

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Předvídání na FOREXU pomocí technické analýzy a umělé inteligence  
Bc. Jan Obolecký

Diplomová práce  
2019

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Obolecký**  
Osobní číslo: **I17218**  
Studijní program: **N2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Předvídání na FOREXU pomocí technické analýzy a umělé inteligence**  
Zadávající katedra: **Katedra softwarových technologií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude sestavení programu pro predikci vývoje měnových párů na FOREXU založenou na metodách technické analýzy, algoritmech umělé inteligence a fuzzy metodách. Aplikace bude umožňovat načítání aktuálních měn, import, export dat a bude generovat signály k nákupu resp. prodeji. Jeden typ signálů bude vycházet ze spektrální analýzy okének časové řady. Okénko bude reprezentováno frekvencemi získanými pomocí periodogramu. Predikce budoucího chování - signály - budou založeny na shlukové analýze, která umožní zařadit jedince (okénka) do skupin podle jejich podobností a rozdílností a dále také redukovat informace o nich. Pro shlukování byl navržen velký počet metod založených na různých principech. Některé metody vychází z matice vzdáleností (hierarchické metody) a jiné metody vychází přímo ze vstupní matice (metody rozkladu). Alternativní přístupy poskytuje oblast neuronových sítí - Kohonenovy mapy, genetický algoritmus k-průměrů. Druhý typ signálů bude založen na hybridních fuzzy neuronových metodách. Třetí typ signálů budou poskytovat vybrané metody technické analýzy (např. MACD, ROC). Současně aplikace bude poskytovat charakteristiky měřící úspěšnost obchodování založeného na vytvořené metodě. V práci budou popsány veškeré aplikované metody a bude vysvětleno uživatelské prostředí aplikace.

Rozsah grafických prací: 15  
Rozsah pracovní zprávy: 40-50  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

ANDĚL, Jiří. Statistická analýza časových řad. Praha: SNTL, 1976 BANDY  
Howard B. Quantitative Technical Analysis: An integrated approach to trading  
system development and trading management. Eugene: Blue Owl Press, 2015.  
ISBN 978-0979183850 CAI, Q. a D. ZHANG, B. WU, S.C.H. LEUNG.: A novel  
stock forecasting model based on fuzzy time series and genetic algorithm.  
Procedia Computer Science, 2013, no. 18, 1155-1162 ENGELBRECHT, Andries  
P. Computational Intelligence: An Introduction. Chichester: John Wiley Sons,  
2007. ISBN 978-0470035610 KŘIVAN, M. Úvod do umělých neuronových sítí.  
Praha: Oeconomica VŠE, 2008. 42 s. ISBN 978-80-245-1321 ŘEZANKOVÁ, H. a  
D. HÚSEK, V. SNÁŠEL. Shluková analýza dat. Praha : Kamil Mařík -  
Profesional Publishing, 2007. 196 s. ISBN 978-80-86946-81-8

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Jaroslav Marek, Ph.D.  
Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání diplomové práce: 22. října 2018  
Termín odevzdání diplomové práce: 18. května 2019



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 17. listopadu 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 7. 2019

Jan Obolecký

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval Mgr. Jaroslavu Markovi, Ph.D., za odborné konzultace v průběhu zpracování diplomové práce. Děkuji také své rodině, která mi poskytla výborné zázemí při studiu a přátelům za jejich cenné rady a podporu.

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá predikcí vývoje měnových párů na FOREXU. V první kapitole autor představuje základní principy obchodování na forexovém trhu. Druhá kapitola popisuje tři přístupy pro generování signálů nákupu a prodeje. První metodika transformuje okénko časové řady do spektrální roviny pomocí periodogramu a provádí analýzu nalezených period prostřednictvím shlukovacích metod. Druhý algoritmus aplikuje genetický algoritmus na časovou řadu interpretovanou fuzzy metodou. Třetí skupinu metod tvoří zástupci takzvané technické analýzy – ROC, MACD. V praktické části autor popisuje návrh, analýzu a softwarovou implementaci aplikace. V aplikaci jsou naprogramovány metodiky uvedené v teoretické části. V sekci diskuze je prezentována úspěšnost implementovaných algoritmů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Forex, predikce, klouzavé průměry, periodogram, shluková analýza, fuzzy, technická analýza

## **TITLE**

FOREX forecasts by applications of technical analysis and artificial intelligence

## **ANNOTATION**

The master thesis deals with the prediction of currency pair on FOREX. In the first chapter the author presents the basic principles of trading in the forex market. The second chapter describes three approaches for generating buy and sell signals. The first methodology transforms the window of the time series into the spectral level by means of a periodogram and analyzes the found periods via clustering methods. The second algorithm applies the genetic algorithm to the time series interpreted by fuzzy method. The third group of methods consists of representatives of the so-called technical analysis – ROC, MACD. In the practical part the author describes design, analysis and software implementation of the application. The methodologies mentioned in the theoretical part are programmed in the application. In the discussion section, success of implemented algorithms is presented.

## **KEYWORDS**

Forex, prediction, moving averages, periodogram, cluster analysis, fuzzy, technical analysis

# OBSAH

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>11</b>
<b>Seznam zkratk .....</b>	<b>13</b>
<b>Typografické konvence.....</b>	<b>15</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>16</b>
<b>1 Seznámení s FOREXEM .....</b>	<b>18</b>
1.1 Základní obchodní výrazy .....	18
1.2 Spread .....	20
1.3 Býčí a medvědí trh .....	21
1.4 Broker .....	23
1.5 Platforma.....	24
1.6 Obchodování na FOREXU .....	26
<b>2 Metodiky .....</b>	<b>27</b>
2.1 Popis 1. metody (shlukování založené na analýze periodogramu).....	27
2.1.1 Periodogram.....	28
2.1.2 Shluková analýza .....	29
2.2 Popis 2. metody (hybridní fuzzy metoda).....	36
2.2.1 Fuzzy časové řady.....	36
2.2.2 Metoda genetického algoritmu založená na fuzzy časových řadách .....	38
2.3 Popis 3. metody (algoritmy technické analýzy).....	39
2.3.1 Klouzavé průměry.....	40
2.3.2 ROC (Rate of Change).....	42
2.3.3 MACD (Moving Average Convergence Divergence) .....	42
<b>3 Analýza a návrh aplikace .....</b>	<b>44</b>

3.1	Požadavky .....	44
3.1.1	Funkční požadavky .....	44
3.1.2	Nefunkční požadavky .....	45
3.2	Aktéři .....	45
3.3	Případy užití .....	45
3.4	Analytické třídy .....	46
<b>4</b>	<b>Implementace aplikace .....</b>	<b>48</b>
4.1	Model .....	49
4.2	Načítání kurzů .....	49
4.3	Filtr dat .....	50
4.4	Graf .....	50
4.5	Algoritmy .....	51
<b>5</b>	<b>Uživatelská příručka .....</b>	<b>52</b>
5.1	Kurzy .....	52
5.2	Vstupní data .....	53
5.3	Algoritmy .....	55
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>60</b>
6.1	Roční statistiky .....	60
6.2	Měsíční statistiky .....	62
6.3	Denní statistiky .....	64
6.4	Shrnutí výsledků .....	70
	<b>Závěr .....</b>	<b>72</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>73</b>
	<i>Přílohy .....</i>	<i>77</i>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Býčí a medvědí trh, Zdroj: [30].....	22
Obrázek 2 – Typy brokerů, Zdroj: [vlastní].....	23
Obrázek 3 – MetaTrader 5, Zdroj: [vlastní].....	25
Obrázek 4 – Obchodní hodiny na FOREXU (CET), Zdroj: [vlastní].....	26
Obrázek 5 – Topologie, Zdroj: [28].....	33
Obrázek 6 – Příklad rozdělení univerza, Zdroj: [vlastní] .....	37
Obrázek 7 – Funkční požadavky – GUI, Zdroj: [vlastní] .....	44
Obrázek 8 – Funkční požadavky – Metody, Zdroj: [vlastní].....	44
Obrázek 9 – Funkční požadavky – Kurzy měn, Zdroj: [vlastní] .....	44
Obrázek 10 – Nefunkční požadavky – Aplikace, Zdroj: [vlastní] .....	45
Obrázek 11 – Případy užití, Zdroj: [vlastní] .....	46
Obrázek 12 – Analytické třídy, Zdroj: [vlastní] .....	47
Obrázek 13 – Struktura ukládaných parametrů, Zdroj: [vlastní] .....	49
Obrázek 14 – Osa x grafu, Zdroj: [vlastní] .....	51
Obrázek 15 – Uspořádání algoritmů, Zdroj: [vlastní].....	51
Obrázek 16 – Menu, Zdroj: [vlastní] .....	52
Obrázek 17 – Kurzy, Zdroj: [vlastní].....	52
Obrázek 18 – Nastavení kurzů, Zdroj: [vlastní] .....	53
Obrázek 19 – Příklad vlastního CSV souboru, Zdroj: [vlastní].....	53
Obrázek 20 – Nastavení dat, Zdroj: [vlastní].....	54
Obrázek 21 – Grafy, Zdroj: [vlastní] .....	54
Obrázek 22 – Algoritmy, Zdroj: [vlastní].....	55
Obrázek 23 – Signály, Zdroj: [vlastní] .....	55

Obrázek 24 – Hierarchické shlukování, Zdroj: [vlastní] .....	56
Obrázek 25 – Metoda $k$ -průměrů, Zdroj: [vlastní].....	56
Obrázek 26 – Kohonenova samoorganizační mapa, Zdroj: [vlastní] .....	57
Obrázek 27 – Genetický algoritmus $k$ -průměrů, Zdroj: [vlastní] .....	57
Obrázek 28 – Genetický algoritmus a fuzzy časové řady, Zdroj: [vlastní] .....	58
Obrázek 29 – Rate Of Change, Zdroj: [vlastní].....	58
Obrázek 30 – Moving Average Convergence Divergence, Zdroj: [vlastní].....	58
Obrázek 31 – Výpis statistik v logu, Zdroj: [vlastní] .....	59
Obrázek 32 – Zpracovávaná data (1 rok), Zdroj: [vlastní] .....	60
Obrázek 33 – Zpracovávaná data (1 měsíc), Zdroj: [vlastní] .....	63
Obrázek 34 – Zpracovávaná data (1 den), Zdroj: [vlastní].....	65

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Hierarchického shlukování (HC).....	61
Tabulka 2 – Kohonenova mapa .....	61
Tabulka 3 – <i>K</i> -means .....	61
Tabulka 4 – GAKM .....	61
Tabulka 5 – FTSGA.....	61
Tabulka 6 – ROC .....	61
Tabulka 7 – MACD .....	61
Tabulka 8 – Parametry vstupních dat .....	62
Tabulka 9 – Parametry signálů .....	62
Tabulka 10 – Statistiky roku 2018.....	62
Tabulka 11 – Hierarchického shlukování (HC).....	63
Tabulka 12 – Kohonenova mapa .....	63
Tabulka 13 – <i>K</i> -means .....	63
Tabulka 14 – GAKM .....	63
Tabulka 15 – FTSGA.....	63
Tabulka 16 – ROC .....	64
Tabulka 17 – MACD .....	64
Tabulka 18 – Parametry vstupních dat .....	64
Tabulka 19 – Parametry signálů .....	64
Tabulka 20 – Statistiky prosince 2018.....	64
Tabulka 21 – Hierarchického shlukování (HC).....	65
Tabulka 22 – Kohonenova mapa .....	65
Tabulka 23 – <i>K</i> -means .....	65

Tabulka 24 – GAKM .....	65
Tabulka 25 – FTSGA.....	65
Tabulka 26 – ROC .....	66
Tabulka 27 – MACD .....	66
Tabulka 28 – Parametry vstupních dat .....	66
Tabulka 29 – Parametry signálů .....	66
Tabulka 30 – Statistiky 4. prosince 2018.....	66
Tabulka 31 – Výsledky pro roky 2015, 2016 a 2017.....	67
Tabulka 32 – Výsledky pro měsíc květen v letech 2015, 2016 a 2017 .....	68
Tabulka 33 – Výsledky ve dnech 5. 5. 2015, 5. 5. 2016 a 4. 5. 2017.....	69

## SEZNAM ZKRATEK

API	Application Programming Interface
CD	Compact Disc
CET	Central European Time
CP	Closing Price
CRC	Class Responsibility Collaborator
CSV	Comma Separated Values
CUSUM	Cumulative Sum
CZK	Česká koruna
DD	Dealing Desk
ECN	Electronic communication network
EMA	Exponential Moving Average
EUR	Euro
FTSGA	Fuzzy Time Series and Genetic Algorithm
FX	Forex
FXML	FX Markup Language
GAKM	Genetic Algorithm <i>K</i> -Means
GUI	Graphical User Interface
HC	Hierarchical Clustering
HDP	Hrubý Domáci Produkt
JPY	Japonský jen
JSON	JavaScript Object Notation
LWMA	Linear Weighted Moving Average
MACD	Moving Average Convergence Divergence

NDD	Non Dealing Desk
OTC	Over The Counter
PDF	Portable Document Format
REST	Representational State Transfer
RMSE	Root Mean Square Error
ROC	Rate Of Change
RUP	Rational Unified Process
SMA	Simple Moving Average
SMMA	Smoothed Moving Average
SOM	Self Organizing Map
STP	Straight Through Processing
USA	United States of America
USD	Americký dolar

# **TYPOGRAFICKÉ KONVENCE**

V této diplomové práci se používají následující typografické konvence:

*Kurzíva*

Slouží pro zvýraznění slov a proměnných v textu.

Styl písma Courier New

Je použit pro ukázkou zdrojového kódu.

## ÚVOD

Existuje celá řada přístupů a metod pro konstrukci bodového či intervalového odhadu neznámých parametrů nebo parametrů rozdělení pravděpodobností, které se liší jak svojí filozofií, tak definicí kritéria optimálních vlastností odhadu.

Stanovení kvalitních a správných předpovědí není vždy jednoduché. V případě odhadů přírodních katastrof (zemětřesení, dráha tornáda či změna klimatu) s určitou přesností lze zajistit protiopatření a zachránit tak mnoho životů. Predikování budoucnosti je důležité téměř ve všech odvětvích například v obchodování, průmyslu, vládě, ekonomice, přírodních vědách, medicíně, společenských vědách, politice, financích atd. Předvídaní vývoje časových řad se člení dle časového horizontu na tři základní typy: krátkodobé (dny, týdny, měsíce), střednědobé (několik let) a dlouhodobé (mnoho let). Nelze stanovit výskyt budoucích stavů se stoprocentní úspěšností, protože každý uskutečněný jev je ovlivněn mnoha faktory. Tyto neznámé proměnné je složité popsat a také je takřka nemožné určit mezi nimi vztah či způsob, jak se vzájemně ovlivňují. Jednou z oblastí, kde není snadné predikovat budoucí chování jednoznačně, patří forexový trh, na který se diplomová práce zaměřuje.

V teoretické části jsou nejprve popsány základní vlastnosti forexového obchodu. Je třeba velmi dobře znát zejména to, jakým způsobem forexový trh funguje a uvědomovat si všechna rizika, se kterými se může začínající obchodník setkat. Jelikož obchod s měnovými páry je obrovský a živý, je smysluplné nechat rozhodovat o nákupu a prodeji algoritmus. Algoritmy, které jsou schopny generovat signály ve vhodných okamžicích za účelem profitu, lze aplikovat i v odlišných odvětvích.

V další části jsou vysvětleny metody pro predikci vývoje měnových párů. Metod existuje celá řada, navíc se vzájemně dají kombinovat pro zlepšení výsledků. Jsou popsány zejména vybrané metody z technické analýzy, umělé inteligence a metody využívající fuzzy množiny. Aplikace obsahuje všechny naimplementované algoritmy, kde uživatel může vyzkoušet funkčnost na historických datech.

Praktická část se zaměřuje na vývoj aplikace, která využívá všechny poznatky z teoretické části a snaží se demonstrovat funkčnost, nebo nefunkčnost těchto metod pro předvídaní na Forexu. Nejprve je popsán postupný proces tvorby aplikace z hlediska analýzy a návrhu. Poté je představena samotná aplikace s výčtem nabízených funkcí. Aplikace poskytuje uživatelům možnost výběru metody a možnost nastavení jejich vstupních parametrů. Metody lze testovat



na historických datech měnového páru EUR / USD v rozmezí let 2000–2018 nebo na importovaných vlastních datových souborech splňujících určité podmínky.

Závěrečná část zhodnocuje výsledky získané při testování jednotlivých metod s odlišnými parametry. Testování metod je prováděno na dlouhých časových intervalech, kde se vyskytuje mnoho klesajících a rostoucích trendů. V případě neočekávaných výsledků algoritmů je uveden komentář, ve kterém je snaha objasnit vzniklý stav.

# 1 SEZNÁMENÍ S FOREXEM

Forex (FX) je známý jako devizový nebo měnový obchod, kde se obchodují všechny světové měny. Forexový obchod je největší a nejvíce likvidní trh na světě s průměrným denním objemem obchodování, který přesahuje 5 bilionů \$. Kurzový měnový rozdíl mezi dvěma měnami je určován nabídkou a poptávkou. Pokud chceme v České republice koupit výrobek, který byl vyroben v jiné zemi, musí dovozce tohoto výrobku vyměnit české koruny za adekvátní měnu. Totéž platí i pro cestování. V případě, že potřebujeme vyměnit české koruny za eura, sníží se nepatrně kurz EUR / CZK. Měnový pár EUR / USD je nejobchodovanější na světě. První měna v páru se nazývá základ a druhá měna určuje počítadlo. Pokud vidíme hodnotu 1,13376 u kurzu EUR / CZK znamená to, že jedno euro má hodnotu 1,13376 dolaru. Většinou se uvádí dvě hodnoty, jedna pro nákup a druhá pro prodej. Pokud chceme nakupovat (resp. prodávat), nakupujeme (resp. prodáváme) první měnu páru. Pokud předpokládáme, že hodnota eura se zvýší vůči české koruně, nakoupíme EUR / CZK a čekáme na okamžik výhodného zpětného prodeje eura. Měnové obchodování je spíše prováděno elektronicky (OTC), což znamená, že všechny transakce probíhají prostřednictvím počítačových sítí mezi obchodníky po celém světě, nikoli na jedné centralizované burze.

Zdroj: [9], [10]

## 1.1 Základní obchodní výrazy

Při obchodování jsou používány základní obchodní výrazy, jako jsou pipy, body a ticky, které slouží k popisu cenových změn na finančních trzích. Všechny tři termíny se zabývají stejnou věcí, ale každý z nich je unikátní a vyjadřuje různý stupeň změny ceny. Body a ticky jsou používány na termínových trzích. Pipy slouží na forexovém trhu pro tentýž účel.

### **Bod**

Bod se používá pro charakterizování největší změny ceny a vztahuje se pouze na změny před desetinnou čárkou. Bod je nejobecněji používaným pojmem u obchodníků pro popis cenových změn na vybraných trzích. Je používán výhradně investory s akciemi. Při zvýšení akcie ze 150 \$ na 165 \$ se upřednostňuje používání pojmu „nárůst ceny o 15 bodů“ nad pojmem „nárůst ceny o 15 \$“.

## Tick

Tick označuje nejmenší možný pohyb ceny napravo od desetinné čárky. Ticky nemusí představovat pouze posun o jednu jednotku. Může také nabýt minimálního přírůstku 0,25 hodnoty. Změna ceny akcie z hodnoty 330,00 \$ na hodnotu 331,00 \$ je popsána čtyřmi ticky, případně jedním bodem.

Zdroj: [1]

## Pip

Pojem pip je odvozen pravděpodobně od názvu „Percentage In Point“ (jiné zdroje uvádí „Price Interest Point“) a poukazuje na pohyby cen měnových párů (např. EUR / USD). Většinou je pro pip charakteristické čtvrté desetinné místo, případně druhé desetinné místo pro JPY (japonský jen). Pokud se například měnový pár EUR / USD zvýší z hodnoty 1,1358 na hodnotu 1,1359, jedná se o pohyb jednoho pipu. Forex brokeri nabízejí také frakční části pipů. To znamená, že je uváděno i páté desetinné místo. V případě, že se hodnota 1,13585 sníží na hodnotu 1,13580, nastane pokles o půl pipu, protože pozice pipu je stále na čtvrtém desetinném místě. Pip může představovat různou hodnotu, která závisí na druhé položce měnového páru. Pro EUR / USD druhou položkou je USD a dle tabulky<sup>1</sup> lze hodnotu pipu vypočítat dle následujícího vzorce

$$P = L \times P_l,$$

kde

$P$  – je hodnota pipu v měně představující druhou položku v měnovém páru,

$L$  – je nominální hodnota jednoho lotu,

$P_l$  – je hodnota pipu pro jeden lot.

Hodnota pipu pro měnový pár EUR / USD je stanovena na 10 \$ za každých obchodovaných 100 000 \$. V případě, že obchodník nepoužívá účet v měně druhé položky měnového páru, je cena pipu přepočítána. Pro výpočet hodnoty pipu můžeme použít online kalkulačku<sup>2</sup>.

Zdroj: [1], [2]

---

<sup>1</sup> <https://xtb.scdn5.secure.raxcdn.com/file/0090/49/87a59c55cb11275fc30f02a89262c7d993604125.pdf>

<sup>2</sup> <https://admiralmarkets.cz/start-trading/trading-calculator>

## Finanční páka

Finanční páka slouží k posílení našich investic. Jelikož se kurzy měn mění velmi pomalu (obvykle pátá nebo třetí pozice za desetinnou čárkou), potřebovali bychom vysokou částku pro investování. Při použití páky 1:100 mají investice 100krát vyšší hodnotu, a tedy lze s menším obnosem peněz vydělávat rychleji. Pákový efekt ale nejen zvyšuje potenciál zisku, může také zvyšovat ztráty, které mohou překročit uložené prostředky. Za finanční páku se platí poplatek (swap) pouze v situaci, kdy jsou drženy obchodní pozice přes noc. Je možné obchodovat i bez finanční páky nebo využívat finanční páku nepřímo investicí do společností, jež ji využívají.

Zdroj: [9], [11], [12]

## 1.2 Spread

Spread je definován jako rozdíl mezi nákupní (ask) a prodejní (bid) cenou obchodního instrumentu. Čím je spread menší, tím je to výhodnější pro obchodníka, protože je větší šance, že jeho investice nebude ztrátová. Pro nízký spread je charakteristická nízká volatilita<sup>3</sup> a vysoká likvidita<sup>4</sup>. Vysoký spread je zapříčiněn obecně jednou ze dvou věcí, vysokou volatilitou nebo nízkou likviditou. Navíc vysoký spread se často objevuje při velkých šokujících událostech (brexit, volby v USA atd.), které přináší vysokou rizikovost pro obchodníky a brokery. Část spreadu se stává ziskem brokerů. Necht' u měnového páru EUR / USD je nákupní cena instrumentu 1,13671 a prodejní cena 1,13609. Rozdíl mezi nákupní a prodejní cenou bude roven 0,00062. Jelikož pip pro tento měnový pár představuje čtvrtou pozici za desetinnou čárkou, velikost spreadu se rovná 6,2 pipu. Pokud by byly koupeny dolary za 100 000 eur a následně zpět prodány za eura, ztráta by byla 6,2 pipu neboli 62 dolarů (případně 55 €).

$$100\,000 \times 1,13609 = 113\,609 \$,$$

$$113\,609 \div 1,13671 \cong 99\,945 \text{ €},$$

$$100\,000 - 99\,945 = 55 \text{ €},$$

---

<sup>3</sup> Volatilita představuje pravděpodobnost, že se cena, výnos, zisk atd. budou během určitého období měnit, viz <https://www.penize.cz/slovník/volatilita>

<sup>4</sup> Likvidita – jedná se o ekonomický pojem, který označuje schopnost či možnost prodeje aktiv na finančním trhu bez dopadu na pokles jejich ceny při samotném prodeji viz <https://managementmania.com/cs/likvidita>.

$$55 \times 1,13609 \cong 62 \$.$$

Pro výpočet procentuální ztráty při počátečním nákupu slouží následující vzorec

$$\text{procentuální ztráta} = \left( \frac{\text{prodejní cena}}{\text{nákupní cena}} - 1 \right) \times 100.$$

V případě nákupní ceny 1,13671 a prodejní ceny 1,13609 se začíná se ztrátou 0,055 %.

$$\left( \frac{1,13671}{1,13609} - 1 \right) \times 100 \cong 0,055 \%$$

To znamená, že při prodeji 1 000 eur je obchodník na počátku 55 centů ve ztrátě vzhledem k účtu v eurech.

$$1000 \times 0,00055 = 0,55 €.$$

### **Fixní spread**

Jedná se o spread, u kterého broker garantuje jeho fixní velikost i při volatilních situacích na trhu. Fixní spread je vždy o něco větší než spread variabilní. V situaci, kdy se variabilní spread zvětšuje a dosáhne větší hodnoty, než je hodnota fixního spreadu, brokeři poskytující fixní spread mají menší zisky než brokeři s variabilním spreadem. U výběru brokera s fixním spreadem je výhoda, že není třeba platit poplatek za realizaci objednávky.

### **Variabilní spread**

Spread je určován na základě poskytovatelů likvidity, kterými broker disponuje. Poskytovatelé likvidity brokerovi nabízejí své nabídky na nákup či prodej jednotlivých finančních instrumentů. Nabídky jsou přeposílány přímo poskytovatelům likvidity na světové finanční trhy prostřednictvím brokera. Brokeři většinou účtují transakční poplatek za realizování objednávky.

Zdroj: [2], [4]

## **1.3 Býčí a medvědí trh**

Pojmenování vzniklo na základě způsobu útoku těchto zvířat. Medvědi útočí na svou kořist tlapou směrem dolů, zatímco býci útočí svými rohy tak, že kořist vyhazují směrem nahoru. Býčí a medvědí trhy se často shodují s hospodářským cyklem (expanze a kontrakce).

**Býčí trh (Bull market)** je charakterizován optimismem, důvěrou investora nebo očekáváním vzestupného trendu na trhu. Často se definuje vzestupem ceny alespoň o 20 %, obvykle po předcházejícím 20% poklesu. Býčí trhy obvykle nastávají při sílící ekonomice, nebo když už

je ekonomika silná. Podporuje ji také silný hrubý domácí produkt (HDP) a pokles nezaměstnanosti.

**Medvědí trh (Bear market)** se vyznačuje pesimismem, kdy se předpokládá pokles ceny alespoň o 20 %. Někdy se mohou vyskytovat cyklicky v čase, kdy trvají několik měsíců, nebo se stává, že dokonce i několik desetiletí. Nízká produktivita, pokles obchodních zisků, zpomalující ekonomika či zásah vlády do ekonomiky pravděpodobně s sebou přinese výskyt medvědího trhu. Obvykle ho provází čtyři rozdílné fáze. První fáze se vyznačuje vysokými cenami a vysokým sentimentem investorů. Na konci této fáze investoři vypadávají z trhu a začínají přijímat zisky z prodeje. Ve druhé fázi ceny akcií začínají prudce klesat. Někteří investoři začínají panikařit a kapitulují. Třetí fázi inicializují spekulanti, kteří vidí příležitost nákupu a vstupují znovu na trh. Poslední, čtvrtá fáze se vyznačuje pouze pomalým klesáním ceny, což přitahuje nové investory.

Zdroj: [31], [32]



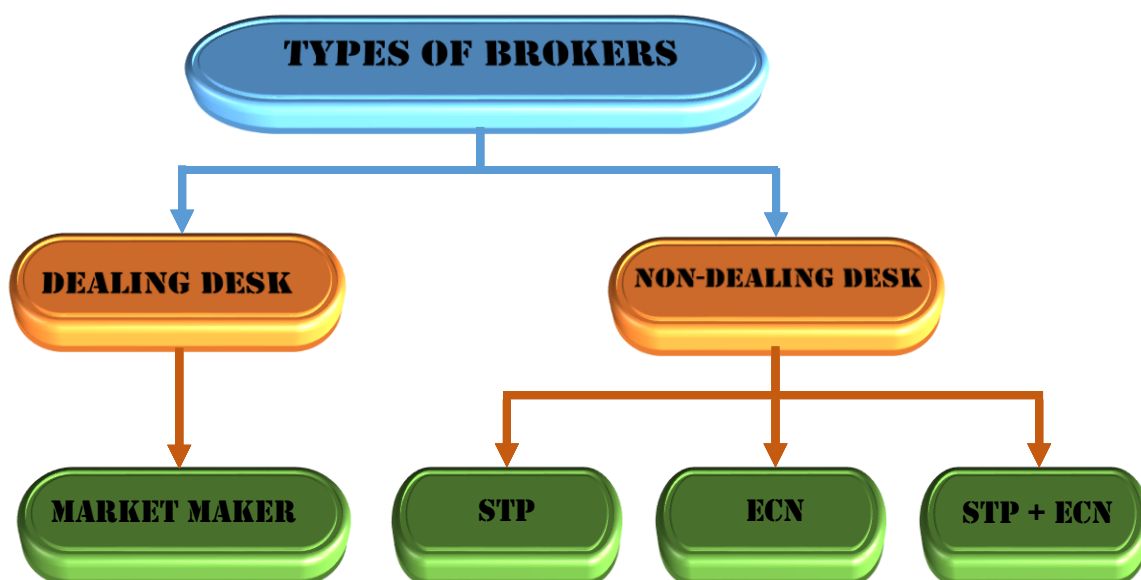
Obrázek 1 – Býčí a medvědí trh, Zdroj: [30]

## 1.4 Broker

Forexový broker je obchodník, který obchoduje s cennými papíry nebo měnou na forexovém trhu. Představuje zprostředkovatele mezi Forexem a maloobchodníky. Nakupuje a prodává aktiva za provizi. Jejich zisk představuje buď poplatek za zprostředkování transakce nebo širší spread. Je třeba si dát pozor na výběr brokera, protože mohou provozovat nekalé praktiky<sup>5</sup> například ovlivňováním cen finančních instrumentů, bezdůvodným zvyšováním spreadu nebo úmyslným zpožděním transakcí. Kromě pomoci klientům při nákupu a prodeji aktiv brokeři často poskytují pomocné služby:

- Novinky,
- přehled cen aktiv,
- programy pro trénování obchodování,
- školení
- a profesionálně spravované účty.

Některé z těchto služeb mohou být poskytovány zdarma a za některé si poskytovatelé účtují poplatek. Brokerů je několik typů, jak lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 2 – Typy brokerů, Zdroj: [vlastní]

<sup>5</sup> Více lze dočíst na stránce: <https://www.winsidetrading.com/cs/vyber-brokera/>.

### **Dealing Desk (DD)**

Nazývají se také jako Market Makers nebo Dealeři. Obchodníci nakupují (resp. prodávají) od Market Makerů. Jejich ceny se mohou lišit od tržních cen. Jejich zisk je zapříčiněn velikostí spreadu. V případě, že obchodník profituje, Market Maker prodělává, tudíž má zájem o to, aby obchodníci prodělávali.

### **Non-Dealing Desk (NDD)**

Na rozdíl od Dealing Desk brokerů propojují platformu obchodníka s mezibankovním trhem. Do této kategorie patří STP (Straight Through Processing), ECN (Electronic communication network) a hybridní SCN + ECN brokeři. STP přeposílá požadavky napřímo poskytovatelům (banky, velké instituce). ECN přeposílá požadavky do uměle vytvořeného elektronického trhu s likviditou, který je tvořen více poskytovateli. Poskytovatelé mezi sebou soupeří o nejlepší ceny.

Zdroj: [13], [14], [15]

## **1.5 Platforma**

Kromě výběru brokeru je nutné si vybrat platformu, se kterou obchodníci provádí obchody. Každý broker podporuje určité forexové platformy a je nutné se často podívat, protože výběr vhodného brokera je důležitější. Seznam populárních platforem:

- MetaTrader 4,
- MetaTrader 5,
- xStation,
- SaxoTrader,
- cTrader
- a TradeStation.

Platformy se od sebe liší službami, které nabízejí. Mohou například poskytovat:

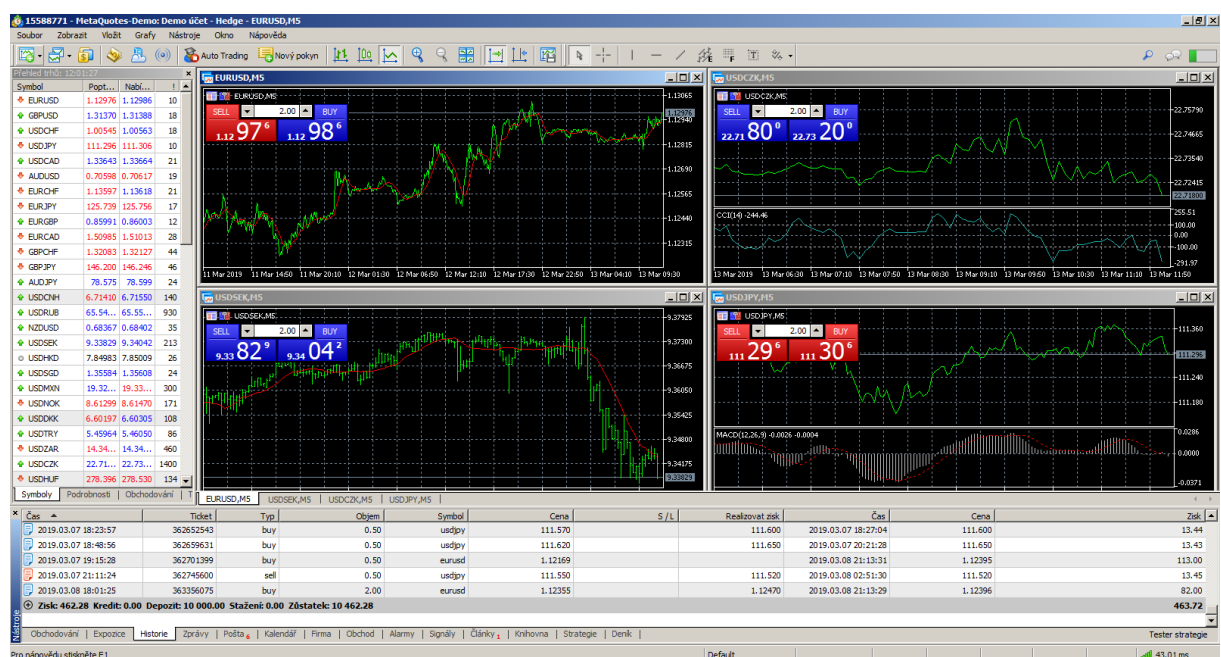
- API,
- přístupové servery,
- podporu mobilní aplikace,
- možnost přizpůsobení aplikace,



- podporující měny,
- zákaznickou podporu
- a testovací demo účet.

Zdroj: [16], [17]

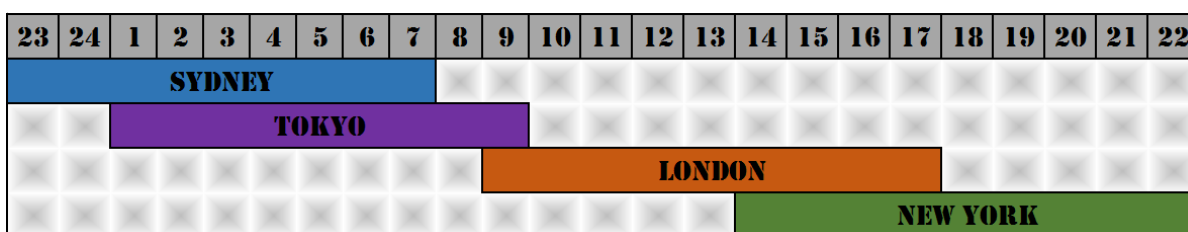
Následující obrázek znázorňuje obchodní platformu MetaTrader 5. Tato platforma spolu s její starší verzí MetaTrader 4 jsou doporučovány pro začátečníky, protože obsahují základní funkcionalitu pro uživatele. Ve výchozím nastavení MetaTrader 5 obsahuje v levém panelu přehled obchodovaných instrumentů, 4 okna s grafy a spodní panel pro statistiky obchodů.



Obrázek 3 – MetaTrader 5, Zdroj: [vlastní]

## 1.6 Obchodování na FOREXU

Forexový trh je aktivní 24 hodin denně. Na Forexu se obchoduje výhradně v pracovních dnech a víkendy bývají volné. Institucionální investoři se podílí na 93 % obchodů a většina z nich o víkendu neobchoduje. To má za následek nízkou likviditu o víkendu a brokeři buď neposkytují své služby, nebo jsou nuceni nastavit spread až na 20 pipů, což je velmi nevýhodné pro obchodníky, proto se raději zdrží obchodování. Zbýlých 7 % obchodů představují malí obchodníci. Obchodovací časy jsou rozděleny na 4 časová pásma, která odpovídají čtyřem hlavním městům (Sydney, Tokio, London a New York).



Obrázek 4 – Obchodní hodiny na FOREXU (CET), Zdroj: [vlastní]

Forexový obchod se otvírá každou neděli v 11 hodin večer (CET) a zavírá se každý pátek opět v 11 hodin večer (CET). Z obrázku lze vyčíst, že se začíná s obchodováním na FOREXu v Sydney a končí v New Yorku. Některé seance se překrývají, což má za následek v daném čase více obchodů a vyšší volatilitu. Seznam společných časů pro 2 časová pásma:

- 1:00–8:00 pro Sydney a Tokio,
- 9:00–10:00 pro Tokio a Londýn,
- 14:00–18:00 pro Londýn a New York.

Za nejlepší obchodovací čas je považována doba 8:00–13:00 h a nejvíce obchodů probíhá v úterý a ve středu. Je třeba se vyvarovat dnů, ve kterých je objem transakcí snížen. Jedná se především o svátky<sup>6</sup>, kdy největší účastníci trhu, tzn. banky, jsou uzavřeny. Navíc také někteří brokeři o svátcích nejsou k dispozici. Dále je třeba sledovat oznámení od centrálních bank, které provádí v určitých časech důležitá měnová rozhodnutí mající vliv na volatilitu.

Zdroj: [5], [5], [7], [8]

<sup>6</sup> <https://interactivtrading.com/en/blog/123-forex-market-holidays-all-you-need-to-know-about-closed-trading-days-in-2018>

## 2 METODIKY

V této práci budou zpracována data z FOREXU, na která se pohlíží jako na časovou řadu.

Časovou řadu lze chápat jako sadu pozorování  $x_t$ , kde každé pozorování je zaznamenané ve specifickém čase  $t$ . Matematicky se dají definovat jako sada vektorů  $x(t)$ ,  $t = 0, 1, 2, \dots, n$ , kde  $t$  reprezentuje uplynulý čas. Proměnná  $x(t)$  je náhodná proměnná. Měření jsou časově uspořádána v chronologickém pořadí. Časové řady mohou být intervalové, nebo okamžikové. Při intervalových časových řadách jsou měření sbírána v každé jednotce času, zatímco okamžikové časové řady shromažďují pozorování v konkrétních bodech časové osy. Časové řady lze také dělit dle délky intervalu mezi pozorováními na ekvidistantní a na neekvidistantní.

Při analýze časových řad se používají tři odlišné skupiny metod. První přístup je založen na dekompozici řady na Trend ( $T_t$ ), cyklickou složku ( $C_t$ ), sezónní složku ( $S_t$ ) a náhodnou složku ( $E_t$ ). Druhá skupina metody, tzv. adaptivní metody, je založena na neparametrickém vyrovnávání řady (např. exponenciální vyrovnávání, klouzavé průměry). Třetí skupinou jsou metody tzv. Box-Jenkinsonovy metodologie, které vychází z analýzy korelací mezi pozorováními.

Zdroj: [20], [21], [22]

### Change-point

Snem každého investora je metoda pro nalezení tzv. change-pointu. Určuje místo, kde dochází ke změně (zvratu). Analýza change-pointu poskytuje informace o čase změny, počtu změn v intervalu a spolehlivosti detekcí. Jednou z možností analýzy change-pointu je aplikace Taylorovy procedury (2000), která používá kombinaci kumulativních grafů (CUSUM). Abnormální izolované body nedokáže detekovat.

Zdroj: [35]

Pro investora je důležité dobře odhadnout dlouhodobý trend vývoje. Při krátkodobých spekulacích může být zajímavé odhadování cyklické složky. V dalších sekcích jsou prezentovány algoritmy, které budou implementovány ve vytvářené aplikaci.

### 2.1 Popis 1. metody (shlukování založené na analýze peridogramu)

První metoda probíhá ve 3 krocích:

1. Výpočet aritmetického průměru  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}.$$

2. Výpočet periodogramu posloupnosti  $I(\lambda_j)$  pro vstupní hodnoty  $x_i - \bar{x}$ .
3. Shlukování pomocí
  - a. hierarchické metody,
  - b. metody rozkladu
  - c. a algoritmů založených na umělé inteligenci.

### 2.1.1 Periodogram

Každá časová řada může být vyjádřena kombinací funkcí sinus a cosinus s odlišnou periodou. Periodogram je používán k identifikaci převládajících period nebo frekvencí časových řad. Necht'  $X_1, X_2, \dots, X_N$  je konečná posloupnost náhodných veličin s nulovou střední hodnotou. Náhodné veličiny představují odchylku od aritmetického průměru:  $X = x - \bar{x}$ . Definujme funkci pro periodogram posloupnosti  $I(\lambda)$  následujícím vzorcem

$$I(\lambda) = \frac{1}{2\pi N} \left| \sum_{t=1}^N X_t e^{-it\lambda} \right|^2, \quad -\pi \leq \lambda \leq \pi.$$

Při každém pevném  $N$  je  $I(\lambda)$  náhodná veličina. Proto  $I(\lambda)$ ,  $-\pi \leq \lambda \leq \pi$ , tvoří náhodný proces. Z předchozího vzorce je zřejmé, že každá realizace tohoto procesu je spojitá funkce. Při  $N \rightarrow \infty$ . Rozptyl na velikosti  $N$  nezávisí a lze konstatovat, že pro velká  $N$  bude periodogram mít výrazně velké hodnoty (řádu  $N$ ) v bodech  $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ . Bude-li délka posloupnosti  $N$  malá ve srovnání s délkou skutečné periody

$$T_j = \frac{2\pi}{\lambda_j},$$

bude se perioda jevit spíše jako trend. Je zřejmé, že nejkratší zjistitelná periodicita má délku  $T = 2$ . Dle předchozího vzorce odpovídá frekvence  $\lambda = \pi$  a pojmenovaná Nyquistova frekvence. Příliš vysoké frekvence s krátkými periodami mohou v ekvidistantní řadě splývat s jinými frekvencemi. Při sbírání dat pravidelně jednou za měsíc se může projevit vliv týdenní nebo denní periodicity. Pro případ, že posloupnost  $X_1, X_2, \dots, X_N$  je reálná, použijí se pro výpočet funkce  $I(\lambda)$  následující vzorce:

$$I(\lambda) = \frac{A^2(\lambda)}{4\pi} + \frac{B^2(\lambda)}{4\pi},$$

$$A(\lambda) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{t=1}^N (X_t \cos(t\lambda)), \quad B(\lambda) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{t=1}^N (X_t \sin(t\lambda)).$$

Je třeba zajistit lichý počet náhodných veličin  $N$  například vynecháním prvního prvku, protože představuje nejméně významnou hodnotu. Za proměnou  $\lambda$  se dosazují hodnoty z intervalu  $[-\pi; \pi)$  způsobem, že je tento interval rovnoměrně rozdělen na určitý počet částí. Výsledné hodnoty  $I(\lambda)$  se seřadí sestupně dle velikosti a dále se pracuje pouze s konkrétním počtem nejvyšších hodnot  $I(\lambda)$ , protože mohou představovat statisticky významné hodnoty periodogramu (lze ověřit testem R. A. Fishera).

Zdroj: [26], [42]

### 2.1.2 Shluková analýza

Shluková analýza, jak už z názvu vyplývá, se snaží zařadit objekty do skupin (shluků). Každý shluk obsahuje prvky, které mezi sebou mají podobné sledované vlastnosti. To znamená, že shluky mohou být tvořeny například druhy zvířat, u kterých mohou být sledovány vlastnosti jako počet končetin, počet zubů nebo velikost. Jelikož ve shlucích jsou podobné objekty, budou vykazovat stejné chování v určitých oblastech testování. Shlukování je označováno jako jeden ze základních typů získávání znalostí. Shlukování může probíhat jako učení s učitelem, nebo učení bez učitele.

U učení s učitelem obsahuje vstupní datový soubor informace o příslušnosti objektů do konkrétních známých skupin. Cílem tohoto učení je vytvořit model, díky němuž lze přiřazovat také nové neznámé objekty do skupin. Jako příklad lze uvést nalezení nového druhu ryby v oceánu, která se dle podobných vlastností přiřadí do čeledi (skupiny) terčovkovitých, poté se může předpokládat, že se mohou pohybovat pomocí vibračních senzorů jako ostatní ryby v této čeledi. Při učení bez učitele není znám počet skupin a ani zařazení objektů. Cílem je klasifikovat všechny objekty a zařadit je do příslušných skupin. Tento postup je nazýván jako *shlukování*.

Pro zkoumání podobnosti objektů se používají míry podobnosti nebo míry nepodobnosti. U kvantitativních dat se pro vyjádření míry podobnosti používají především míry vzdálenosti. K nejznámějším typům vzdáleností patří

- euklidovská,

- vážená euklidovská,
- čtvercová euklidovská,
- manhattanská,
- Čebyševova,
- Minkowského
- a Lanceyho-Williamsova.

Nejpoužívanější míra vzdálenosti je euklidovská se vzorcem

$$D_E(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} = \|x_i - x_j\|.$$

Metody shlukové analýzy dělíme do dvou skupin na

- metody hierarchické
- a metody rozkladu.

Zdroj: [27]

Vstupním objektem pro shlukovací metody je okénko časové řady, které obsahuje data z určitého intervalu.

### **Okénko časové řady**

Pro dočasnou aproximaci nad skutečnými daty časové řady se používá metoda posuvného (klouzavého) okénka. Velikost okna se zvyšuje, dokud se nedosáhne nejmenší chyby aproximace. Necht' existuje časová řada o velikosti jednoho měsíce. Je třeba stanovit délku okna (například 5 dní). Časovou řadu je možné rozdělit na subsekvence o velikosti 5 dnů. První okno bude obsahovat výsledky z periodogramu z intervalu 1.–5. dne. Poté je třeba okno o jednu jednotku směrem do budoucnosti posunout a znovu vytvořit subsekvenci, která bude obsahovat data z 2.–6. dne. Takto se okno posouvá až do doby, kdy se dosáhne konce časové řady. Každé okno si uchovává navíc určitý počet dat do budoucna, která dále poslouží pro aplikování predikce. Počet subsekvencí časové řady se vypočítá vzorcem

$$N_w = m - w + 1,$$

kde

$N_w$  – počet subsekvencí časové řady,

$m$  – délka časové řady,

$w$  – velikost posuvného okna.

Zdroj: [24], [25]

### Hierarchické metody

Cílem hierarchických metod je vytvoření skupin objektů v hierarchické struktuře. Hierarchická shluková analýza rozlišuje dva různé přístupy. U *monotetického* přístupu se vytváří shluky pouze podle jedné z proměnných, zatímco u přístupu *polytetického* se berou v úvahu všechny proměnné současně. Dalším kritériem členění je členění na základě analýzy podobnosti. Při *aglomerativním* přístupu je každý objekt samostatným shlukem a postupně se spojují vždy dva nejpodobnější shluky do doby, kdy zbývá pouze jeden shluk. *Divizivní* přístup funguje obráceně. Všechny objekty tvoří jeden velký shluk a ten je postupně rozdělován do stavu, v němž je každý objekt umístěn v samostatném shluku. Pro výběr shluků v hierarchickém stromu se provádí řez, který vrací shluky vzdáleny od sebe dle míry podobnosti shluků.

Monotetické shlukování většinou využívá divizivní přístup shlukování. Mějme počet proměnných  $m$  popisující objekty. V prvním kroku je možnost rozdělit objekty do dvou skupin  $m$  různými způsoby. Pro každé další dělení je počet potenciálních rozdělení zmenšen o jedničku. Stanovení intenzity závislosti mezi  $k$ -tou a  $l$ -tou proměnnou se používá míra

$$q_{kl} = |a_{kl}d_{kl} - b_{kl}c_{kl}|,$$

kde  $a_{kl}$ ,  $d_{kl}$ ,  $b_{kl}$  a  $c_{kl}$  jsou četnosti v kontingenční tabulce vytvořené pro proměnné  $k$  a  $l$ . Pro každou  $l$ -tou proměnnou se spočte hodnota

$$q_l = \sum_{k \neq l} q_{kl}, k = 1, 2, \dots, m.$$

Zařazení objektů se provádí dle proměnné, u které bylo dosaženo maxima z  $q_l$ .

U polytetického shlukování lze využít shlukování aglomerativní a divizivní. Při aglomerativním hierarchickém shlukování jsou všechny objekty v samostatném shluku. První shluk je vytvořen ze dvou shluků na základě matice (ne)podobnosti. Pro další kroky se používají různé aglomerativní algoritmy

- metoda průměrné vazby pro mezishlukové vzdálenosti,
- metoda průměrné vazby pro vnitroshlukové vzdálenosti,
- metoda nejbližšího souseda,

- metoda nejbližšího souseda,
- centroidní metoda,
- mediánová metoda
- a Wardova metoda.

### **Metody rozkladu**

Metody rozkladu se vyznačují zařazením objektů do předem stanoveného počtu disjunktních shluků. Objekty jsou do shluku přiřazovány jednoznačně nebo pomocí měr příslušnosti, jež lze zjistit pomocí fuzzy shlukové analýzy. Mezi metody rozkladu se většinou řadí následující metody

- metoda  $k$ -průměrů,
- metoda  $k$ -mediánů,
- metoda  $k$ -modů
- a metoda  $k$ -histogramů.

Za podmínky, že datový soubor obsahuje pouze kvantitativní proměnné, lze použít metodu  $k$ -průměrů. Nejprve je třeba stanovit počet shluků, u nichž se určí počáteční centroidy (střed shluku). Dalším krokem je přiřazování objektů do daných shluků dle vypočtené vzdálenosti (nejčastěji euklidovská). Následně je přepočítána pozice centroidů shluků dle sady objektů, které náleží danému shluku. Jelikož centroidy změní své souřadnice, je třeba znovu zkontrolovat míru náležitosti objektů ke shlukům. Přepočítávání centroidů a přesouvání objektů mezi shluky probíhá do doby, kdy nedochází k žádné změně. Je třeba opakovat celý proces několikrát, protože výsledkem je vždy lokálně optimální řešení. Při užití manhattanské vzdálenosti místo euklidovské se jedná o metodu  $k$ -mediánů.

Metoda  $k$ -medoidů je podobná metodě  $k$ -průměrů s tím rozdílem, že každý shluk má přiřazen jeden hlavní objekt (medoid), pro který platí, že suma všech vzdáleností ostatních objektů shluku od tohoto objektu je minimální. Opět se kontroluje, zda objekt nemá blíže k jinému medoidu. Pokud je blíže k jinému medoidu, je umístěn do jiného shluku a znovu se zjistí nový medoid shluku.

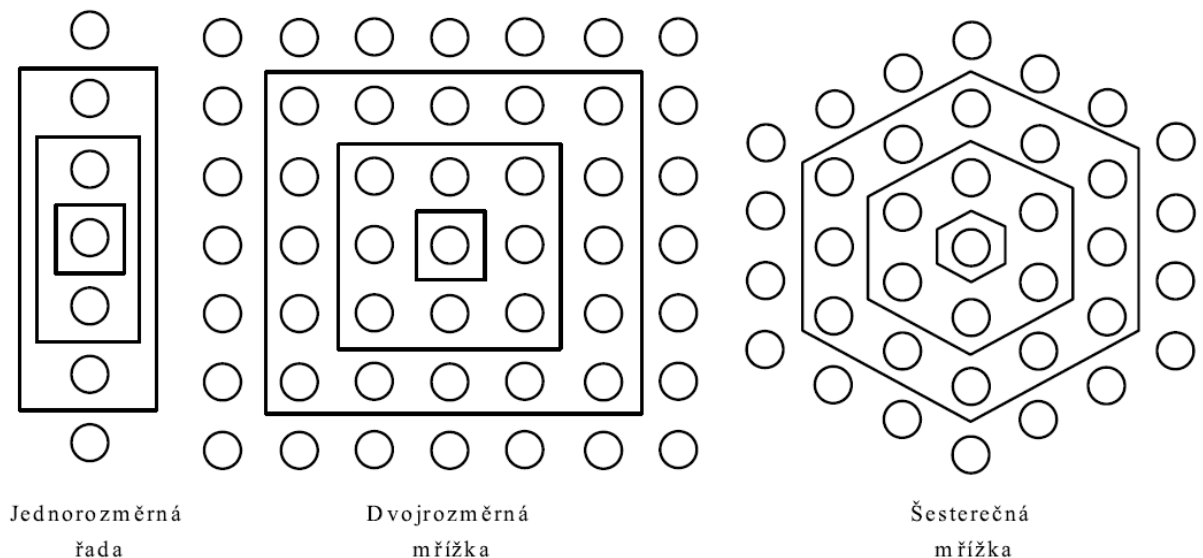
Zdroj: [27]



Následující dvě metody lze použít jako alternativní přístup pro shlukování. U Kohonenovy mapy neurony představují shluky a v genetickém algoritmu  $k$ -průměrů jsou shluky zakódovány v jedincích.

### Kohonenova samoorganizační mapa

Jedná se o samoorganizující se mapu (SOM), která je vhodná pro analýzu dat. Je využitelná také pro detekování nových objektů, které se v učící množině ještě nevyskytovaly. Obsahuje pouze dvě vrstvy (vstupní a výstupní). Pro Kohonenovu mapu je charakteristická topologická struktura neuronů, která představuje sousednosti mezi neurony. Na obrázcích znázorňující odlišné topologie jsou zvýrazněna sousedství neuronů pomocí plných čar o délkách jedna, dva a tři.



Obrázek 5 – Topologie, Zdroj: [28]

Postup algoritmu:

1. Volba topologie, počtu neuronů  $K$ , koeficientu útlumu  $\alpha$ , okolí  $h$  a podmínky ukončení.
2. Vstupní trénovací množina  $x_i, i = 1, 2, \dots, N$ .
3. Inicializace vah náhodnými hodnotami  $w_j, j = 1, 2, \dots, K$ .
4. Vyhledání nejbližšího  $i$ -tého neuronu pro  $x_i$

$$i^* = \arg \min_i \|x - w_i\|.$$

5. Upravení všech vah neuronů, které se nacházejí v okolí vítězného neuronu

$$w_i(t + 1) = w_i(t) + \alpha(t) \times h(i^*, i) \times [x(t) - w_i(t)].$$

6. Návrat na krok 4, případné zmenšení okolí  $h$ , zmenšení koeficientu útlumu  $\alpha$  a testování ukončení učení.

Kroky algoritmu jsou také znázorněny vývojovým diagramem (viz příloha A). Na začátku učení je doporučováno nastavit koeficient učení  $\alpha$  blízký jedné a postupem času ho snižovat až na hodnotu blízkou nule. Díky tomuto postupu lze zlepšit pozice neuronů. Velikost okolí by měla ze začátku pokrývat přibližně polovinu všech neuronů a je rovna nule v případě, že se jedná o aktuální neuron.

Naučenou Kohonenovu mapu lze využít ke shlukové analýze. Při předložení vstupního vektoru Kohonenova mapa spočítá, který neuron je nejbližší k vektoru. Současně vrací jeho index představující shluk.

Zdroj: [27], [28], [29]

### Genetický algoritmus $k$ -průměrů

Jak už z názvu vyplývá, jde o hybridizovaný genetický algoritmus, který využívá algoritmu  $k$ -průměrů a genetického algoritmu. Na rozdíl od genetického algoritmu již nemusí obsahovat krok křížení. Kroky algoritmu jsou:

1. Kódování.
2. Inicializace.
3. Selektce.
4. Mutace.
5. Operátor  $k$ -průměrů.

Vývojový diagram algoritmu je uveden v příloze A. Nejdříve je třeba zakódovat matici  $W$ , kde řádky představují jednotlivé objekty a sloupce shluky. Necht' existují objekty  $i = 1, 2, \dots, n$  a shluky  $h = 1, 2, \dots, k$ . Hodnoty v matici udávají příslušnost (váhu) objektu ke konkrétnímu shluku.

$$w_{ih} = \begin{cases} 1, & \text{když } i\text{-tý objekt je součástí } h\text{-tého shluku} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

Dále pro každý řádek musí platit rovnost

$$\sum_{h=1}^k w_{ih} = 1.$$

Při inicializaci se počáteční populace generuje náhodně a jedinci jsou náhodně přiřazeni ke shlukům. Může se dostavit stav, kdy shluk neobsahuje žádné objekty. Tento stav lze lehce eliminovat přiřazením do každého shluku pevného počtu objektů, který je menší než  $\frac{n}{k}$  a zbytek objektů se zařadí náhodně.

U selekce se vybírají náhodně jedinci, u kterých byla předem spočítána účelová funkce. Dle vypočítané účelové funkce dostane každý objekt pravděpodobnost, s jakou se dostane do nové populace. Tato strategie je pojmenovaná jako ruletová selekce.

$$p(s_i) = \frac{F(s_i)}{\sum_{j=1}^N F(s_j)},$$

kde

$F(s_i)$  – hodnota účelové funkce pro daný chromozom,

$p(s_i)$  – pravděpodobnost vybrání objektu do další generace,

$N$  – počet jedinců.

Ve čtvrtém kroku mutace se s přednastavenou pravděpodobností pro mutace mění hodnoty chromozomu v závislosti na vzdálenosti centroidu shluku od zkoumaného jedince. V případě, že je jedinec blíže k centroidu shluku, je pravděpodobnost zařazení do shluku vyšší. Pro určení vzdálenosti se používá euklidovská vzdálenost. Pravděpodobnost změny na jiný nebo aktuální shluk odpovídá rovnici

$$p_j = \frac{D_j}{\sum_{h=1}^k D_h}.$$

Může nastat situace, kdy shluk bude prázdný a je třeba kontrolovat, aby k této situaci nedocházelo.

Poslední krok je důležitý z důvodu, že selekce a mutace mohou být časově náročné a přiřazení do shluků je pravděpodobnostního rázu. Nejprve se spočítají středy shluků a poté se přeuspořádají objekty do příslušných shluků, ke kterým mají nejkratší vzdálenost. Opět může nastat situace výskytu prázdných shluků.

$$c_{hl} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_{ih} x_{il})}{\sum_{i=1}^n w_{ih}},$$

kde

$c_{hl}$  – centroid shluku,

$x_{il}$  – hodnota  $l$ -té proměnné u  $i$ -tého objektu,

$w_{ih}$  – hodnota váhy matice,

$n$  – počet objektů.

Zdroj: [27], [28], [29]

## 2.2 Popis 2. metody (hybridní fuzzy metoda)

### 2.2.1 Fuzzy časové řady

V posledních několika desetiletích dosáhly výzkumy časových řad velkého pokroku při hledání predikcí. V logice a v klasické matematice se množiny definují dichotomicky. Členství prvku je booleovská hodnota na množině  $\{0, 1\}$ . Při řešení úloh, kde je třeba zařadit lidi do kategorií dle výšky {malý, střední, vysoký}, je často zařazení jedince do konkrétní kategorie nepřesné. Roku 1965 navrhl matematik Lotfi Zadeh fuzzy logiku, kde se obor hodnot vyskytuje v intervalu  $[0, 1]$ . Fuzzy sady nemají žádné hranice a obvykle se překrývají. Na příkladě s výškou lze stanovit, že osoba je středně vysoká a střední zároveň nebo má 90% příslušnost ke střední kategorii a 10% příslušnost k vysoké kategorii.

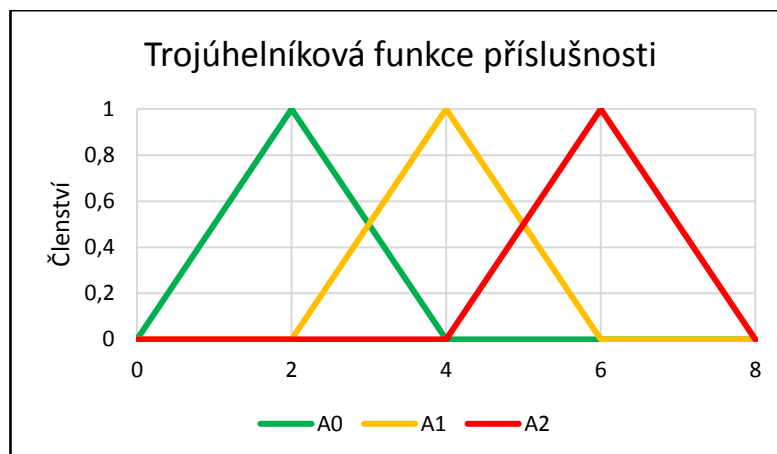
Průkopnickou práci na téma fuzzy časových řad vydali Song a Chisson roku 1993. Cílem je rozdělit univerzum<sup>7</sup> časových řad na intervaly a naučit se, jak se každý interval chová. Metodika fuzzy časových řad se dělí na část trénování a předvídání.

Kroky trénování:

1. Nejprve je třeba zjistit univerzum  $U$  z trénovacích dat  $U = [\min(X), \max(X)]$ . Obvykle se extrapoluje horní a dolní hranice o 20 % pro bezpečnostní účely.
2. V dalším kroku se rozdělí univerzum na několik překrývajících se intervalů většinou s odlišnou šířkou. Počet intervalů patří k nejdůležitějším parametrům fuzzy časových řad, který se přímo projevuje na přesnosti modelu. Intervaly jsou popsány pomocí lingvistické proměnné  $\tilde{A} = \{A_0, A_1, A_2, \dots, A_N\}$ .

---

<sup>7</sup> Univerzum je množina všech prvků, které jsou relevantní v rámci daného kontextu (domény, problému).



Obrázek 6 – Příklad rozdělení univerza, Zdroj: [vlastní]

3. Třetím krokem je fuzzifikace, ve které se trénovací číselné hodnoty  $X(t)$  převádí na lingvistické proměnné  $\tilde{A}$ , což vede k fuzzy časové řadě  $F(t)$ . Jelikož se fuzzy sady překrývají, tak pro každé  $x \in X(t)$  je možné, že patří do více než jedné fuzzy množiny.
4. Vytvoření dočasných vzorů ve formátu „předchůdce  $\rightarrow$  následník“ na základě trénovacích dat například:

$$A0 \rightarrow A1,$$

$$A0 \rightarrow A2,$$

$$A1 \rightarrow A0,$$

$$A1 \rightarrow A1,$$

$$A2 \rightarrow A1.$$

Kroky předvídání:

1. Vstupní hodnota  $X(t)$  je převedena na fuzzy hodnotu lingvistické proměnné  $\tilde{A}$ , čímž se vygeneruje například  $A1$ .
2. Poté se nalezne vhodné pravidlo z vytvořených vzorů předchůdce  $\rightarrow$  následník. Důsledkem pravidla bude fuzzy předpověď pro  $t + 1$ . Pro  $A1$  existují dvě možnosti  $A0$  a  $A1$ .
3. Posledním krokem předvídání hodnot je defuzzifikace. Je třeba konvertovat  $f(t + 1)$  na číselnou hodnotu. Jednou z metod může být určení centra těžiště, kdy se ze všech možných následníků spočítají středy fuzzy intervalů a zprůměrují se.

Zdroj: [37]

## 2.2.2 Metoda genetického algoritmu založená na fuzzy časových řadách

Jak z názvu plyne, tento algoritmus využívá vlastnosti fuzzy časových řad a genetického algoritmu. Je tvořen osmi kroky:

1. Nejprve se spočítají denní procentuální přírůstky z trénovacích dat a určí se rozsah univerza.
2. Zakódování. Chromozomy jednotlivců v populaci představují různá rozdělení intervalů z univerza  $U = (-\infty, v_1] \cup (v_1, v_2] \cup \dots \cup (v_n, +\infty)$ , kde  $n$  je počet intervalů.
3. Výpočet fitness funkce pomocí kvadratického průměru

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (skutečnost_t - predikce_t)^2}{N}}$$

Predikované hodnoty se dají určit z normalizované váhové matice  $W$ , která obsahuje v řádcích a sloupcích lingvistické proměnné a hodnoty definují pravděpodobnost přechodů mezi nimi. Matice může vypadat následovně:

$$\begin{matrix} A_0 & \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ A_1 & \\ A_2 & \end{matrix}$$

4. Proces selekce. Jedná se o výběr jedinců z populace, kteří by měli mít vysokou fitness hodnotu. Nejčastěji se používá metoda turnaje nebo ruletového kola. U metody turnaje se vybírá náhodně  $m$  jedinců, kteří se sebou soupeří, a do další fáze se vybírají dva nejlepší (největší fitness hodnota).
5. Po selekci se přechází ke křížení jedinců. Náhodně se vybere krajní hodnota (dělicí bod  $sp_p$ ) z intervalů a noví dva jedinci vzniknou tak, že chromozomy jedinců jsou tvořeny kombinací dvou částí rodičů. Vzniklí jedinci vypadají takto:  $U = [\min(X), \max(X)]$

$$\begin{aligned} & (-\infty, v_{1,1}] \cup (v_{1,1}, v_{1,2}] \cup \dots \cup (sp_{1,i}, sp_{2,j+1}] \cup \dots \cup (v_{2,n_2}, +\infty), \\ & (-\infty, v_{2,1}] \cup (v_{2,1}, v_{2,2}] \cup \dots \cup (sp_{1,i}, sp_{2,j+1}] \cup \dots \cup (v_{1,n_1}, +\infty), \end{aligned}$$

kde

$v_{1,2}$  – druhý interval prvního rodiče,

$sp_{1,i}$  – dělicí bod prvního rodiče,

$n_2$  – počet intervalů druhého rodiče.

6. Proces mutace. Mutačním procesem je implementace variace na potomstvo po křížení s pravděpodobností  $P_M$ . V rámci mutace mohou nastat tři možnosti. Je nutné provést případné opravy, aby chromozomy pokrývaly celou šíři univerza.
  - a. Vložení. Náhodně se vygeneruje dělicí bod z intervalu  $U = [\min(X), \max(X)]$ , vytvoří se nový interval a vloží se do chromozomu.
  - b. Odstranění. V případě, že je chromozom tvořen více než jedním intervalem, je vygenerován dělicí bod a příslušný interval je z chromozomu odstraněn.
  - c. Variace. Náhodně je vybrán dělicí bod intervalu a je mu změněna hodnota.
7. Ukončovací podmínka. Kroky 3–6 se opakují do doby, kdy nastane ukončovací podmínka. Může jí být počet iterací, dosažená přesnost nebo absence zlepšení potomstva v několika iteracích.
8. V posledním kroku je vybrán nejlepší jedinec, který se používá pro predikci hodnot.

Zdroj: [38], [39]

### 2.3 Popis 3. metody (algoritmy technické analýzy)

V této části se budeme věnovat metodám, které nejsou součástí teorie časových řad. Tzv. technická analýza shromažďuje mnoho přístupů pro hodnocení investic a identifikaci obchodních příležitostí. Tyto metody a přístupy nelze řadit mezi metody statistické, neboť odhady z nich vycházející nejsou založeny na kritériích. Technická analýza se zaměřuje na pohyby cen, obchodní signály a další analytické nástroje sloužící pro vytváření grafů. Nejčastěji se používá pro analýzu akcií, budoucnosti, komodit, měn a cenných papírů.

Technická analýza vznikla na konci 18. století díky Charlesu Dowovi a jeho Dowově teorii. Techničtí analytici se domnívají, že minulé obchodní aktivity a změny cen mohou poskytovat budoucí ukazatele pohybů cen. Dle Charlese Dowa nejsou pohyby cen čistě náhodné, ale pohybují se v identifikovatelných vzorech a trendech, které mají tendenci se v průběhu času opakovat. Opakující se trendy mohou být krátkodobé i dlouhodobé. Dnešní technická analýza je založena na třech hlavních předpokladech:

1. Veškeré informace jsou diskontovány na trhy a promítnuty do cen akcií a indexů.
2. Ceny se pohybují v trendech.
3. Historie má tendenci se opakovat.

Mezi běžně používané technické ukazatele patří trendové linie, grafy, oscilátory, klouzavé průměry a ukazatele hybnosti.

Zdroj: [36]

### 2.3.1 Klouzavé průměry

Technický indikátor klouzavého průměru ukazuje průměrnou hodnotu za určité časové období. Nejprve je spočítán první průměr a při dalších vypočítaných průměrech celkový klouzavý průměr buď roste, nebo klesá. Existují základní čtyři klouzavé průměry: jednoduché (aritmetické), exponenciální, vyhlazené a vážené. Klouzavý průměr lze vypočítat pro jakýkoli soubor sekvenčních dat a často se používá dvojí klouzavý průměr. V obchodní sféře se využívají pro detekci vrcholu, případně dna, aby bylo možné efektivně prodávat, resp. nakupovat. Jsou využívány také jako ukazatele sloužící pro indikaci klesajícího a rostoucího trendu. Pokud indikátor klesne pod svůj klouzavý průměr, je pravděpodobné, že trend bude nadále klesat.

#### Jednoduchý klouzavý průměr (SMA)

Nazývá se jednoduchý díky jednoduchosti výpočtu. Aritmetický klouzavý průměr se počítá sčítáním cen instrumentu za určitý počet jednotlivých období (například 1 den). Nakonec se hodnota vydělí počtem takových období

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^N (CP_i)}{N},$$

kde

$CP_i$  – uzavírací cena,

$N$  – počet periody.

#### Exponenciální klouzavý průměr (EMA)

Exponenciální vyhlazený klouzavý průměr se vypočítá připočtením určitého podílu současné uzavírací ceny k předchozí hodnotě klouzavého průměru. Nejnovější ceny jsou cennější, protože nejvíce ovlivňují výsledek klouzavého průměru

$$\alpha = \frac{2}{(N + 1)},$$

$$EMA = \alpha \times CP_t + (1 - \alpha) \times EMA_{t-1},$$

kde



$\alpha$  – multiplikátor,

$EMA_{t-1}$  – předchozí hodnota,

N – počet periody,

$CP_t$  – aktuální uzavírací cena.

### **Vyhlazený klouzavý průměr (SMMA)**

Vyhlazený klouzavý průměr je podobný SMA s dvojnásobným vyhlazovacím účinkem. První hodnota se vypočítá jako jednoduchý klouzavý průměr. Další hodnoty se už vypočítají následovně:

$$SMMA = \frac{SMMA_{t-1} \times (N - 1) + CP_t}{N},$$

kde

$SMMA_{t-1}$  – předchozí hodnota,

N – počet periody,

$CP_t$  – aktuální uzavírací cena.

### **Lineárně vážený klouzavý průměr (LWMA)**

Lineární vážený klouzavý průměr přisuzuje novějším cenám větší váhu. Vypočítá se vynásobením každé z konečných cen v uvažované řadě jistým váhovým koeficientem. Jeho výhodou je rychlejší detekce zvrácení trendu, ale může více zkreslovat informace. Vypočítá se vzorcem:

$$LWMA = \frac{\sum_{i=1}^N (CP_i \times i)}{\sum_{i=1}^N (i)},$$

kde

$CP_i$  – uzavírací cena,

N – počet periody.

Zdroj: [33], [34]

### 2.3.2 ROC (Rate of Change)

ROC představuje rychlost změny sledované proměnné za určitou periodu času. Graficky se ROC znázorňuje sklonem linie. Značí se řeckým písmenem  $\delta$  (delta). Většinou se popisuje procentuální změnou za periodu času.

$$ROC = \left( \frac{\text{aktuální hodnota}}{\text{předchozí hodnota}} - 1 \right) \times 100.$$

Na forexovém trhu představuje „předchozí hodnota“ cenu kurzu před specifickou periodou (například 14 dní). V případě, že ROC nabývá kladné (resp. záporné) hodnoty, se sledovaná proměnná zvýšila (resp. snížila) a graficky převažuje rostoucí (resp. klesající) trend. ROC metoda pro generování signálu nákupu a prodeje je založena na délce periody času a velikosti hranice. Při překročení kladné hranice se generuje signál prodeje a při poklesu pod spodní hranici se generuje signál nákupu.

Zdroj: [18]

### 2.3.3 MACD (Moving Average Convergence Divergence)

MACD je indikátor zabývající se vztahem mezi 2 klouzavými průměry. Nejčastěji je MACD vypočítán odečtením 26periodového exponenciálního klouzavého průměru (EMA) od 12periodového. Z vytvořené MACD linie je následně určena 9periodová „signálová linie“, která slouží ke generování signálů nákupu / prodeje. Signál je vygenerován v okamžiku, kdy dojde k bodu křížení mezi MACD a signálovou linií. V případě, že signálová linie přechází nad MACD linii, je vygenerován signál nákupu. Jestliže signálová linie klesá pod MACD linii, generuje se signál prodeje. Vysoká rychlost přechodu v bodě křížení poskytuje informaci o překoupeném nebo přeprodaném trhu. Pro první výpočet je možné použít:

$$EMA = SMA = \frac{\sum_i^N (cp_i)}{N},$$

$$\alpha = \frac{2}{(N + 1)},$$

$$EMA(t) = \alpha \times CP(t) + (1 - \alpha) \times EMA(t - 1),$$

$$MACD = EMA(12) - EMA(26),$$

kde

$\alpha$  – multiplikátor,

t – aktuální perioda,

N – počet periody,

CP – uzavírací cena,

*EMA(12)* – exponenciální klouzavý průměr odpovídající 12 periodám,

*EMA(26)* – exponenciální klouzavý průměr odpovídající 26 periodám.

Zdroj: [19]

## 3 ANALÝZA A NÁVRH APLIKACE

### 3.1 Požadavky

Analýza projektu obvykle začíná sběrem požadavků, jež lze definovat jako seznam věcí, které by měly být implementované. Rozlišují se dva typy požadavků, a to funkční a nefunkční. Je-li také nelze definovat všechny požadavky na začátku vývoje softwaru, doplňují se požadavky i v dalších fázích vývoje.

#### 3.1.1 Funkční požadavky

Funkční požadavky určují veškeré chování aplikace, které bude poskytováno uživateli. Byly zařazeny do tří kategorií týkajících se GUI, metod a kurzů měn.

GUI
<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> + R1 – Aplikace bude umožňovat import dat.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R2 – Aplikace bude umožňovat export dat.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R3 – Aplikace bude umožňovat zobrazení dat v grafu.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R4 – Aplikace bude umožňovat smazání grafů.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R5 – Aplikace bude poskytovat informace o autorovi.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R6 – Aplikace bude poskytovat přístup k uživatelské příručce.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R7 – Aplikace bude umožňovat ukládání změn po zavření aplikace.</li></ul>

Obrázek 7 – Funkční požadavky – GUI, Zdroj: [vlastní]

Metody
<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> + R20 – Aplikace bude umožňovat nastavení vstupních parametrů pro metody.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R21 – Aplikace bude generovat signály k nákupu resp. k prodeji.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R22 – Aplikace bude poskytovat charakteristiky měřící úspěšnost obchodování založeného na vytvořené metodě.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R23 – Aplikace bude umožňovat přerušení výpočtu algoritmu.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R24 – Aplikace bude umožňovat nastavení držení délky pozice, stop loss a stop win.</li></ul>




Obrázek 8 – Funkční požadavky – Metody, Zdroj: [vlastní]

Kurzy měn
<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> + R40 – Aplikace bude umožňovat načítání aktuálních kurzů měn.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R41 – Aplikace bude umožňovat zobrazovat kurzy měn v závislosti na různém základu.</li><li><input checked="" type="checkbox"/> + R42 – Aplikace bude poskytovat možnost zadání API klíče pro načítání aktuálních dat od firmy Fixer.io.</li></ul>

Obrázek 9 – Funkční požadavky – Kurzy měn, Zdroj: [vlastní]

### 3.1.2 Nefunkční požadavky

Nefunkční požadavky jsou požadavky na vlastnosti softwaru. Mezi vlastnosti se řadí omezující podmínky, bezpečnost, výkon atd.

Aplikace	
	+ R100 – Aplikace bude umět načítat historická data z CSV souborů s jednotnými formáty sloupců.
	+ R101 – Aplikace upozorní uživatele na chybné vstupy.
	+ R102 – Aplikace bude získávat data o aktuálních kurzech ve formě JSON objektu.

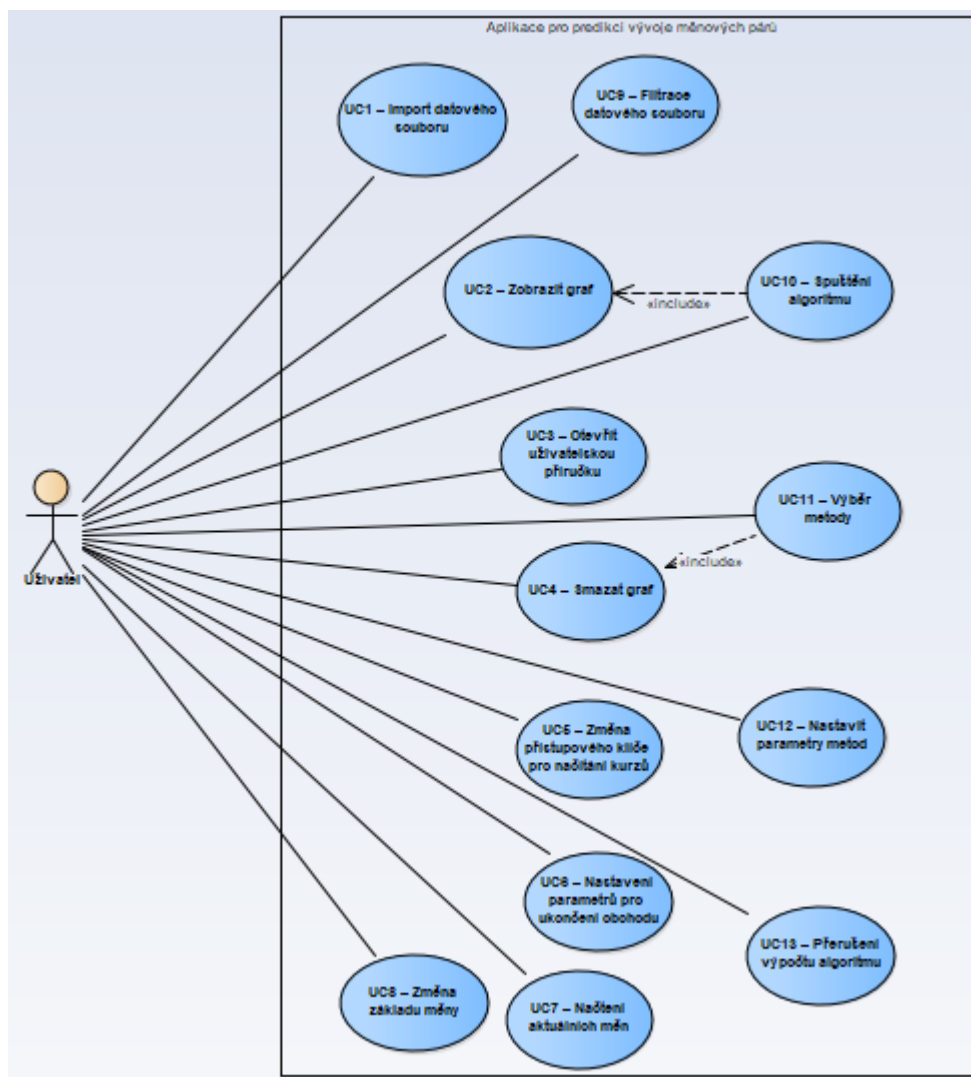
Obrázek 10 – Nefunkční požadavky – Aplikace, Zdroj: [vlastní]

## 3.2 Aktéři

Aktér specifikuje roli, kterou může představovat osoba či jiný systém pracující s naší aplikací. Aplikace slouží pouze pro jediného uživatele a žádná jiná aplikace ji nebude používat, tudíž jediným aktérem je onen uživatel.

## 3.3 Případy užití

Modelování případů užití poskytuje doplňkový způsob získávání a dokumentování požadavků. Případy užití definují seznam akcí, které aktéři mohou provádět nad daným systémem. Aktér vždy inicializuje případ užití a jsou psány z pohledu aktéra. Jelikož je jediným aktérem uživatel, je propojený se všemi případy užití, které může vykonávat.



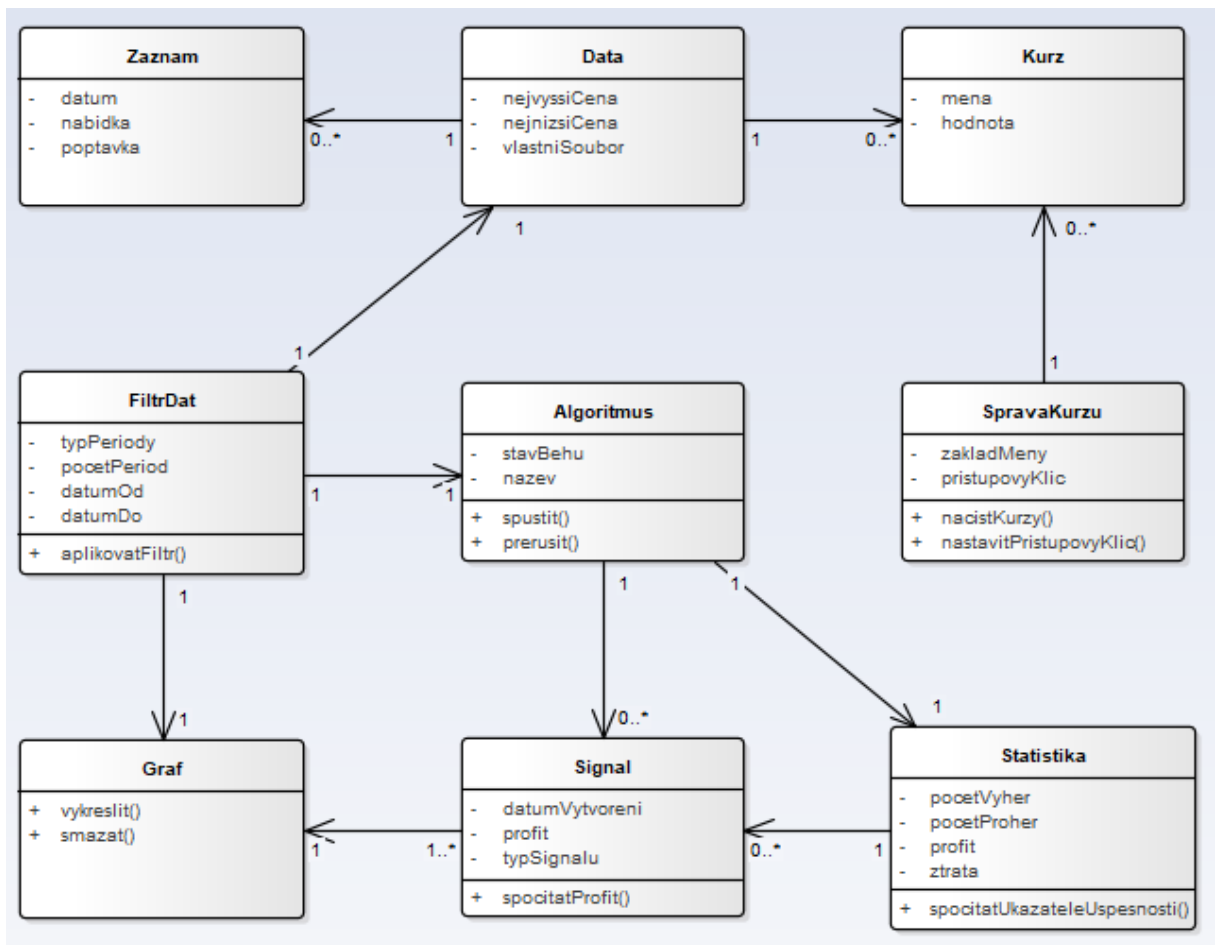
Obrázek 11 – Případy užití, Zdroj: [vlastní]

### 3.4 Analytické třídy

Poté, co je provedena analýza případů užití, se přechází na tvorbu analytických tříd, jež by měly reprezentovat určitý pojem skutečného světa. Musí vždy obsahovat název třídy, atributy a operace. Neobsahují však všechny operace a atributy, ale pouze ty nejdůležitější. Dobrá analytická třída by neměla mít velký počet vazeb na jiné třídy a název by měl odrážet její účel. Analytické třídy se vytváří pomocí hledání podstatných jmen a sloves, techniky štítků CRC nebo hledáním stereotypů metodiky RUP.

Pro tvorbu aplikace byla zvolena metoda hledání podstatných jmen a sloves. Zdroj informací představuje samotné zadání práce a odborné konzultace s vedoucím. Výsledný graf tvorby analytických tříd je znázorněn na následujícím obrázku.

Zdroj: [41]



Obrázek 12 – Analytické třídy, Zdroj: [vlastní]

## 4 IMPLEMENTACE APLIKACE

Aplikace je vytvořena v programovacím jazyce Java s užitím vývojového prostředí NetBeans. Pro tvorbu GUI byla použita softwarová platforma JavaFX pomocí grafického designeru JavaFX Scene Builder. JavaFX je rozšířenější a modernější než starší Swing.

Aplikace slouží pro testování metodik založených na různých principech. Shlukovací algoritmy a hybridní algoritmus mají rozdělena vstupní data pro učení a pro testování. První dvě třetiny jsou určené pro učení algoritmu a zbývající jedna třetina slouží pro generování signálů nákupu a prodeje. Následně jsou výsledky z testování zobrazeny v aplikačním logu a podrobněji v textovém souboru.

Levá část grafického uživatelského rozhraní zobrazuje aktuální kurzy 168 měn. Data pochází ze stránky Fixer.io, která poskytuje bezúplatně pro neprofitující projekty nadstandardní podmínky. Přenášená data jsou poskytována prostřednictvím REST API, kde je třeba zadat do požadavku přístupový klíč, který lze zdarma vygenerovat na jejich stránkách, ale poskytuje zdarma pouze hodinové změny kurzů. Do aplikace lze vložit vlastní přístupový klíč a nastavit jej pro zpřístupňování dat. Kurzy lze zobrazovat o základech EUR, USD, JPY a CZK.

V horní části jsou 3 skupiny algoritmů, které generují odlišnými způsoby signály nákupu a prodeje. Po výběru příslušné metody se objeví v pravé části seznam parametrů algoritmu.

V pravém horním rohu je sektor zabývající se vstupními daty. Aplikace umožňuje import vlastního souboru s daty, pokud splňuje správné formátování. Jelikož vstupní soubory mohou obsahovat velmi podrobná data (například minutové), je možné vyfiltrovat pouze určité intervaly výběrem typu periody a počtu jednotek. Dále je možné omezit rozsah dat nastavením počátečního a koncového datumu.

Pravá část aplikace se zabývá metodami, z toho pro každou je třeba definovat způsob ukončení signálu nákupu, resp. prodeje. Signál se ukončí na základě tří způsobů. Jednou z možností ukončení signálu je vypršení délky pozice. Hodnota délky pozice je závislá na vybraném typu periody. Mezi zbývající dva způsoby uzavření obchodu patří stop win a stop loss. Stop win nastane v situaci, kdy v daný okamžik máme jistotu výdělku o zadané procento z obchodu. V opačném případě, pokud je aktuální obchod ztrátový o zadané procento stop lossu, je obchod ukončen s přijatou ztrátou.

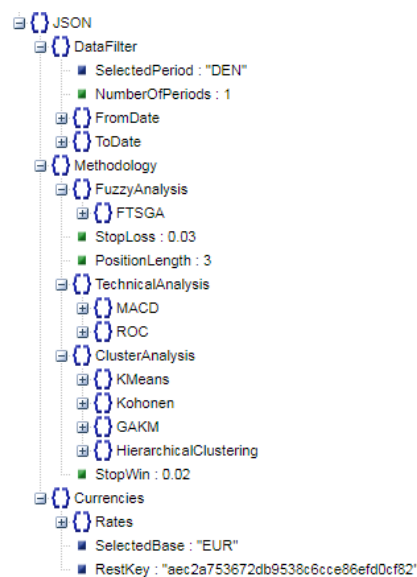


Prostřední oblast aplikace zobrazuje dva grafy. Na prvním grafu jsou zobrazována data z vybraného období. Při užití algoritmu MACD jsou navíc zobrazeny v horním grafu exponenciální klouzavé průměry a ve spodním grafu MACD se signální linií.

Spodní část obsahuje log, který vypisuje výsledky průběhu spouštěných algoritmů. Každé spuštění algoritmu je popsáno vstupními daty, ukončovacími signály, vstupními parametry metody a statistiky úspěšnosti.

## 4.1 Model

Většina parametrů, které se zadávají v aplikaci, je ihned uložena do modelu. V případě parametrů sloužící pro běh metod se nastaví až po spuštění algoritmu a jeho řádném dokončení. Po ukončení aplikace se celý model zapíše do JSON souboru s názvem „Settings.json“. Na začátku spuštění programu se model s parametry načte do paměti. Je to přínosné z hlediska uložení práce, kdy uživatel nemusí stále zadávat stejné parametry do aplikace. Parametry týkající se výběru vlastního souboru se neukládají.



Obrázek 13 – Struktura ukládaných parametrů, Zdroj: [vlastní]

## 4.2 Načítání kurzů

Načítání aktuálních kurzů probíhá přes REST API ze stránky Fixer.io, která poskytuje zdarma data v hodinových intervalech. Při koupi lepšího balíčku nebo při využití na neprofitujícím projektu lze odebírat data maximálně minutu stará. Fixer.io dle přiřazeného balíčku omezuje počet volání měsíčně, a proto byla vytvořena metoda zamezující volání GET požadavku v krátkých časových intervalech pomocí udržování posledního data, kdy se služba naposledy

volala. V každém volání služby je nutné zasílat přístupový klíč, který je součástí účtu. V případě nefunkčnosti výchozího klíče v aplikaci si uživatel vytvoří zdarma účet s přístupovým klíčem, který si nastaví v aplikaci. Odpověď přichází ve formátu JSON souboru, který je třeba zpracovat. Ke zpracování JSON souboru slouží knihovna `org.json.jar`. Příklad volání požadavku s přístupovým klíčem:

- [https://data.fixer.io/api/latest?access\\_key=aec2a753672db9538c6cce86efd0cf82](https://data.fixer.io/api/latest?access_key=aec2a753672db9538c6cce86efd0cf82).

### 4.3 Filtr dat

Vstupní soubory s daty se často liší intervaly času mezi záznamy. Algoritmy mají různou úspěšnost dle charakteru vstupních dat. Proto byla vytvořena třída, která udržuje parametry pro filtrování dat:

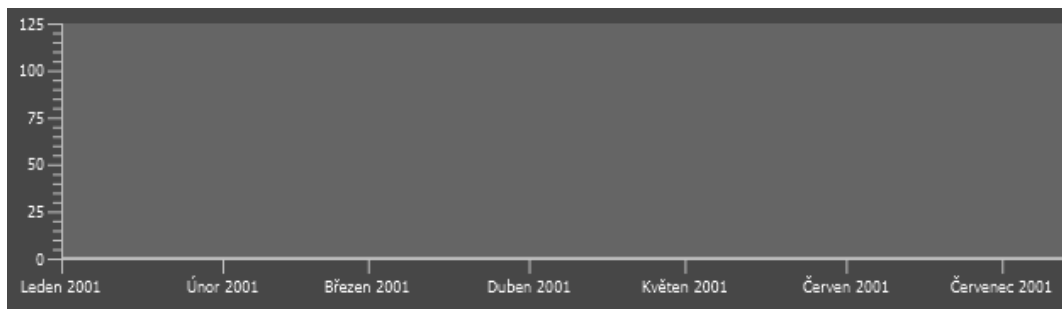
- typ periody,
- počet period,
- datum od,
- datum do
- a příznak užití vlastního souboru.

S těmito vlastnostmi je možné vyfiltrovat data a zaslat algoritmům upravená data dle těchto parametrů. Typ periody umožňuje filtrování podle roku, měsíce, dne, hodiny nebo minuty. K selekci dat s intervalem 30 minut stačí zadat typ periody na minuty a počet period na hodnotu 30. V situaci, kdy parametr počet periody převýší adekvátní hodnotu pro typ periody, je počet period nastaven na nejvyšší možnou hodnotu, viz zdrojový kód v příloze C. Aplikace obsahuje historické datové soubory kurzu EUR / USD pro roky 2000–2018, které slouží pro testování metod.

### 4.4 Graf

Pro zobrazování dat v JavaFX slouží komponenta *LineChart*. V aplikaci se zobrazují zpracovávaná data a exponenciální klouzavé průměry metody MACD. Na vodorovné ose  $x$  bylo

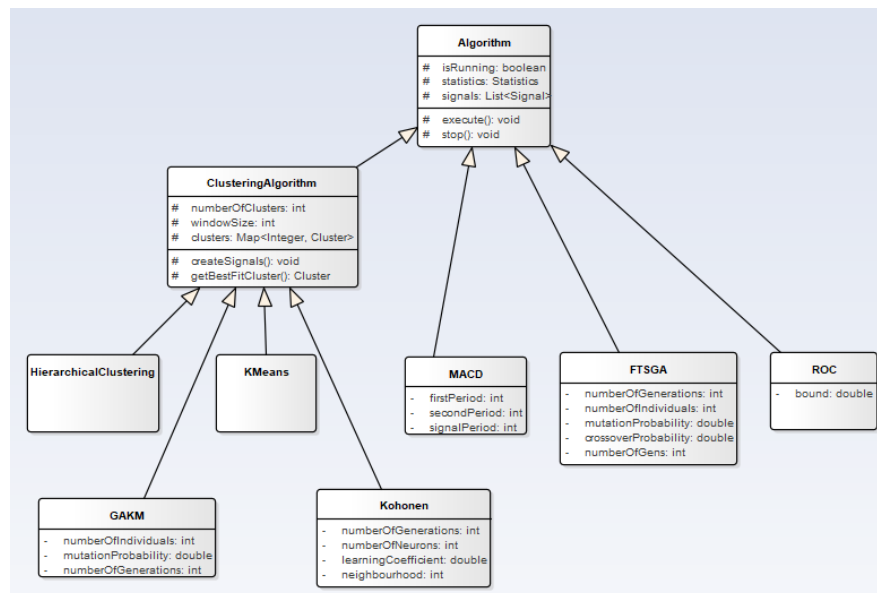
třeba zobrazovat datum v uživatelsky přívětivé formě, kterou poskytuje třída vytvořená uživatelem *hansolo*<sup>8</sup>. Komponenta pro vykreslování grafů s pomocnou třídou dokáže také zobrazit popisky na ose *x* například dle následujícího obrázku.



Obrázek 14 – Osa *x* grafu, Zdroj: [vlastní]

## 4.5 Algoritmy

Při implementaci algoritmů je vhodná dědičnost tříd z důvodu užití stejných parametrů a metod. Všechny implementované algoritmy obsahují metody *execute* a *stop* spolu s atributy. Čtyři algoritmy se zabývají shlukováním, z čehož plyne opět užití dědičnosti. Pro každou metodu existuje FXML soubor obsahující implementaci panelu s parametry. Při výběru metody se odpovídající panel zobrazí v GUI.

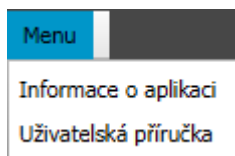


Obrázek 15 – Uspořádání algoritmů, Zdroj: [vlastní]

<sup>8</sup> <https://bitbucket.org/hansolo/dateaxis310/downloads/>

## 5 UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA

Aplikace je otestována na operačním systému Windows 10 s rozlišením 1600 × 900. Celkový pohled na aplikaci je umístěn v příloze B. V levém horním rohu se nachází menu obsahující základní informace o aplikaci (autor, kontakt a datum vytvoření) a odkaz na tuto uživatelskou příručku.



Obrázek 16 – Menu, Zdroj: [vlastní]

### 5.1 Kurzy

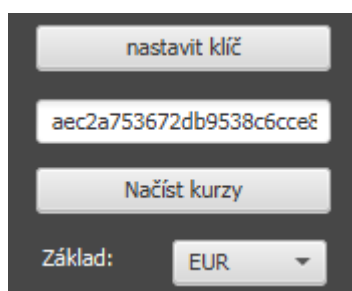
Pro načítání aktuálních kurzů je použito REST API ze stránky fixer.io, kde poskytují 168 druhů kurzů. V bezplatné verzi poskytují data aktualizovaná každou hodinu.

Kurz	Hodnota
AED	4.115533
AFN	87.679241
ALL	120.913163
AMD	533.883446
ANG	1.999532
AOA	398.393571
ARS	50.996655
AUD	1.656326
AWG	2.016896
AZN	1.910482
BAM	1.958851

Obrázek 17 – Kurzy, Zdroj: [vlastní]

Aby bylo možné obdržet data, je třeba používat přístupový klíč, který je zasílán spolu s požadavkem na REST API. Klíč je vázán k uživatelskému účtu, který má k sobě přiřazený

tarif dle výše platby. Účet s klíčem lze obdržet zdarma, ale jsou poskytovány omezené služby<sup>9</sup> a hodinové aktualizace kurzů. Ve výchozím nastavení aplikace komunikuje prostřednictvím přístupového klíče `aec2a753672db9538c6cce86efd0cf82`, u kterého byly vyjednány podmínky tarifu „professional plus“ pro neprofitující aplikace do října 2019. Tento tarif poskytuje aktuální data každou minutu. V případě, že výchozí klíč není funkční, je možné si založit vlastní účet s klíčem a nastavit jej v aplikaci. Kurzy měn jsou vždy vázány k základu měny (obvykle EUR, USD), který aplikace umožňuje nastavit a přepočítat hodnoty. Z kombinovaného seznamu lze vybrat základ pro měny EUR, USD, JPY a CZK.



Obrázek 18 – Nastavení kurzů, Zdroj: [vlastní]

## 5.2 Vstupní data

Algoritmy lze testovat na historických datech EUR / USD z období 1. 1. 2000 – 31. 12. 2018, která jsou součástí aplikace a poskytují změny kurzů až na jednotky minut. Je třeba brát ohled na skutečnost, že přiložená data neobsahují informace změn kurzů o víkendech. Vlastní výběr časového období musí splňovat podmínku, že datum „od“ je menší než datum „do“. Další alternativní možností testování algoritmů je importování vlastního CSV souboru. Importovaný CSV soubor musí splňovat následující formátování (datum, čas, nákup a prodej):

2.1.2006	19:00	1.181500	1.181700
2.1.2006	19:01	1.181600	1.181800
2.1.2006	19:02	1.181800	1.182000
2.1.2006	19:03	1.181800	1.182400
2.1.2006	19:04	1.182100	1.182200

Obrázek 19 – Příklad vlastního CSV souboru, Zdroj: [vlastní]

---

<sup>9</sup> Služby jsou přístupné na stránce <https://fixer.io/product>.

Pro použití vlastního souboru je třeba mít zaškrtnuté zaškrťovací políčko *Vlastní data*. Jelikož minutová data nejsou vždy nutná pro testování algoritmů, aplikace umožňuje filtrování dat dle počtu dané periody. Periodu lze nastavit na minuty, hodiny, dny, měsíce a roky. Pokud uživatele zajímají týdenní data, vybere typ periody den a počet 5 (musí se odečíst dva dny, protože víkendová data nejsou k dispozici). V situaci, kdy počet dané periody přesáhne maximální hodnotu pro periodu, je počet nastaven na maximální možnou hodnotu. (Pro typ periody den se nastaví na hodnotu 31). Vyfiltrovaná data lze zobrazit tlačítkem *Zobrazit data* v grafu, nebo má uživatel možnost vymazat grafy.

Obrázek 20 – Nastavení dat, Zdroj: [vlastní]

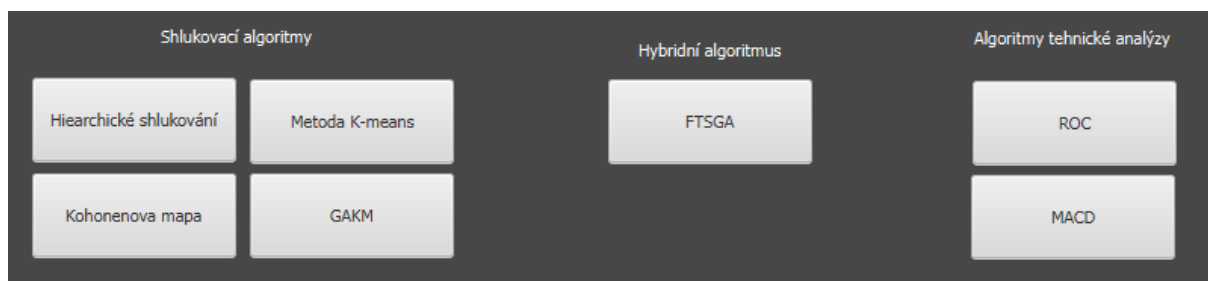
Ve střední části aplikace se vyskytují dvě okna pro grafy. V prvním okně se zobrazují vybraná data. V případě MACD se navíc zobrazují dva exponenciální klouzavé průměry. Druhé okno slouží pouze pro MACD algoritmus, kde se zobrazuje MACD a jeho signální linie.



Obrázek 21 – Grafy, Zdroj: [vlastní]

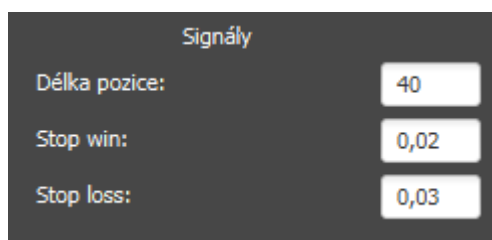
### 5.3 Algoritmy

Horní část grafického uživatelského rozhraní umožňuje výběr ze 3 skupin algoritmů. Shlukovací algoritmy se snaží zařadit části posloupností časových řad do shluků. Následně u shluků zjišťuje úspěšnosti predikce budoucích několika hodnot. V testovací fázi se nalezne nejlépe odpovídající shluk, podle něhož se generují signály nákupu a prodeje. Hybridní algoritmus využívá vlastnosti fuzzy časových řad a genetického algoritmu. Seskupuje přírůstky mezi dvěma po sobě jdoucími hodnotami do intervalů, ze kterých se snaží předpovědět budoucí hodnotu z jiného intervalu. Algoritmy technické analýzy používají indikátory exponenciálních klouzavých průměrů (MACD) nebo procentuálního přírůstku (ROC). Při spuštění algoritmů lze výpočet zastavit. Ukončení výpočtu algoritmů může v některých případech trvat delší dobu.



Obrázek 22 – Algoritmy, Zdroj: [vlastní]

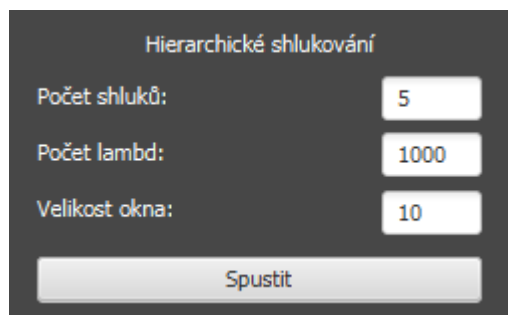
Každý algoritmus generuje na základě svých principů signály nákupu a prodeje. Obchod končí třemi různými způsoby – stop loss, stop win a vypršením délky pozice. Parametr stop loss je definován jako maximální ztráta, o kterou je obchodník schopen přijít. Na druhou stranu stop win nastane v situaci, kdy obchodníkovi stačí aktuální výdělek z obchodu. Stop win a stop loss jsou v aplikaci zadávány procentuálně (0,02 značí 2 %). Délka pozice je spjatá s vybranou periodou. Při periodě minuta a délce pozice 40 bude nejdéle za 40 minut obchod ukončen.



Obrázek 23 – Signály, Zdroj: [vlastní]

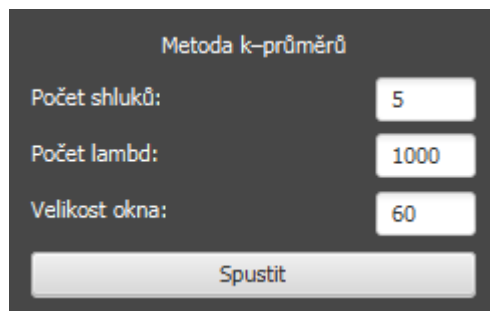
## Shlukovací algoritmy

U hierarchického shlukování každé časové okénko představuje samostatný shluk a poté dle vzdálenosti těchto shluků se postupně vytváří hierarchická struktura. Nakonec se provede řez, který vybere požadovaný počet shluků. Počet shluků určuje počet skupin, do kterých budou okénka časových řad zařazována. Parametr počet lambd slouží pro výpočet periodogramu, kde se snaží nalézt významné periody. Je doporučována hodnota vyšší než 500. Velikost okna popisuje, kolika daty bude časové okénko reprezentováno.



Obrázek 24 – Hierarchické shlukování, Zdroj: [vlastní]

Metoda  $k$ -průměrů obsahuje stejné parametry jako předchozí hierarchické shlukování s výjimkou principu vytváření shluků. Nejprve je vytvořen počet požadovaných shluků a opakují se kroky přesouvání časových okének do shluků na základě euklidovské normy a přepočítávání center shluků do doby, kdy nenastane žádný přesun.

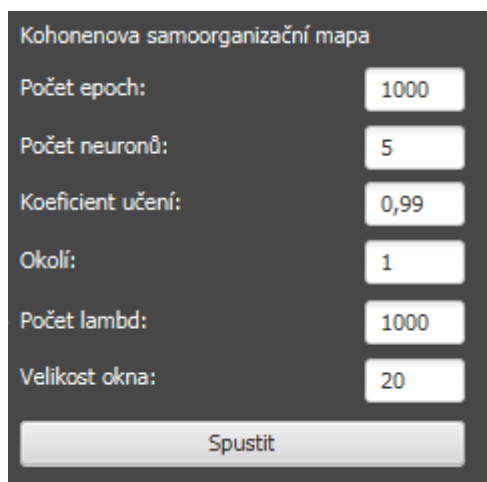


Obrázek 25 – Metoda  $k$ -průměrů, Zdroj: [vlastní]

Kohonenova samoorganizační mapa pochází z oblasti neuronových sítí. Počet neuronů odpovídá počtu shluků. Počet epoch by neměl být menší než 100, protože je třeba, aby se správně naučila. Koeficient učení by měl být nastaven na vysokou hodnotu (kolem 99 % neboli 0,99). Koeficientem se procentuálně ovlivňují okolní neurony a každou epochou je nastavován na 99 % své aktuální hodnoty. To znamená, že na konci výpočtu se budou pozice neuronů měnit jen nepatrně. Okolí lze nastavit pouze jako 0 nebo 1. V případě, že je okolí rovno jedné, přepočítávají se také kromě výherního neuronu pozice dvou okolních neuronů v případě, že existují.



tují. V polovině výpočtu algoritmu se okolí nastaví pevně na 0, čímž se v průběhu učení mění pozice pouze výherního neuronu.



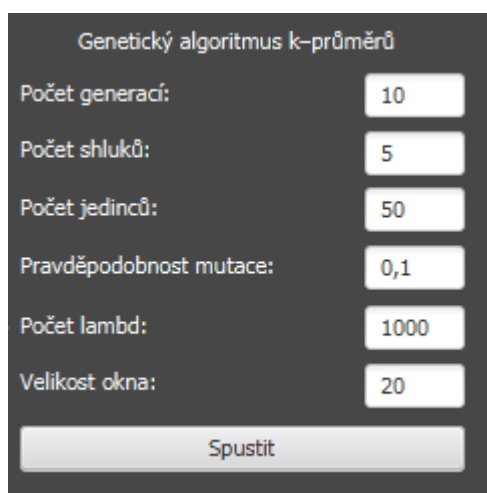
Kohonenova samoorganizační mapa

Počet epoch:	1000
Počet neuronů:	5
Koeficient učení:	0,99
Okolí:	1
Počet lambda:	1000
Velikost okna:	20

Spustit

Obrázek 26 – Kohonenova samoorganizační mapa, Zdroj: [vlastní]

Posledním algoritmem metodiky shlukování je genetický algoritmus  $k$ -průměrů. Kombinuje vlastnosti genetického algoritmu a metody  $k$ -průměrů. Z genetického algoritmu neobsahuje krok křížení, ale místo něho obsahuje operátor  $k$ -průměrů. Měl by dosahovat lepšího a rychlejšího zařazení do shluku než samotná metoda  $k$ -průměrů. Mutace bývá v rozmezí 1–10 %. Počet jedinců by měl být nastaven alespoň na 10 z důvodů možnosti výběru jedinců s vysokou schopností zařazení do nové generace.



Genetický algoritmus  $k$ -průměrů

Počet generací:	10
Počet shluků:	5
Počet jedinců:	50
Pravděpodobnost mutace:	0,1
Počet lambda:	1000
Velikost okna:	20

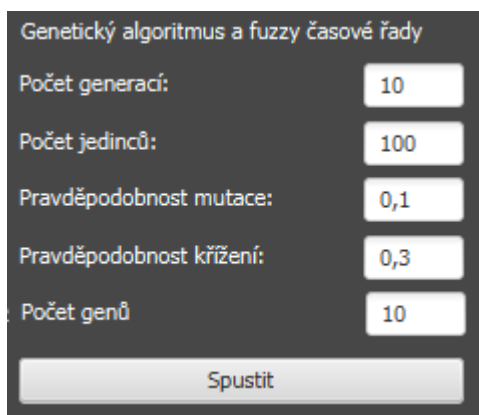
Spustit

Obrázek 27 – Genetický algoritmus  $k$ -průměrů, Zdroj: [vlastní]

### Hybridní algoritmus

Hybridní genetický algoritmus využívá fuzzy časové řady tak, že všechny procentuální přírůstky dvou po sobě jdoucích sledovaných dat se zařadí do intervalů a u každého intervalu jsou spočítány pravděpodobnostní přechody do jiných intervalů dle historických dat. Počet

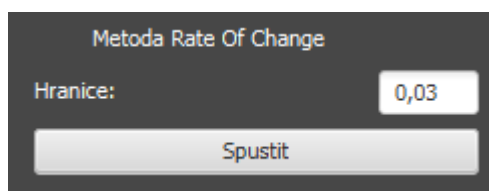
genů představuje počet intervalů v chromozomu jedince. Počet genů a hranice intervalů se mění v průběhu genetického algoritmu. Výběr jedinců probíhá turnajovým způsobem, kdy se náhodně vybere 5 jedinců ze stávající generace a nejlepší z nich se zařadí do nové generace.



Obrázek 28 – Genetický algoritmus a fuzzy časové řady, Zdroj: [vlastní]

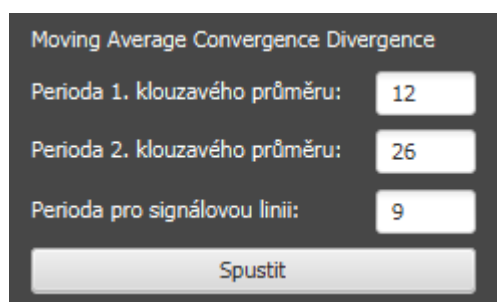
### Algoritmy technické analýzy

Metoda ROC generuje signály v situaci, kdy v určitém časovém horizontu nastane nárůst, nebo pokles o hodnotu hranice (0,03 odpovídá 3 %). Pokud překročí kladnou hranici, je generován signál nákupu, při poklesu pod spodní hranici se vygeneruje signál prodeje.



Obrázek 29 – Rate Of Change, Zdroj: [vlastní]

Poslední metoda využívá exponenciálních klouzavých průměrů. Druhá perioda musí být menší než první. Rozdílem dvou klouzavých průměrů vzniká MACD a z něj se vytvoří pomocí třetího exponenciálního klouzavého průměru signálová linie. Jakmile signálová linie přechází nad MACD, je vygenerován signál nákupu, v opačném případě signál prodeje. Jednotlivé klouzavé průměry spolu s MACD jsou zobrazeny v grafech.



Obrázek 30 – Moving Average Convergence Divergence, Zdroj: [vlastní]

Poslední část GUI tvoří log, kde se zobrazují výsledky algoritmů. Vypisují se informace o vstupních datech, ukončení obchodů, parametrů algoritmu a statistiky úspěšnosti. Výsledky se zapisují zároveň do souboru „výsledky.txt“, kde jsou navíc vypsány všechny signály s informací intervalu obchodu, typu počátečního signálu, způsobu ukončení a profit. Příklad výpisu signálu:

[7.1.2002 21:51:00 – 7.1.2002 22:21:00] SELL signál, typ ukončení: STOPWIN, profit: 0.0013

```
Statistiky pro algoritmus MACD(12, 26, 9)
Data z intervalu: 1.1.2018 - 31.12.2018
perioda: DEN
počet period: 1
délka pozice: 40
stop win: 0,02
stop loss: 0,03

--- Statistika ---
počet výher   počet proher   počet obchodů   win ratio   profit loss ratio   profit factor   stop loss   stop win   držené pozice
15            12             27              0,5556     0,8989             1,1237         4           9          14
```

Obrázek 31 – Výpis statistik v logu, Zdroj: [vlastní]

## 6 DISKUZE

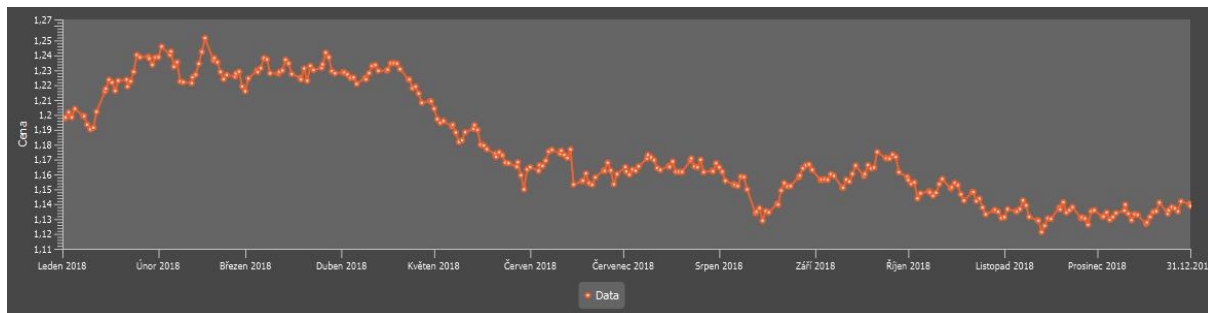
Abychom mohli porovnávat jednotlivé algoritmy mezi sebou, je třeba použít stejná vstupní data se stejnými parametry pro ukončení obchodu. V případě shlukovacích algoritmů je nezbýtné užití stejných parametrů počtu shluků, počtu lambda a velikosti časového okna. První dvě třetiny dat slouží pro učení algoritmu a z poslední třetiny dat se zpracovávají statistiky. U algoritmů ROC a MACD se zpracovávají výsledky z celého intervalu. Pro výpočet je třeba znát počet ziskových obchodů  $n_w$ , počet ztrátových obchodů  $n_l$ , celkový zisk  $P$  a celkovou ztrátu  $L$ . Statistiky úspěšnosti jsou vyjadřovány sedmi ukazateli:

- počet obchodů  $N_t$ ,  $N_t = n_w + n_l$ ,
- win ratio  $W_r$ ,  $W_r = \frac{n_w}{N_t}$ ,
- profit loss ratio  $PLR$ ,  $PLR = \frac{P \times n_l}{L \times n_w}$ ,
- profit faktor  $P_f$ ,  $P_f = \frac{P}{L}$ ,
- počet stop loss  $S_l$ ,
- počet stop win  $S_w$
- a délka pozice  $P_l$ .

Následující statistiky byly vytvořeny hledáním nejlepších parametrů pro testované metody.

### 6.1 Roční statistiky

Statistiky úspěšnosti algoritmů jsou testovány na třech odlišných časových intervalech (rok, měsíc, den). Následující parametry algoritmů s výsledky jsou získány za období jednoho roku v období 1. 1. 2018 – 31. 12. 2018.



Obrázek 32 – Zpracovávaná data (1 rok), Zdroj: [vlastní]

## Parametry shlukovacích algoritmů

**Tabulka 1 – Hierarchického shlukování (HC)**

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

**Tabulka 3 – K-means**

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

**Tabulka 2 – Kohonenova mapa**

Počet generací	1000
Počet neuronů	3
Koeficient učení	0,95
Okolí	1
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

**Tabulka 4 – GAKM**

Počet generací	50
Počet shluků	3
Počet jedinců	50
Pravděpodobnost mutace	0,1
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

## Parametry hybridního algoritmu

**Tabulka 5 – FTSGA**

Počet generací	100
Počet jedinců	100
Pravděpodobnost mutace	0,1
Pravděpodobnost křížení	0,3
Počet genů	10

## Parametry algoritmů technické analýzy

**Tabulka 6 – ROC**

Hranice	0,03
---------	------

**Tabulka 7 – MACD**

Perioda 1. klouzavého průměru	12
Perioda 2. klouzavého průměru	26
Perioda 3. klouzavého průměru	9

## Společné parametry

Tabulka 8 – Parametry vstupních dat

Data od	1. 1. 2018
Data do	31. 12. 2018
Typ periody	Den
Počet period	1

Tabulka 9 – Parametry signálů

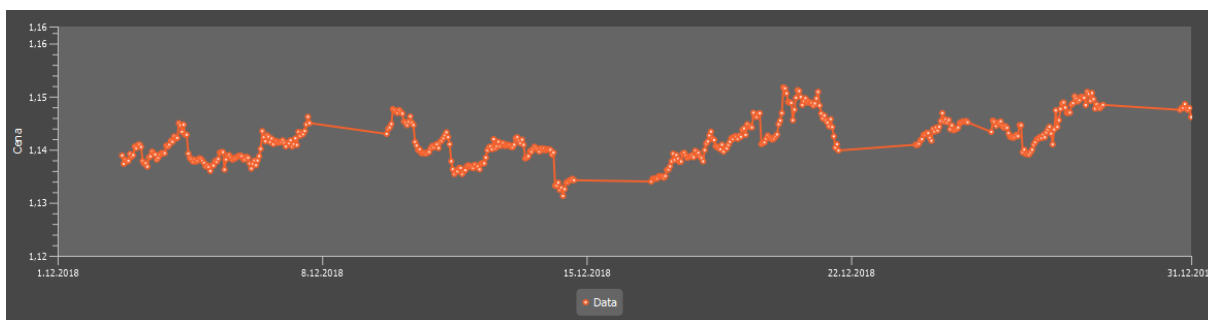
Délka držení pozice	20
Stop win	0,02
Stop loss	0,03

Tabulka 10 – Statistiky roku 2018

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	88	0,6591	1,8428	3,5627	0	8	80
K-means	88	0,6591	1,8428	3,5627	0	8	80
Kohonen	88	0,6591	1,8428	3,5627	0	8	80
GAKM	88	0,6591	1,8428	3,5627	0	8	80
FTSGA	85	0,5882	1,4589	2,0841	0	6	79
ROC	270	0,5778	1,0232	1,4002	7	41	222
MACD	27	0,5185	0,6655	0,7167	2	4	21

## 6.2 Měsíční statistiky

Dále jsou zajímavé výsledky za pouhý jeden měsíc od 1. 12. 2018 – 31. 12. 2018, kde se použily hodinové přírůstky. Z grafu je patrné, že na začátku měsíce nejsou žádná data a v jeho průběhu jsou periodicky se opakující neměnné části, protože nejsou víkendová data k dispozici.



Obrázek 33 – Zpracovávaná data (1 měsíc), Zdroj: [vlastní]

## Parametry shlukovacích algoritmů

Tabulka 11 – Hierarchického shlukování (HC)

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	5

Tabulka 13 – K-means

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	5

Tabulka 12 – Kohonenova mapa

Počet generací	1000
Počet neuronů	3
Koeficient učení	0,95
Okolí	1
Počet lambd	1000
Velikost okna	5

Tabulka 14 – GAKM

Počet generací	50
Počet shluků	3
Počet jedinců	100
Pravděpodobnost mutace	0,1
Počet lambd	1000
Velikost okna	5

## Parametry hybridního algoritmu

Tabulka 15 – FTSGA

Počet generací	30
Počet jedinců	100
Pravděpodobnost mutace	0,1
Pravděpodobnost křížení	0,2
Počet genů	10

## Parametry algoritmů technické analýzy

Tabulka 16 – ROC

Hranice	0,1
---------	-----

Tabulka 17 – MACD

Perioda 1. klouzavého průměru	13
Perioda 2. klouzavého průměru	26
Perioda 3. klouzavého průměru	9

## Společné parametry

Tabulka 18 – Parametry vstupních dat

Data od	1. 12. 2018
Data do	31. 12. 2018
Typ periody	Hodina
Počet period	1

Tabulka 19 – Parametry signálů

Délka držení pozice	20
Stop win	0,005
Stop loss	0,006

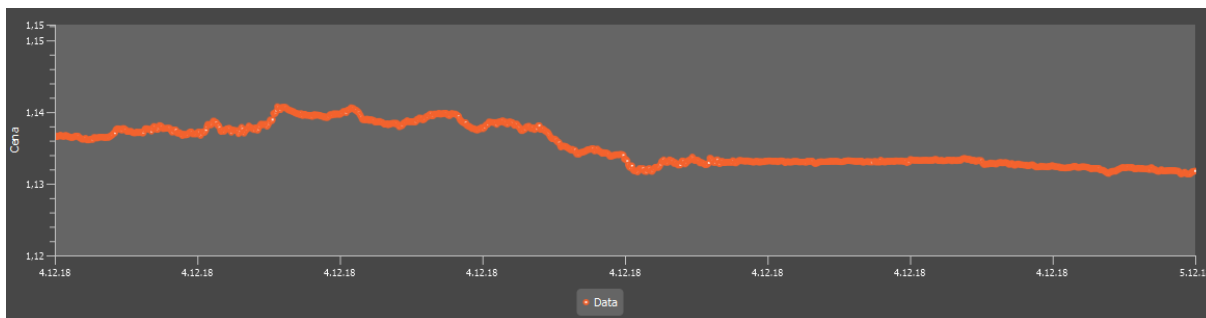
Tabulka 20 – Statistiky prosince 2018

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	150	0,8133	1,4116	6,1506	3	46	101
K-means	150	0,68	0,8778	1,8654	14	34	102
Kohonen	150	0,6933	0,8924	2,0175	13	35	102
GAKM	150	0,6933	0,8924	2,0175	13	35	102
FTSGA	147	0,4218	0,9122	0,6654	20	19	108
ROC	97	0,5258	1,1748	1,3024	6	15	76
MACD	34	0,5588	0,8865	1,1229	1	5	28

## 6.3 Denní statistiky

Poslední testovaná data byla za jeden den se sledovanými minutovými přírůsky.





Obrázek 34 – Zpracovávaná data (1 den), Zdroj: [vlastní]

## Parametry shlukovacích algoritmů

Tabulka 21 – Hierarchického shlukování (HC)

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

Tabulka 23 – K-means

Počet shluků	3
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

Tabulka 22 – Kohonenova mapa

Počet generací	1000
Počet neuronů	3
Koeficient učení	0,95
Okolí	1
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

Tabulka 24 – GAKM

Počet generací	10
Počet shluků	3
Počet jedinců	100
Pravděpodobnost mutace	0,1
Počet lambd	1000
Velikost okna	10

## Parametry hybridního algoritmu

Tabulka 25 – FTSGA

Počet generací	10
Počet jedinců	100
Pravděpodobnost mutace	0,1
Pravděpodobnost křížení	0,3
Počet genů	10

## Parametry algoritmů technické analýzy

**Tabulka 26 – ROC**

Hranice	0,01
---------	------

**Tabulka 27 – MACD**

Perioda 1. klouzavého průměru	12
Perioda 2. klouzavého průměru	26
Perioda 3. klouzavého průměru	9

## Společné parametry

**Tabulka 28 – Parametry vstupních dat**

Data od	4. 12. 2018
Data do	5. 12. 2018
Typ periody	Minuta
Počet period	1

**Tabulka 29 – Parametry signálů**

Délka držení pozice	30
Stop win	0,0003
Stop loss	0,0003

**Tabulka 30 – Statistiky 4. prosince 2018**

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	470	0,583	1,2632	1,7659	69	124	277
K-means	470	0,583	1,2632	1,7659	69	124	277
Kohonen	470	0,583	1,2632	1,7659	69	124	277
GAKM	470	0,583	1,2632	1,7659	69	124	277
FTSGA	466	0,4957	1,088	1,0695	98	101	267
ROC	343	0,3528	0,8549	0,4659	207	100	36
MACD	113	0,3186	1,1768	0,5502	49	29	35

Byla provedena aplikace nalezených nejlepších parametrů i pro náhodné časové intervaly. U každé metody odpovídají řádky výsledkům pro roky 2015, 2016 a 2017. Výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce:

**Tabulka 31 – Výsledky pro roky 2015, 2016 a 2017**

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	88	0,6023	1,3725	2,0783	5	36	47
HC	86	0,4535	0,9165	0,7605	10	21	55
HC	87	0,3908	1,0019	0,6427	0	9	78
K-means	88	0,6364	1,523	2,6653	3	39	46
K-means	86	0,4767	0,8942	0,8147	10	22	54
K-means	87	0,3908	1,0019	0,6427	0	9	78
Kohonen	88	0,5682	1,2184	1,6032	9	38	41
Kohonen	86	0,3605	0,7997	0,4508	13	14	59
Kohonen	87	0,3908	1,0019	0,6427	0	9	78
GAKM	147	0,483	0,7876	0,7358	37	32	78
GAKM	151	0,5629	1,5857	2,0421	0	30	121
GAKM	157	0,3949	1,1814	0,771	10	24	123
FTSGA	144	0,5139	0,8639	0,9133	33	34	77
FTSGA	148	0,4662	0,8527	0,7447	15	12	121
FTSGA	154	0,5649	0,9761	1,2675	13	22	119
ROC	288	0,5312	0,8727	0,9891	70	109	109
ROC	278	0,536	1,1629	1,3432	23	77	178
ROC	269	0,5762	1,0359	1,4085	8	64	197
MACD	21	0,5238	1,1478	1,2626	3	8	10
MACD	25	0,52	0,9081	0,9837	3	8	14
MACD	22	0,4545	1,2483	1,0402	2	4	16

Tabulka 32 – Výsledky pro měsíc květen v letech 2015, 2016 a 2017

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	147	0,483	0,7876	0,7358	37	32	78
HC	151	0,5629	1,5857	2,0421	0	30	121
HC	157	0,3949	1,1814	0,771	10	24	123
K-means	147	0,483	0,7876	0,7358	37	32	78
K-means	151	0,5629	1,5857	2,0421	0	30	121
K-means	157	0,3949	1,1814	0,771	10	24	123
Kohonen	147	0,483	0,7876	0,7358	37	32	78
Kohonen	151	0,5629	1,5857	2,0421	0	30	121
Kohonen	157	0,3949	1,1814	0,771	10	24	123
GAKM	88	0,6364	1,523	2,6653	3	39	46
GAKM	86	0,3605	0,7997	0,4508	13	14	59
GAKM	87	0,3908	1,0019	0,6427	0	9	78
FTSGA	85	0,5647	1,0782	1,3987	13	36	36
FTSGA	85	0,6353	0,9465	1,6487	11	33	41
FTSGA	84	0,5833	0,9283	1,2996	0	9	75
ROC	208	0,4856	1,0142	0,9573	50	64	94
ROC	73	0,4521	0,9681	0,7987	6	8	59
ROC	91	0,4066	0,9978	0,6837	8	11	72
MACD	32	0,4688	0,8443	0,745	12	10	10
MACD	37	0,5676	0,8114	1,0649	4	7	26
MACD	38	0,5263	0,9231	1,0256	4	5	29

Tabulka 33 – Výsledky ve dnech 5. 5. 2015, 5. 5. 2016 a 4. 5. 2017

Metody	Počet obchodů	Win ratio	P/L ratio	Profit faktor	Počet stop loss	Počet stop win	Držené pozice
HC	473	0,3742	0,7014	0,4194	220	106	147
HC	451	0,4457	1,1619	0,9342	84	90	277
HC	452	0,2965	1,0992	0,4632	88	47	317
K-means	460	0,4348	1,2339	0,9492	189	133	138
K-means	451	0,4457	1,1619	0,9342	84	90	277
K-means	452	0,2965	1,0992	0,4632	88	47	317
Kohonen	460	0,4348	1,2339	0,9492	189	133	138
Kohonen	451	0,4457	1,1619	0,9342	84	90	277
Kohonen	452	0,2965	1,0992	0,4632	88	47	317
GAKM	460	0,4348	1,2339	0,9492	189	133	138
GAKM	451	0,4457	1,1619	0,9342	84	90	277
GAKM	452	0,2965	1,0992	0,4632	88	47	317
FTSGA	463	0,4406	1,075	0,8467	173	129	151
FTSGA	448	0,3795	0,9437	0,5771	124	58	266
FTSGA	450	0,4289	0,8957	0,6726	80	47	232
ROC	596	0,302	0,8396	0,3633	411	169	16
ROC	323	0,3746	0,8937	0,5353	191	103	29
ROC	274	0,3467	0,8983	0,4768	167	86	21
MACD	116	0,4569	1,0664	0,8971	60	47	9
MACD	100	0,41	1,1224	0,78	40	27	33
MACD	117	0,3333	0,9111	0,4556	47	20	50

## 6.4 Shrnutí výsledků

Parametry pro stop loss a stop win byly nastaveny způsobem, aby algoritmy při špatných nebo dobrých předpovědích ukončily předčasně obchod alespoň v několika případech testování. Většinou stop loss a stop win mají stejnou hodnotu, nebo je stop loss nepatrně vyšší.

Ve většině případů vrací shlukovací algoritmy při stejných vstupních parametrech stejné nebo hodně podobné výsledky, protože mají společný cíl zařazení časových oken do shluků dle nejkratší vzdálenosti. Jelikož pouze jedna třetina vstupních dat slouží pro testování a generování signálů (neplatí pro ROC a MACD), profit nebo ztráta by za celá sledovaná období mohly být jiné.

Kohonenova samoorganizační mapa a genetický algoritmus  $k$ -průměrů jsou složitější na implementaci, nicméně poskytují lepší zařazení časového okénka do shluku. Zlepšení u těchto dvou algoritmů se příliš neprojevuje na výsledcích.

Výběr Metody Rate Of Change se jeví za vhodnou pouze na delší časová období. Na krátké obchodní pozice je ROC spíše ztrátový. Na druhou stranu je jednoduchý na pochopení a implementaci. Metoda MACD je stejně jako ROC lepší na delší obchodní pozice, protože by měla být vhodná pro dlouhotrvající trendy časových řad.

Všechny algoritmy silně závisí na zvolených parametrech a nepatrné výchylinky změny výsledků rozhodování. Hierarchické shlukování, algoritmus  $k$ -průměrů, ROC a MACD poskytují při opakovaném spuštění vždy stejné výsledky. Zbylé algoritmy Kohonenova samoorganizační mapa a genetický algoritmus  $k$ -průměrů mohou občas vracet několik odlišných výsledků, které se při následujících spuštěních znovu opakují. Bude to způsobeno ustálením v lokálním extrému, který by šlo zredukovat prodloužením učení algoritmu, nebo několikanásobným spuštěním algoritmu. Genetický algoritmus na fuzzy časových řadách má vždy odlišné výsledky po každém spuštění, protože je silně ovlivňován generátorem náhodných čísel.

Při testování odlišných dat se stejným intervalem času a parametry algoritmů se výsledky výrazně liší. Shlukovací algoritmy při správně odhadnutých parametrech generují výborné zisky, na druhou stranu mohou také generovat velké ztráty. V letech 2015, 2016 a 2017 algoritmy ROC a MACD jako jediné poskytovaly v průměru zisky. Ze shlukovacích metod algoritmus  $k$ -průměrů poskytoval nejlepší výsledky pro roční období, ale stejně byl spíše ztrátový.

Další statistiky se týkaly měsíce května v letech 2015, 2016 a 2017. Jediný algoritmus FTSGA byl ve všech třech letech ziskový, nicméně nutno dodat, že při nastavení nejlepších parametrů pro rok 2018 byl ztrátový.

Poslední statistiky se zabývaly dny 5. 5. 2015, 5. 5. 2016 a 6. 5. 2017. Zvolené dny odpovídají dnům ze středu pracovního týdne, protože jsou nejvhodnější pro obchodování. Zde se bohužel nezařadil žádný algoritmus mezi ziskové. Nejmenší ztráty by poskytovaly shlukovací algoritmy.

## ZÁVĚR

Před vytvářením aplikace bylo nutné nejprve nastudovat chování forexového trhu, jeho základní vlastnosti a nebezpečí, s nimiž se obchodníci mohou setkat. Ke studiu byla použita platforma MetaTrader 5, která je doporučována začátečníkům díky jednoduchému ovládání. Poskytuje také možnost založení demo účtu, se kterým si noví uživatelé vyzkouší fungování trhu s virtuální měnou, o kterou bez následků mohou přijít.

Aplikace byla vyvinuta v programovacím jazyce Java. Grafické uživatelské rozhraní GUI je vytvořeno pomocí JavaFX, který je novější a modernější než jeho starší alternativa Swing. Jelikož jsem neměl žádné zkušenosti s vytvářením JavaFX aplikací, bylo nutné doplnit znalosti samostatně.

Vytvořená aplikace nabízí testování metodik s odlišnými parametry na historických datech pohybů ceny eura vůči americkému dolaru nebo lze testovat na uživatelem importovaných datech splňujících správné formátování.

Z analýzy statistik úspěšnosti vyplývá, že z krátkého časového úseku se obtížně stanovují predikce vývoje měny, avšak na delší časové období (měsíce a roky) lze některé algoritmy použít. Obchodováním na delší pozice je nutno zvážit použití finanční páky, za kterou se každý den účtují poplatky dle výše investice. Dalším faktorem ovlivňujícím zisk, který je třeba brát také na zřetel, je výběr brokera, protože brokeři si buď účtují poplatky za zprostředkování transakce, nebo mají nastavený vyšší spread.

Náročnost vypracování diplomové práce spočívala v samostatném studiu forexového trhu, tvorby JavaFX aplikací a pochopení kroků algoritmů. Nejsložitějšími algoritmy na pochopení byly genetický algoritmus  $k$ -průměrů a hybridní fuzzy metoda. Studie hybridní fuzzy metody z výchozí literatury byla provázena množstvím nejasností ve výpočtech.

Téma této diplomové práce jsem si zvolil z důvodu obliby statistického zpracování dat a možnosti uplatnění umělé inteligence z magisterského studia na reálných datech. Naučil jsem se, že při kombinování přístupů z různých oblastí lze dosáhnout lepších výsledků při menším počtu výpočetních instrukcí.



## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DEPERSIO, Greg. *Pips vs. Points vs. Ticks: What's the Difference?* [online]. 11. července 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/ask/answers/032615/what-difference-between-pips-points-and-ticks.asp>.
- [2] *Velikost pozice – hodnota pipu a marže* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.xtb.com/cz/xtb-akademie/velikost-pozice-hodnota-pipu-a-marze>.
- [3] IŠTVAN, Lukáš. *Co je spread a proč je důležitý?* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.winsidetradng.com/cs/spread/#kvalitni-brokeri>.
- [4] BRADFIELD, David. *What Does a Forex Spread Tell Traders?* [online]. 14. února 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: [https://www.dailyfx.com/forex/education/trading\\_tips/daily\\_trading\\_lesson/2019/02/14/what-does-a-spread-tell-forex-traders.html](https://www.dailyfx.com/forex/education/trading_tips/daily_trading_lesson/2019/02/14/what-does-a-spread-tell-forex-traders.html).
- [5] TROY, Simon a Kenneth John MCPHERSON. *What time does the forex market close on Friday?* In: *Quora* [online]. 9. listopadu 2017 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.xtb.com/cz/xtb-akademie/velikost-pozice-hodnota-pipu-a-marze>.
- [6] STIBOR, Michal. *Obchodní hodiny na Forexu* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.forex-zone.cz/blog/obchodni-hodiny-na-forexu>.
- [7] *Forex Market Hours* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.bdswiss.com/lessons/forex-market-hours/>.
- [8] *Why Is Forex Closed on Weekends?* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.earnforex.com/guides/why-is-forex-closed-on-weekends/>.
- [9] *What is Forex?* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.fxcm.com/uk/forex/what-is-forex/>.
- [10] BARONE, Adam. *Forex Trading: A Beginner's Guide* [online]. 8. června 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/articles/forex/11/why-trade-forex.asp>.

- [11] HAYES, Adam. *Leverage* [online]. 24. dubna 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/l/leverage.asp>.
- [12] *Finanční Páka* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://admiralmarkets.cz/education/articles/forex-basics/financni-paka>.
- [13] *What Is A Forex Broker?* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.fxcm.com/uk/insights/what-is-a-forex-broker/>.
- [14] *Kdo je broker a proč to bez něj nejde* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.forex-zone.cz/bez-brokera-to-nejde>.
- [15] PETRAUSKAS, Rimantas. *Tricky Ways Many Forex Brokers Cheat And Steal Your Money* [online]. 28. července 2014 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.ea-coder.com/top-forex-broker-tricks-cheats/>.
- [16] Srovnání platforem. *Forex Zone* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.forex-zone.cz/uz-obchoduji/srovnani-platforem>.
- [17] HATZAKIS, Steven. *Best Forex Brokers for 2019* [online]. 18. července 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.forexbrokers.com/guides/forex-trading>.
- [18] CHEN, James. *Rate of Change (ROC)* [online]. 13. května 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/r/rateofchange.asp>.
- [19] HAYES, Adam. *Moving Average Convergence Divergence – MACD* [online]. 1. července 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/m/macd.asp>.
- [20] ADHIKARI, Ratnadip a R. K. AGRAWAL. *An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1302/1302.6613.pdf>.
- [21] MAREK, Jaroslav. *Kurz statistiky INTP* [online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <http://jmvyuka.sweb.cz/soubory/intp03.pdf>.
- [22] *Analýza časových řad* [online]. 2010 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: [http://bio.felk.cvut.cz/~huptycm/Vyuka/IKTZ\\_prednasky/CasoveRady0910.pdf](http://bio.felk.cvut.cz/~huptycm/Vyuka/IKTZ_prednasky/CasoveRady0910.pdf).

- [23] ŠTĚDRONĚ, Bohumír. *Prognostické metody a jejich aplikace*. V Praze: C. H. Beck, 2012. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7179-174-4.
- [24] HOTA, H. S., Richa HANDA a A. K. SHRIVAS. *Time Series Data Prediction Using Sliding Window Based RBF Neural Network*. Research India Publications, 2017, (5), 12. ISSN 0973-1873.
- [25] KEOGH, Eamonn a Jessica LIN. *Clustering of Time Series Subsequences is Meaningless: Implications for Previous and Future Research*[online]. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.cs.ucr.edu/~eamonn/meaningless.pdf>.
- [26] ANDĚL, Jiří. *Statistická analýza časových řad: určeno [též] posluchačům vys. škol techn. a matematicko fyz. fak.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1976. Teoretická knižnice inženýra.
- [27] ŘEZANKOVÁ, Hana, Dušan HÚSEK a Václav SNÁŠEL. *Shluková analýza dat*. 2., rozš. vyd. Praha: Professional Publishing, 2009. ISBN 978-80-86946-81-8.
- [28] DOLEŽEL, Petr. *Úvod do umělých neuronových sítí* [online]. Pardubice, 2016 [cit. 2019-07-23].
- [29] ENGELBRECHT, Andries P. *Computational intelligence: an introduction*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2007. ISBN 978-0-470-03561-0.
- [30] ROBERTS, Lance. *Technically Speaking: The Difference Between A Bull And Bear Market* [online]. 27. listopadu 2018 [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/article/4224863-technically-speaking-difference-bull-bear-market>.
- [31] CHEN, James. *Bull Market* [online]. 8. května 2019 [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/b/bullmarket.asp>.
- [32] CHEN, James. *Bear Market* [online]. 11. června 2019 [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/b/bearmarket.asp>.
- [33] *Moving Average* [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: [https://www.metatrader5.com/en/terminal/help/indicators/trend\\_indicators/ma](https://www.metatrader5.com/en/terminal/help/indicators/trend_indicators/ma).

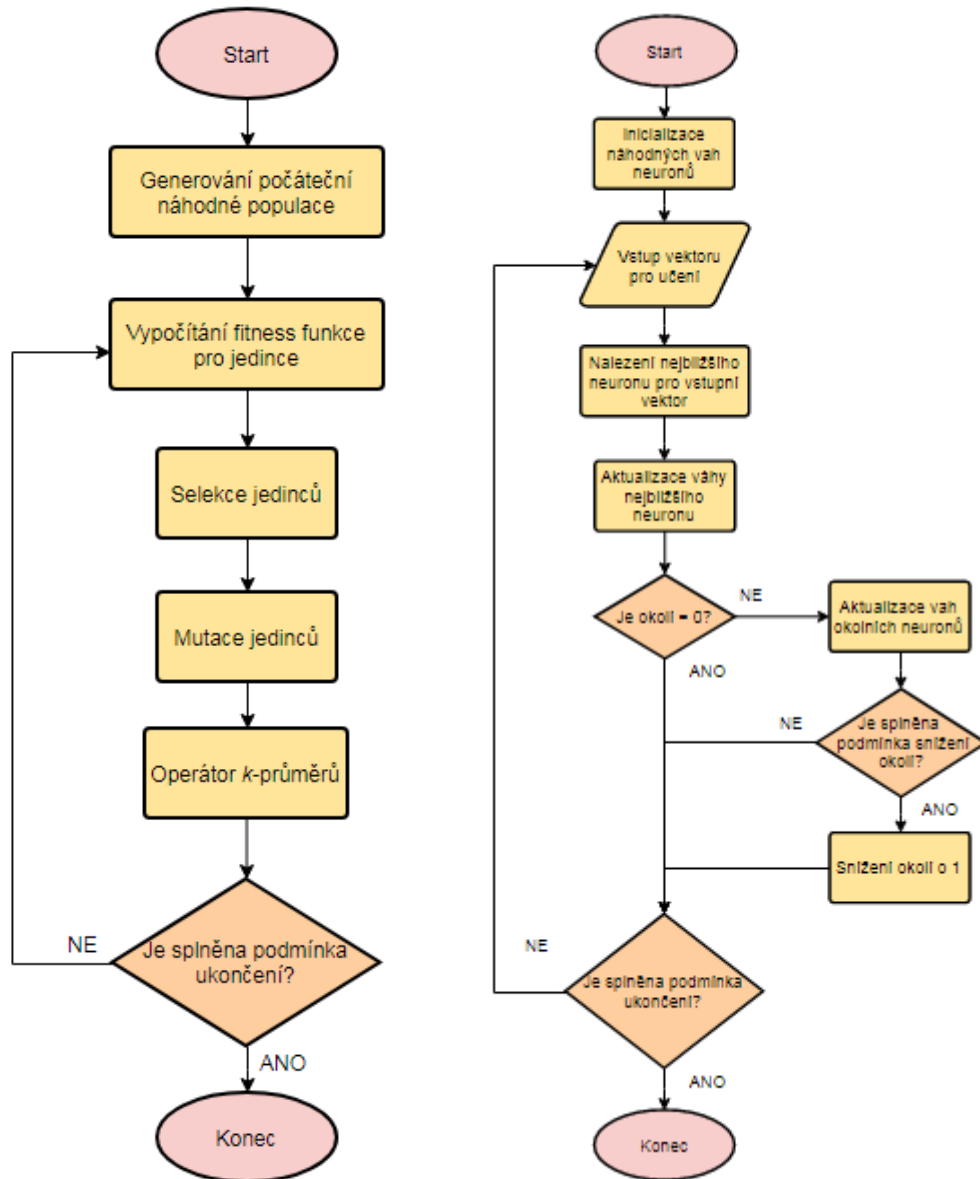
- [34] ZINOVIK, Aleksey. *COMPARING DIFFERENT TYPES OF MOVING AVERAGES IN TRADING* [online]. 5. prosince 2017 [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.mql5.com/en/articles/3791>.
- [35] TAYLOR, Wayne A. *Change-Point Analysis: A Powerful New Tool For Detecting Changes* [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://variation.com/wp-content/uploads/change-point-analyzer/change-point-analysis-a-powerful-new-tool-for-detecting-changes.pdf>.
- [36] HAYES, Adam. *What is Technical Analysis?* [online]. 19. dubna 2019 [cit. 2019-07-28]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/t/technicalanalysis.asp>.
- [37] SILVA, Petrônio. *A short tutorial on Fuzzy Time Series* [online]. 20. září 2018 [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/a-short-tutorial-on-fuzzy-time-series-dcc6d4eb1b15>.
- [38] CAI, QiSen, Defu ZHANG, Bo WU a Stephen C.H. LEUNG. *A Novel Stock Forecasting Model based on Fuzzy Time Series and Genetic Algorithm* [online]. 1. června 2013, 1155–1162 [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913004249>.
- [39] GARG, Bindu, M. M. Sufyan BEG, A. Q. ANSARI a B. M. IMRAN. *Fuzzy Time Series Prediction Model* [online]. 2011 [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/2651404/Fuzzy\\_Time\\_Series\\_Prediction\\_Model](https://www.academia.edu/2651404/Fuzzy_Time_Series_Prediction_Model).
- [40] TODT, Jaroslav. *Burza a signály k obchodování*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Jaroslav Marek.
- [41] ARLOW, Jim a Ila NEUSTADT. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objekto- vě orientovaná analýza a návrh prakticky*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [42] POZDÍLKOVÁ, Alena, Jaroslav MAREK a Jaroslav TODT. *Usage of Artificial Intelligence and Spectral Analysis for Predicting the Behavior of Stock Prices* [online]. 2017, 12 [cit. 2019-08-18].

## *PŘÍLOHY*

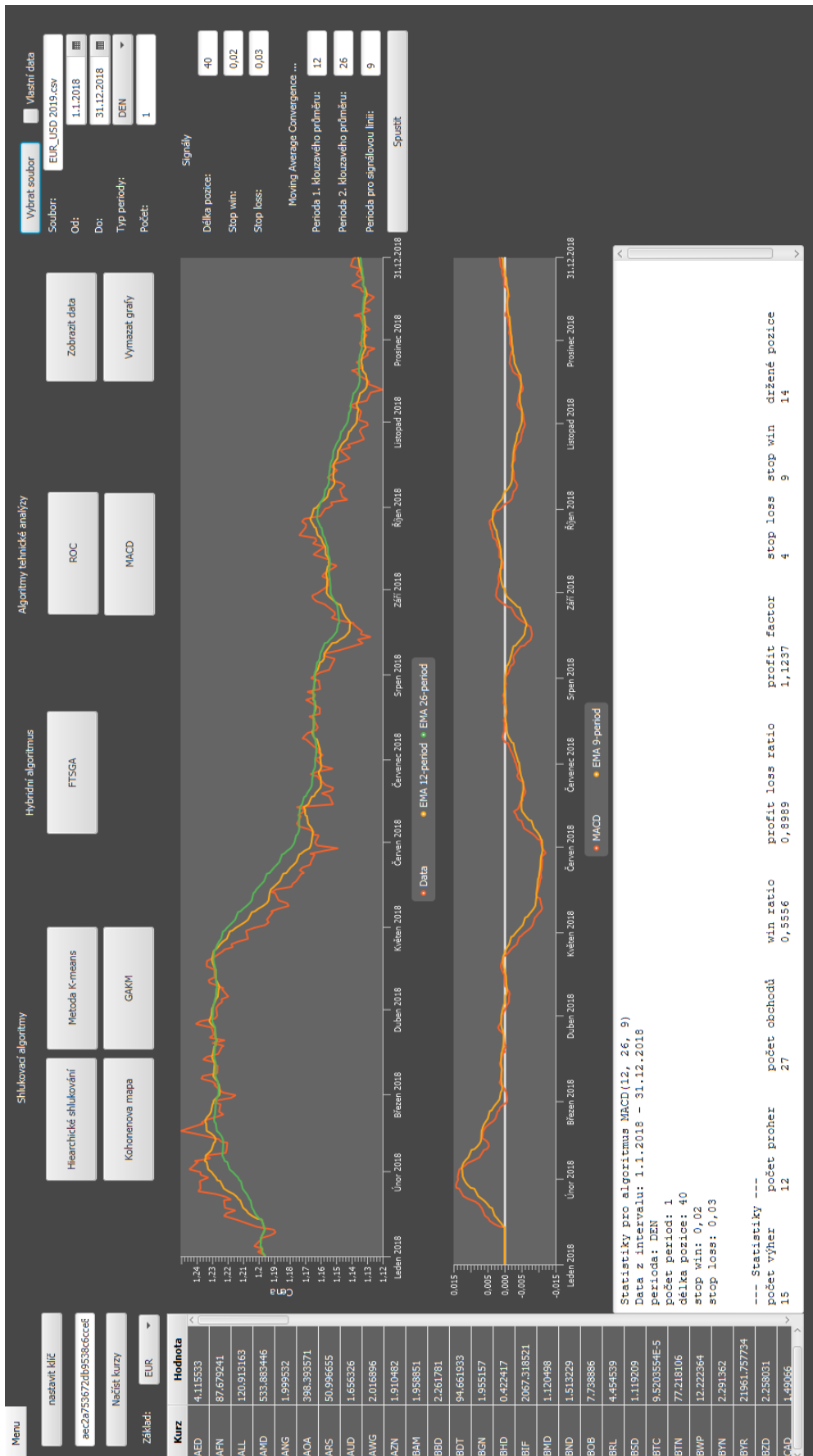
Příloha A – Vývojové diagramy .....	78
Příloha B – Aplikace.....	79
Příloha C – Metoda pro nastavení počtu period .....	80
Příloha D – Příložené CD .....	81

# PŘÍLOHA A – VÝVOJOVÉ DIAGRAMY

Genetický algoritmus  $k$ -průměrů (vlevo) a Kohonenova samoorganizační mapa (vpravo).



# PŘÍLOHA B – APLIKACE



## PŘÍLOHA C – METODA PRO NASTAVENÍ POČTU PERIOD

```
private void SetNumberOfPeriods(DataFilter dataFilter, Periods period, int
numberOfPeriods) {
    this.numberOfPeriods = numberOfPeriods;
    if (this.numberOfPeriods < 1) {
        this.numberOfPeriods = 1;
    } else {
        switch (period) {
            case ROK:
                if (this.numberOfPeriods > 10) {
                    this.numberOfPeriods = 10;
                }
                break;
            case MĚSÍC:
                if (this.numberOfPeriods > 12) {
                    this.numberOfPeriods = 12;
                }
                break;
            case DEN:
                if (this.numberOfPeriods > 31) {
                    this.numberOfPeriods = 31;
                }
                break;
            case HODINA:
                if (this.numberOfPeriods > 24) {
                    this.numberOfPeriods = 24;
                }
                break;
            case MINUTA:
                if (this.numberOfPeriods > 60) {
                    this.numberOfPeriods = 60;
                }
                break;
        }
    }
    dataFilter.setNumberOfPeriods(this.numberOfPeriods);
}
```



## **PŘÍLOHA D – PŘILOŽENÉ CD**

Přiložené CD obsahuje:

- analýzu tvorby aplikace v Enterprise Architect,
- zdrojové kódy aplikace (projekt z vývojového prostředí NetBeans),
- uživatelskou příručku aplikace v PDF
- a elektronickou podobu této teoretické části práce v PDF.