yahoo.com/>.
3. Seznamte se s problematikou tzv. obchodních indikátorů, vyberte vhodné indikátory pro použití v navrhované strategii a případně diskutujte možnosti jejich zlepšení pomocí algoritmů DSP.
4. Navrhňte obchodní strategii za pomoci vybraných indikátorů a fuzzy rozhodovacích pravidel, optimalizujte nastavení a použití jednotlivých indikátorů v závislosti na ziskovosti strategie.
5. Diskutujte dosažené výsledky včetně vhodnosti použití fuzzy logiky v automatických obchodních systémech. Dále diskutujte ziskovost obchodní strategie a možnosti budoucího vylepšení.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Uhlíř, J.; Sovka, P.: Číslíkové zpracování signálů. Ediční středisko ČVUT, Praha, 2002. Monografie ČVUT FEL.
- [2] Zaplatílek, K.; Doňar, B. : MATLAB pro začátečníky. BEN, 2005.
- [3] Navara, M.; Olšák, P.: Základy fuzzy množin. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2002.
- [4] Ehlers, J. F.: "Cybernetic Analysis for Stocks and Futures. Wiley, 2004.

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Jan Sova

**Platnost zadání:** do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

doc. Dr. Ing. Jan Kybic  
**vedoucí katedry**

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
**děkan**

V Praze dne 9. 2. 2015





# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Struktura práce . . . . .	1
1.2	Prostředky . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Úvod do obchodování</b>	<b>3</b>
2.1	Trend . . . . .	3
2.2	Obchodní strategie . . . . .	4
2.3	Equity křivka . . . . .	4
2.4	Long a Short obchody . . . . .	5
2.5	Časový rámec . . . . .	5
2.6	Zobrazení informací o cenách . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Technická analýza</b>	<b>9</b>
3.1	Chování trhu ignoruje všechno . . . . .	9
3.2	Ceny se pohybují v trendech . . . . .	9
3.3	Historie se opakuje . . . . .	10
3.4	Řízení rizika . . . . .	10
3.5	Indikátory . . . . .	11
3.5.1	Jednoduchý klouzavý průměr (SMA) . . . . .	11
3.5.2	Exponenciální klouzavý průměr (EMA) . . . . .	12
3.5.3	Moving Average Convergence Divergence (MACD) . . . . .	13
3.5.4	Relative Vigor Indicator (RVI) . . . . .	13
3.5.5	Relative Strength Indicator (RSI) . . . . .	14
3.5.6	Commodity Channel Indicator (CCI) . . . . .	15
3.5.7	Instantaneous Trend Line (ITL) . . . . .	16
3.6	Jednoduché strategie . . . . .	22
3.6.1	RVI a EMA . . . . .	23

3.6.2	CCI	24
<b>4</b>	<b>Fuzzy logika</b>	<b>25</b>
4.1	Fuzzy množiny	25
4.2	Operace na fuzzy množinách	26
4.3	Lingvistické proměnné	26
4.4	Fuzzy výroky	27
4.5	Systém s fuzzy logikou	28
4.6	Fuzzifikace	28
4.7	Fuzzy pravidla	28
4.8	Inferenční mechanismus	29
4.9	Defuzzifikace	29
4.10	Fuzzy Logic Toolbox	30
4.10.1	FIS Editor	30
4.10.2	Editor funkcí příslušnosti	30
4.10.3	Editor pravidel	30
4.10.4	Vizualizace pravidel	31
<b>5</b>	<b>Fuzzy strategie</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze výsledků</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Předpovídání cen na trhu je objektem studia mnoha oborů, například statistiky, ekonomie či počítačových věd. Obchodníci často používají technickou analýzu k předpovídání cen při obchodování na finančních trzích. Pro usnadnění přijetí rozhodnutí, zda koupit, nebo prodat aktiva, se využívají různé finanční nástroje. V této oblasti se často upotřebí výpočetní technika, která umožní optimalizovat obchodní strategie na základě historických dat. Cílem této práce je seznámit se s problematikou obchodování na finančních trzích a navrhnout automatický obchodní systém s fuzzy strategií založený na analýze historických dat. Obchodní systém bude na základě definovaných fuzzy pravidel generovat signál k prodeji nebo nákupu pozic<sup>1</sup>. Při návrhu se soustředíme na denní obchodování. Vstupem systému budou ceny *close*, *open*, *high*, *low*. Fuzzy logika umožní simulovat rozhodování blízké tomu lidskému.

### 1.1 Struktura práce

Ve druhé kapitole si představíme základy obchodování na finančních trzích a současně si vysvětlíme primární pojmy dané problematiky. Třetí kapitola se soustředí na technickou analýzu. Uvedeme si zde předpoklady, na kterých je založena, vysvětlíme si finanční indikátory, jež budeme používat, ukážeme si možnosti jejich vylepšení pomocí teorie analýzy signálu a v neposlední řadě si popíšeme navržené jednoduché strategie. Ve čtvrté kapitole budou vysvětleny základy fuzzy množin a fuzzy logiky, také zde bude popsán Fuzzy Toolbox pro Matlab. Pátá kapitola se bude zabývat návrhem a popisem fuzzy

---

<sup>1</sup> Pod tímto pojmem se rozumí množina finančních aktiv, které obchodník vlastní nebo má vypůjčené.

strategie. Závěrem budeme diskutovat o výše uvedené strategii a navrhneme postup pro další vylepšení.

## 1.2 Prostředky

K návrhu fuzzy strategie jsme použili programy Matlab, Fuzzy Toolbox, Financial Toolbox a Strategy Quant. Fuzzy Toolbox je popsán v další kapitole, Financial Toolbox byl použit k vykreslení svíčkového grafu. Strategy Quant sloužil ke generování obchodních strategií pomocí genetického algoritmu.

# Kapitola 2

## Úvod do obchodování

V této kapitole si představíme základy obchodování na trhu a vysvětlíme si předpovídání pohybu cen. Definujeme si zde důležité pojmy, které budeme následně používat, a uvedeme si také předpoklady efektivity technické analýzy.

### 2.1 Trend

Pojem trend je jeden z nejdůležitějších v technické analýze. Trend je definován jako převážný pohyb ceny za nějaké období. Existují dva typy trendů:

1. vzestupný (uptrend),
2. sestupný (downtrend).

Většina obchodních systémů je založena na sledování trendu. Jestliže trh „směřuje do strany“ (sideways), může dojít ke ztrátám, a proto se doporučuje zůstat v této fázi mimo trh [4].

Dalším způsobem, jak lze trendy dělit, je doba trvání, podle níž mohou být dlouhodobé, střednědobé a krátkodobé. Dlouhodobý trend trvá déle než jeden rok, střednědobý od jednoho do tří měsíců a krátkodobý trend trvá méně než jeden měsíc. Dlouhodobý trend se skládá z několika střednědobých trendů, které se mohou pohybovat v protisměru [4].

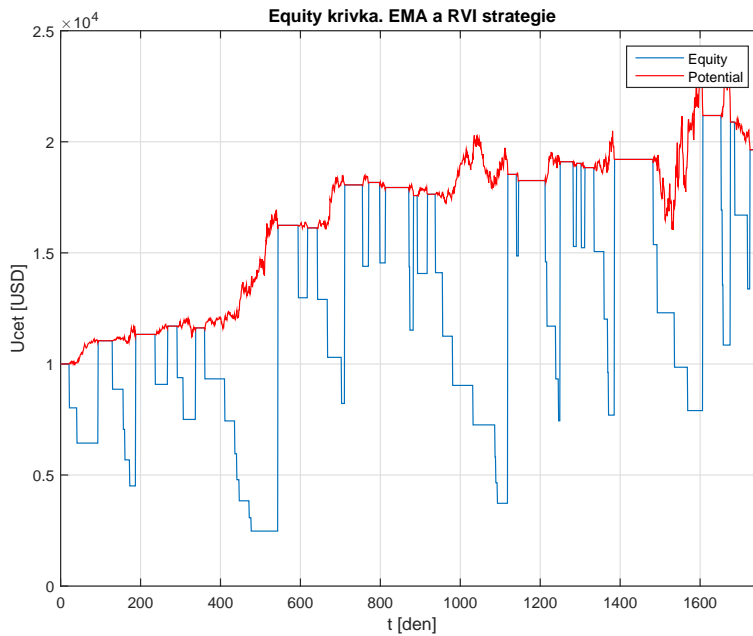
## 2.2 Obchodní strategie

Obchodní strategie je definovaná jako množina pravidel pro generování nákupního nebo prodejního signálu. Strategie zahrnuje management peněžních prostředků, řízení rizika, množinu technických indikátorů a časové rámce.

## 2.3 Equity křivka

Equity křivka znázorňuje stav účtu obchodníka a slouží ke zhodnocení efektivity obchodní strategie. Pozitivní sklon equity křivky ukazuje, že použitá strategie je zisková.

Potenciální křivka představuje potenciální stav účtu, kdybychom prodali otevřené pozice. Příklad equity a potenciální křivky zobrazuje následující obrázek 2.1.



Obrázek 2.1: Příklad equity křivky a potenciální křivky z navržené strategie založené na indikátorech RVI a EMA.

## 2.4 Long a Short obchody

V praxi existují dva typy obchodů, a to long obchody a short obchody. Long obchod je klasická metoda nakupování, ve které obchodník profituje v případě, že cena vzroste. Protože cena nemůže být nižší než nula, ztráty z tohoto typu obchodu se považují za omezené.

Obchody typu short jsou založeny na principu půjčování aktiv od makléře a jejich dalšího prodeje. Po skončení obchodu musí obchodník vrátit půjčená aktiva makléři. V tomto případě je pro obchodníka výhodné, když se cena půjčeného aktiva sníží. Mezi nevýhody těchto typů obchodů řadíme omezenost druhů aktiv, které lze danou formou prodávat.

## 2.5 Časový rámec

Pod pojmem časový rámec se rozumí časový interval, ve kterém jsou data zpracována. Výběr časového rámce závisí na preferenci konkrétního obchodníka. Časový rámec může být

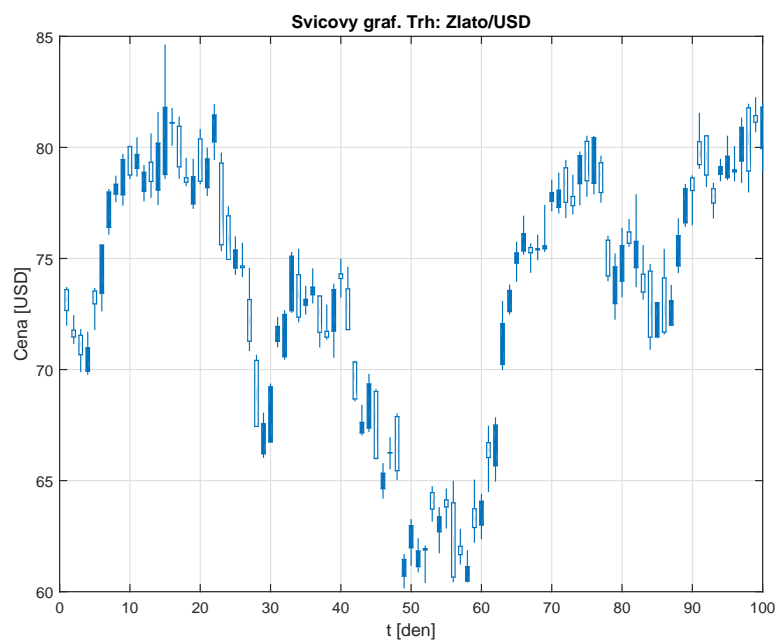
1. Swing obchodník používá denní grafy k určení trendu. Pozici drží obvykle dva až pět dní.
2. Krátkodobý obchodník používá šedesátiminutové grafy k určení trendu. V den nákupu i obvykle prodává pozice.
3. Dlouhodobý obchodník používá týdenní grafy k určení trendu a denní grafy ke generaci nákupního nebo prodejního signálu. Pozice může držet od několika týdnů až po několik měsíců.

## 2.6 Zobrazení informací o cenách

Nejdůležitější informací pro obchodníky je průběh cen. My jsme zvolili časový rámec jednoho dne, proto nás zajímají následující ceny:

1. Close — cena v okamžiku uzavření trhu.
2. Open — cena v okamžiku otevření trhu.
3. Low — nejnižší cena za den.
4. High — nejvyšší cena za den.

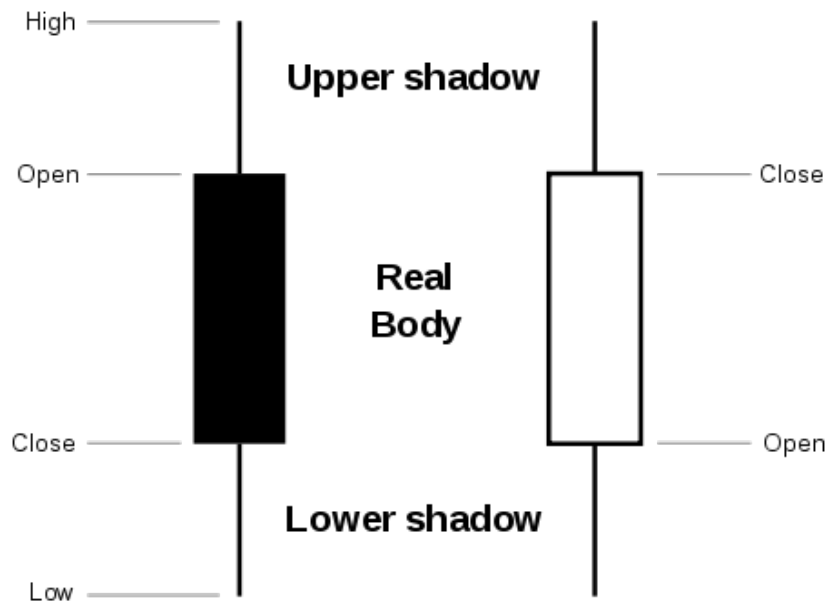
Pro názorné zobrazení těchto cen se používá svíčkový graf viz obr 2.2.



Obrázek 2.2: Zobrazení cen pomocí svíčkového grafu. Ukázka na trhu Zlato/USD.



Tělo svíčky představuje čtverec, který může být prázdný, nebo vyplněný. V případě prázdného čtverce ukazuje horní část cenu close a dolní část cenu open. U vyplněného čtverce jsou ceny stanovené opačně. Vrchní část vertikální čáry se nazývá vrchní stín a ukazuje cenu high. Dolní část se označuje dolní stín a ukazuje cenu low viz obr. 2.3.



Obrázek 2.3: Vrchní část čáry ukazuje cenu close, spodní část ukazuje na low cenu. V případě vyplněného těla svíčky vrchní hrana ukazuje cenu close a dolní open. U prázdného je to naopak.

Zdroj: [17]

Dalším důležitým grafem, který se využívá, je čárový graf průběhu cen close, a to z důvodu důležitosti této ceny.



# Kapitola 3

## Technická analýza

Technická analýza je definovaná jako zkoumání cen na trhu pomocí grafu za účelem učinit výhodný obchod nebo investice [4]. John Murphy charakterizoval tři předpoklady, na kterých je založená technická analýza [4]:

1. Chování trhu ignoruje všechno.
2. Ceny se pohybují v trendech.
3. Historie se opakuje.

### 3.1 Chování trhu ignoruje všechno

John Murphy [4] definoval chování trhu jako zdroj informace pro obchodníka. Dle Murphyho technický analytik věří, že všechno, co může ovlivnit cenu (např. politika, psychologie) je založeno na pohybu ceny. Tedy pohyb cen poskytuje informaci o fundamentálním stavu, a proto studium cen je všechno, co je potřeba k předpovídání změn v poptávce a nabídce. Technický analytik se nezabývá konkrétním důvodem růstu (resp. snížením) ceny, protože nevěří, že tato znalost je nutná k předpovídání ceny.

### 3.2 Ceny se pohybují v trendech

Většina automatických obchodních systémů je založena na sledování trendů. Cílem je najít začátek trendu a koupit aktiva za nízkou cenu, pak ho sledovat co nejdélejší možnou

dobu a hledat signál změny trendu, aby bylo možné prodat aktiva za nejvyšší cenu.

### 3.3 Historie se opakuje

Technická analýza je založena na studiu vývoji cen v minulosti a hledání určitých struktur, které se vytvářejí s nějakou periodou. Tyto struktury odrážejí chování trhu a předpokládá se, že struktury, které fungovaly v minulosti, budou fungovat i v budoucnosti. Murphy uvádí, že vytvoření těchto struktur je založeno na lidské psychologii, která se nemění [4].

### 3.4 Řízení rizika

Každá otevřená pozice musí být zajištěna stop příkazem. Stop příkaz je důležitý pro minimalizaci ztrát v případě, kdy se cena bude pohybovat v opačném směru, než bylo očekáváno. Dle Charlese Kirkpatricka [3] má hodně obchodníků více ztrátových obchodů než ziskových, ale ve výsledku mají tito profit z důvodu vhodně umístěných stop příkazů. Stop příkaz se umísťuje níže než cena nákupu a v případě, že cena pozice spadne pod tuto cenu, dojde k prodeji pozice.

Vedle výše uvedeného rozpoznáváme také příkaz trailing stop. Hodnota ceny se pro tento příkaz pohybuje spolu s růstem ceny pozice. Příkaz trailing stop zajistí, abychom neztratili zisk v případě, kdy se vzestupný trend změní na sestupný. Úroveň ceny, při které se vygeneruje signál, můžeme nastavovat na pevný počet pipsů<sup>1</sup> od současné ceny. Při každém novém růstu ceny budeme posouvat hodnotu příkazu.

Profit target je další součástí systému řízení rizik. Při otevření nové pozice nastavíme hodnotu ceny, na které tuto pozici prodáme v případě long obchodu, nebo koupíme zpět v případě short obchodu.

---

<sup>1</sup> Nejmenší změna ceny, která může nastat. Například na trhu EUR/USD 1 pip = 0.0001

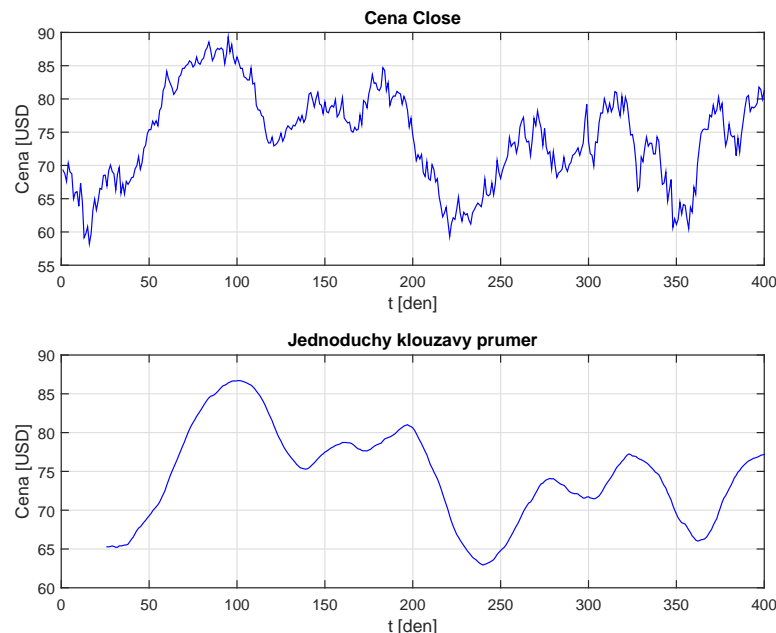
## 3.5 Indikátory

Indikátorem se nazývá finanční nástroj, který můžeme aplikovat na cenách trhu a výsledek použít k předpovídání budoucího pohybu ceny. Vstupem indikátoru může být jedna ze čtyř cen, anebo jejich kombinace. Indikátory můžeme dělit na zpožděné a vedoucí. Zpožděné indikátory zahrnují, například, klouzavé průměry a slouží ke znázornění, kam se ceny pohybují dlouhodobě. Vedoucí indikátory pomáhají předpovídat následující krátkodobé pohyby cen [9].

### 3.5.1 Jednoduchý klouzavý průměr (SMA)

Jednoduchý klouzavý průměr je jeden z nejpoužívanějších filtrů. V technické analýze se používá pro vyhlazení průběhu cen a také zjednoduší odhalení trendu při analýze. Tento filtr představuje konvoluci vstupního signálu s obdelníkovým pulzem. Ve formě vzorce může být zapsán jednoduchý klouzavý průměr následujícím způsobem [11]:

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i + j] \quad (3.1)$$



Obrázek 3.1: Jednoduchý klouzavý průměr vyhladí původní signál

Impulzní odezva tohoto filtru je obdelníkový signál a tudíž je to filtr s konečnou impulzní odezvou [11]. Zásadní nevýhodou tohoto filtru je zpoždění. Zpoždění vzniká

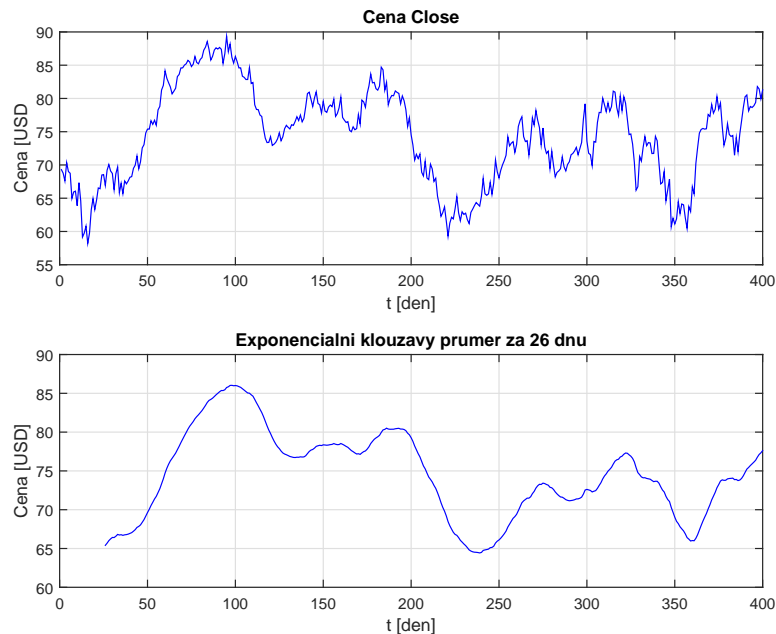
kvůli tomu, že průměr hodnot je vykreslen na konci časového rámce. Proto se zpoždění, v případě přidělení stejných vah všem datům v časovém rámci, rovná polovině velikosti tohoto rámce [10].

### 3.5.2 Exponenciální klouzavý průměr (EMA)

Tento indikátor je podobný předchozímu, ale liší se tím, že nejnovějším datům je přiřazena větší váha. Kvůli tomu EMA je lepší v odhalení kratších trendů než SMA a má menší zpoždění. Výpočet se provádí ve třech krocích pro období  $k$  dnů [12]:

1. Vypočítáme jednoduchý klouzavý průměr pro prvních  $k$  dnů.
2. Vypočítáme váhu:  $\alpha = \frac{2}{k+1}$ .
3. Vypočítáme exponenciální klouzavý průměr pro den  $k$ :

$$EMA(k) = (Input(k) - EMA(k - 1)) \cdot \alpha + EMA(k - 1) \quad (3.2)$$

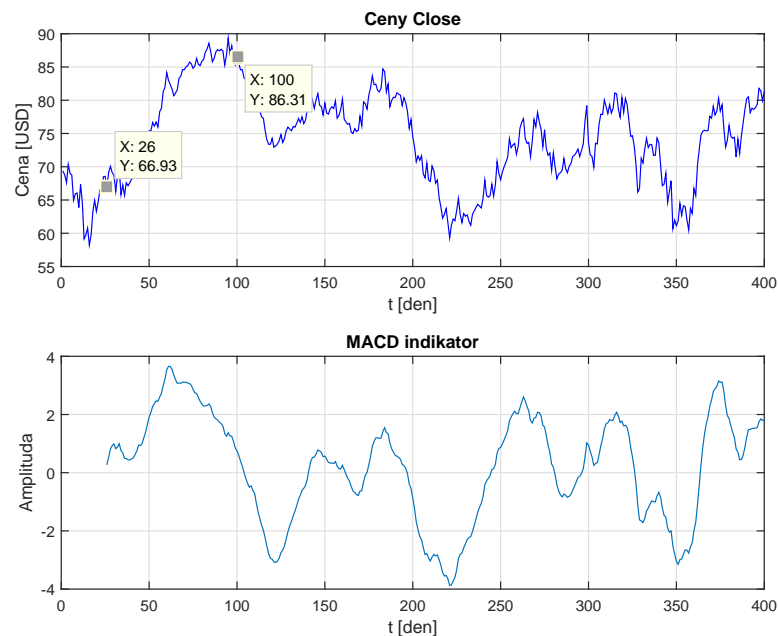


Obrázek 3.2: EMA vyhladí průběh cen. Reaguje lépe na krátké trendy než jednoduchý klouzavý průměr

### 3.5.3 Moving Average Convergence Divergence (MACD)

MACD představuje indikátor typu oscilátor, který osciluje kolem 0. MACD se počítá jako rozdíl dvou exponenciálních klouzavých průměrů s různou periodou. Obvykle se používají periody 26 dnů (EMA26) a 12 dnů (EMA12). Výpočet provedeme dle následujícího vzorce [13]:

$$MACD = EMA26 - EMA12 \quad (3.3)$$



Obrázek 3.3: Moving Average Convergence Divergence se počítá jako rozdíl dvou exponenciálních průměrů s různou délkou, typicky 26 a 12 dnů

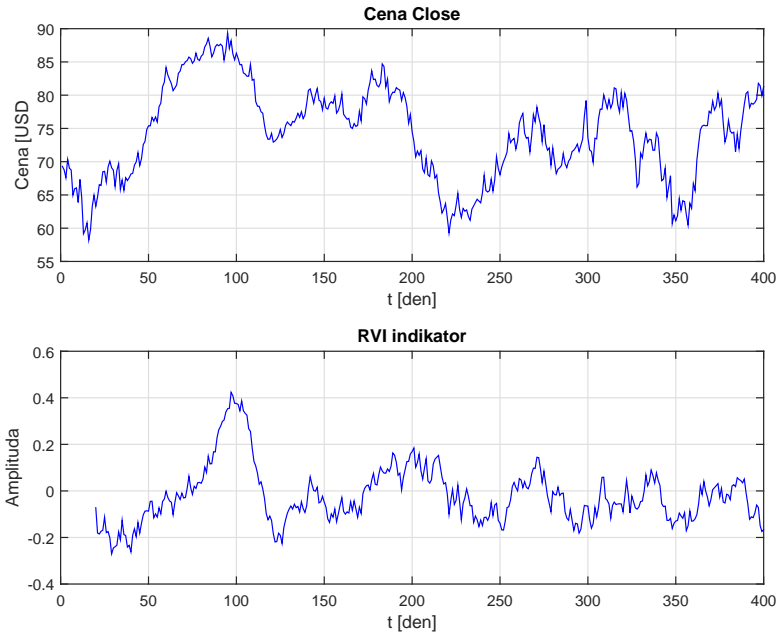
### 3.5.4 Relative Vigor Indicator (RVI)

RVI je indikátor typu oscilátor, který nabývá hodnot od -1 do 1. V případě, že ceny rostou, dosahuje vyšších hodnot. Výpočet se provádí ve třech krocích [14]:

1. Zvolíme období  $n$ .

$$2. RVI = \frac{Close-Open}{High-Low} .$$

3. Vypočítáme jednoduchý klouzavý průměr období  $n$  pro vyhlazení křivky.



Obrázek 3.4: Relative Vigor Indicator patří k oscilatorům. Pomocí něho můžeme sledovat cykly

### 3.5.5 Relative Strength Indicator (RSI)

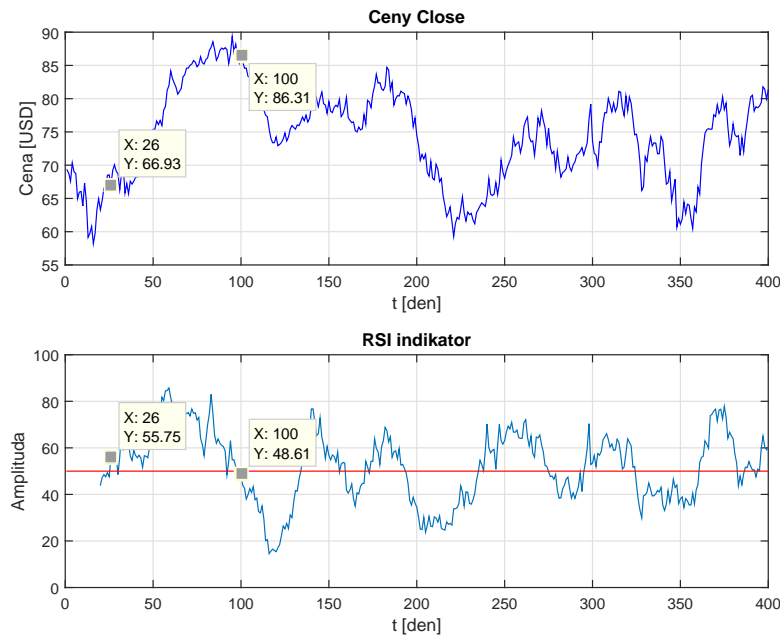
RSI indikátor měří rychlost a sílu změny ceny. Lze ho použít i pro odhalení trendu. Stanovení hranic je svévolné. Hodnota 50 se považuje za střed a někteří obchodníci považují překročení této hranice za signál k nákupu nebo prodeji<sup>2</sup>. Překročení hranice zezdola ukazuje na vzestupný trend a překročení shora znamená začátek sestupného trendu. Pro zjednodušení můžeme výpočet rozložit na komponenty: relativní síla (RS), průměrný zisk, průměrná ztráta. V případě, že je cena v určitý den vyšší než předchozí den, jedná se o zisk ( $G$ ). V opačném případě, tedy když je cena v určitý den nižší než předchozího dne, jedná se o ztrátu ( $L$ ) [15].

$$1. \text{ První průměrný zisk (resp. ztráta) } AG_1 = \frac{\sum_{j=1}^n G_j}{n} .$$

<sup>2</sup> John MURPHY. Technical analysis of the financial markets: a comprehensive guide to trading methods and applications p. 245



2. Další průměrný zisk (resp. ztráta)  $AG_j = \frac{AG_{j-1} \cdot (n-1) + G_j}{n}$ .
3.  $RS_j = \frac{AG_j}{AL_j}$ , kde  $AL_j$  je průměrná ztráta pro j-tý den.
4.  $RSI_j = 100 - \frac{100}{1+RS_j}$ .



Obrázek 3.5: Relative Strength Indicator patří k oscilatorům. Měří sílu a rychlost změny ceny

### 3.5.6 Commodity Channel Indicator (CCI)

Tento indikátor značí situaci, kdy aktiva začínají být překoupena a nebo přeprodána<sup>3</sup>. Obvykle se hranice stanovuje na hodnotách 100 a -100. Překročení hodnoty 100 zdola ukazuje, že se začíná vzestupný trend a překročení hodnoty -100 shora znamená začátek sestupného trendu. Počítáme dle vzorce [16]:

$$CCI_j = \frac{TP_j - STP_j}{0.015 \cdot \sigma} \quad (3.4)$$

<sup>3</sup> Překoupeno (resp. přeprodáno) znamená extrémní cenový růst (resp. pokles), při němž byly ceny pravděpodobně pod nákupním (resp. prodejním) tlakem.

kde:

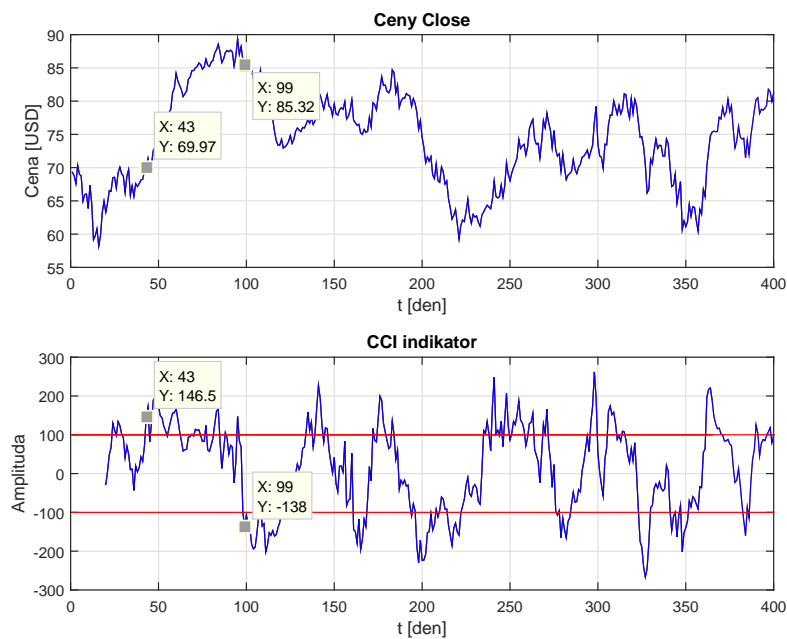
$$TP_j = \frac{High_j + Close_j + Low_j}{3}, j = 1 \dots k \quad (3.5)$$

$k$  je počet pozorování.

STP je jednoduchý klouzavý průměr pro TP za období  $n$ .

Konstantu 0.015 volíme tak, aby přibližně 70 až 80 % hodnot CCI leželo v intervalu  $\langle -100, 100 \rangle$ .

$$\sigma = \frac{\sum_{j=1}^n |STP - TP_j|}{n} \quad (3.6)$$



Obrázek 3.6: Indikátor CCI

### 3.5.7 Instantaneous Trend Line (ITL)

Nevýhodou předchozích indikátorů, které jsou realizovány jako filtr s konečnou odezvou<sup>4</sup>, je zpoždění vyvolané výpočty. John F. Ehlers se zabýval vylepšením těchto indikátorů, aby tyto měly skoro nulové zpoždění [2].

<sup>4</sup>Jednoduchý klouzavý průměr a Exponenciální klouzavý průměr

Exponenciální klouzavý průměr se počítá dle vzorce:

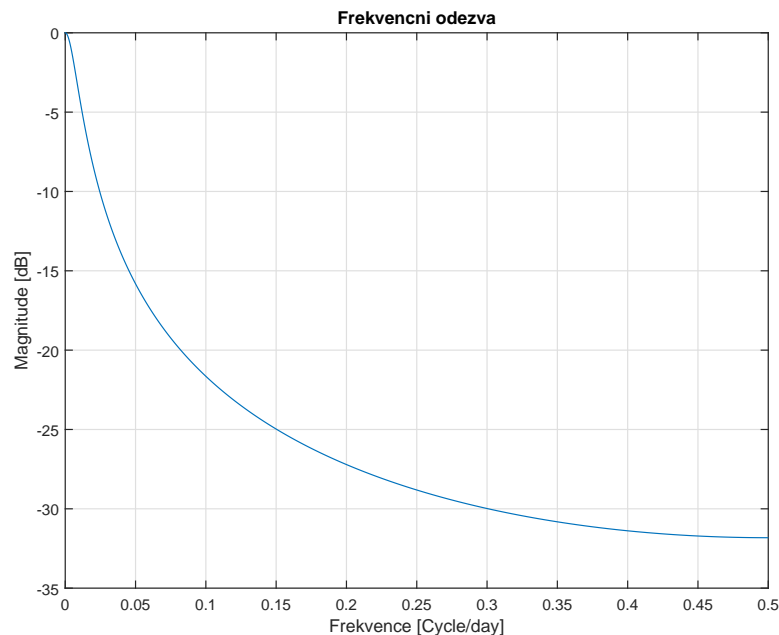
$$EMA[k] = \alpha \cdot Input[k] + (1 - \alpha)EMA[k - 1] \quad (3.7)$$

Použijeme Z-transformaci na tuto rovnici a spočítáme přenos tohoto indikátoru (filtru):

$$H(z) = \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot z^{-1}} \quad (3.8)$$

Z rovnice 3.8 vidíme, že jednotkový přenos dostaneme, když  $z^{-1} = 1$ , což odpovídá nulové frekvenci. To znamená, že když se vstupní hodnota nemění (nulová frekvence), výstupní hodnota konverguje k vstupní hodnotě.

Přenos nízkofrekvenčního filtru můžeme získat tak, že odečteme od jednotkového přenosu přenos vysokofrekvenčního filtru, protože jednotkový přenos obsahuje všechny frekvence [2]. Abychom to mohli udělat, potřebujeme, aby zeslabení bylo nekonečné pro Nyquistovou frekvenci<sup>5</sup>. V případě rovnice 3.8 zeslabení není nekonečné pro frekvenci  $f_{max} = 0.5$ , viz obr.3.7.



Obrázek 3.7: Frekvenční odezva vysokofrekvenčního filtru viz rov. 3.8

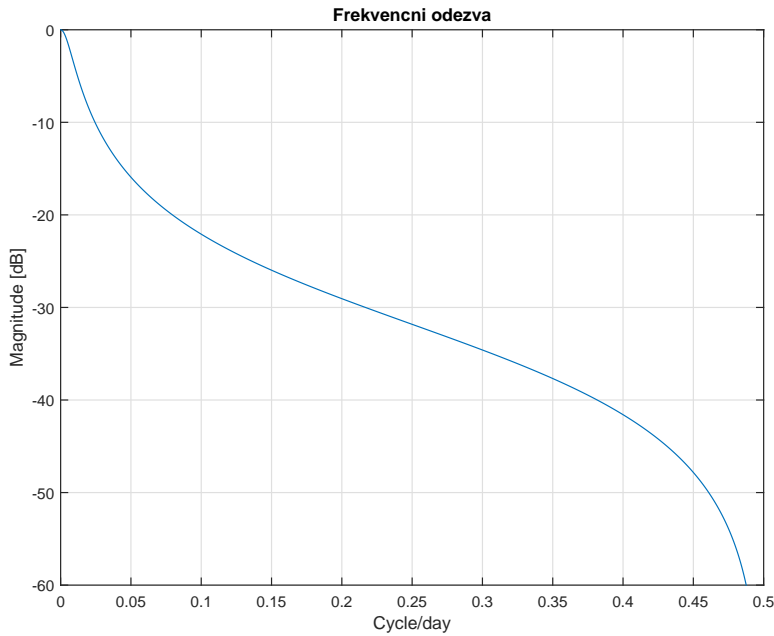
„Konečná vysokofrekvenční odezva v nízkofrekvenční propusti přivede k chybě zesílení

<sup>5</sup> Nyquistova frekvence se rovná polovině vzorkovací frekvence  $f_s$ . Pro denní obchodování  $f_s = 0.5 \text{ cycklu/den}$

ve filtru typu vysokofrekvenční propust.<sup>6</sup> Nekonečné odezvy docílíme použitím dvou postupných vstupních hodnot ve vzorci 3.7. Přenos bude následující:

$$H(z) = \frac{\frac{\alpha}{2}(1 + z^{-1})}{1 - (1 - \alpha)z^{-1}} \quad (3.9)$$

Tím jsme zaručili, že se přenos bude rovnat nule pro  $z^{-1} = -1$ ,<sup>7</sup> viz obr 3.8.



Obrázek 3.8: Frekvencní odezva vysokofrekvenčního filtru, viz rov 3.9. Pro Nyquistovou frekvenci máme zaručené nekonečné zeslabení

Teď můžeme vytvořit nízkofrekvenční filtr odečtením od jednotkového přenosu vysokofrekvenční složky:

$$HP(z) = \left(1 - \frac{\alpha}{2}(1 + z^{-1})\right) = \frac{1 - \frac{\alpha}{2}(1 + z^{-1})}{1 - (1 - \alpha)z^{-1}} \quad (3.10)$$

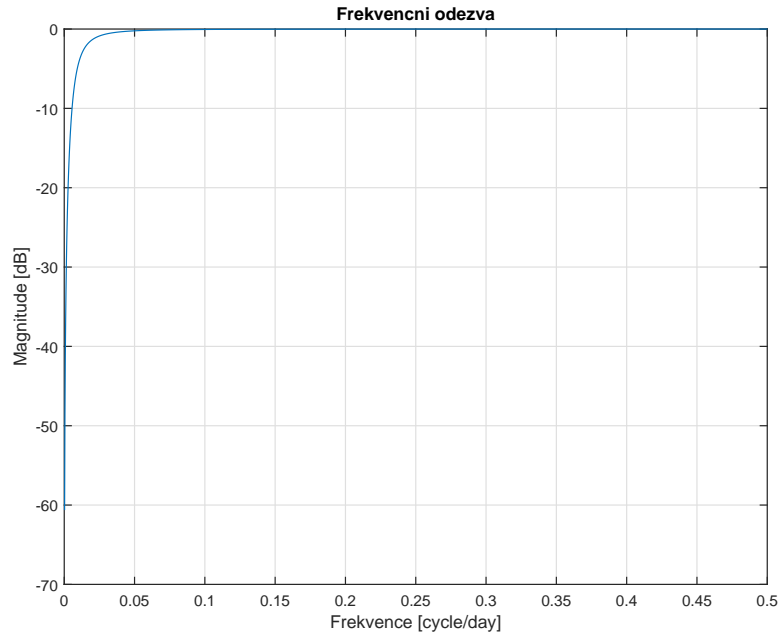
Abychom dosáhli většího tlumení nízkých frekvencí, použijeme filtr druhého řádu. Vypočítáme druhou mocninu přenosu ve vzorci 3.10 a tím získáme nízkofrekvenční filtr druhého řádu:

$$HP(z) = \frac{\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)^2(1 - 2z^{-1} + z^{-2})}{1 - 2(1 - \alpha)z^{-1} + (1 - \alpha)^2z^{-2}} \quad (3.11)$$

<sup>6</sup>EHLERS, John F. Cybernetic analysis for stocks and futures: cutting-edge DSP technology to improve your trading. Hoboken, N. J.: John Wiley, c2004, xiii, 256 p. Ch. 2 p. 12

<sup>7</sup>  $z^{-1} = -1$  odpovídá Nyquistove frekvenci.

Frekvenční odezva přenosu ve vzorci 3.11 zobrazeném viz obr. 3.9. Filtr s tímto přenosem má značné tlumení pro frekvence nižší než 0.025 (40 dnů za cyklus).

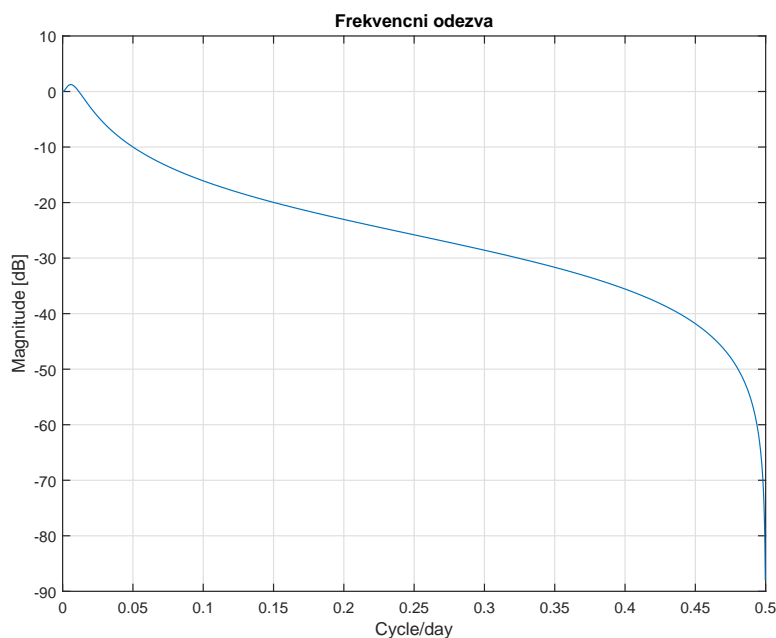


Obrázek 3.9: Frekvenční odezva vysokofrekvenčního filtru druhého řádu. Frekvence nižší než 0.025 jsou značně tlumené.

Podobným způsobem získáme vysokofrekvenční filtr. Odečteme od jednotkového přenosu přenos nízkofrekvenčního filtru:

$$LP(z) = 1 - \frac{(1 - \frac{\alpha}{2})^2(1 - 2z^{-1} + z^{-2})}{1 - 2(1 - \alpha)z^{-1} + (1 - \alpha)^2z^{-2}} = \frac{(\alpha - \frac{\alpha^2}{4}) + \frac{\alpha^2}{2}z^{-1} - (\alpha - \frac{3\alpha^2}{4})z^{-2}}{1 - 2(1 - \alpha)z^{-1} + (1 - \alpha)^2z^{-2}} \quad (3.12)$$

Frekvenční odezva filtru viz obr 3.10



Obrázek 3.10: Frekvenční odezva vysokofrekvenčního filtru

Indikátor, který je založen na filtraci vstupu tímto filtrem budeme nazývat „Instantaneous Trend Line“ dle John F. Ehlers.<sup>8</sup> V Matlab naimplementujeme pomocí funkce **filter**, *num* je čitatel a *den* je jmenovatel přenosu dle vzorce 3.12:

```
function output=instantaneousTrendline(input , period)
```

```
alpha=2/(period+1);
```

```
num=[(alpha-(alpha^2)/4)      (alpha^2)/2      -(alpha-3*alpha^2/4)];
```

```
den=[1      -2*(1-alpha)      (1-alpha)^2];
```

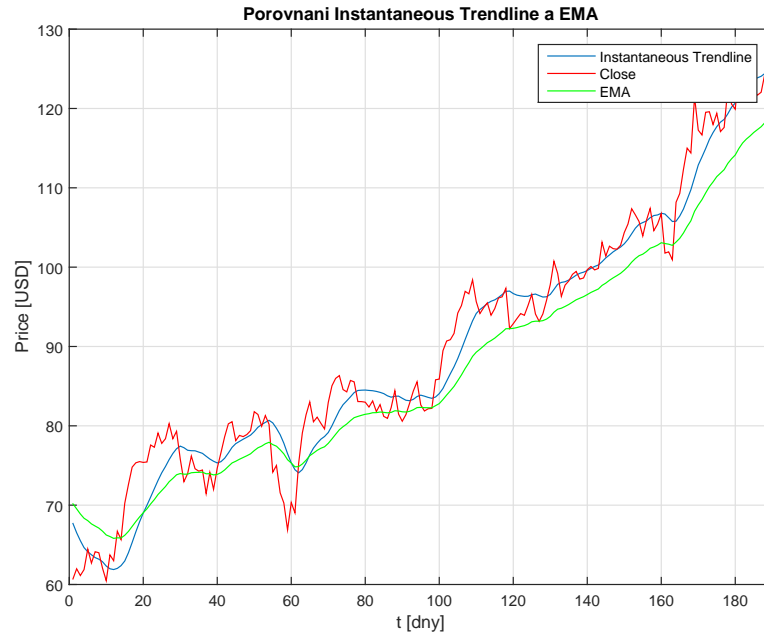
```
output=filter(num, den, input);
```

```
end
```

---

<sup>8</sup> EHLERS, John F. Cybernetic analysis for stocks and futures: cutting-edge DSP technology to improve your trading. Hoboken, N. J.: John Wiley, c2004, xiii, 256 p. Ch. 2 p. 16

Ve své knize John F. Ehlers uvedl, že hlavní výhodou tohoto indikátoru je téměř nulové zpoždění. Níže porovnáme průběhy exponenciálního klouzavého průměru a Instantaneous Trend Line za periodu 25 dnů na trhu Zlato/USD, viz obr 3.11.



Obrázek 3.11: Porovnání Instantaneous Trend Line a EMA s periodou 25 dnů. Instantaneous Trend Line reaguje na změny okamžitě.

Indikátory mají stejnou míru vyhlazení, ale Instantaneous Trend Line má menší zpoždění, proto můžeme vytvářet automatické obchodní systémy například na základě tohoto indikátoru a hledat, kdy cena protne tento indikátor.

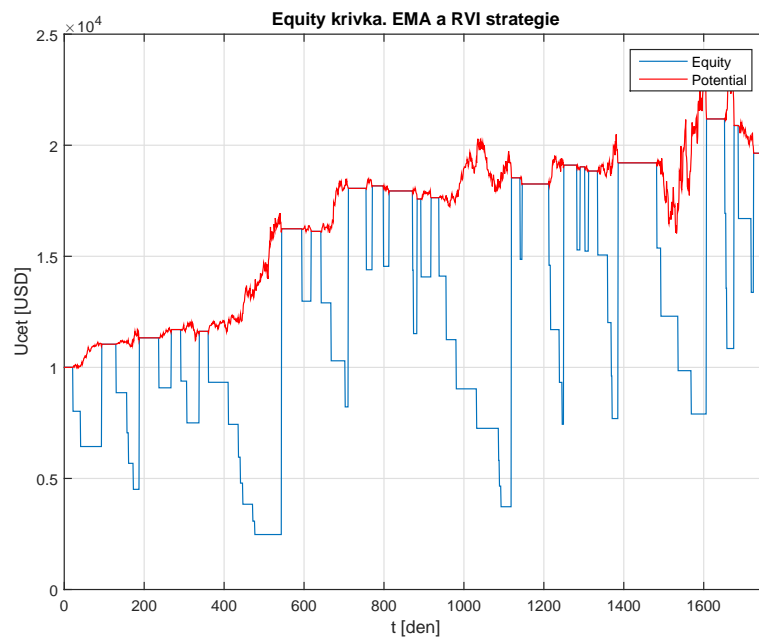
### 3.6 Jednoduché strategie

Nyní si ukážeme jednoduché strategie, které jsme navrhli v průběhu práce. Strategie byly otestovány na datech trhu Zlato/USD od 23. 11. 2007 do 24. 11. 2014. Při vygenerování signálu k nákupu vezmeme 20% částky a koupíme zaokrouhlený počet pozic za cenu open následujícího dne. Při vygenerování signálu k prodeji prodáme všechny pozice za cenu open následujícího dne.



### 3.6.1 RVI a EMA

V této strategii se používají indikátory Relative Vigor Indicator (RVI) pro periodu 10 dnů a Exponencialní klouzavý průměr pro periodu 5 a 10 dnů. Dále budeme používat označení pro Exponencialní klouzavý průměr - EMA5 pro období pěti dnů a EMA10 pro 10 dnů. Signál k nákupu je generován, když EMA5 protne EMA10 zdola a zároveň RVI bude mít hodnotu menší než nula. Signál k prodeji se generuje v případě, že EMA5 protne EMA10 zhora a RVI bude mít hodnotu větší než nula.



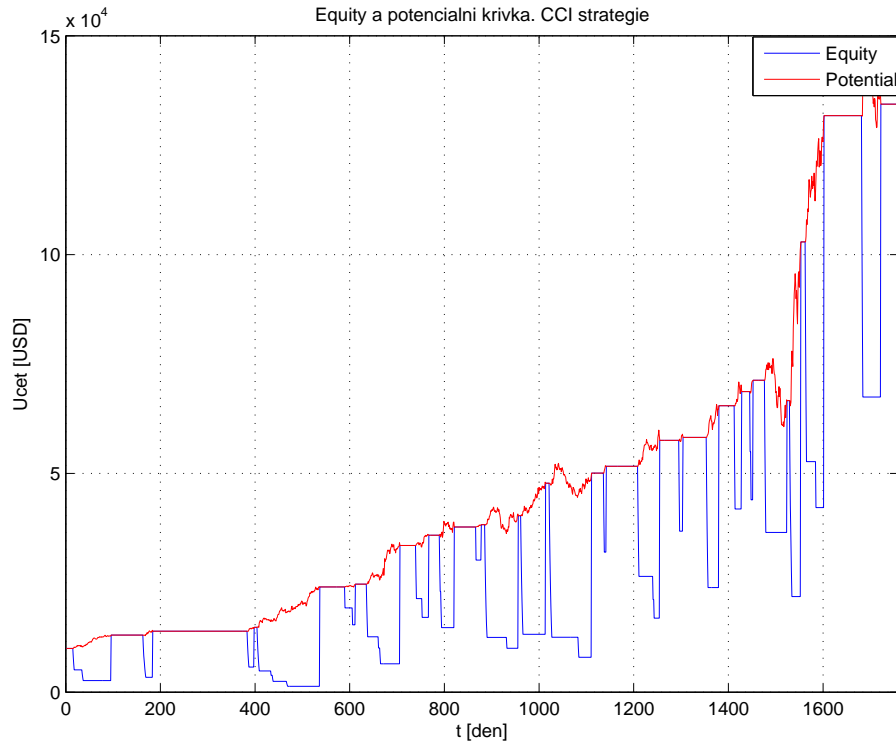
Obrázek 3.12: Equity křivka a potenciální křivka obchodní strategie s použitím RVI a EMA indikátorů. Otestovaná na trhu Zlato/USD.

Stav účtu na začátku	Stav účtu na konci	Zisk %	Počet obchodů
10000	21180	212.8	52

Tabulka 3.1: Zhodnocení popsané strategie. Testování bylo provedeno na historických datech od 23. 11. 2007 do 24. 11. 2014

### 3.6.2 CCI

Pro tuto strategii jsme použili pouze Commodity Channel Indicator. Signál k nákupu je generován, když CCI je nižší než -100. Signál k prodeji je generován, když CCI je větší než 100.



Obrázek 3.13: Equity křivka a potenciální křivka obchodní strategie s použitím CCI indikátoru. Otestovaná na trhu Zlato/USD

Stav účtu na začátku	Stav účtu na konci	Zisk %	Počet obchodů
10000	134370	1343.7	94

Tabulka 3.2: Zhodnocení popsané strategie. Testování bylo provedeno na historických datech od 23. 11. 2007 do 24. 11. 2014

# Kapitola 4

## Fuzzy logika

### 4.1 Fuzzy množiny

Nechť  $X$  je universum, která obsahuje všechny možné objekty pro danou úlohu. Fuzzy množina  $A$  je podmnožina univerzy  $X$  jednoznačně popsána charakteristickou funkcí  $\mu_A$  [6]:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

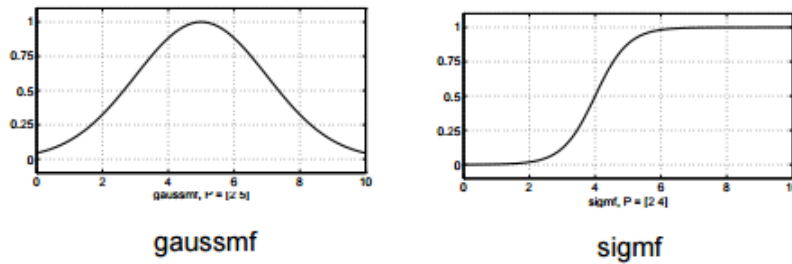
Funkce  $\mu_A$  určuje míru příslušnosti objektu  $x \in X$  fuzzy množině  $A$ , větší hodnota funkce znamená větší míru příslušnosti. „Každá funkce z  $X$  do  $[0; 1]$  určuje jednoznačně nějakou fuzzy množinu".<sup>1</sup> Definujeme několik pojmů, které budeme používat:

1. Obor hodnot množiny  $\text{Range}(A) = \{\alpha \in [0, 1] : (\exists x \in X : \mu_A(x) = \alpha)\}$ .
2. Výška:  $h(A) = \sup \text{Range}(A)$ .

Tvar křivky, reprezentující tyto funkce, může být libovolný a záleží na konkrétním problému, nicméně většina aplikací založených na použití fuzzy množin není citlivá na tvar funkce příslušnosti. Na obr 4.1 jsou uvedeny dvě možnosti, jak může křivka vypadat.

---

<sup>1</sup>NAVARA, Mirko a Petr OLŠÁK. Základy fuzzy množin. Vyd. 1. s. 3



Obrázek 4.1: Příklad dvou možných křivek funkcí příslušnosti. Nalevo je Gaussova křivka, napravo je sigma funkce. Obrázky převzaty z Fuzzy Logic Toolbox Tutorial

## 4.2 Operace na fuzzy množinách

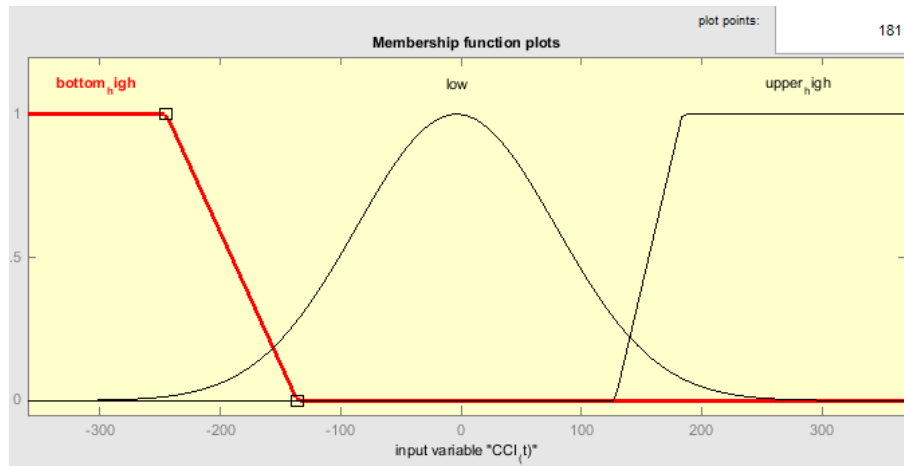
Abychom mohli pracovat s fuzzy množinami, potřebujeme používat logické operátory. V teorii fuzzy množin jsou definovány operátory ekvivalentní klasické teorie množin [1]. Necht'  $A$  a  $B$  jsou fuzzy množiny popsané funkcemi příslušnosti  $\mu_A$  a  $\mu_B$ . Ukážeme si jednu z definic logických operátorů konjunkce, disjunkce a negace:

1.  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)),$
2.  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)),$
3.  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x).$

Tyto operátory se nazývají standardní fuzzy operátory [7]. Existují další možnosti, jak je lze definovat, ale v této práci se budeme držet výše uvedených definic.

## 4.3 Lingvistické proměnné

Každá lingvistická proměnná je popsána trojicí  $\{v, x, T(x)\}$ , kde  $v$  je jméno proměnné,  $x \in X$  je číselná hodnota v definovaném intervalu univerzy  $X$ ,  $T(x)$  je množina lingvistických hodnot, ze kterých je každá charakterizována příslušnou fuzzy množinou. Na obrázku 4.2 je příklad lingvistické proměnné:



Obrázek 4.2: Příklad lingvistické proměnné  $CCI(t) \{v, x, T(x)\}$

1.  $v = "CCI(t)"$ ,
2.  $x \in X$  na intervalu  $[-350, 350]$ ,
3.  $T(x) = \text{bottomHigh, Low, UpperHigh}$ .

## 4.4 Fuzzy výroky

Fuzzy výrok je tvrzení, které obsahuje nepřesnost a může být interpretováno různě [1]. Ve fuzzy logice mohou výroky nabývat nekonečně mnoho pravdivostních hodnot ležících na intervalu  $[0,1]$ . Nechť máme výrok  $P$ , míru pravdivosti tohoto výroku určuje charakteristická funkce:

$$T(P) = \mu_A(x) \quad (4.1)$$

Z této rovnice vidíme, že míra pravdivosti  $P : x \in A$  se rovná míře příslušnosti  $x$  fuzzy množině  $A$ . V této práci se budou používat podmíněné a nekvalifikované výroky typu:

$$IF x is A then y is B \quad (4.2)$$

Logické spojky mohou být definovány různým způsobem, v této práci se budeme držet definic, které uvedl Lukasiewicz [7]:

1. Negace  $T(\bar{P})_A = 1 - T(P)$ ,
2. Konjunkce  $T(P) \wedge T(Q) = \min(T(P), T(Q))$ ,

3. Disjunkce  $T(P) \vee T(Q) = \max(T(P), T(Q))$ .

Pro operátor implikace budeme používat definici zavedenou Mamdani [8]:

$$\mu_{P \rightarrow Q}(x,y) = \min(\mu_P(x), \mu_Q(y)) \quad (4.3)$$

## 4.5 Systém s fuzzy logikou

Obecně lze říci, že systém s fuzzy logikou je nelineární zobrazení vstupního vektoru na skalární výstup. Fuzzy systém se skládá z modulu fuzzifikace vstupu, fuzzy pravidel, inferenčního mechanismu a modulu pro defuzzifikaci. Vstupem a výstupem systému jsou konkrétní číselné hodnoty.

## 4.6 Fuzzifikace

Fuzzifikace je zobrazení vstupního přesného čísla do fuzzy množiny [8]. Modul pro fuzzifikaci vezme vstupní hodnotu a spočítá míru příslušnosti této hodnoty fuzzy množinám definovaným na intervalu pro danou proměnnou. Výstup tohoto modulu bude předán do báze pravidel systému.

## 4.7 Fuzzy pravidla

Fuzzy pravidla se skládají z lingvistických množin a fuzzy operátorů. Každé pravidlo má následující tvar:

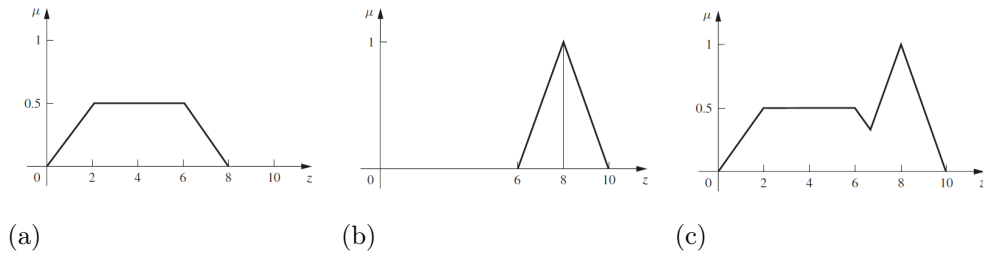
*IF  $p_1$  is  $A_1$  AND ... AND  $p_{i-1}$  is  $A_i$  THEN  $q$  is  $B$*

$A_i$  a  $B$ ,  $i \in R$ , jsou fuzzy množiny nějakých definovaných univerz  $X$  a  $Y$ .  $p_i$  a  $q$  jsou lingvistické proměnné s číselnými hodnotami  $x_i \in R$  a  $y \in R$ . Část, která následuje klíčové slovo IF, se nazývá předkem a specifikuje podmínky, za kterých pravidlo bude splněno. Předky jsou propojeny mezi sebou operátory „AND” nebo „OR”. Část, která následuje THEN, se nazývá důsledkem a definuje výstup systému za daných podmínek.

## 4.8 Inferenční mechanismus

Všechna pravidla, která mají předky s nenulovou hodnotou, současně přispívají k výstupu systému, proporcionálně míře své pravdivosti. V této práci je implementován Mamdani fuzzy model. To znamená, že výstupem pravidla bude fuzzy množina. K shromáždění výsledků použijeme metodu min-max. Nechť máme  $A_1 \dots A_i$  fuzzy množin a  $n \in \mathbb{R}$  pravidel. Pak výsledná množina bude mít následující funkce příslušnosti, viz obr.4.3 [1]:

$$\mu_{B_k} = \max_k (\min[\mu_{A_1}(x_j) \dots \mu_{A_i}(x_j)]), \quad k = 1 \dots n \quad (4.4)$$



Obrázek 4.3: Proces defuzzifikace pro fuzzy systém, skládající se ze dvou pravidel. Zdroj: [1].

## 4.9 Defuzzifikace

Po shromáždění důsledků všech pravidel dostaneme výslednou fuzzy množinu  $R$ , kterou musíme převést na reálné číslo  $s \in \mathbb{R}$ . Tento proces se jmenuje defuzzifikace. Existuje několik způsobů defuzzifikace, přičemž každý je vhodný pro jiný typ úlohy. Nejpopulárnější je metoda Centroid, kterou i my použijeme v daném systému. Tato metoda vrací center oblasti pod křivkou. Vzorec, který používá tato metoda, je následující<sup>2</sup>:

$$s = \frac{\int y \mu_R(y) dy}{\int \mu_R(y) dy} \quad (4.5)$$

Kde  $\mu_R$  je charakteristická funkce množiny  $R$ ,  $y \in \mathbb{R}$ .

<sup>2</sup>ROSS, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. 3rd ed. Chichester, U. K.: John Wiley, 2010, xxi, 585 p. ISBN 9780470743768. p. 99

## 4.10 Fuzzy Logic Toolbox

Fuzzy Logic Toolbox pro Matlab poskytuje GUI pro vytváření, upravování a pozorování fuzzy inferenčního systému, dále jenom FIS. Toolbox obsahuje pět nástrojů s implementovaným grafickým interfasem pro práci s FIS:

1. FIS editor.
2. Editor funkcí příslušnosti.
3. Editor pravidel.
4. Zobrazovač pravidel.
5. Zobrazovač hladiny.

### 4.10.1 FIS Editor

FIS editor zobrazuje základní informaci o fuzzy systému. V tomto modulu je možné přidávat a odebírat vstupní a výstupní proměnné a měnit jejich jména, nastavovat způsob pro vyhodnocení logických operátorů, způsob shromáždění výsledných úsudků pravidel a metod pro defuzzifikace.

### 4.10.2 Editor funkcí příslušnosti

Tento modul slouží pro zobrazení a editování funkcí příslušnosti pro každou vstupní nebo výstupní proměnnou. Můžeme měnit číselný interval, na kterém je definována proměnná, přidávat nebo odebírat fuzzy množiny, nastavovat jména fuzzy množin a volit tvar křivky funkce.

### 4.10.3 Editor pravidel

Tento modul slouží k vytváření pravidel. Máme seznam jmen fuzzy množin pro každou vstupní nebo výstupní proměnnou. Při vytváření nového pravidla zvolíme fuzzy množinu pro každou proměnnou, která nás zajímá, a vybereme operátory pro propojení, pak zvolíme výstupní fuzzy množinu. Zobrazovat pravidla můžeme ve formě jazykové, symbolické a číselné.



#### 4.10.4 Vizualizace pravidel

V tomto modulu je zobrazen celý inferenční proces. Každý řádek představuje jedno pravidlo a každý sloupec proměnnou. V posledním sloupci je zobrazen logický úsudek pravidla a vedle jména výstupní proměnné je výsledek defuzzifikace. Pro testování nebo znázornění inferenčního procesu FIS můžeme zadávat číselné hodnoty vstupních proměnných.



# Kapitola 5

## Fuzzy strategie

Ve fuzzy strategii byly použity indikátory Instantaneous Trendline s periodou 18 a 12 dnů, CCI a RSI s periodou 20 dnů. Vstupem do inferenčního mechanismu budou následující hodnoty:

- $CCI_t$  a  $CCI_{t-1}$
- $RSI_t$
- $MACD_t = InstTrendLine12_t - InstTrendLine18_t$

Inferenční mechanismus fuzzifikuje vstupní hodnoty pomocí nadefinovaných funkcí míry příslušnosti viz obr. 5.1. Pro CCI indikátor zavedeme dvě proměnné:  $CCI_t$  a  $CCI_{t-1}$ , které odpovídají současnému a předchozímu dnu. U CCI nás zajímá, když jeho hodnoty přesáhnou -100 a 100, a také když se dva dny za sebou hodnoty nachází na intervalu  $[-100, 100]$ . Hranice pro RSI nastavíme stejně jako v kapitole 3.5.5. V případě indikátoru MACD nás zajímá, zda hodnota je větší nebo menší než nula. Když se ceny na trhu začínají pohybovat ve vzestupném trendu, klouzavý průměr s menší periodou protne klouzavý průměr zdola, a v případě sestupného trendu ho protne shora.

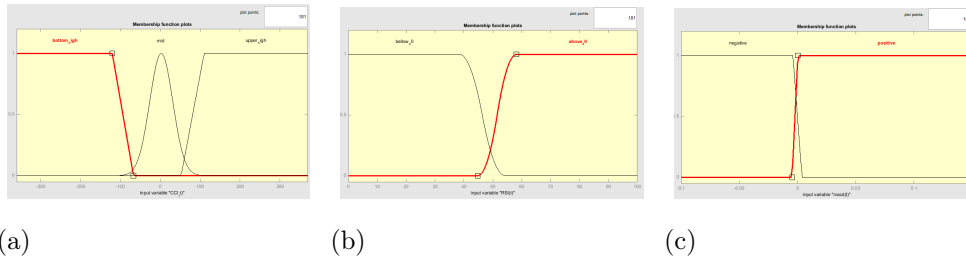
Pro každou proměnnou máme nadefinované následující charakteristické funkce:

1.  $CCI_t$  a  $CCI_{t-1}$ :  $T(x) = \{bottomHigh, middle, upperHigh\}$ ,
2.  $RSI_t$ :  $T(x) = \{bellow50, above50\}$ ,
3.  $MACD_t$ :  $T(x) = \{negative, positive\}$ .

V této strategii máme nadefinováno pět pravidel pro vstup na trh:<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Vstupem na trh se rozumí otevření long nebo short obchodu.



Obrázek 5.1: a) Proměnná CCI:  $x \in [-400; 400]$ ,

$$T(x) = \{bottomHigh, middle, upperHigh\};$$

b) Proměnná RSI:  $x \in [0; 100]$ ,  $T(x) = \{bellow50, above50\};$

c) Proměnná MACD:  $x \in [-0.1; 0.15]$ ,  $T(x) = \{negative; positive\}$

1. IF  $MACD(t)$  is negative AND  $CCI(t)$  is high THEN buy.
2. IF  $MACD(t)$  is positive AND  $CCI(t)$  is low THEN sell.
3. IF  $MACD(t)$  is negative AND  $RSI(t)$  is above50 THEN buy.
4. IF  $MACD(t)$  is positive AND  $RSI(t)$  is bellow50 THEN sell.
5. IF  $CCI(t)$  is low AND  $CCI(t - 1)$  is low THEN Do Nothing.

Po vyhodnocení a sjednocení výsledků ze všech pravidel a defuzzifikace dostaneme signál  $s$ . Na jeho základě bude vygenerován jeden z následujících příkazů:

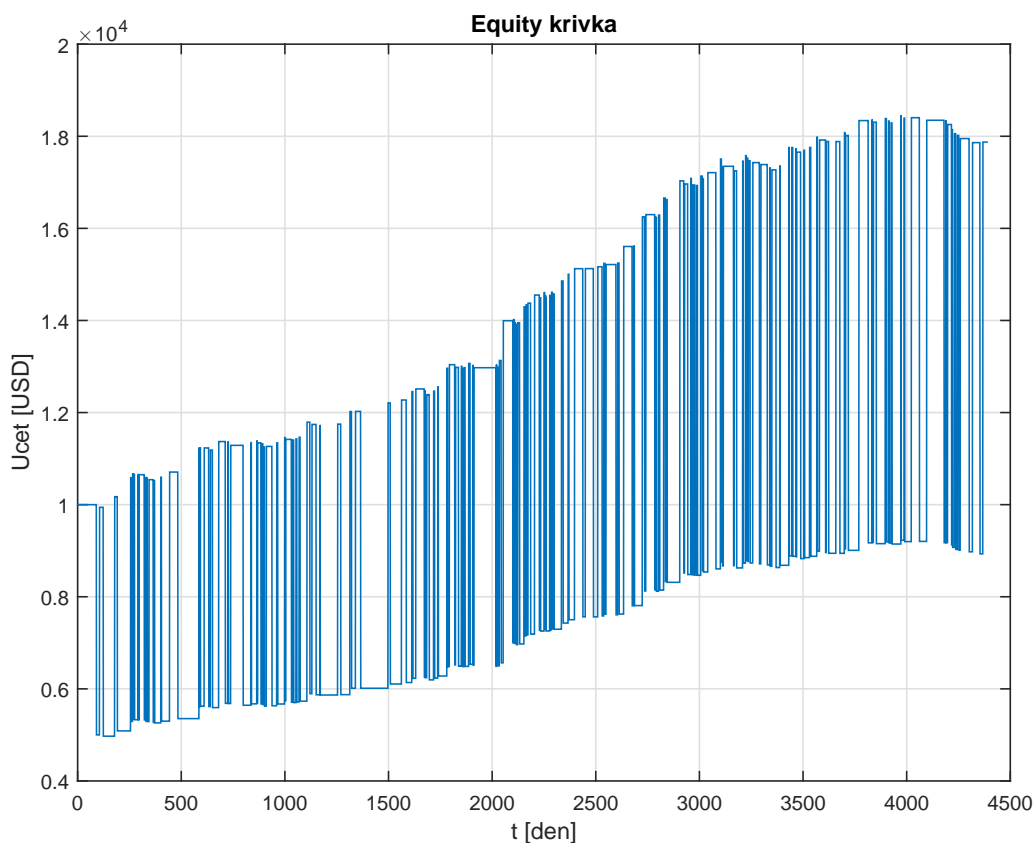
1. Sell Short pro  $s \in [0 \ 0.4]$ .
2. Do Nothing pro  $s \in (0.4 \ 0.6]$ .
3. Buy pro  $s \in (0.6 \ 1]$ .

Kupovat nebo prodávat pozice budeme ihned po vygenerování signálu, a to pouze když nemáme otevřený žádný obchod. Pro řízení rizika použijeme příkazy Stop, Trailing Stop a Profit Target (viz kapitola 3.4) s následujícími hodnotami:

- Stop = 75 pips.
- Trailing Stop = 150 pips.
- Profit Target = 1500 pips.

Strategie se testovala na trhu EUR/USD za období od 14. 05. 2003 po 18. 04. 2015. Při otevření obchodu typu long se používá 50 % prostředků z účtu. Při short obchodu prodáme 1000 pozic. Když se spustí jeden ze stop příkazů, prodáme (resp. koupíme zpět) všechny pozice, které máme.

Equity křivka viz obr. 5.2



Obrázek 5.2: Equity křivka automatického obchodního systému s fuzzy strategií. Strategie otestovaná na trhu EUR/USD za období od 14. 05. 2003 po 18. 04. 2015



# Kapitola 6

## Diskuze výsledků

Ke zhodnocení efektivity navrženého obchodního systému použijeme equity křivku viz obr. 5.2. Budeme počítat ne kalendářní rok, ale období od dubna do dubna. Stav účtu za každý rok lze nalézt v následující tabulce:

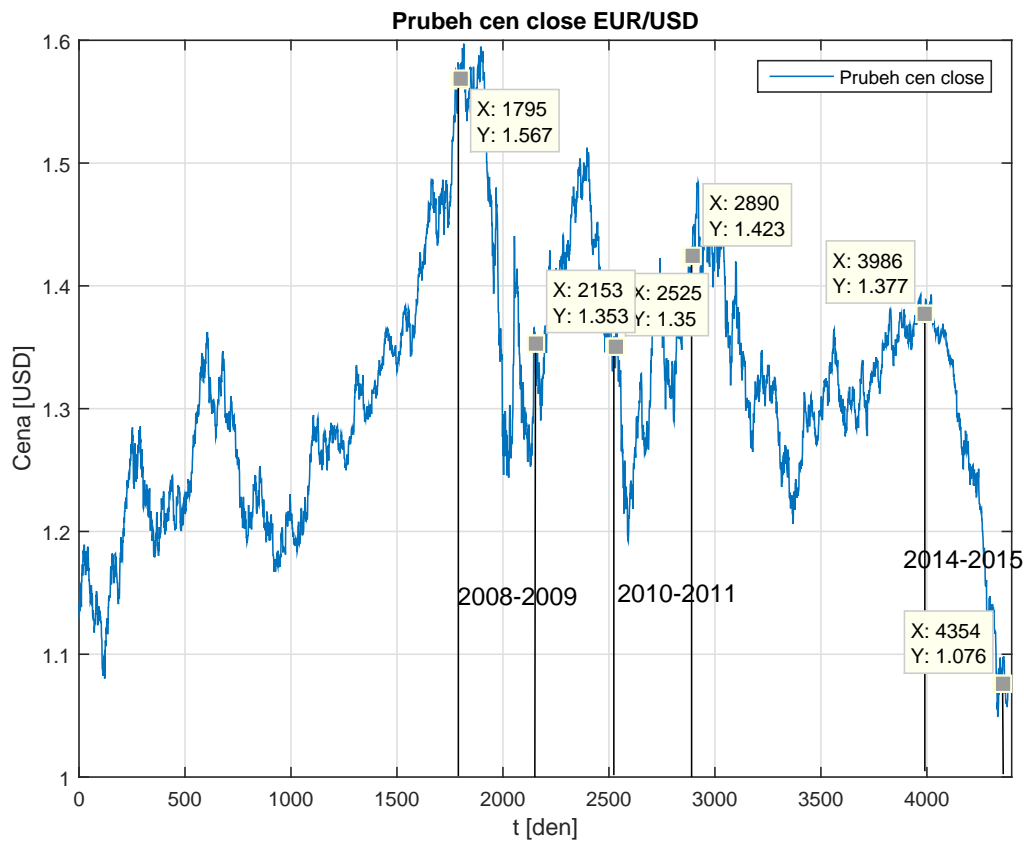
Rok	Aktuální stav		Celkový zisk	
	účtu na konci roku	Roční zisk	Roční zisk %	%
2003-2004	10520	520	5.2	5.2
2004-2005	11290	770	7.3	12.9
2005-2006	11790	500	4.4	17.9
2006-2007	12210	420	3.5	22.1
2007-2008	12980	770	6.3	29.8
2008-2009	14380	1400	10.8	43.8
2009-2010	15210	830	5.8	52.1
2010-2011	17030	1820	12.0	70.3
2011-2012	17430	400	2.3	74.3
2012-2013	17880	450	2.6	78.8
2013-2014	18400	520	2.9	84.0
2014-2015	17870	-530		78.7

Tabulka 6.1: Tabulka ukazuje stav účtu

Podařilo se nám navrhnout fuzzy strategie se stabilní rostoucí equity křivkou. Počet obchodů za celou dobu je 408. V tabulce můžeme pozorovat, že všechny roky, kromě posledního, byly ziskové. Střední hodnota ročního zisku  $EX = 655.8$ , směrodatná od-

chyłka  $\sigma = 571.8$ . Největších zisků bylo dosaženo za období 2008-2009 a 2010-2011, a to 10.8% a 12.0%. Ztrátu v posledním roce lze vysvětlit tím, že po celý rok trval sestupný trend, viz obr. 6.1. Tato ztráta ukazuje na nedokonalost systému. Další nedokonalostí je nedostatečně rychlý růst equity křivky.

Vylepšit obchodní strategie můžeme například optimalizací parametrů systému pomocí genetického algoritmu.



Obrázek 6.1: Průběh cen close za období od 14. 05. 2003 po 18. 04. 2015



# Kapitola 7

## Závěr

V současné době je obchodování na burzovním trhu velmi diskutovaným tématem, neboť se stalo přístupným pro téměř každého člověka. Vzhledem k tomu, že toto obchodování je stále velmi rizikové a noví obchodníci často končí se ztrátou celého investičního účtu, je kladen požadavek na tvorbu obchodních systémů, které budou schopny obchodovat bez dohledu člověka, čímž bude eliminováno psychologické riziko související s vlastnostmi obchodníka.

Podstatou mé práce bylo vymezení základních tezí souvisejících s problematikou obchodování na burze a na základě těchto teoretických východisek navržení automatického obchodního systému.

Přínosem mé práce je na základě teoretického shrnutí relevantní problematiky vytvoření automatického obchodního systému s fuzzy strategií. Tato použitá strategie se snaží napodobit lidské rozhodování za neurčitostí. Vstupem vytvořeného systému jsou hodnoty technických indikátorů a výstupem je signál k prodeji nebo nákupu aktiv. Systém je zajištěn prostředky pro minimalizaci rizika, a to stop příkazy, trailing stop a profit target. Funkčnost systému byla testována na historických datech z burzy EUR/USD.

Díky této práci jsem se seznámil se základy obchodování na burze, základy fuzzy logiky a získal jsem praktické zkušenosti s návrhem obchodního systému. Práce na tomto projektu pro mne byla velkým přínosem a zkušeností, daná problematika mne zaujala, a proto budu i nadále pokračovat ve vylepšování navrženého systému.



# Literatura

- [1] ROSS, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. 3rd ed. Chichester, U. K.: John Wiley, 2010, xxi, 585 p. ISBN 9780470743768.
- [2] EHLERS, John F. Cybernetic analysis for stocks and futures: cutting-edge DSP technology to improve your trading. Hoboken, N. J.: John Wiley, c2004, xiii, 256 p. investopedia
- [3] KIRKPATRICK, Charles D a Julie R DAHLQUIST. Technical analysis: the complete resource for financial market technicians. 2nd ed. Upper Saddle River, N. J.: FT Press, c2011, xxvi, 671 p. ISBN 9780137059447.
- [4] MURPHY, John J a John J MURPHY. Technical analysis of the financial markets: a comprehensive guide to trading methods and applications. New York: New York Institute of Finance, c1999, xxxi, 542 p. ISBN 0735200661.
- [5] NAVARA, Mirko a Petr OLŠÁK. Základy fuzzy množin. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 136 s. ISBN 80-01-02585-3.
- [6] KLIR, George a Bo YUAN. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. Upper Saddle River: Prentice Hall International, c1995, xv, 574 s. ISBN 0-13-101171-5.
- [7] LEE, Kwang H. First course on fuzzy theory and applications. New York: Springer-Verlag, c2005, x, 335 p. ISBN 3540229884.
- [8] MENDEL, Jerry. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. 1995.
- [9] ACHELIS, Steven B. Technical analysis from A to Z: covers every trading tool– from the Absolute Breadth Index to the Zig Zag.
- [10] EHLERS, John. Signal analysis concepts.

- [11] SMITH, By Steven W. The scientist and engineer's guide to digital signal processing. 2nd edition. San Diego (Calif.): California Technical Pub, 1999. ISBN 0966017668.
- [12] [www.stockcharts.com](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:moving_averages) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:moving\\_averages](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:moving_averages)
- [13] [www.stockcharts.com](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:moving_average_convergence_divergence_macd) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:moving\\_average\\_convergence\\_divergence\\_macd](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:moving_average_convergence_divergence_macd)
- [14] [www.investopedia.com](http://www.investopedia.com/terms/r/relative_vigor_index.asp) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.investopedia.com/terms/r/relative\\_vigor\\_index.asp](http://www.investopedia.com/terms/r/relative_vigor_index.asp)
- [15] [www.stockcharts.com](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:relative_strength_index_rsi) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:relative\\_strength\\_index\\_rsi](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:relative_strength_index_rsi)
- [16] [www.stockcharts.com](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:commodity_channel_index_cci) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:commodity\\_channel\\_index\\_cci](http://www.stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:commodity_channel_index_cci)
- [17] [http://pennystockgenius.com](http://pennystockgenius.com/education/types-of-charts/candlestick-charts/) [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://pennystockgenius.com/education/types-of-charts/candlestick-charts/>