

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD  
KATEDRA MATEMATIKY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Tvorba a optimalizace automatického  
obchodního systému



# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne 17. května 2017

.....

Miroslav Řehoř

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Patrice Markovi, PhD. za vedení této práce, cenné rady a připomínky, vstřícnost při konzultacích a za čas věnovaný této práci.

Poděkování bych rád vyjádřil i své rodině a nejbližším za podporu, motivaci a porozumění v těžkých chvílích mého studia.

**Místo tohoto listu bude originální zadání práce**

## Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem, optimalizací a zhodnocením vlastního automatického obchodního systému založeného na grafických formacích a indikátoru technické analýzy na vybraném aktivu. V práci jsou popsány základní principy a metody grafických metod a zvoleného indikátoru technické analýzy, úvod do genetického programování a základní pravidla při tvorbě obchodního systému s jeho nejdůležitějšími ukazateli. Dále je provedena selekce, filtrování a optimalizace signálů obchodního systému. Výsledky automatického obchodního systému jsou nakonec interpretovány a porovnány s jiným jednodušším obchodním systémem.

**Klíčová slova:** automatický obchodní systém, technická analýza, technické indikátory, genetické algoritmy, EasyLanguage, optimalizace obchodního systému.

## Abstract

This master thesis focuses on implementation, optimization and evaluation of the self-made automatic trading system based on graphical methods and indicators of technical analysis on the predetermined asset. Basic principles and methods of technical analysis are described, as well as the introduction to genetic programming and the basic rules during the process of creating the trading system. Then, selection, filtering and optimization of the trading system signals are performed. The results of the automatic trading systems are presented and compared to another trading system.

**Key words:** automatic trading system, technical analysis, technical indicators, genetic algorithm, EasyLanguage, trading system optimizing.

# Obsah:

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technická analýza</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Grafové formace a technické indikátory</b>	<b>3</b>
3.1	Trendové linie	3
3.2	Supporty a rezistence	4
3.3	Gapy	5
3.4	CCI indikátor	6
<b>4</b>	<b>Genetické algoritmy</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Automatický obchodní systém</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Budování AOS</b>	<b>11</b>
6.1	Money management	11
6.2	Původní myšlenka	13
6.3	Filtrování obchodů	14
6.4	Testy robustnosti a walk forward analýza	14
6.5	Požadavky na systém	15
<b>7</b>	<b>Praktická část</b>	<b>19</b>
7.1	Výběr aktiva	19
7.2	Výběr softwaru	19
7.3	Obchodní systém	20
7.4	Analýza jednotlivých signálů	26
7.5	Optimalizace obchodního systému	28
7.6	Výběr brokera a komise	36
7.7	Aplikace na reálná data	37
<b>8</b>	<b>Srovnání s jiným systémem</b>	<b>40</b>
8.1	Programové řešení	43
<b>9</b>	<b>Závěr</b>	<b>47</b>
<b>A</b>	<b>Seznam příloh</b>	<b>I</b>
Příloha 1		I
Příloha 2		II
Příloha 3		II
Příloha 4		II
<b>B</b>	<b>Zdrojové kódy</b>	<b>III</b>
B.1	Hlavní obchodní systém	III

<b>B.2 Obchodní systém s náhodnými vstupy</b> .....	VII
<b>10 Literatura</b> .....	X

## Seznam obrázků a tabulek:

Obrázek 1: Rostoucí svíce a její základní ceny.....	3
Obrázek 2: Ukázka trendových linií v grafu indexu ES ze dne 18. 8. 2016. ....	4
Obrázek 3: Odraz ceny po dosažení supportu.....	5
Obrázek 4: Ukázka gapu na indexu ES z období od 18. 8. 2016 až 19. 8. 2016.....	6
Obrázek 5: Equity křivka náhodně vybrané strategie na kontraktu ES. ....	12
Obrázek 6: Ukázka významného drawdownu strategie na indexu ES.....	13
Obrázek 7: Ukázka plovoucí WFA.....	15
Obrázek 8: Ukázka kotvené WFA.....	15
Obrázek 9: Ukázka klesajícího gapu. ....	21
Obrázek 10: Ukázka signalizace chopu předešlého dne. ....	22
Obrázek 11: Příchod MIN na 7. svíci od začátku denní seance indexu ES. ....	22
Obrázek 12: Ukázka vstupu LONG v uptrendu.....	23
Obrázek 13: Ukázka vstupu SHORT do korekce nebo downtrendu.....	23
Obrázek 14: Ukázka vstupu LONG do pokračujícího uptrendu. ....	24
Obrázek 15: Ukázka vstupu do SHORT po odrazu ceny od restence. ....	24
Obrázek 16: Ukázka vstupu do SHORT po chopu a započatém downtrendu.....	24
Obrázek 17: Část rozhodovacího stromu při hledání prvotní myšlenky systému.....	25
Obrázek 18: Jeden z možných scénářů v cenovém grafu indexu ES. Svislá čárkovaná čára odděluje obchodní dny.....	26
Obrázek 19 a Obrázek 20: Tvary equity před a po otočení pozice 3. signálu. ....	28
Obrázek 21: Equity křivka kombinace všech signálů na IS datech.....	31
Obrázek 22: Equity křivka kombinace všech signálů na OOS datech.....	31
Obrázek 23: Equity křivka nefiltrované strategie na IS vzorku dat.....	33
Obrázek 24: Equity křivka optimalizované strategie na IS vzorku dat.....	35
Obrázek 25: Equity křivka optimalizované strategie na OOS vzorku dat.....	36
Obrázek 26: Equity křivka strategie na reálných datech.....	38
Obrázek 27: Ukázka funkce hustoty exponenciálního rozdělení pro různá $\lambda$ .....	41
Obrázek 28: Ukázka distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro různá $\lambda$ .....	42
Obrázek 29: Ukázka funkce hustoty rovnoměrného rozdělení.....	43
Obrázek 30: Ukázka distribuční funkce rovnoměrného rozdělení.....	43
Obrázek 31: Náznak obchodování pomocí diagramu.....	44
Obrázek 32: Přehled stavu účtu vybrané simulace při použití náhodného obchodního systému.....	45



<b>Obrázek 33: Histogram četností jednotlivých simulací obchodování.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabulka 1: Přehled všech vybraných signálů.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabulka 2: Přehled signálů a jejich úspěšnosti.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabulka 3: Přehled nových signálů a jejich úspěšnosti. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabulka 4: Přehled optimalizovaných parametrů. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabulka 5: Hodnoty parametrů optimalizované strategie.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabulka 6: Hodnoty parametrů při optimalizované strategii.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabulka 7: Výsledky zvolené nefiltrované kombinace signálů.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabulka 8: Hodnoty parametrů optimalizované strategie.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabulka 9: Přehled vybraných kombinací signálů na IS vzorku dat.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabulka 10: Přehled vybraných kombinací signálů OOS vzorku dat.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabulka 11: Přehled margin požadavků u IB.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabulka 12: Výsledky strategie na reálných datech. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabulka 13: Přehled komisí a „activity costs“.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabulka 14: Výběrové kvantily simulovaných výnosů. ....</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Cílem této práce je vytvořit a optimalizovat obchodní systém a následně provést porovnání s jiným jednodušším obchodním systémem.

Ve druhé kapitole budou nejprve ve zkratce uvedeny základní informace o technické, fundamentální a psychologické analýze, spolu s nimi budou uvedeny prameny, ze kterých lze čerpat podrobnější informace.

Třetí kapitola se zaměřuje na grafické metody a vybraný technický indikátor, které budou použity v rámci tvorby automatického obchodního systému. Jsou zde popsány základní grafické metody jako trendové linie, supporty a rezistence a gapy, z indikátorů je to pak zástupce skupiny oscilátorů indikátor CCI.

Ve čtvrté kapitole jsou vysvětleny základní pojmy z oblasti genetického programování. Setkáme se zde s pojmy jako jedinec, generace nebo gen.

Pátá kapitola vysvětluje pojem automatický obchodní systém a poukazuje na jeho výhody a nevýhody.

V šesté kapitole se budeme věnovat budování automatického obchodního systému od počáteční myšlenky přes filtrování obchodů až po testy robustnosti. Budou vysvětleny základní pojmy z oblasti money managementu a hlavních ukazatelů kvality obchodního systému.

Sedmou kapitolou začíná praktická část, kde bude blíže popsáno aktivum, jehož kontrakty budeme obchodovat. Dále si představíme obchodovací platformu, ve které proběhne naprogramování a optimalizace obchodního systému. Na řadu přijde samotný obchodní systém a popis jeho tvorby pomocí prezentace vybraných signálů strategie. V závěru kapitoly proběhne optimalizace obchodního systému a aplikace na reálná data z období od 21. 10. 2015 do 20. 10. 2016.

Osmá kapitola se zabývá porovnáním vytvořeného obchodního systému v sedmé kapitole s jednodušším obchodním systémem, který byl v rámci této kapitoly vytvořen. Systém je opět aplikován na reálná data, která jsou uvedena v sedmé kapitole, a výsledky obchodování jsou dále prezentovány.

Součástí této práce jsou přiložené Excel, Matlab a textové soubory, zdrojové kódy strategií napsány v jazycích EasyLanguage a MatlabR2012b jsou součástí příloh této práce.

## 2 Technická analýza

Technická analýza patří spolu s fundamentální a psychologickou analýzou mezi tři hlavní způsoby analýzy trhů. Je založena na pozorování cenových grafů aktiv a jejich historie. S určitým nadhledem lze říci, že technickou analýzu tvoří 2 skupiny nástrojů, a to grafické metody a technické indikátory. Z grafických metod můžeme uvést trendové linie, nejnámější a nejdůležitější z hlediska analýzy – supporty a rezistence a mnoho dalších cenových formací, které v trhu hledáme, viz dvojité vrcholy, dvojité dna, aj. Technické indikátory pak lze dále dělit na trendové a oscilátory. Zástupci obou tříd budou zmíněni v dalších kapitolách.

Účelem této práce není popis všech druhů analýz, a proto zde budou uvedeny převážně prameny, ve kterých lze potřebné informace dohledat. Známou publikací o technické analýze a jejím praktickém využití je kniha *Technical analysis of financial markets*, jejímž autorem je John J. Murphy [1]. Z českých autorů můžeme zmínit například Oldřicha Rejnuše a jeho knihu *Finanční trhy* [2].

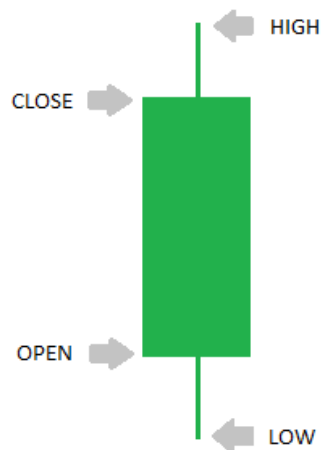
Fundamentální analýza nám z hlediska obchodování může velmi pomoci v tom, že sleduje fundamentální zprávy (hospodářské zprávy, finanční analýzy, účetnictví firem apod.). I pro ortodoxní technicky založené obchodníky má velký význam, a to minimálně ve sledování důležitých hospodářských oznámení, který daný trh ovlivní. Velmi dobrým pomocníkem pro sledování těchto informací je server [forexfactory.com](http://forexfactory.com), kde jsou zobrazeny dle barevné stupnice (podle relevance) všechny informace přímo i nepřímo ovlivňující trhy. Podrobnější informace o fundamentální analýze nalezneme například v knize *Fundamental analysis and position trading* od Thomase N. Bulkowskiho [3].

Třetím typem analýzy trhu je psychologická analýza, která zkoumá chování investorů s jeho příčinami a důsledky. I tento typ má samozřejmě svou teorii, jejíž základy položil matematik a psycholog Gustave Le Bon. Podrobněji o psychologické analýze pojednává například již uvedená kniha *Finanční trhy* od Oldřicha Rejnuše [2].

## 3 Grafové formace a technické indikátory

Vytvořený obchodní systém bude z velké části využívat grafové formace a technické indikátory. Některé z nich si proto blíže popíšeme v této kapitole. Jedním z nejčastějších způsobů zobrazení cenového grafu aktiva jsou svíce. Ukázku svíce vidíme na obrázku 1. Uvedme si nejprve několik základních pojmů, které budou (nejen) v souvislosti se svícemi dále v textu často figurovat:

- OPEN cena svíce je cena aktiva při započetí nové svíce v cenovém grafu.
- CLOSE cena svíce je cena aktiva při dokreslení svíce v cenovém grafu.
- HIGH cena svíce je maximální hodnota, které v rámci jedné svíce cena aktiva dosáhla.
- LOW cena svíce je minimální hodnota, které v rámci jedné svíce cena aktiva dosáhla.
- Pojem TREND použijeme tehdy, pokud cena jednoznačně roste (uptrend), nebo jednoznačně klesá (downtrend).
- Jako CHOP se označuje situace, kdy cena není v trendu a vytváří jen minimální pohyby.
- LONG pozicí označíme spekulaci na růst ceny.
- SHORT pozicí označíme spekulaci na pokles ceny.
- PT neboli profit target je předem zvolená hodnota zisku, po jejímž dosažení dobrovolně zavíráme pozici.
- SL neboli stop loss je předem zvolená hodnota ztráty, po jejímž dosažení dobrovolně zavíráme pozici.



Obrázek 1: Rostoucí svíce a její základní ceny.

### 3.1 Trendové linie

Hlavním nástrojem pro identifikaci a popis trendu jsou trendové linie. Existují 2 typy trendových čar: trendové čáry v rámci rostoucího trendu (uptrend lines) a trendové čáry identifikující klesající trend (downtrend lines). Uptrend lines zobrazíme pomocí spojení zvyšujících se LOW cen v daném trendu. Downtrend lines zakreslíme analogicky spojením snižujících se HIGH cen v rámci příslušného klesajícího trendu.

Využití trendových čar je široké, lze je využít jako potvrzovací signál při vstupu do pozice, nebo jako výstupy z obchodů po proražení trendového kanálu, který tvoří současně uptrend i downtrend lines. Bližší popis trendových čar a jejich užití nalezneme ve zdroji [1]. Ukázku zakreslení trendových čar vidíme na obrázku 2.



Obrázek 2: Ukázka trendových linií v grafu indexu ES ze dne 18. 8. 2016.

## 3.2 Supporty a rezistence

Významnými grafickými nástroji technické analýzy jsou supporty a rezistence. Představují cenové oblasti, které cena aktiva vzdoruje překročit. Pokud dojde k překonání těchto hranic, tvoří cena často klasické scénáře, které lze s určitou pravděpodobností předpovědět. Support (česky podpora) je taková hodnota aktiva, pod kterou již obchodníci nejsou ochotni prodávat. Rezistence (česky hladina odporu) je protipól supportu, čili hodnota, přes kterou cena není ochotna růst, jinými slovy, cena aktiva je pro obchodníky příliš vysoká pro nákup. Princip supportů a rezistencí vychází dle [4] z psychologické analýzy obchodníků. Support nebo rezistence jsou tak silné, kolikrát odolaly cenovým pokusům o jejich překonání. Pokud se hranice nepřekročí, je prostor pro spekulace na otočení trendu, tzv. odraz ceny. V trzích však dochází i k překonání těchto dvou úrovní. Velmi často se lze setkat se situací, kdy se rezistence přemění v support. Jak uvádí zdroj [4], je tato situace opět důsledkem psychiky obchodníků a dochází k ní na všech finančních trzích.

Vlivem supportů a rezistencí vznikají grafové formace a útvary označované jako dvojitě dno, trojúhelníky nebo vlajky a mnoho dalších. Jejich popis můžeme nalézt ve zdroji [4]. Na obrázku 3 můžeme vidět ukázkou odrazu ceny od supportu.



Obrázek 3: Odraz ceny po dosažení supportu.

### 3.3 Gapy

Dalším nástrojem, který lze do této kapitoly zařadit jsou gapy (česky mezery). Tento jev nastává, jestliže cena aktiva skočí z aktuální cenové hladiny na jinou, aniž by prošla cenami mezi těmito hladinami. Prostor vzniklý v cenovém grafu se označuje jako gap.

Vznik gapů může mít více příčin. Jako nejčastější důvod vzniku gapu zdroj [4] uvádí extrémní nárůst ceny vzniklý fundamentální informací (důležité zprávy, aj.). Některé finanční trhy jsou specifické tím, že se neobchoduje přes noc a to bývá dalším důvodem vzniku gapů mezi zavírací cenou předchozího a otevírací cenou aktuálního dne. Na obrázku 4 je ukázka 4.5bodového gapu vzniklého mezi denními seancemi indexu ES<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Existují celkem čtyři druhy gapů common gaps, breakaway gaps, runaway gaps a exhaustion gaps. Detailní popis jednotlivých druhů je uveden ve zdroji [4].



Obrázek 4: Ukázka gapu na indexu ES z období od 18. 8. 2016 až 19. 8. 2016.

### 3.4 CCI indikátor

Indikátor CCI (celým názvem The commodity channel index) patří mezi skupinu oscilátorů. Byl vytvořen v roce 1980 Donaldem Lambertem, který (ačkoliv jej sám neobchodoval) navrhl první obchodní systém využívající tento indikátor na burzovních trzích. Dle zdroje [4] se tento indikátor stal jedním z nejvyužívanějších oscilátorových indikátorů na všech finančních trzích. Výpočet CCI indikátoru zahrnuje několik kroků. Nejprve spočteme tzv. typical price svíce:

$$TP = \frac{L + C + H}{3}, \quad (3.1)$$

kde

$L$  je LOW poslední svíce,

$C$  je CLOSE cena poslední svíce

a  $H$  je HIGH cena poslední svíce.

Dalším krokem je spočtení průměrné absolutní odchylky:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (TP_i - SMA(TP, n))}{n}, \quad (3.2)$$

kde

$TP_i$  je typical price v čase  $i$  spočtena dle (3.1),

$SMA(TP, n)$  je jednoduchý klouzavý průměr z  $TP$  s periodou  $n$ .

Výsledný vzorec pro výpočet hodnot indikátoru CCI:

$$CCI = \frac{TP - SMA(TP, n)}{0.015 \cdot D} \quad (3.3)$$

Indikátor CCI lze využít hned několika způsoby. Prvním z nich je, jako u většiny oscilátoru, identifikace překoupených a přeprodaných oblastí. Jako překoupené oblasti označujeme místa, kdy je v trhu potlačen zájem obchodníků obchodovat dlouhé pozice z důvodu růstu ceny – hodnota indikátoru stoupá nad horní mez, nejčastěji 100. Přeprodané oblasti jsou opakem překoupených a hodnota indikátoru CCI klesá pod dolní mez, nejčastěji -100. Dalším způsobem využití je dle zdroje [5] identifikace síly a rychlosti trendu. Čím vyšší je hodnota indikátoru, tím větší je síla trendu. Naopak čím více bude hodnota indikátoru klesat, tím rychleji se bude z cenového grafu ztrácet hybnost a můžeme očekávat chop (žádný trend).

Existují i systémy založené čistě na indikátoru CCI a jeho grafových formacích. Příkladem takového systému je systém FinWin, o kterém se můžeme více dočíst ve zdroji [5].



## 4 Genetické algoritmy

Genetické algoritmy a genetické programování patří v současné době k základním kamenům při tvorbě automatických obchodních systémů, zejména pak při jejich optimalizaci.

Kořeny samotné myšlenky genetických algoritmů můžeme hledat v polovině 19. století, kdy známý biolog Charles Darwin vydal svou knihu *O vzniku druhů přirozeným výběrem čili zachováním vhodných odrůd v boji o život*. Darwinova myšlenka o přirozeném výběru a přežití nejsilnějších se v čase vyvíjela a začala být postupně využívána a napodobována pro vědecké účely. Velký rozvoj z hlediska přímé realizace této myšlenky přichází až s rozvojem výpočetní techniky. Od 90. let 20. století se začínají genetické algoritmy (stochastické optimalizační metody založené na darwinovském principu evoluce) hojně používat k řešení nejrůznějších problémů napříč celým vědeckým spektrem. Dříve než si uvedeme princip genetických algoritmů, budou definovány základní pojmy, se kterými algoritmy pracují.

Prvním pojmem je *Individuum (fenotyp)*, čili jednice algoritmu. Pod individuem si můžeme představit člověka, zvíře, technický indikátor nebo samotný obchodní systém. Každé individuum má svou reprezentaci (genotyp, chromozom), která určuje jeho vlastnosti. Můžeme si ji představit zjednodušeně jako binární kód představující zakódované vlastnosti jedince, nebo například množinu parametrů obchodního systému (parametry indikátorů, stop loss atd.). Jednotlivé nuly a jedničky v binárním kódu, popřípadě hodnoty parametrů obchodního systému jsou označovány jako *geny*.

Soubor individuí tvoří *populaci*. Na začátku algoritmu zpravidla bývá generovaná a poté vymírá, aby byla nahrazena lepšími potomky. Jako potomky můžeme označit nově vzniklé jedince z původní generace. Na počátku výpočtu tedy máme populaci, ať už vygenerovanou, nebo pevně danou, kde jednotlivá individua popsána svými chromozomy mají pevně danou délku a příslušné uspořádání genů. Dalším krokem algoritmu je ohodnocení všech jedinců populace. To probíhá pomocí tzv. fitness funkce. Samotné ohodnocení může být specifické podle konkrétního typu problému. U obchodního systému může naše ohodnocení představovat zisk. Nyní přichází na řadu velmi důležitý krok, a sice výběr dvojic individuí za účelem jejich reprodukce. Zde můžeme spatřovat paralelu s Darwinovou myšlenkou o přirozeném výběru. K reprodukci tedy volíme silné jedince, jejichž silné vlastnosti budou potomci obsahovat, a budou tedy daleko odolnější než jejich rodiče. Tento výběr nejčastěji probíhá pomocí ruletového mechanismu selekce, jehož bližší přiblížení je uvedeno ve zdroji [6]. K vytvoření potomků zvolených rodičů se užívají zpravidla 2 genetické operátory – křížení a mutace. Při křížení dochází k výměně částí chromozomu, u mutace pak k náhodným změnám jednotlivých genů. Tímto způsobem nám vznikne nová populace jedinců, jejíž kvalitu můžeme měřit například průměrným ohodnocením populace, které spočteme aritmetickým průměrem z ohodnocení všech jedinců.

Dle zdroje [6] můžeme shrnout podstatu genetických algoritmů do několika bodů:

- Algoritmus pracuje s populací individuí, jež je obvykle inicializována zcela náhodně
- Každé individuum reprezentuje skrze vhodně zvolené kódování jedno potenciální řešení daného problému.
- Každému individuu je přiřazeno ohodnocení (fitness funkce).
- Individua jsou vybírána k další reprodukci náhodně tak, že pravděpodobnost výběru každého individua je úměrná jeho ohodnocení.
- Aplikací různých sexuálních a asexuálních genetických operátorů jsou produkována nová individua, tedy nová potenciální řešení daného problému.
- Genetické algoritmy jsou algoritmy heuristické (jejichž cílem je najít přijatelné řešení v přijatelném čase), stochastické (obsahují celou řadu kvazináhodných komponent – selekce, rekombinace, atd.) a vnitřně paralelní (pracují současně s celou populací potenciálních řešení).

## 5 Automatický obchodní systém

Automatický obchodní systém (AOS) je způsob obchodování umožňující automatickou exekuci obchodních příkazů pomocí počítače dle jasně definovaných pravidel, které si obchodník vytvoří. Opak automatického obchodování je diskreční obchodování, kde obchodník manuálně zadává příkazy během obchodní seance.

Výhody automatického obchodního systému spočívají v preciznosti samotného obchodního systému. Vstupy a výstupy z obchodů jsou exekuvány strojově přesně a ulevují obchodníkovi od stresu a z něho vyplývajících unáhlených rozhodnutí. Další výhodou automatického obchodování je ta, že není vyžadována nutnost sedět u obchodní platformy po celou dobu obchodní seance. Nicméně zdroj [5] však velmi doporučuje každodenní kontrolu obchodů a internetového připojení.

Nevýhody automatického obchodování spatřují především diskreční obchodníci. Ti zastávají teorii, že automatický systém není schopen podchytit drobné nuance v trhu, které si samotný obchodník svou praxí pěstuje. Další nevýhodou spočívá v nutnosti neustálého, silného a spolehlivého internetového připojení. Pokud by během času, kdy jsme v otevřené pozici, došlo k výpadku proudu nebo internetového připojení, mohli bychom zaznamenat nepříjemnou ztrátu. Tento problém však lze z části odstranit, například pomocí služby VPS.

VPS je zkratka pro virtuální privátní server. Mnoho obchodníků využívá VPS servery jako levnější variantu (oproti koupi fyzického serveru) pro spolehlivé udržení internetového připojení AOS bez výpadků sítě. Často se využívá pronájem takového serveru. V praktické části budeme uvažovat pronájem VPS od německé firmy Contabo [7]. V uvedeném zdroji nalezneme také ceník měsíčního pronájmu jednotlivých variant serveru.

## 6 Budování AOS

Následující kapitola se bude obecně věnovat postupným krokům při vytváření automatického obchodního systému.

### 6.1 Money management

Na otázku, co to je money management asi nejlépe odpovídá definice dle Ryana Jonese: „*Money management představuje stanovení optimální velikosti části obchodního kapitálu, který bude riskován v příštím obchodu.*“ [8]

Money management však není jen o jedné definici, nebo jediném pravidlu, nýbrž jedná se o soubor pravidel, podle kterých můžeme řídit a diverzifikovat riziko u jednotlivých obchodů, tvořit rezervy a sledovat ukazatele, které nám mohou pomoci v dalším obchodování. Za daného rizika se navíc snažíme maximalizovat náš zisk. Níže budou uvedeny klíčové prvky money managementu obchodního systému, na které je třeba brát zřetel.

*Pojem řízení a diverzifikace rizika si můžeme představit jako maximální procento našeho kapitálu, které budeme v obchodu riskovat. Dle zdroje [5] se pro menší účty uvádí riskovat max. 5 % na obchod, u velkých účtů pak kolem 1 % na obchod. Styl diverzifikace rizika se bude lišit s povahou tradera. Představme si tradera disponujícím účtem 80 000 USD. Ze svých backtestů ví, že může nastat situace, kdy 4 měsíce v roce budou ztrátové. Je přitom ochoten ztratit maximálně 25 % ze svého účtu, aniž by ztráta ovlivnila jeho další racionální rozhodování. Na jeden měsíc tedy může ztratit maximálně 5 000 USD. Pokud má jasně daný stop loss na svém trhu (250 USD), vidíme, že za měsíc může uzavřít maximálně 20 pozic (pokud zanedbáme poplatky u brokera).*

Jedna z nejdůležitějších vlastností obchodního systému je *pozitivní matematické očekávání*. Jak již z názvu vyplývá, tento ukazatel MUSÍ být v kladných číslech, aby náš systém měl ziskový potenciál. Jedná se o ukazatel daný vztahem:

$$O = \overline{pr} \cdot P(pr) - \overline{lo} \cdot P(lo), \quad (6.1)$$

kde

$\overline{pr}$  je průměrný zisk z obchodů,

$P(pr)$  je pravděpodobnost zisku neboli poměr ziskových obchodů vůči celkovému počtu obchodů,

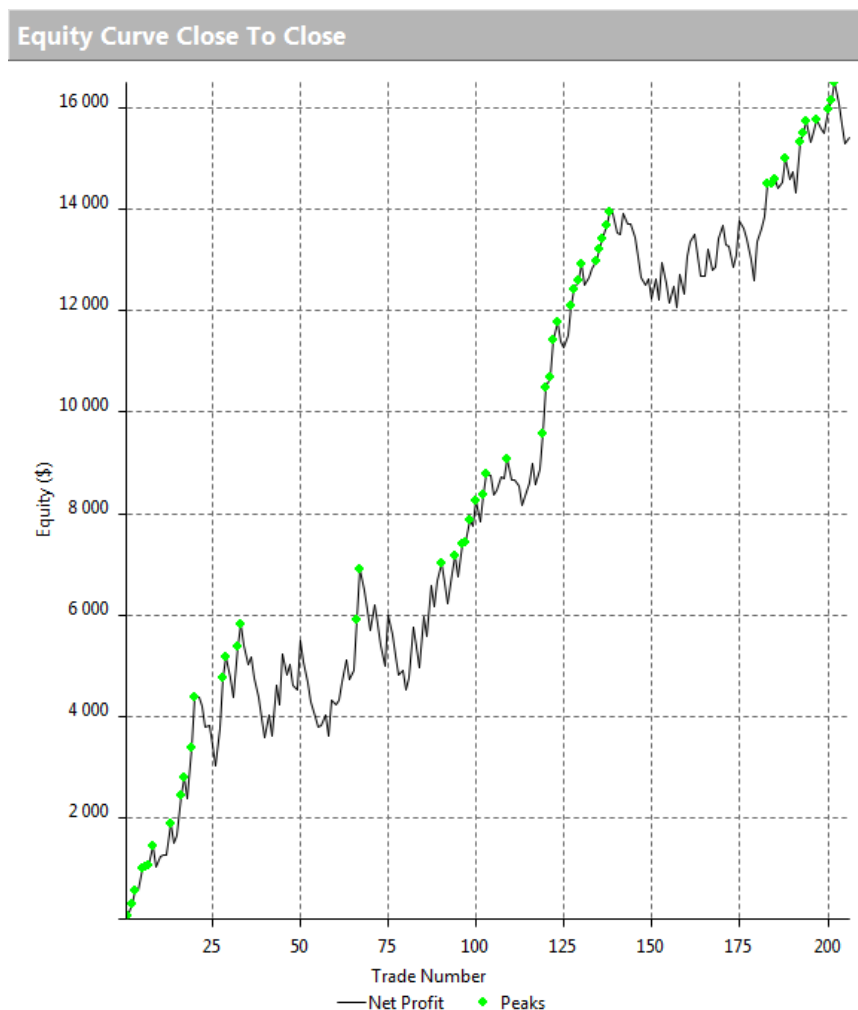
$\overline{lo}$  je průměrná ztráta z obchodů

a  $P(lo)$  je pravděpodobnost ztráty neboli poměr ztrátových obchodů vůči celkovému počtu obchodů.

Dalším důležitým ukazatelem obchodního systému je *procentní úspěšnost obchodů*. Hodnota úspěšnosti obchodů jde ruku v ruce s *risk reward ratio (RRR)*, česky *poměrem riskované částky a potenciálního zisku*. Společná kombinace těchto ukazatelů nám prozradí povahu obchodního systému. Čili pokud náš systém bude mít nízké RRR,

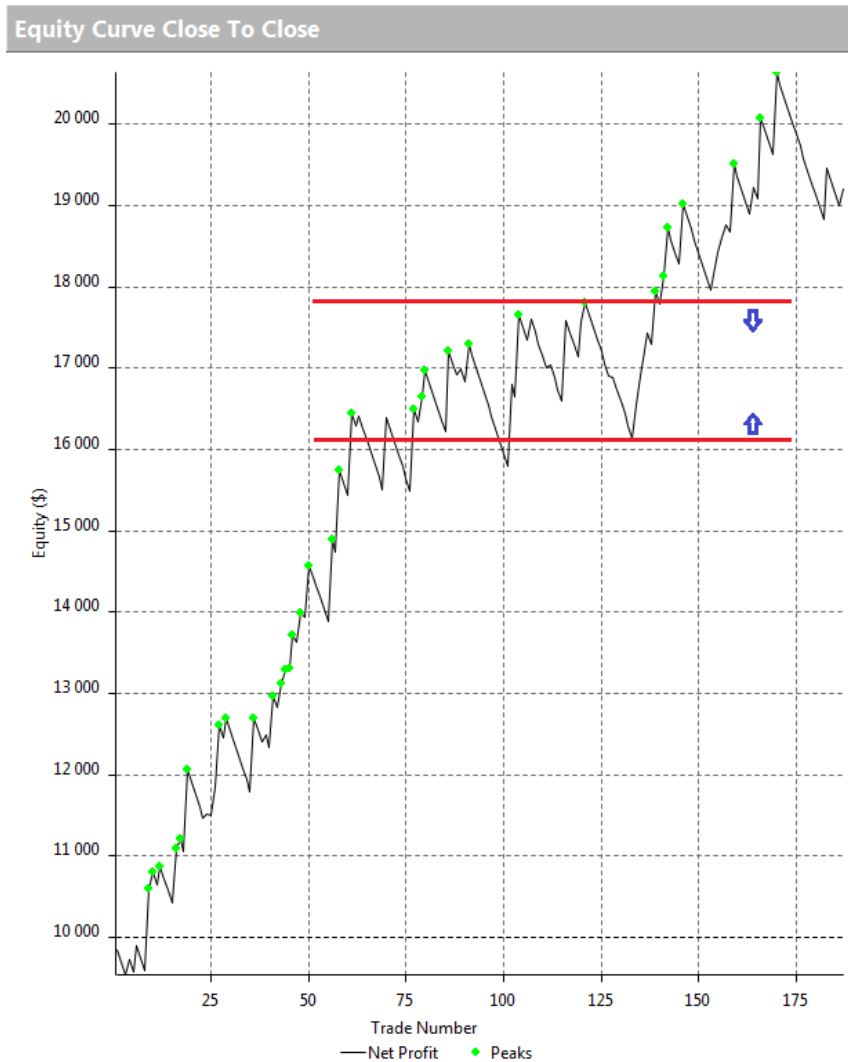
je nutné jej vyvážit vysokou úspěšností. Pokud bychom měli RRR 1:2 (riskujeme například 100 USD pro potenciální zisk 200 USD), potřebujeme k tomu alespoň 34% úspěšnost, aby náš systém byl výnosný. Zdroj [5] uvádí u intradenního obchodování hrubý dolní odhad průměrné procentní úspěšnosti, a to mezi 20 – 40 %. Pokud náš systém nedosahuje těchto hodnot, je třeba se uchýlit k většímu RRR.

Pro znázornění úspěšnosti obchodního systému se nejčastěji využívá *equity křivka*, která zobrazuje závislost změny velikosti účtu na počtu obchodů, event. na čase. Tato křivka by měla v ideálním případě mít rostoucí charakter bez větších vychýlení. Ukázkou takové equity křivky vidíme na obrázku 5.



Obrázek 5: Equity křivka náhodně vybrané strategie na kontraktu ES.

U samotné equity křivky nás nejvíce zajímá její růst a tzv. *drawdowny (DD)* neboli poklesy kapitálu. Drawdownům se nevyhne téměř žádná strategie, avšak důležité jsou jejich velikosti (zejména pak maximální DD), které nás mohou psychicky připravit na případná „špatná období“. Ukázkou DD uvidíme na obrázku 6.



Obrázek 6: Ukázka významného drawdownu strategie na indexu ES.

Dalším prvkem, který má v money managementu bezpochyby své místo je tzv. *position sizing*. Jedná se o určení optimální výše riskovaných prostředků (počtu kontraktů) k maximalizaci zisku při daném riziku. V našem případě budeme počítat s fixní velikostí pozice, existuje však celá řada výpočtů optimální velikosti pozice, jejichž detailní popisy a výpočty nalezneme ve zdroji [9].

## 6.2 Původní myšlenka

Jako odrazový můstek na cestě k úspěšnému obchodnímu systému je nezbytná počáteční myšlenka, kterou se postupným rozvíjením (nejčastěji filtry) a optimalizací pokusíme přeměnit v úspěšnou strategii. Holá myšlenka by měla mít v ideálním případě pozitivní matematické očekávání (viz kapitola 6.1) a její ekvity křivka by neměla mít žádné výrazné drawdowny. Pokud tedy myšlenka splňuje původní minimální požadavky, mohla by být dobrým kandidátem na úspěšnou strategii a podrobíme ji dále dalšímu testování.

## 6.3 Filtrování obchodů

Po spuštění backtestu hlavní myšlenky často dosáhneme velkého počtu obchodů. Za účelem dosažení hladké rostoucí křivky při ideálním počtu obchodů nám slouží tzv. filtry, které si můžeme představit jako zpřísnující podmínky, za kterých vstoupíme do obchodu. Existuje několik druhů filtrování obchodů: časové, indikátorové, grafické a jejich kombinace. Časové filtry si lze představit jako striktní určení doby, ve které zamítáme vstup do obchodu. Může se jednat o hodiny nebo dny, v extrémním případě může časový filtr znamenat i vyloučení některých neúspěšných měsíců v roce. Příklad indikátorového filtru si lze ukázat na indikátoru CCI (nebo jiném oscilátorovém indikátoru), kde bereme zřetel pouze na překoupené, resp. přeprodané oblasti, ve kterých budeme obchodovat. U grafických filtrů je hlavní princip v hledání určitých cenových patternů (vzorů), které nám budou potvrzovat vstup do obchodu. V práci budou použity jak časové denní filtry, tak i indikátorový filtr založený na oscilátoru CCI.

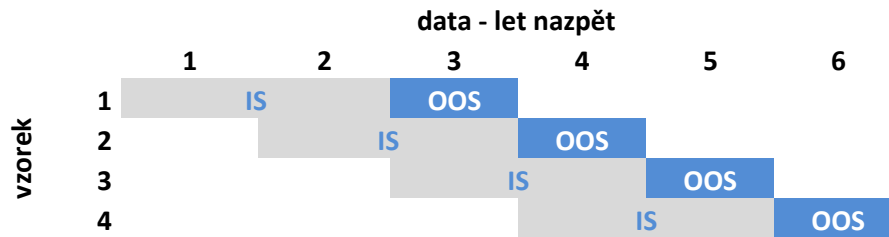
## 6.4 Testy robustnosti a walk forward analýza

Jedním ze základních kroků při tvorbě obchodní systémů by měla být kvalitní analýza funkčnosti a robustnosti vytvořené strategie na nových nebo netestovaných datech. Zdroje [9] a [10] uvádějí jako nejrozšířenější metodu testování takovéto funkčnosti tzv. walk forward analýzu, zkráceně WFA, jejíž klasická varianta bude rovněž použita v této práci. Princip metody spočívá v rozdělení vzorku dat na dvě (nebo více) skupiny, tzv. IN SAMPLE (dále IS) a OUT OF SAMPLE (dále OOS) data. Na IS datech provádíme backtesting a samotnou optimalizaci, kdežto na OOS datech, které se také někdy označují jako paper trading, testujeme naši strategii s již optimalizovanými parametry. Dle zdroje [9] se doporučuje volit velikost IS dat jako 70 – 80 % z celkového vzorku, zbylých 20 – 30 % připadá na OOS.

Vedle základní walk forward analýzy existují další robustnější přístupy rozdělení a testování IS a OOS dat, jako například tzv. plovoucí walk forward analýza (anglicky rolling WFA), kotvená walk forward analýza (anglicky anchored WFA) nebo jejich kombinace tzv. konkurenční walk forward analýza.

Princip *plovoucí WFA* spočívá v posunu fixně dlouhého okénka, ve kterém probíhá klasická WFA. Počet těchto posunů už záleží na obchodníkovi a způsobů vyhodnocení tohoto testování je také několik. Prvním z nich je porovnání optimálních hodnot jednotlivých testování, kde bychom v ideálním případě dostali stejné nebo velmi blízké hodnoty. Druhou variantou je uspokojivá funkčnost jednotlivých IS dat k příslušným OOS. O tom, co je uspokojivá funkčnost, se dočteme v následující podkapitole. Obrázek 7 zachycuje princip plovoucí WFA, kde provádíme 4 testy, jejichž výsledky na OOS porovnáváme mezi sebou.

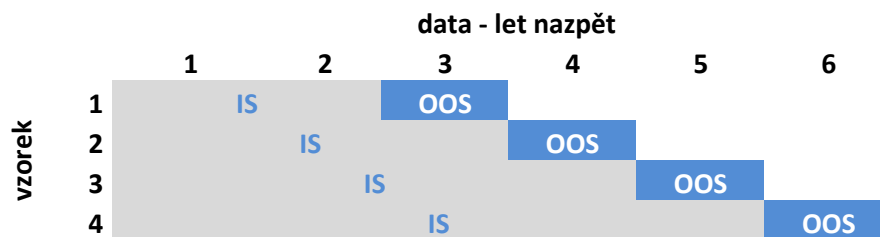
### Plovoucí walk forward analýza:



Obrázek 7: Ukázka plovoucí WFA.

Princip *kotvené WFA* naopak spočívá v ukotvení začátku IS dat a postupným posouváním OOS dat. Pro lepší představu můžeme ideu této metody vidět na obrázku 8. Vyhodnocení testů probíhá velmi podobně jako u plovoucí WFA.

### Kotvená walk forward analýza:



Obrázek 8: Ukázka kotvené WFA.

Posledním typem WFA, který bude zmíněn v této práci, je tzv. *konkurenční WFA*, která je kombinací výše zmíněných přístupů. Pořadí jednotlivých WFA závisí na preferencích obchodníka. Z výše zmíněných ukázek bychom z jedné nebo druhé varianty dostali 4 možnosti, které musí být validní ve svých příslušných OOS. Tyto čtyři varianty pak testujeme na příslušných IS datech, kde vybereme nejlepší variantu a tu následně testujeme na zbylých OOS datech. Tímto způsobem máme vysokou pravděpodobnost, že je naše strategie (pokud tímto testováním prošla) dostatečně robustní a můžeme ji zkusit živě obchodovat.

Zdroj [10] také zmiňuje, že pokročilé testování robustnosti je často velmi časově náročné a nestává se výjimkou, že tyto testy vyřadí i zdánlivě úspěšné obchodní systémy.

## 6.5 Požadavky na systém

V této podkapitole si uvedeme základní ukazatele a jejich optimální hodnoty, kterých by měl úspěšný obchodní systém dosahovat.

*Net profit* neboli čistý zisk bývá často jedním z velmi přeceňovaných ukazatelů úspěšnosti obchodního systému. Čistý zisk má bezpochyby svou důležitost. Ukazuje



nám, jak úspěšný je náš systém za sledované období, avšak bez dalších doplňujících informací je čistý zisk pouze málo říkajícím údajem. Hlavními doplňujícími informací je především míra rizika, s jakou tento čistý zisk byl nabyt. Můžeme mít velmi vysoký net profit, při velmi vysokém riziku. Je však otázkou, zdali budeme mít stejné „štěstí“ i při reálném obchodování, což nemusí být vzhledem k vysoké míře rizika pravděpodobné. Další důležitou informací je konzistence kumulace čistého zisku. Můžeme mít například systém, který během svého startu vydělal velké sumy, avšak ke konci sledovaného období již zaznamenáváme pravidelné ztráty. Přesto se net profit jeví vysokým. Na aktuálních datech nám systém nevydělává, a je tedy velká pravděpodobnost, že tomu tak bude i po vstupu do živého obchodování. Dobrým pomocníkem by nám při testování konzistence měla být (kromě ekvity křivky) i statistická analýza jednotlivých period testovaného období, kde bychom vyžadovali podobné hodnoty základních statistických ukazatelů.

*Average trade* neboli průměrná velikost zisku na jeden obchod je dalším ukazatelem úspěšného či neúspěšného obchodního systému. Jedná se o čistý zisk podělený počtem obchodů, který nám říká, kolik vyděláme nebo ztratíme v průměru za jeden obchod. Hodnota *average trade* by měla být ideálně tak velká, abychom pokryli komise (event. slippage = skluz v plnění obchodního příkazu) a stále jsme zaznamenávali profit.

*Percentage of profitable trades* neboli procentní úspěšnost obchodů udává, v kolika procentech z celkových obchodů zaznamenáváme zisk. Zdroj [9] doporučuje udržet procentní úspěšnost obchodů kolem 40 – 60 %. Vzdálení se od této hodnoty bývá v obou směrech podezřelé a vyžaduje zpětnou kontrolu.

*Profit factor* je jeden z klíčových ukazatelů kvality obchodního systému. Spočteme ho následujícím vztahem:

$$PF = \frac{\bar{pr} \cdot P(pr)}{\bar{lo} \cdot P(lo)}, \quad (6.2)$$

kde

$\bar{pr}$  je průměrný zisk z obchodů,

$P(pr)$  je pravděpodobnost zisku,

$\bar{lo}$  je průměrná ztráta z obchodů

a  $P(lo)$  je pravděpodobnost ztráty.

Hodnotu profit faktoru se snažíme maximalizovat. Z uvedených zdrojů bývá hodnota blízká číslu 2 již dobrým znakem kvality systému. Jak ale zdroj [9] uvádí, spokojit se lze i s nižší hodnotou profit faktoru (alespoň 1.5)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Při překročení čísla 3 je také zdrojem [9] doporučeno přezkontrolovat systém, popřípadě kroky optimalizace.

Dalším významným ukazatelem je *maximální drawdown*, čili největší pokles hodnoty účtu během obchodovacího období. Tuto hodnotu se během optimalizace snažíme minimalizovat, tj. naše rostoucí equity křivka by měla být co nejhladší. Nejčastěji se drawdown vyjadřuje v procentech jako podíl hodnoty poklesu účtu a předchozího maxima účtu (hodnoty posledního maxima z equity line). Dle zdroje [9] je přípustná tolerance drawdownu u profesionálních obchodníků do 20 – 30 %. Vyšší hodnoty už by byly velmi nepříjemné pro psychiku obchodníka. Pro praktické účely se v živém obchodování často počítá průměrný drawdown a jeho směrodatná odchylka z testovaného období. Tyto hodnoty nám pak dávají přibližné rozmezí, ve kterém bychom se v živém obchodování s drawdowny měli pohybovat.

*Počet obchodů* za testované období je velmi jednoduchým, ale velmi užitečným ukazatelem efektivity obchodního systému. Obecnou snahou při tvorbě obchodního systému je minimalizovat počet obchodů, přičemž maximalizujeme jejich average trade (čili průměrný zisk na obchod). Hlavním důvodem je minimalizace nákladů na komise, které mohou být při vysokém počtu obchodů značné. Zdroj [12] doporučuje obchodovat kolem 60 – 80 obchodů za rok, tj. 1,5 obchodu na týden. Číslo je takto uváděno jednak kvůli přijatelným nákladům na komise brokera, jednak pro zachování statistické relevance údajů o jednotlivých obchodech. Zdroj [10] uvádí alespoň dolní odhad počtu obchodů (30), a to zejména kvůli zmíněné statistické relevanci údajů o obchodech.

V souvislosti se zmíněnou walk forward analýzou můžeme také zmínit *walk forward efficiency ratio*, což je ukazatel, který je obecně velmi oblíbený způsob předpovědi síly obchodního systému před nasazením na reálná data. Zdroj [10] tento ukazatel vyjadřuje pomocí vztahu:

$$WFE = \frac{AAOP}{AAWFP} \quad (6.3)$$

kde

*AAOP* je průměrný profit z optimalizačního vzorku

a *AAWFP* průměrný profit z walk forward testu (out of sample).

V praktické části se při optimalizaci systému budeme soustřeďovat především na maximalizaci zisku při pevně dané hladině rizika (fixní SL), maximalizaci profit faktoru (alespoň 1.5) při přijatelné výši drawdownu (maximálně 30 %) a minimalizaci počtu obchodů (více v podkapitole 7.5). Hlavním grafickým ukazatelem bude equity křivka. Dále budeme chtít zachovat alespoň přibližnou konzistenci těchto ukazatelů v jednotlivých vzorcích dat při klasické WFA<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Existuje celá řada dalších ukazatelů kvality obchodního systému, některé z nich můžeme najít ve zdrojích [9] a [10].

## 6.6 Reoptimalizace systému

Životnost obchodního systému může být velmi různorodá a její doba závisí především na robustnosti systému. Každý obchodní systém by však měl pravidelně procházet údržbou. Jak často a jakým způsobem bude údržba prováděna, závisí na preferencích obchodníka, přesto zdroj [9] doporučuje provést alespoň každý rok základní analýzy úspěšnosti obchodního systému, popřípadě reoptimalizaci.

Reoptimalizace systému v tomto případě znamená provést detailní analýzu obchodního systému (lze opět využít walk forward analýzu) na aktuálních datech a kontrolovat, jak se mění úspěšnost systému, eventuálně změnit dle posledních testů optimalizované parametry systému. Zdroj [9] se také zmiňuje o dynamické reoptimalizaci, která probíhá pravidelně v rámci měsíců nebo let. Při dynamické reoptimalizaci lze využít plovoucí WFA (podkapitola 6.4), kde jsou parametry po pravidelných časových úsecích měněny na základě OOS výsledků systému. Tímto způsobem se systém adaptuje na změny cen aktiva.

V případě, že obchodní systém není na reálných datech úspěšný, zvolí si obchodník „stop loss“ systému a po dosažení určité úrovně ztráty kapitálu systém stahuje z reálného obchodování. Po stažení systému přichází na řadu testování robustnosti obchodního systému, případně změna strategie.

## 7 Praktická část

Úkolem této práce je navrhnout a optimalizovat automatický obchodní systém. Následující podkapitoly pojednávají o postupu výběru základní myšlenky až po její rozvoj, testování a filtrování. Na konci kapitoly si zhodnotíme úspěšnost systému na reálných datech.

### 7.1 Výběr aktiva

Vytvořený automatický obchodní systém budeme aplikovat na jeden z amerických e-mini kontraktů, konkrétně e-mini S&P 500 (zkratka ES). Jedná se o futures na americký akciový index Standard & Poor's 500, který je obchodován na burze CME (elektronický systém GLOBEX). K dispozici máme 5minutová data od 19. 10. 2006 až 20. 10. 2016, která pocházejí od společnosti iQFeed [15]. Jde o americkou firmu specializující se na poskytování dat napříč celým spektrem obchodovacích instrumentů od forexu přes americké akcie až po burzovní zprávy. Data byla vizuálně otestována po celé období.

Obecně lze říci, že e-mini futures patří mezi velmi vyhledávané, a to z hlediska likvidity, nízkých komisí u většiny brokerů, okamžité exekuce příkazů a příhodné doby obchodních hodin (v ČR hlavně během odpoledních hodin). Jednotlivé e-mini jsou mezi sebou silně korelovány, jelikož jsou počítány z podobného souboru titulů.

Při obchodování je u ES multiplikace 1:50, minimální pohyb činí 0.25 bodu, což odpovídá 12.50 USD (díky multiplikátoru). Hodnota celého bodu tedy činí 50 USD. Detailnější informace o e-mini futures jsou k dispozici ve zdroji [13]. Jednotlivé výše marginů (initial margin, margin call) se mezi brokery liší. Konkrétní hodnoty pro náš obchodní systém i s jejich vysvětlením budou uvedeny na konci této kapitoly.

Titul ES byl vybrán především z hlediska **dostupnosti dat**, vysoké likvidity a celkově vysoké volatility. Na základě výše popsaných faktů (vyšší volatilita a vysoká multiplikace), je vyžadován vyšší stop loss.

### 7.2 Výběr softwaru

K praktické realizaci a optimalizaci obchodního systému a vizualizaci výsledků byl použit analytický nástroj Multicharts [14], produkt stejnojmenné americké firmy sídlící v Columbusu, Ohio, v nejnovější verzi 10. Program Multicharts se skládá celkem z pěti bloků: uživatelského rozhraní Multicharts, QuoteManageru, PowerLanguage editoru, PortfolioTraderu a 3D Optimizeru. Poslední dva zmíněné bloky se v rámci tvorby našeho obchodního systému nevyžívaly, nebo pouze jen okrajově

*PortfolioTrader* umožňuje testovat vytvořené strategie na různých finančních instrumentech, stejně tak testovat portfolio našich strategií zároveň a nabízet různé formy diverzifikace portfolia.

*3D Optimizer* nabízí po proběhnutí optimalizace strategie vykreslení 3D obrázku závislosti vybraných parametrů strategie například na zvoleném ukazateli kvality systému.

*QuoteManager* je blok, který obsahuje informace o veškerých titulech obchodovaných na světových burzách. Zaznamenávají se zde základní informace jako minimální pohyb, jeho cena a obchodní hodiny. *QuoteManager* nabízí mimo jiné i import či export dat jednotlivých aktiv. V našem případě jsme jej využili pro importování dat indexu ES v ASCII formátu do programu *Multicharts*.

*Powerlanguage editor* je programovací rozhraní, ve kterém probíhá samotné vytváření kódu. Naprogramovat lze indikátor technické analýzy, funkci nebo signál. Indikátory a signály se souhrnně označují jako studie a mezi sebou se významně liší. Indikátor je nástroj technické analýzy, ve kterém lze vytvořit grafický výstup do grafu daného aktiva. Signál je oproti tomu mechanický nástroj technické analýzy, který slouží především k definování vstupů a výstupů do pozic na základě algoritmických výpočtů, které signál obsahuje. Signálem se v *Multicharts* označuje konkrétní strategie – obchodní systém. Implementace kódu se provádí pomocí programovacího jazyka *EasyLanguage*, který je známý především z dalšího analytického nástroje *Tradestation*. Popisu *EasyLanguage* bude věnovaná první příloha v této práci.

*Uživatelské rozhraní Multicharts* je stěžejní blok programu, ve kterém se zobrazuje graf daného instrumentu, výstupy strategií, indikátorů a studií, připojení na brokera a živé obchodování, manuální spuštění obchodních příkazů, výpis reportů o strategiích, spuštění optimalizace a nastavení celého programu.

Výhodou tohoto programu je možnost stažení 30denní trial verze z oficiálních webových stránek *Multicharts*. Po stažení a nainstalování jsou k dispozici online data 6 vybraných amerických aktiv. Trial verze není nijak omezena oproti placené verzi a odkaz na její stažení nalezneme ve zdroji [14].

## 7.3 Obchodní systém

Hledání prvotní myšlenky probíhalo na základě vizuální analýzy cenového grafu. Z povahy dat jsme se poté soustředili na vzniklé gapy (kapitola 3.3), trendovou povahu předchozího dne a příchodu extrému v aktuálním dnu. Vysvětleme si nejprve zmíněné pojmy.

Naše konkrétní gapy vznikají ze situace, kdy máme k dispozici data pouze z hlavní obchodní seance, tj. 8:30 – 15:15 místního času. Z předchozích pozorování jsme počáteční velikost zaznamenání gapu volili 4 body. Tato hodnota je dále v práci optimalizována. Rozlišujeme navíc 2 druhy gapů – rostoucí a klesající gapy. Rostoucím gapem označíme situaci, kdy je cena na konci předešlé obchodní seance nižší než otevírací cena následující obchodní seance. U klesajícího gapu platí opak, čili cena na konci předešlé obchodní seance je vyšší než otevírací cena následující obchodní

seance. Za účelem vizuální interpretace gapů v cenovém grafu a získání hodnot jejich velikostí byl naprogramován indikátor Gapy, jehož kód je součástí přiloženého souboru *Kódy.txt*.

Obrázek 9 zobrazuje ukázkou klesajícího gapu. Můžeme si také všimnout, že ačkoliv v cenovém grafu vidíme 3.25bodový klesající gap, vytvořený indikátor nám správně ukazuje zelenými body (modré šipky), že se v rámci strategie o gap nejedná (na levé informační liště jsou k dispozici i CLOSE a OPEN ceny určující gap). Důvodem je v tomto případě nastavení parametru pro identifikaci gapu na hodnotu 4.



Obrázek 9: Ukázkou klesajícího gapu.

Trendová povaha předchozího dne může mít 3 podoby: rostoucí trend (uptrend), klesající trend (downtrend) a chop (stagnace ceny). Při původním hledání v cenovém grafu jsme povahu trendu určovali pomocí posledních 30 svíček předchozí seance, tato hodnota však v rámci prvotního pozorování nebyla striktně dodržována. V obchodním systému předchozí uptrend/downtrend/chop určujeme z posledních  $n$  svíček předchozí obchodní seance, kde  $n$  je později optimalizováno, pomocí rozdílu první CLOSE ceny z vybraného okénka velikosti  $n$  a aritmetického průměru ostatních svíček okénka. Pokud je rozdíl kladný, jedná se o klesající trend, pokud je rozdíl záporný, jedná se o rostoucí trend. I zde si manuálně volíme toleranci, s kterou je trend identifikován. Tato hodnota je poté v systému optimalizována. Pokud je výše zmíněný rozdíl větší než tolerance, jedná se o klesající trend. Pokud je rozdíl menší než záporně vzatá hodnota tolerance, jedná se o rostoucí trend. Tato jednoduchá identifikace trendu je v našem případě dostačující, neboť se u aktiva ES nekonají extrémní skoky mezi svíčkami. U volatilnějšího titulu (více se měnící cena aktiva) bychom však museli použít sofistikovanější implementaci rozpoznání trendu. Za účelem vizuální interpretace trendové povahy ceny minulého dne a ověření funkčnosti obchodního systému byl naprogramován indikátor *Predch\_den*, jehož kód je součástí přiloženého souboru *Kódy.txt*.

Praktickou ukázkou určení trendu části předchozího dne můžeme vidět na obrázku 10. V cenovém grafu vidíme jednak červené značení klesajícího gapu (6.75 b), jednak modrý

bod dalšího indikátoru, signalizující chop v daném úseku předchozího dne. V tomto případě je velikost okna rovna 35 svíci a tolerance činí 1 bod.



Obrázek 10: Ukázka signalizace chopu předešlého dne.

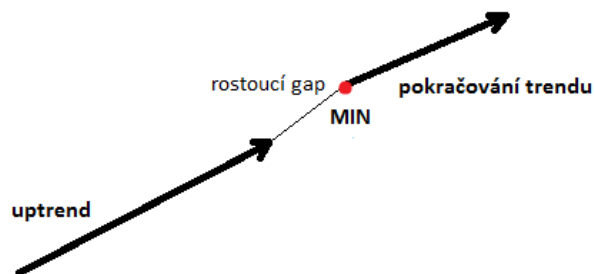
Příchod extrému (tj. minima nebo maxima) zaznamenáváme maximálně do 30. svíce obchodního seance a to opět na základě předchozích pozorování cenového grafu. Příchod MAX znamená příchod svíce, jejíž CLOSE cena je větší než CLOSE všech předchozích svíci v daném dni. Obdobně příchod MIN značí příchod svíce, jejíž CLOSE cena je menší než CLOSE všech předchozích v daném dni. U příchodu extrému nás v rámci obchodního systému zajímají dvě hodnoty. První je doba čekání na extrém (počet svíci od začátku obchodní seance do příchodu extrému) a druhou je čekání na potvrzení systému (počet potvrzovacích svíci po příchodu extrému). Jako potvrzovací svíce MAX označíme svíce s CLOSE nejvýše stejně velkými jako CLOSE maxima, obdobně pro MIN, kde CLOSE potvrzovacích svíci jsou alespoň stejně velké jako CLOSE minima. Obě tyto hodnoty jsou dále optimalizovány. Za účelem vizuální interpretace extrémů v cenovém grafu a získání hodnot svíci byl vytvořen indikátor Body, jehož kód je součástí příloženého souboru *Kódy.txt*. Ukázku příchodu MIN můžeme vidět na obrázku 11.



Obrázek 11: Příchod MIN na 7. svíce od začátku denní seance indexu ES.

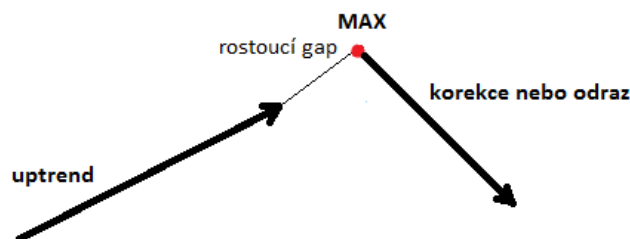
Myšlenka obchodního systému vychází z grafických metod, jako jsou trend, korekce a odraz od supportu, popřípadě rezistence. Jak se podle Eliotovy vlnové teorie ve zdroji [1] uvádí, trendy často probíhají ve dvou vlnách. První vlna se označuje jako tzv. motive wave (hybná vlna), která reprezentuje převládající trend. Druhá vlna (česky nazývaná korekce) je tvořena menším pohybem v opačném směru trendu a poté pokračováním ve směru první vlny trendu. Cena se během vzniklých gapů může ocitnout jak první, tak v druhé vlně trendu. Stejně tak může v gapu dojít k odrazu od S/R úrovně a začátku opačného trendu. Na následujících obrázcích si ukážeme několik popisovaných situací. Je potřeba zmínit, že příchod extrému nemusí vždy přijít okamžitě na začátku obchodního dne, jako tomu je na ilustračních obrázcích.

Obrázek 12 popisuje situaci, kdy po předchozím uptrendu a rostoucím gapu přichází v následujícím dni MIN. V tomto případě předpokládáme pokračování trendu, do kterého vstupujeme.



Obrázek 12: Ukázka vstupu LONG v uptrendu.

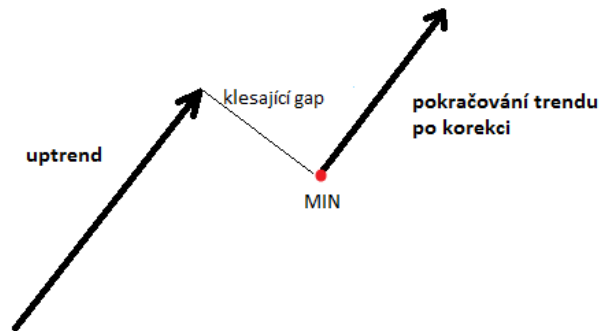
Na obrázku 13 vidíme ukázkou příchodu MAX po stejných událostech jako u obrázku 12 (uptrend, rostoucí gap). V tomto případě předpokládáme buď započatou korekci po první vlně trendu, do které vstupujeme, nebo odraz po dosažení S/R úrovně (zde rezistence).



Obrázek 13: Ukázka vstupu SHORT do korekce nebo downtrendu.

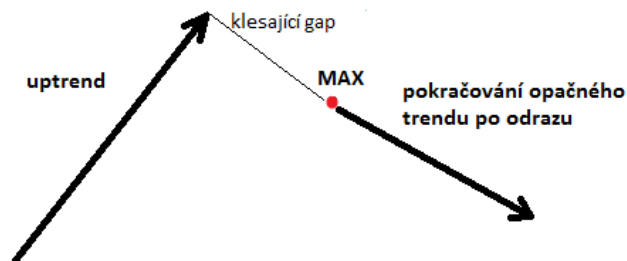
Obrázek 14 zobrazuje po předchozím uptrendu a klesajícím gapu příchod MIN, kde předpokládáme příchod druhé vlny trendu po korekci, kterou představuje gap.





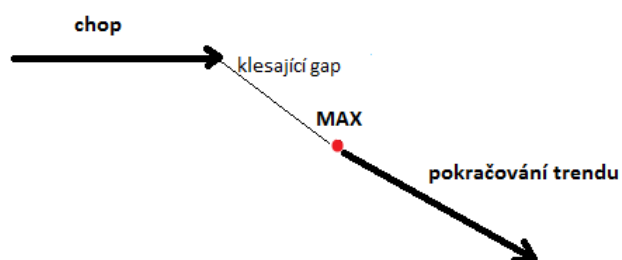
Obrázek 14: Ukázka vstupu LONG do pokračujícího uptrendu.

Na obrázku 15 vidíme stejnou výchozí situaci jako na obrázku 14, zde však přichází MAX. Příchod MAX po naznačeném otočení trendu (viz klesající gap) nám indikuje možné pokračování opačného trendu (resp. odraz) po dosažení rezistence.



Obrázek 15: Ukázka vstupu do SHORT po odrazu ceny od restence.

Pro doplnění možností chování cenového grafu v předchozím dnu byly brány v úvahu i možnosti, kdy se cena ocitla v chopu (stagnaci). Pokud po předchozím chopu a rostoucím gapu přijde MIN, můžeme spekulovat na pokračování započatého uptrendu, stejně tak v případě klesajícího gapu a příchodu MAX. Obrázek 16 zachycuje jeden takový scénář. Poslední možností je po předchozím chopu a rostoucím gapu příchod MIN (event. klesajícím gapu příchod MAX). Tato situace je nejméně přehledná a není zcela jasná, jaký scénář by mohl nastat.



Obrázek 16: Ukázka vstupu do SHORT po chopu a započatém downtrendu.

Pro nalezení úspěšné strategie byl nejprve vytvořen rozhodovací strom možných situací před příchodem extrému a následných reakcí cenového grafu. Jednotlivé reakce byly zaznamenány spolu s četnostmi jejich výskytu. Na obrázku 17 vidíme část rozhodovacího stromu pro rostoucí gap. Pokud v grafu nastane rostoucí gap, existují 3 možné scénáře. Gap přišel po předchozím uptrendu, downtrendu nebo chopu. Při prvotním hledání souvislostí byly v cenovém grafu dle předchozích pozorování zvoleny PT 300 USD a SL 200 USD, které nebyly vždy striktně dodržovány. Pokud přijde v daných rozmezích (počet svíci do extrému) extrém a hypotetický obchod by byl úspěšný (zasažení PT), zvýšíme v příslušném řádku *počet úspěchů* o 1. V případě neúspěšného hypotetického obchodu a zasažení SL zvyšujeme v daném řádku sloupek *počet neúspěchů* o 1. Při nezasažení PT ani SL neprovádíme žádnou akci. Hodnoty PT a SL jsou v rámci obchodního systému optimalizovány. Poplatky a komise zatím nejsou brány v úvahu.

Druh gapu:	předchozí den druhá polovina:	EXTRÉM:	počet svíci do extrému:	počet	
				úspěchů:	neúspěchů:
rostoucí gap	rostoucí	MIN	1...15	9	2
		MAX	16...30	1	0
	klesající	MIN	1...15	11	1
		MAX	16...30	2	0
	chop	MIN	1...15	9	1
		MAX	16...30	9	0
		MAX	1...15	4	0
		MIN	16...30	2	0
		MAX	1...15	8	4
		MIN	16...30	0	2
		MAX	1...15	10	3
			16...30	0	1

Obrázek 17: Část rozhodovacího stromu při hledání prvotní myšlenky systému.

Na obrázku 18 si ukážeme jeden z možných scénářů v cenovém grafu. Po předchozím uptrendu nastal rostoucí gap (velikost 5 bodů). Další den přichází odraz od rezistence a hned první svíci (MAX) začíná silný downtrend. Potenciální obchod do SHORT pozice by byl s jistotou úspěšný, a tak zvýšíme počet úspěchů ve třetím řádku stromu o 1.



Obrázek 18: Jeden z možných scénářů v cenovém grafu indexu ES. Svislá čárkovaná čára odděluje obchodní dny.

Z vypořizovaných souvislostí vykryštovalo na základě maximálních četností „počtu úspěchů“ a poměru počtu úspěchů a počtu neúspěchů celkem 12 signálů z celkových 36 možných, které budeme nadále zkoumat. Jejich přehled vidíme v tabulce 1.

#### vstupy LONG:

signál č.	gap	předchozí trend	příchod extrému
1	rostoucí gap	uptrend	MIN do 30 svíci
2	rostoucí gap	downtrend	MIN do 30 svíci
3	klesající gap	uptrend	MIN do 30 svíci
4	klesající gap	chop	MIN do 30 svíci
5	žádný gap	uptrend	MIN do 15 svíci
6	žádný gap	downtrend	MIN do 15 svíci

#### vstupy SHORT:

signál č.	gap	předchozí trend	extrém
7	rostoucí gap	uptrend	MAX do 15 svíci
8	rostoucí gap	downtrend	MAX do 30 svíci
9	rostoucí gap	chop	MAX do 15 svíci
10	klesající gap	uptrend	MAX do 30 svíci
11	klesající gap	downtrend	MAX do 30 svíci
12	žádný gap	downtrend	MAX do 15 svíci

Tabulka 1: Přehled všech vybraných signálů.

## 7.4 Analýza jednotlivých signálů

Za účelem dosažení relevantních výsledků zisků jednotlivých signálů byla provedena počáteční optimalizace parametrů obchodního systému na období od 19. 10. 2006 až 20. 10. 2013. Takto jsme dostali počáteční parametry, díky kterým, po dosažení

do jednotlivých metod, získáme hodnoty základních ukazatelů každého signálu. V tabulce 2 vidíme přehled úspěšnosti jednotlivých signálů (strategií). Vedle názvu signálů vidíme směrem vpravo rozhodnutí o úspěšnosti, čistý zisk (bez komisí), maximální drawdown signálu, profit factor, počet obchodů a procentní úspěšnosti obchodů.

*Analýza úspěšnosti jednotlivě:*

	úspěšný:	zisk:	DD:	PF:	# trades	úspěšnost
1. signál:	ANO	\$ 6 537.50	\$ 7 025.00	1.16	254	52.36%
2. signál:	ANO	\$ 15 412.50	\$ 2 787.50	1.51	206	53.40%
3. signál:	NE!	\$ -12 115.50	\$ 16 987.00	0.74	226	40.27%
4. signál:	NE	\$ 775.00	\$ 4 200.00	1.03	163	47.24%
5. signál:	NE	\$ -1 737.50	\$ 3 875.00	0.91	140	48.57%
6. signál:	NE	\$ 4 000.00	\$ 6 400.00	1.02	129	49.61%
7. signál:	NE	\$ 3 137.50	\$ 8 712.50	1.07	254	38.98%
8. signál:	NE!	\$ -12 850.00	\$ 13 300.00	0.70	207	33.82%
9. signál:	NE	\$ -3 175.00	\$ 7 400.00	0.90	198	38.38%
10. signál:	ANO	\$ 24 837.50	\$ 3 075.00	1.72	219	47.49%
11. signál:	NE	\$ -4 425.00	\$ 7 650.00	0.88	178	33.71%
12. signál:	NE	\$ -3 200.00	\$ 7 962.50	0.86	129	40.31%

*Tabulka 2: Přehled signálů a jejich úspěšnosti.*

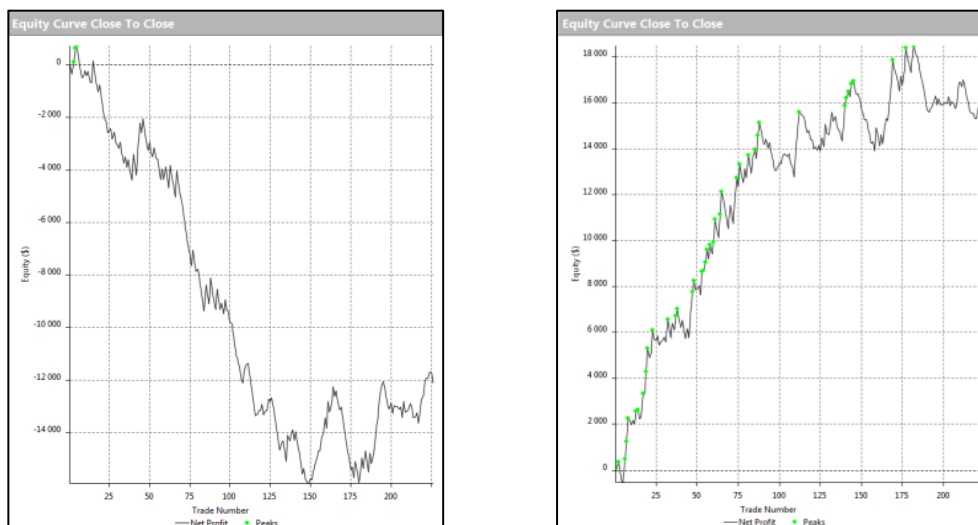
Z tabulky 2 vidíme, že „úspěšné“ strategie jsou signály č. 1, č. 2 a č. 10. Jsou charakteristické ziskovostí, v nejhroším případě přibližně stejným drawdownem jako ziskem a profit factorem přesahujícím 1. Svou roli zde hraje i equity křivka každého z nich, která by měla být rostoucího charakteru. U signálů s označením 3 a 8 došlo k velmi hlubokým poklesům kapitálu bez větších rostoucích úseků. Nabízí se možnost otočit pozice (z LONG do SHORT a naopak), čímž vznikly další dvě profitující strategie. Signál 3 popisuje scénář příchodu klesajícího gapu po uptrendu z minulého dne a příchod MIN do 30 svíci. Původní záměr 3. signálu byl obchodovat odraz od supportu, po prohození pozic však nyní MIN signalizuje pokračování downtrendu započatého před naší obchodní seancí (klesající gap). Signál 8 popisuje scénář příchodu rostoucího gapu po předchozím downtrendu z minulého dne a příchod MAX do 30 svíci. I zde byl původní záměr obchodovat odrazení od rezistence, po prohození pozic však nyní MAX představuje pokračování uptrendu započatého před obchodní seancí (rostoucí gap). Tabulka 3 zobrazuje signály s prohozenými pozicemi a jejich ukazatele.

*Analýza úspěšnosti otočených pozic:*

OTOČENÍ POZIC	úspěšný:	zisk:	DD:	PF:	# trades	úspěšnost
3. signál:	ANO	\$ 15 800.00	\$ 3 662.50	1.44	221	44.80%
8. signál:	ANO	\$ 8 162.50	\$ 5 025.00	1.25	203	50.74%

*Tabulka 3: Přehled nových signálů a jejich úspěšnosti.*

Na obrázcích 19 a 20 si ukážeme rozdíl mezi equity křivkami před a po prohození obchodních pozic u třetího signálu:



Obrázek 19 a Obrázek 20: Tvary equity před a po otočení pozice 3. signálu.

## 7.5 Optimalizace obchodního systému

Optimalizace parametrů strategie (signálů) probíhá v uživatelském rozhraní Multicharts. Na výběr jsou 3 možnosti optimalizace, a to exhaustive (brute force), genetic (pomocí genetického algoritmu – viz kapitola 4) a walk forward (kapitola 6.4). V práci byla použita optimalizace na základě genetického algoritmu především z důvodu menší časové náročnosti oproti brute force algoritmu a větší robustnosti řešení. Jako výsledek optimalizace obdržíme celou poslední populaci s nejvyššími hodnotami fitness funkce (kapitola 4) maximalizující zisk, ze kterých vybíráme výsledky s nejvyšším profit targetem a přijatelným drawdownem. Walk forward analýza je poté prováděna „manuálně“, čili pomocí více optimalizací (podrobnější popis nalezneme níže v textu).

V kapitole 4 jsme se dozvěděli, jak obecně pracuje genetický algoritmus. Nyní si jej přiblížíme z pohledu Multicharts. Jako první je dle zadaných rozmezí v uživatelském prostředí vypočten počet kombinací, které algoritmus prověří, a načtena velikost optimální populace, jejíž hodnota je v programu defaultně určena a po dobu optimalizace není měněna. Poté je vygenerována počáteční populace genomů (jedinců). Pod genomem si v tomto případě představme unikátní kombinaci vstupních parametrů systému. Následně je spočítána fitness funkce pro každý genom. Fitness funkce je reprezentována čistým ziskem (bez komisí a poplatků). Obecně platí, že genomy s nejvyšším ziskem jsou ponechány jako základ pro novou generaci, genomy s nejnižším ziskem jsou vyřazeny. Nová populace je složená z lepších (z hlediska fitness funkce) jedinců, kteří jsou podrobena operacím křížení a mutace. Multicharts používá tzv. array uniform crossover, což je typ křížení, kde platí, že každý gen potomka může pocházet z každého rodiče se stejnou pravděpodobností. Pravděpodobnost křížení jedinců je 0.95

(opět defaultně nastavena). Program dále používá tzv. random flip mutaci, kde každý libovolný gen může být nahrazen jakýmkoliv jiným, a to s pravděpodobností 0.05 (defaultně nastaveno). Výběr nových a vyřazení starých jedinců je proveden podle zvoleného podtypu genetického algoritmu, kde vybíráme ze 2 možností. Prvním podtypem je basic (základní) genetický algoritmus, který pro každou generaci vytváří zcela novou populaci. Druhým (defaultně nastaveným) podtypem je incremental (přírůstkový) genetický algoritmus, který místo tvorby nové generace přidává pouze jednoho nebo dva potomky do populace pro každou novou generaci. Výhodou je zde především nižší výpočetní složitost. U tohoto typu genetického algoritmu máme navíc 3 možnosti volby jedinců, kteří budou nahrazeni – worst (jedinec s nejhorsí fitness, defaultně), parent (rodiče daných potomků) nebo random (náhodný výběr). V dalším kroku je opět spočítána fitness funkce. Na základě fitness funkce je opět vybrána a vyřazena část jedinců a proces se opakuje. Konvergence algoritmu může být v programu určena 2 způsoby. Prvním a defaultně nastaveným je dovršení předem stanoveného maximálního počtu generací, po kterém se algoritmus zastaví. Druhým způsobem je ukončení algoritmu pomocí tzv. convergence rate (míry konvergence), detailnější popis nalezneme ve zdroji [28]. V zájmu zachování únosné časové náročnosti optimalizace byly v práci použity defaultně nastavené hodnoty a varianty.

Naše strategie obsahuje celkem 10 parametrů, optimalizovat budeme nejprve prvních sedm z nich, ostatní tři slouží poté k filtrování obchodů a jsou zatím ponechány fixní. Příпустné hodnoty všech parametrů nalezneme v tabulce 4.

Velikost\_gapu je parametr představující hodnotu, jakou musí gap v grafu mít, aby ho strategie prohlásila za gap. Svíce\_k\_avg je velikost okénka  $n$ , ze kterého počítáme průměr k určení trendu (viz kapitola 7.3). Konstanta symbolizuje toleranci k identifikaci trendu (kapitola 7.3). SL je velikost stop lossu systému. PT je velikost profit targetu obchodního systému. Cekani\_na\_extrem představuje počet svíci od začátku obchodní seance, po které čekáme na příchod extrému. Cekani\_po\_extremu je pak počet potvrzovacích svíci od příchodu signálu. Perioda\_CCI, jak z názvu vypovídá, je perioda indikátoru CCI a poslední dva parametry jsou hodnoty dolní a horní meze indikátoru.

<i>Parametr</i>	<i>interval</i>	<i>krok</i>
<i>velikost_gapu</i>	1...10	1
<i>svíce_k_avg</i>	20...40	20
<i>konstanta</i>	1...5	1
<i>SL</i>	100...500	20
<i>PT</i>	200...1000	50
<i>cekani_na_extrem</i>	10...30	1
<i>cekani_po_extremu</i>	1...10	1
<i>perioda_CCI</i>	30	2
<i>CCI_dolni</i>	20	5
<i>CCI_horni</i>	50	5

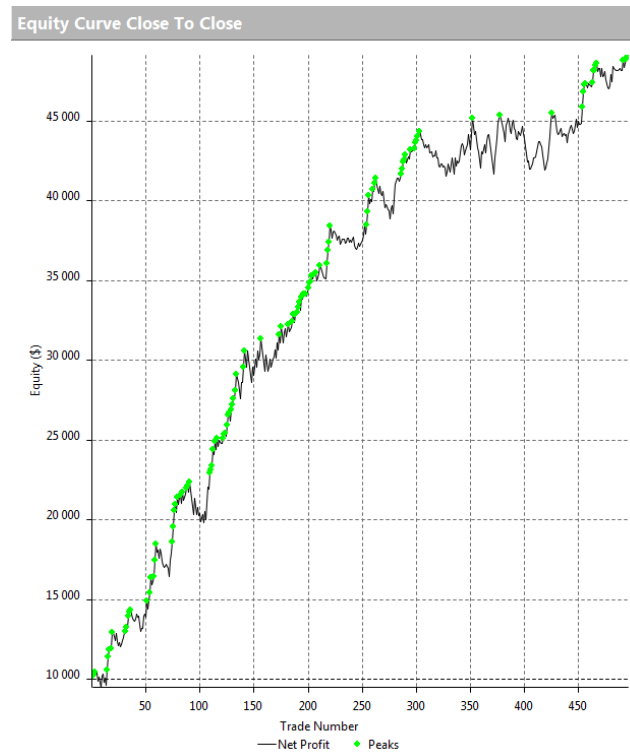
Tabulka 4: Přehled optimalizovaných parametrů.

V práci provedeme základní test robustnosti pomocí klasické walk forward analýzy (kapitola 6.4), kde si jako IS vzorek zvolíme období od 19. 10. 2006 do 20. 10. 2013 (7 let), na kterém proběhne první optimalizace. Druhá optimalizace proběhne na OOS vzorku dat z období od 20. 10. 2013 do 19. 10. 2015 (2 roky). Pokud bude splněn test robustnosti – tj. uspokojivé výsledky strategie v obou vzorcích, aplikujeme náš obchodní systém na „reálná data“, tj. od 21. 10. 2015 do 20. 10. 2016. Po uběhnutí tohoto období zhodnotíme úspěšnost obchodního systému.

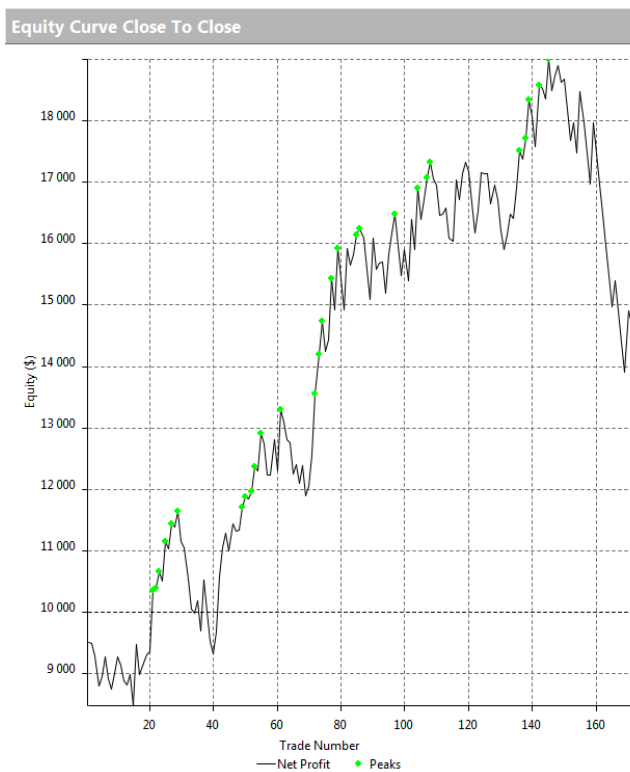
Jako první možnost optimalizace, která se nabízí, byla kombinace všech vybraných strategií (signálů) z konce předchozí kapitoly, přičemž platí, že signál vstupuje do pozice jen tehdy, jestliže není žádná jiná pozice otevřena. Optimalizujeme tedy signály 1, 2, 3, 8 a 10. Výsledná optimální kombinace parametrů, zobrazena v tabulce 5 nám přinesla zisk celkem 39 087.50 USD při zajímavém profit factoru 1.52. Největší drawdown přišel v druhé polovině obchodování a činil 4300 USD. Z equity křivky na obrázku 21 můžeme vidět značnou stagnaci, která přišla na konci roku 2010 a trvala téměř 150 obchodů. Tato skutečnost nesevřdčí o velké robustnosti zkoumané strategie, což uvidíme na obrázku 22 z OOS vzorku dat.

<b><i>Parametr</i></b>	<b><i>hodnota</i></b>
<i>velikost_gapu</i>	1
<i>svíce_k_avg</i>	32
<i>konstanta</i>	1
<i>SL</i>	470
<i>PT</i>	970
<i>cekani_na_extrem</i>	11
<i>cekani_po_extremu</i>	9

Tabulka 5: Hodnoty parametrů optimalizované strategie.



Obrázek 21: Equity křivka kombinace všech signálů na IS datech.



Obrázek 22: Equity křivka kombinace všech signálů na OOS datech.

Z druhé equity křivky (obrázek 22) vidíme nejprve propad počátečního kapitálu o téměř 1500 USD, poté velký růst a následný strmý pád před koncem OOS období. Hodnoty ukazatelů obchodního systému jsou nízké - čistý zisk 5012.50 USD,



drawdown 5612.50 USD a to vše podtrhuje profit factor s hodnotou pouhých 1.16. Tuto kombinaci signálů zavrhneme.

Z počátečních analýz jednotlivých obchodních signálů víme, že v pozici LONG se nejlépe jevil 2. signál a v pozici SHORT 10. signál. Tyto dva signály budou našimi stavebními kameny, ke kterým vytvoříme kombinace ostatních signálů. Byla provedena také optimalizace samotných signálů 2 a 10, avšak výsledek byl podobný jako u první optimalizace. Walk forward analýza zamítla systém z důvodu nekonzistence výsledků obchodování mezi IS a OOS vzorky dat.

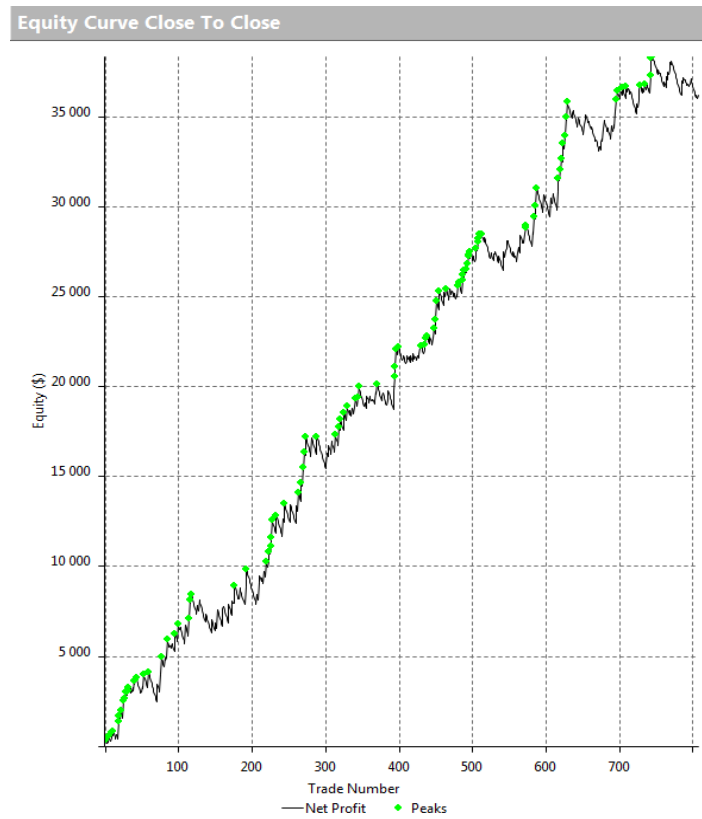
V úvahu byly brány tříčlenné kombinace signálů obsahující signály 2 a 10, stejně tak čtyřčlenné kombinace signálů opět obsahující signály 2 a 10. Jednotlivé kombinace často dosahovaly vysokých čistých zisků i profit factorů v IS vzorku dat, avšak v druhém sledovaném období hodnoty rapidně klesaly, čímž došlo k zamítnutí příslušných variant. Jako nejúspěšnější se jevila kombinace signálů 2, 10, 1 a 8. Při optimalizovaných hodnotách, které vidíme v tabulce 6, jsme dosáhli výsledků zobrazených v tabulce 7.

<i>Parametr</i>	<i>hodnota</i>
<i>velikost_gapu</i>	2
<i>svíce_k_avg</i>	32
<i>konstanta</i>	1
<i>SL</i>	150
<i>PT</i>	1000
<i>cekani_na_extrem</i>	30
<i>cekani_po_extremu</i>	6

Tabulka 6: Hodnoty parametrů při optimalizované strategii.

<i>Souhrn obchodování:</i>	<i>všechny obchody</i>	<i>LONG obchody</i>	<i>SHORT obchody</i>
<i>Profit</i>	36212.5	17737.5	18475
<i>Drawdown</i>	3237.5	2712.5	2587.5
<i>Profit factor</i>	1.44	1.3	1.77
<i>počet obchodů</i>	807	572	235
<i>% úspěšnost</i>	30.86	31.47	29.36

Tabulka 7: Výsledky zvolené nefiltrované kombinace signálů.



Obrázek 23: Equity křivka nefiltrované strategie na IS vzorku dat.

Z přehledu vidíme, že „čistý zisk“ bez zahrnutí komisí a dalších poplatků činí přes 36 000 USD při maximálním drawdownu 3237.50 USD a profit factor činí 1.44. Za sledované období strategie vstoupila více než 800krát do pozic, je proto vhodné použití filtrů za účelem zlepšení ukazatelů systému. Při použití stejných parametrů na OOS období strategie dosáhla zisku 8037.5 USD při maximálním drawdownu 2975 USD. Profit factor činil zpočátku nepřesvědčivých 1.29. I zde disponujeme velkým množstvím obchodů (více než 250).

Jako první byl použit indikátorový filtr pomocí oscilátoru CCI, kterému se věnujeme v kapitole 3.4. Princip obchodování CCI indikátoru spočívá v překročení horní hranice směrem dolů při vstupu do SHORT pozice a překročení dolní hranice směrem vzhůru při vstupu do LONG pozice. Při filtrování proto vynecháme ty obchody do LONG pozice, ve kterých se hodnota CCI indikátoru pohybuje nad horní hranicí, eventuálně obchody do SHORT pozice, ve kterých se hodnoty CCI indikátoru pohybuje pod dolní hranicí.

Optimalizaci strategie provedeme pouze na základě změny hodnot posledních třech parametrů z tabulky 3, ostatní parametry zůstanou fixní. Výsledné parametry, které vidíme v tabulce 8, přinesly zlepšení na IS vzorku dat v podobě čistého zisku na více než 38 000 USD při maximálním drawdownu 2937.5 USD a profit factoru 1.5. Tímto filtrem jsme snížili počet obchodů na 745. Na OOS vzorku dat došlo ke snížení zisku na 6560 USD při maximálním drawdownu 2825 USD a profit factorem 1.27. Počet obchodů se snížil na 234.

<i>Parametr</i>	<i>hodnota</i>
<i>velikost_gapu</i>	2
<i>svíce_k_avg</i>	32
<i>konstanta</i>	1
<i>SL</i>	150
<i>PT</i>	1000
<i>cekani_na_extrem</i>	30
<i>cekani_po_extremu</i>	6
<i>perioda_CCI</i>	23
<i>CCI_dolni</i>	-140
<i>CCI_horni</i>	150

Tabulka 8: Hodnoty parametrů optimalizované strategie.

Náš systém se do této chvíle nijak neomezoval při obchodování v jednotlivých dnech. Za účelem dosažení lepších výsledků AOS při menším počtu obchodů zkusíme aplikovat časový filtr. Postupně tak procházíme varianty vynechání jednotlivých dnů v týdnu u každého signálu. Současně ještě tyto možnosti rozšíříme dalším filtrem, který omezuje počet vstupů do pozic během dne na jediný. Pokud strategie dostane signál ke vstupu do pozice, kontroluje, zda jsme již v aktuálním dnu obchodovali. Pokud ano, strategie další signály ignoruje. Tímto dostáváme pro každý signál celkem 12 možností (pondělí až pátek a nevynechání dne, varianta omezení počtu obchodů). Ze signálů s nejvyššími profit factory v obou vzorcích dat (IS a OOS) byly vytvořeny kombinace, které vidíme v tabulkách 9 a 10. Jednotlivé sloupce tvoří vynechané dny pro konkrétní signál, „čistý zisk“ bez zahrnutých komisí, maximální drawdown strategie, profit factor strategie, profit factor LONG obchodů, profit factor SHORT obchodů, počet obchodů a procentní úspěšnost. U dní označených navíc jedničkou je použit filtr omezení jediného obchodu za den.

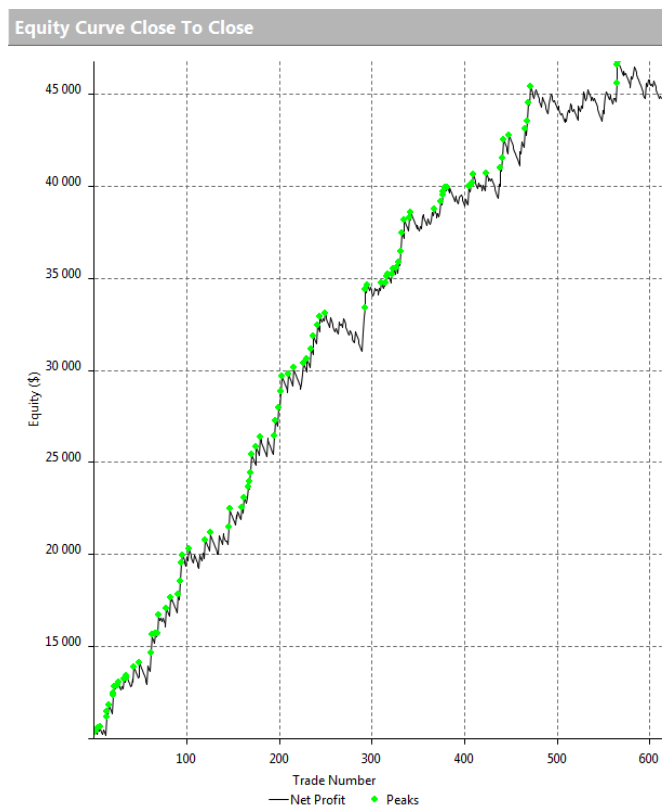
				IS							
				<i>profit</i>	<i>DD</i>	<i>PF</i>	<i>PFL</i>	<i>PFS</i>	<i>#trades</i>	<i>percent</i>	
<i>8. signál</i>	<i>10. signál</i>	<i>1. signál</i>	<i>2. signál</i>								
pondělí	pondělí	středa	pondělí	35000	2562	1.56	1.38	2.03	614	32.08	
pondělí	pondělí	středa	úterý	35612.5	2500	1.56	1.38	2.03	634	32.02	
pondělí	pondělí	středa1	pondělí	34150	2863	1.57	1.38	2.03	592	31.93	
pondělí	pondělí	středa1	úterý	<b>34762.5</b>	<b>2413</b>	<b>1.56</b>	<b>1.37</b>	<b>2.03</b>	<b>612</b>	<b>31.86</b>	
pondělí	pondělí	pátek	pondělí	33400	3013	1.54	1.35	2.03	604	31.29	
pondělí	pondělí	pátek	úterý	34012.5	3250	1.53	1.34	2.03	624	31.25	

Tabulka 9: Přehled vybraných kombinací signálů na IS vzorku dat.

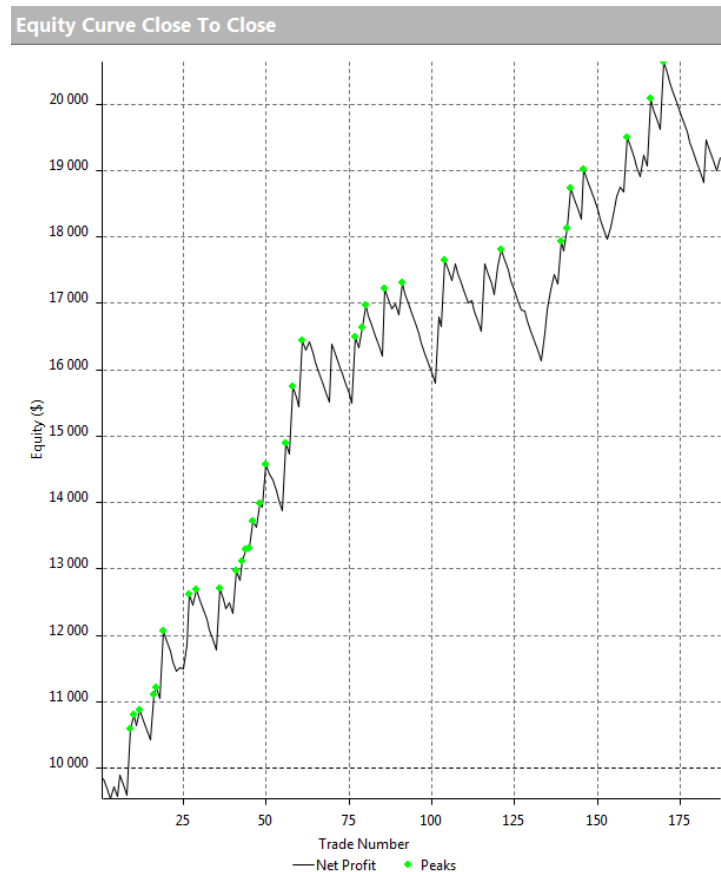
				OOS							
				profit	DD	PF	PFL	PFS	#trades	percent	
vynechaný den:	8. signál	10. signál	1. signál	2. signál	7737.5	2400	1.41	1.29	1.75	184	29.35
	pondělí	pondělí	středa	pondělí	8900	2550	1.46	1.34	1.75	189	30.16
	pondělí	pondělí	středa1	pondělí	8037	2250	1.43	1.32	1.75	182	29.67
	pondělí	pondělí	středa1	úterý	<b>9200</b>	<b>2400</b>	<b>1.50</b>	<b>1.40</b>	<b>1.75</b>	<b>187</b>	<b>30.48</b>
	pondělí	pondělí	pátek	pondělí	6725	2250	1.35	1.22	1.75	184	28.8
	pondělí	pondělí	pátek	úterý	7887.5	2400	1.41	1.29	1.75	189	29.63

Tabulka 10: Přehled vybraných kombinací signálů OOS vzorku dat.

Z tabulek 9 a 10 vidíme zeleně označenou kombinaci filtrovaných signálů výsledné strategie zaznamenávající nejvyšší zisk a disponující nejkonzistentnější vazbou mezi profit factory na obou vzorcích dat walk forward analýzy. Podmínky klíčových ukazatelů byly splněny, především profit factor, který dosahuje nebo překračuje v obou vzorcích dat minimální požadované hodnoty 1.5. Maximální přípustná hodnota drawdownu strategie (kapitola 6.5) nebyla překročena (v IS vzorku necelých 7 %, v OOS vzorku 26 %). Na obrázcích 24 a 25 si ukážeme equity křivky optimalizované strategie na vzorcích IS a OOS.



Obrázek 24: Equity křivka optimalizované strategie na IS vzorku dat.



Obrázek 25: Equity křivka optimalizované strategie na OOS vzorku dat.

## 7.6 Výběr brokera a komise

Abychom mohli s naším systémem vstoupit do reálného obchodování, budeme potřebovat *brokera*, což je osoba (právnícká nebo fyzická), která bude příkazy našeho obchodního systému exekuvovat na burze.

Interactive Brokers (dále jen IB) byl vybrán jako jeden z největších (z hlediska počtu klientů) a nejmajetnějších (5 miliard USD) brokerů světa. Jedná se o americkou společnost se sídlem v Chicagu, která byla založena v roce 1977 Thomasem Peterffyem. [19] V následujících odstavcích si popíšeme požadavky, které jsou nutné k obchodování u této brokerské společnosti.

Jedním z nejdůležitějších požadavků je minimální hodnota kapitálu potřebná k otevření účtu. Ta je stanovená na 10 000 USD, v našem případě (věk do 25 let) by bylo možné otevřít účet alespoň se 3 000 USD. [20]

Dalšími podmínkami k obchodování jsou „margin“ požadavky na aktivní účet obchodníka. Jejich výši pro kontrakt ES nalezneme v tabulce 11. Vedle sloupečku jména aktiva vidíme sloupek intraday initial, což představuje minimální hodnotu účtu, kterou na počátku denní obchodní seance (8:30 – 15:15) musíme disponovat. V následujícím sloupci máme minimální hodnotu účtu, která musí být na našem kontě po celou dobu denní seance. Čtvrtý a pátý sloupek představují opět stejné hodnoty,

tentokrát po dobu nočních obchodních hodin. Následuje měna, ve které se obchoduje, a existence opce na dané aktivum. [21]

<i>Quote</i>	<i>intraday Initial</i>	<i>intraday maintenance</i>	<i>overnight initial</i>	<i>overnight maintenance</i>	<i>currency</i>	<i>options</i>
ES	3677.625	2942.1	7355.25	5884.2	USD	ANO

Tabulka 11: Přehled margin požadavků u IB.

Každý broker vyžaduje poplatek za exekuci našich pozic na burze. Těmto poplatkům se říká *komise*. Kromě toho vystupují do hry také vedlejší poplatky – za poskytovaná data (pokud klient užívá), za aktivitu (*activity fees*), další jiné poplatky za vybrané speciální služby, které jsou volitelné, a poplatky burze. IB si za každý zobchodovaný kontrakt e-mini futures účtují komise 0.85 USD. Poplatky za aktivitu se platí měsíčně, a to pokud disponujeme účtem menším než 100 000 USD, a navíc měsíční komise činí méně než 10 USD. Výše poplatků *AF* se spočte jako rozdíl:

$$AF = 10 - K, \quad (7.1)$$

kde

*K* je výše komisí za aktuální měsíc.

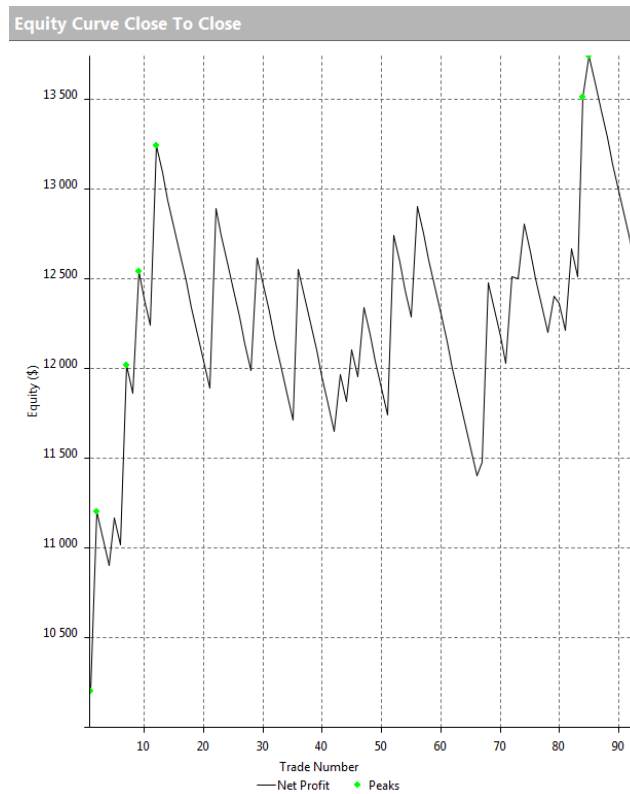
Nakonec musíme přičíst regulační poplatek (0.01 USD), který si účtuje CME burza za každý zobchodovaný kontrakt. Existují opět výhody pro klienty mladší 25 let, v práci s nimi však počítat nebudeme. K nalezení jsou ve zdroji [22].

## 7.7 Aplikace na reálná data

Otestovanou strategii nyní aplikujeme na reálná data od 21. 10. 2015 do 20. 10. 2016. Přehled výsledků obchodování nalezneme v tabulce 12. Vidíme, že strategie za poslední rok vydělala 2687.5 USD, a to především zásluhou LONG obchodů. Hodnota maximálního drawdownu je velmi vysoká, profit faktor v porovnání s výsledky z WFA nízký. Procentní úspěšnost je již z podstaty systému nízká, oproti výsledkům z WFA je však nižší o 7 % bodů.

<b><i>Souhrn obchodování:</i></b>	<i>Všechny obchody</i>	<i>Long obchody</i>	<i>Short obchody</i>
<i>Profit</i>	2687.5	2100	587.5
<i>Drawdown</i>	2075	1325	1875
<i>Profit factor</i>	1.26	1.31	1.17
<i>počet obchodů</i>	92	63	29
<i>% úspěšnost</i>	23.91	25.4	20.69

Tabulka 12: Výsledky strategie na reálných datech.



Obrázek 26: Equity křivka strategie na reálných datech.

Zisk strategie představuje pouze zisk z obchodování bez zaplacení poplatků brokerovi a burze. Protože obchodujeme vždy pouze jeden kontrakt a obchodů dle tabulky 12 bylo 92, zaplatíme brokerovi celkem 78.2 USD za komise a celkem 52.85 USD za nižší aktivitu obchodování. Přehled poplatků po jednotlivých měsících nalezneme v tabulce 13. Poplatky burze činí 0.92 USD, čímž dostáváme celkovou sumu 131.97 USD a zisk z obchodování se tak pro nás snížil na 2555.53 USD.

Abychom získali skutečně čistý zisk, je potřeba odečíst výdaje spojené s poskytnutím dat a provozem VPS serveru. Za vybranou sestavu VPS postavenou na 4 jádrovém procesoru, 12 GB operační paměti a SSD discích zaplatíme měsíčně 8,99 EUR + 4,99 EUR za Windows licenci. Náklady na VPS server v době obchodování tak celkem činí 185.44 USD. (pro převod mezi měnami EUR a USD jsme použili kurz měnového páru EUR/USD vždy z posledního dne v měsíci obchodovacího období). [25]

Naší poslední uvažovanou položkou je poplatek za poskytovaná data. Námi požadovaná 5minutová data futures kontraktu ES přijdou měsíčně (u iQFeed) na 144 USD. Za obchodovací období tak zaplatíme 1728 USD. [26] Čistý zisk po odečtení poplatků činí 642.09 USD.

**2015 – 2016**

<i>měsíc</i>	<i>počet obchodů</i>	<i>K</i>	<i>A</i>
<i>říjen</i>	3	2.55	7.45
<i>listopad</i>	9	7.65	2.35
<i>prosinec</i>	4	3.4	6.6
<i>leden</i>	8	6.8	3.2
<i>únor</i>	9	7.65	2.35
<i>březen</i>	6	5.1	4.9
<i>duben</i>	4	3.4	6.6
<i>květen</i>	8	6.8	3.2
<i>červen</i>	11	9.35	0.65
<i>červenec</i>	13	11.05	0
<i>srpen</i>	10	8.5	1.5
<i>září</i>	4	3.4	6.6
<i>říjen</i>	3	2.55	7.45
<b><i>celkem</i></b>	<b>92</b>	<b>78.2</b>	<b>52.85</b>

**\$ 131.05**

*Tabulka 13: Přehled komisí a „activity costs“.*

Samotné spuštění automatického obchodního systému je soubor několika kroků v uživatelském rozhraní programu Multicharts. Návod, jak spustit automatický obchodní systém nalezneme ve zdroji [23].



## 8 Srovnání s jiným systémem

Za účelem kontroly kvality našeho obchodního systému byl vytvořen druhý, jednodušší obchodní systém, se kterým výše zmíněný porovnáme. Představme si investora, který se na základě informací o charakteristikách výše zmíněného systému z OOS vzorku dat rozhodl použít vlastní AOS se stejnými parametry, ale s náhodnými vstupy do pozic.

### **Dostupné informace:**

*Průměrná doba setrvání v pozici: 29.8 svíci,  
průměrná doba čekání na vstup do pozice: 66 svíci,  
nastavit stop loss na hodnotu 150 USD,  
nastavit profit target na hodnotu 1000 USD,  
pokud pozice nedosáhne PT nebo SL, vystoupit z obchodu na konci dne nebo po tolika svíciích, kolik je hodnota pro dobu setrvání v pozici,  
systém obchodoval v OOS období ve 161 obchodních dnech z celkových 505, kde ze 187 obchodů bylo 141 LONG a 46 SHORT obchodů,  
maximálně jeden obchod denně u LONG obchodů.*

V tomto obchodním systému vystupuje hned několik náhodných událostí. První je čekání na vstup do pozic, které se provádí na základě generátoru čísel z exponenciálního rozdělení s parametrem 66. Exponenciální rozdělení se dle zdroje [24] používá při modelování doby čekání na událost, což odpovídá naší situaci. Protože pracujeme s diskrétními daty, v tomto případě s počtem svíci 5minutového grafu, kdy budeme vyčkávat, event. vstupovat do pozic, byly hodnoty zaokrouhleny na celá čísla. Další náhodná veličina je druh pozice budoucího obchodu. Abychom určili, do jaké pozice budeme vstupovat, použijeme opět generátor čísel z rovnoměrného rozdělení z intervalu 0 až 1. Toto rozdělení nabízí navíc možnost zakomponovat i váhy druhů pozic na základě předchozích znalostí. Pokud jsou váhy jednotlivých pozic stejné, lze interval  $[0;1]$  symetricky rozdělit na 2 podintervaly, kde každý bude představovat pozici budoucího obchodu. Podle toho, kterému podintervalu bude číslo náležeť, určíme pozici budoucího obchodu, kterou jsme předem podintervalům přiřadili. V našem případě rozdělíme interval dle získaných informací z předchozího systému. V OOS období systém zobchodoval 46 SHORT pozic z celkem 187 obchodů, tj. s pravděpodobností 24.6 % vstupujeme do SHORT pozice. Interval tak můžeme rozdělit na  $[0;0.246]$  pro SHORT obchody a  $[0.246;1]$  pro LONG obchody.

Další náhodnou událostí je doba setrvání v pozici, která se bude řídit exponenciálním rozdělením s parametrem 29.8. Dobu setrvání v pozici můžeme interpretovat jako čekání na ukončení pozice, což opět odpovídá exponenciálnímu rozdělení. Poslední náhodnou událostí je rozhodnutí o vstupu do obchodu v daný den. Využijeme k tomu znalost pravděpodobnosti vstupu do obchodu v daný den, která je přibližně 32 %. K rozhodnutí o obchodování využijeme opět rovnoměrné rozdělení z intervalu 0 až 1. Pokud vygenerované číslo bude větší než 0.32, nebudeme v příslušný den obchodovat.

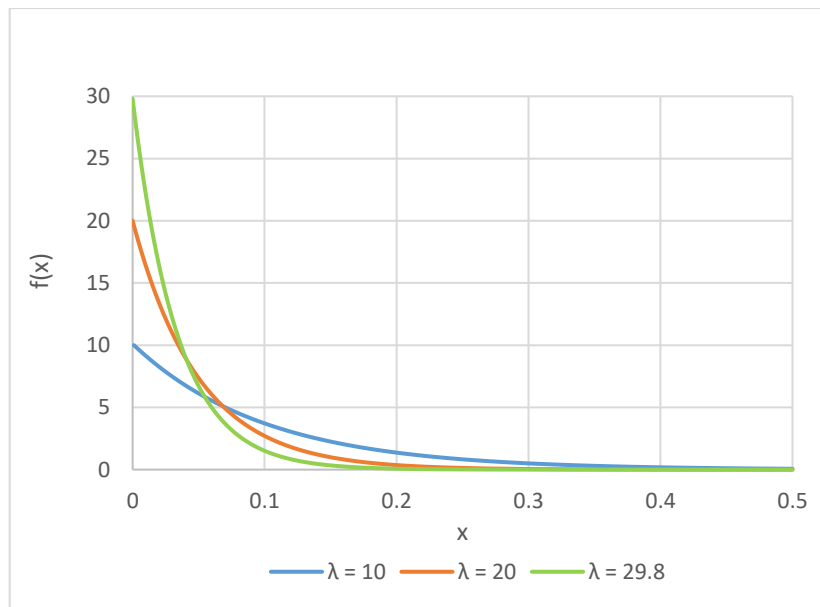
Rozdělování pozic do jednotlivých signálů bylo, stejně jako vypouštění jednotlivých dní v týdnu, pro zjednodušení zanedbáno. Výstupy systému se řídí PT a SL (viz výše), koncem obchodní seance nebo dovršením maximálního počtu svící, po kterém setrváváme v obchodu.

Připomeňme si ještě v krátkosti použitá rozdělení. Exponenciální rozdělení je spojité rozdělení definované funkcí hustoty:

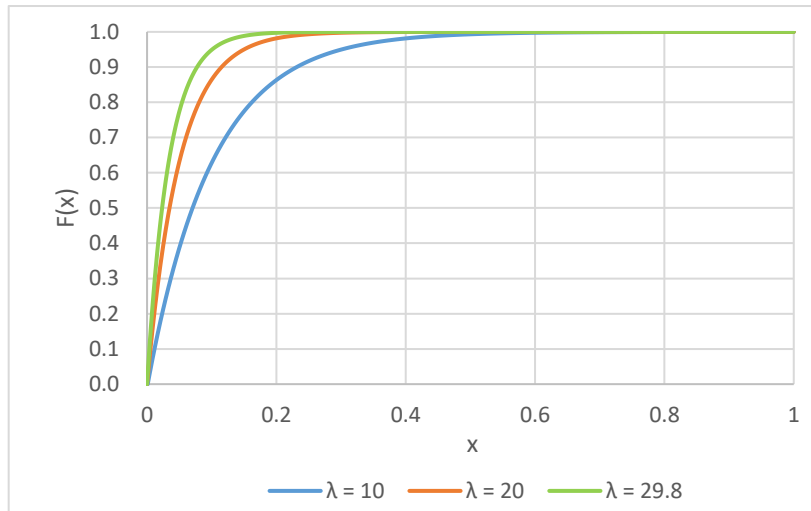
$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{pro } x \geq 0 \\ 0 & \text{pro } x < 0 \end{cases} \quad (8.1)$$

a distribuční funkcí:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & \text{pro } x \geq 0 \\ 0 & \text{pro } x < 0. \end{cases} \quad (8.2)$$



Obrázek 27: Ukázka funkce hustoty exponenciálního rozdělení pro různá  $\lambda$ .



Obrázek 28: Ukázka distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro různá  $\lambda$ .

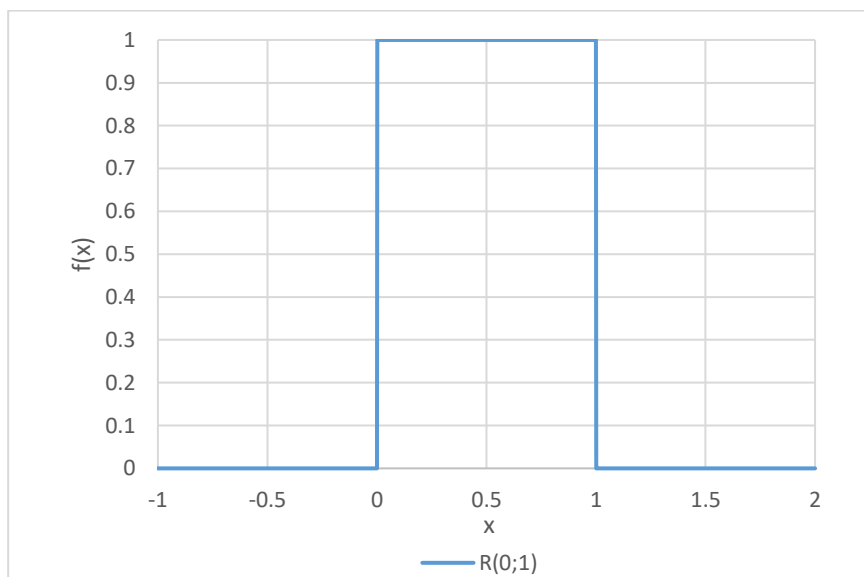
Využití exponenciálního rozdělení je dle zdroje [27] velmi široké – od modelování životnosti výrobků až po systémy hromadné obsluhy a problémy z teorie grafů.

Rovnoměrné rozdělení lze použít v případě, kdy jednotlivá pozorování náhodné veličiny nabývají stejné pravděpodobnosti výskytu. Funkce hustoty spojitého rovnoměrného rozdělení na intervalu  $(a; b)$ , kde  $-\infty < a < b < \infty$  je dána vztahem:

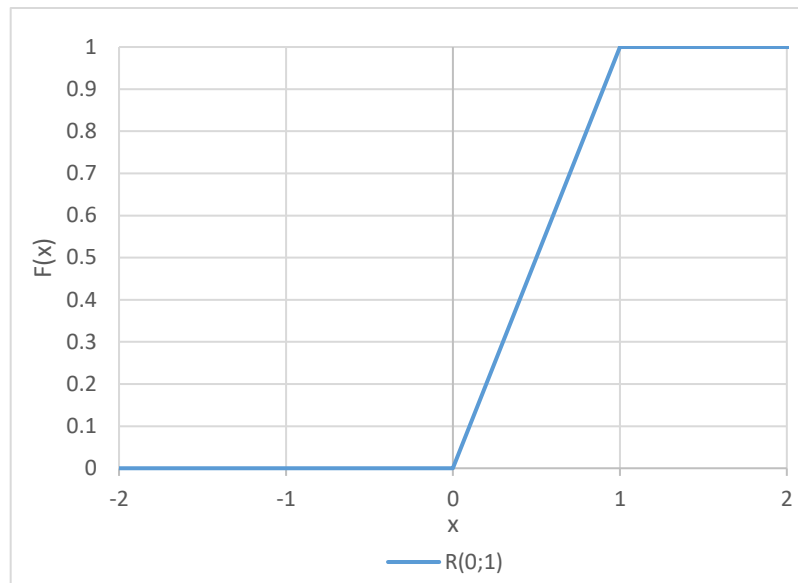
$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{pro } x \in (a; b) \\ 0 & \text{jinde.} \end{cases} \quad (8.3)$$

Distribuční funkce má tvar:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x \in (-\infty; a) \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{pro } x \in (a; b) \\ 1 & \text{pro } x \in (b; \infty). \end{cases} \quad (8.4)$$



Obrázek 29: Ukázka funkce hustoty rovnoměrného rozdělení.



Obrázek 30: Ukázka distribuční funkce rovnoměrného rozdělení.

Uplatnění spojitého rovnoměrného rozdělení nalezneme dle zdroje [27] například v chybách měření u lineárních přístrojů nebo zaokrouhlování čísel.

## 8.1 Programové řešení

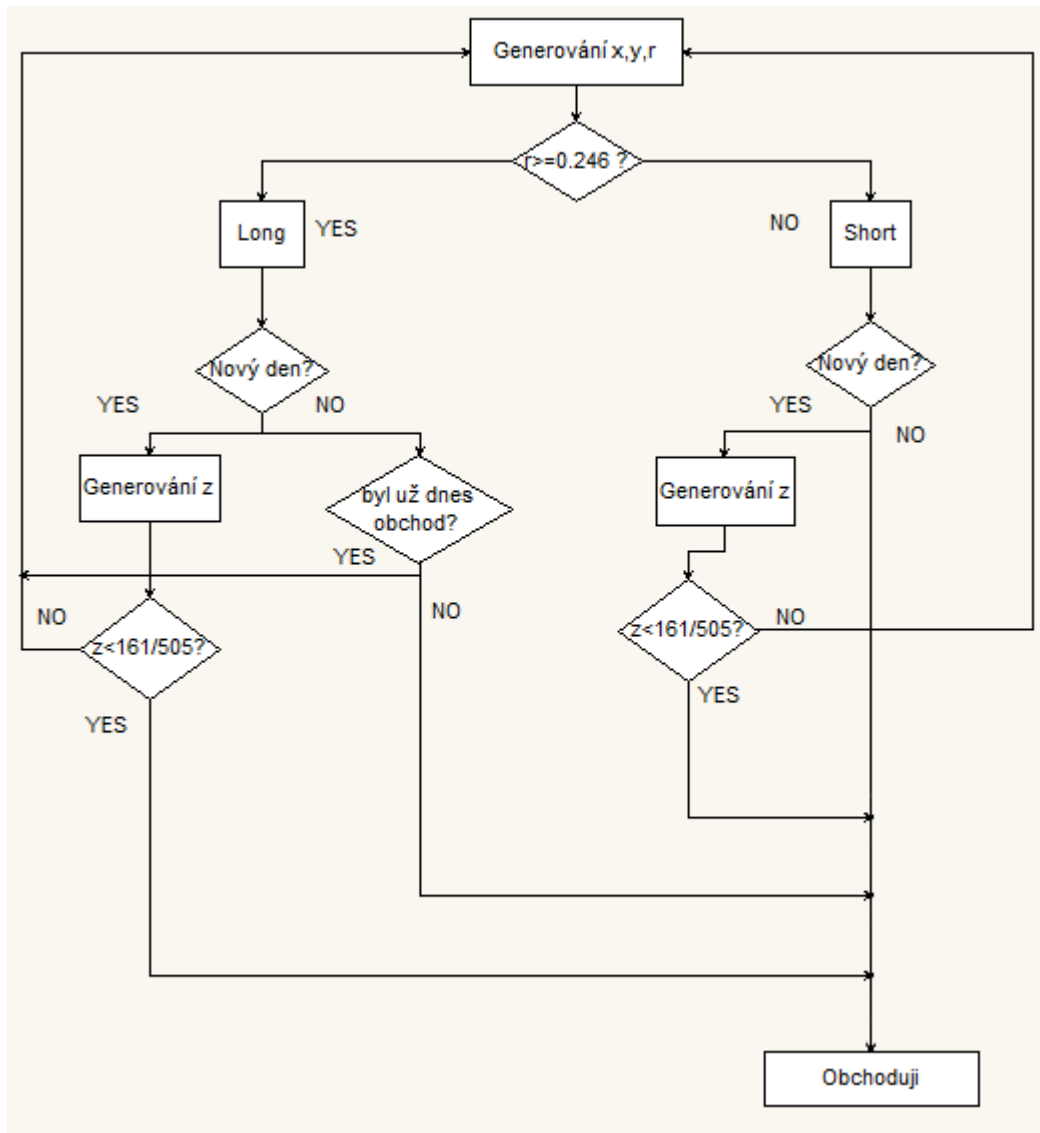
Pro vytvoření náhodného obchodního systému byl použit softwarový nástroj MatlabR2012b, ve kterém byly provedeny veškeré programové výpočty a grafické výstupy zobrazené níže v textu. Po importování CLOSE cen 5minutového grafu přichází na řadu generování parametrů obchodního systému. Pro vygenerování hodnot čekání na vstup do pozice a dobu setrvání v pozici dle exponenciálního rozdělení použijeme funkci *expinv*, která počítá inverzní funkci k distribuční funkci exponenciálního rozdělení. Prvním parametrem funkce je kvantil rozdělení, který opět generujeme, tentokrát pomocí funkce *rand*, druhým parametrem je střední hodnota rozdělení, kterou máme dle dostupných informací k dispozici. Funkce *rand* nám generuje hodnoty z rovnoměrného rozdělení z intervalu 0 až 1.

Hodnoty zaokrouhlíme na celá čísla pomocí funkce *round*. Pomocí cyklů zajistíme průběh do konce načtených dat. V cyklu nejprve generujeme číslo z rovnoměrného rozdělení, které nám určí druh pozice. Poté stejným způsobem generujeme číslo pro rozhodnutí, zda v daný den obchodovat. Podle pozice na konci obchodu zjistíme výsledný rozdíl aktuální CLOSE a počáteční CLOSE při vstupu do pozice, čímž dostáváme zisk/ztrátu z obchodu. V kódu LONG pozice jsou navíc omezující podmínky na jediný obchod denně, podobně, jako tomu je u hlavního obchodního systému, kde takto funguje signál č. 1.

Konec obchodu je určen buď SL, PT, uplynutím maximální dovolené doby setrvání v pozici nebo koncem denní obchodní seance. Po dokončení cyklu je spočten celkový počet obchodů za dané období, zůstatek na účtu (hrubý profit), celková cena komisí

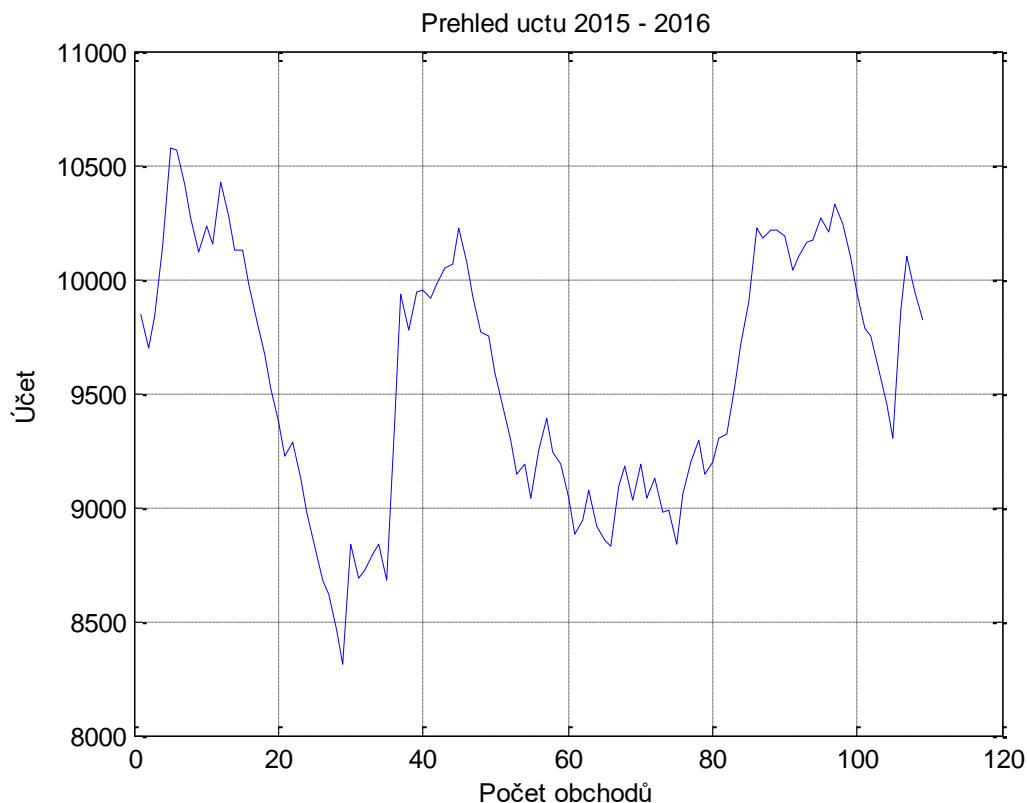
a „čistý“ profit obchodního systému (bez uvažování dalších poplatků). Veškeré výpočty a kód strategie nalezneme v příloženém souboru *Strategie\_nahodne\_vstupy.mat*.

Pro lepší přehlednost si ještě ukažme vývojový diagram, jehož cílem je v náznaku ukázat jednotlivé akce a kroky rozhodování algoritmu obchodního systému. Proměnná  $x$  symbolizuje čekání na vstup do pozice,  $y$  představuje maximální dobu setrvání v pozici. Symbol  $r$  rozhoduje o druhu pozice a proměnná  $z$  o obchodování v daný den. Vynechána byla část s konkrétním popisem obchodu, která je k dispozici ve zdrojovém kódu příloženého souboru *Strategie\_nahodne\_vstupy.mat* nebo v části B.2 této práce.



Obrázek 31:Náznak obchodování pomocí diagramu.

Tímto způsobem bylo nasimulováno celkem 10 000 variant. Pohyby hodnoty účtu při použití jedné z nich ukazuje obrázek 32.



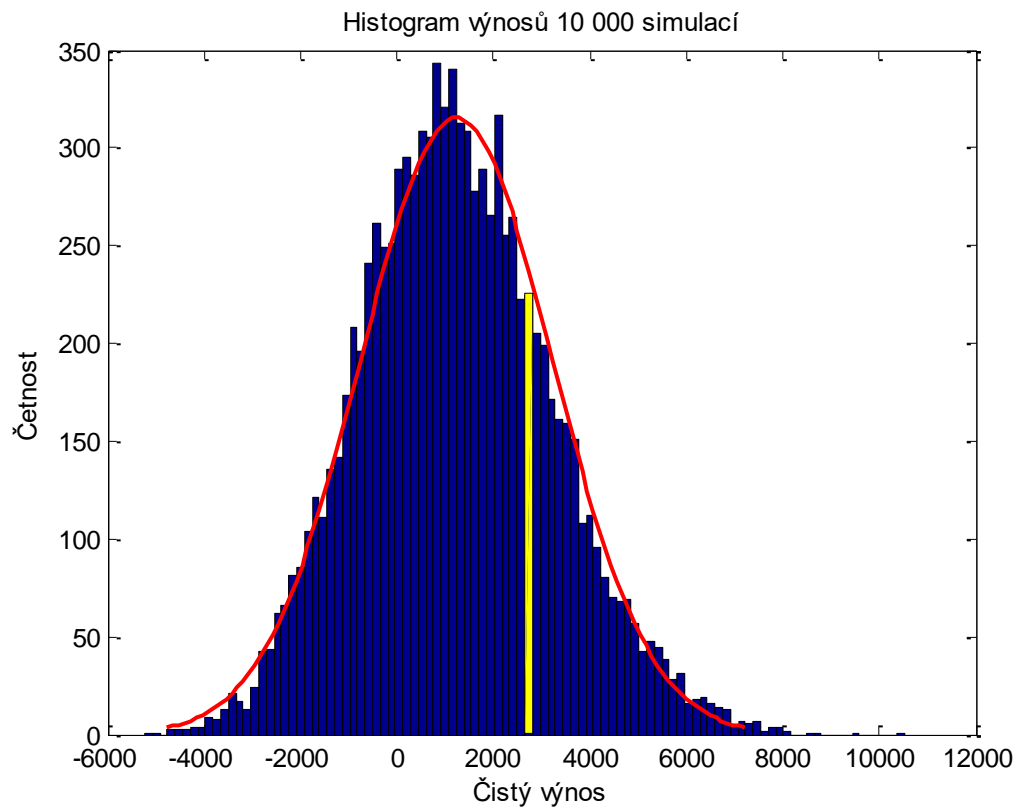
Obrázek 32: Přehled stavu účtu vybrané simulace při použití náhodného obchodního systému.

Pro zobrazení četností nasimulovaných variant náhodného obchodního systému použijeme histogram. Na obrázku 33 vidíme, že zisk v průměru činí 1213.3 USD (žlutě byl odlišen interval, ve kterém se vyskytuje zisk se započítanými komisemi AOS vytvořeného v 7. kapitole). Všimněme si i extrémně úspěšných variant (zcela vpravo), které přinášejí zisk přes 100 %, oproti tomu v levé části histogramu došlo u několika simulací ke ztrátě téměř 50 % kapitálu. Pomocí funkce *quantile* zjistíme příslušné výběrové kvantily simulovaných výnosů. V tabulce 14 si uvedeme přehled některých výběrových kvantilů.

<i>kvantil</i>	<i>hodnota</i>
0.025	-2458.9
0.05	-1936.4
0.1	-1307.3
0.25	-161.3
0.27879	0
0.5	1164
0.75	2494.4
0.9	3735.2
0.95	4585.6
0.975	5351.8

Tabulka 14: Výběrové kvantily simulovaných výnosů.

Do výsledného zisku byly již započteny komise, avšak chybí poplatky burze a poplatky za data a pronájem VPS, které průměrný zisk sníží o 1914.3 USD při průměrném počtu obchodů 86. Po odečtení poplatků je systém v průměru ztrátový.



Obrázek 33: Histogram četností jednotlivých simulací obchodování.

## 9 Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout a optimalizovat automatický obchodní systém. Nejprve jsme se seznámili se základními pojmy z oblasti technické analýzy, genetického programování a základních ukazatelů obchodního systému. Poté přišla na řadu praktická část, tj. samotná tvorba AOS.

Po získání dat 5minutových cen instrumentu ES za posledních 10 let (19. 10. 2006 – 20. 10. 2016) jsme se uchýlili k hledání hlavní myšlenky obchodního systému. Hledání probíhalo pomocí pozorování cenového grafu. Z povahy dat, která obsahovala údaje pouze z hlavní obchodní seance, jsme pomocí rozhodovacího stromu a možných scénářů vybrali a naprogramovali celkem 12 signálů. Tyto signály jsme podrobili kontrole úspěšnosti na datech od 19. 10. 2006 do 20. 10. 2015 (9 let) a vybrali jsme pouze takové, které byly výdělečné při daných hodnotách drawdownu a měly rostoucí equity křivku. Kontrolou prošlo pět signálů, které měly položit základy našemu obchodnímu signálu.

Na vybrané signály byla aplikována klasická walk forward analýza. Po neuspokojivých výsledcích obchodního systému tvořeného všemi pěti signály jsme se uchýlili k testování všech trojčlenných a čtyřčlenných kombinací signálů obsahujících dva nejúspěšnější (pracovní označení 2 a 10). Později byla nalezena kombinace signálů, jejíž základní charakteristiky slibovaly úspěšné splnění walk forward testu. Aby se tak stalo, bylo nutné použití indikátorového a časového filtru, po kterých obchodní systém dosáhl uspokojivých výsledků v testovaných obdobích.

Obchodní systém jsme poté použili na reálná data od 21. 10. 2015 do 20. 10. 2016 a při použití uvedeného brokera jsme interpretovali výsledky. Dle subjektivního posouzení dosáhl systém uspokojivých výsledků při ročním zhodnocení kapitálu přibližně o 25 % (bez uvažování poplatků).

V poslední části práce jsme vytvořený obchodní systém porovnali se systémem, který jsme k tomuto účelu také naprogramovali. Jeho princip spočíval v náhodném vstupování do pozic při znalosti základních parametrů. Základní parametry jako průměrná doba setrvání v dané pozici, SL, PT a jiné další byly použity z výsledků předchozího obchodního systému na OOS vzorku dat. Průměrný zisk náhodného systému činí 1213.3 USD a po odečtení všech poplatků dosahuje strategie ztráty ve výši -701 USD. Dle očekávání není systém s náhodnými vstupy úspěšný jako hlavní obchodní systém.



# A Seznam příloh

Příloha 1: Základy programovacího jazyka EasyLanguage

Příloha 2: DP\_A15N0019P.xlsx

Příloha 3: Zdrojove\_kody\_prvni\_system.txt

Příloha 4: Exp\_strategie.mat

## Příloha 1

EasyLanguage (dále jen EL) je intuitivní programovací jazyk, který byl představen v obchodovací platformě Tradestation a později (s nepatrnými výjimkami) převzat také do obchodovací platformy Multicharts, kterou v práci používáme. Jazyk byl vytvořen obchodníky pro obchodníky, a z tohoto důvodu využívá mimo klasických programovacích struktur i prvky z oblasti programování, které se v obchodnické hantýrce hojně vyskytují. Hlavní náplní jazyka je tvorba technických indikátorů a strategií.

EL pracuje jako každý lepší programovací jazyk s klasickými matematickými, logickými a relačními operátory, je možné tvořit funkce a procedury, pole, podmínky a samozřejmě grafické výstupy počínaje vytvářením obrázků a konče spouštěním videí. Velká pozornost je kromě grafických výstupů věnována i časovým operátorům, některé z nich si představíme v ukázce níže.

Jednoduchost EL spočívá především v předdefinovaných operátorech a funkcích, které již z názvu prozrazují svůj účel. Jazyk obsahuje knihovnu rezervovaných pojmů, jež velmi ulehčují práci s tvorbou kódu. Jedním klíčovým slovem je tak možné zjistit hlavní doby obchodních seancí daného aktiva, nebo dokonce ceny první svíce z tohoto období.

Ukažme si několik příkladů rezervovaných pojmů v EL: *Xlaverage* – defaultní funkce pro výpočet exponenciálního klouzavého průměru, *SessionStartTime* – vrací čas počátku hlavní obchodní seance, *LastBarOnChart* – odkazuje se na poslední svíci v grafu, *CallVolume* – vrací celkové volume Call opce pro dané aktivum. Jako poslední příklad pro demonstrování intuitivnosti EL si uvedeme příkaz pro vstup do dlouhé pozice po překřížení klouzavých průměrů. Takto by mohl vypadat fragment kódu pro výše popsané:

```
...  
Condition1 = EmaLow crosses above EmaHigh;  
if Condition1 then Buy next bar at CLOSE;  
end;  
...
```

Kompletní průvodce EL je zdarma ke stažení na internetové adrese uvedené u zdroje [13].

## **Příloha 2**

Jedná se o soubor v programu Microsoft Excel obsahující počáteční rozhodovací strom pro hledání signálů s poznámkami k jednotlivým situacím. Dále jsou zde zaznamenány výsledky některých signálů s příslušnými equity křivkami.

## **Příloha 3**

Druhý soubor je textového formátu a obsahuje všechny zdrojové kódy prvního obchodního systému, tj. kódy jednotlivých indikátorů a samotné strategie.

## **Příloha 4**

V posledním souboru programu MatlabR2012b nalezneme zdrojový kód druhého obchodního systému založeného na náhodných vstupech do pozic.

## B Zdrojové kódy

V tomto oddílu si uvedeme na ukázkou zdrojové kódy strategie hlavního obchodního systému a systému s náhodnými vstupy. První kód je napsán v jazyku EasyLanguage, druhý je napsán v programu MatlabR2012b.

### B.1 Hlavní obchodní systém

```
[IntrabarOrderGeneration = false]
inputs:  velikost_gapu(4),
         svice_k_avg(35),
         konstanta(2),
         SL(200),
         PT(600),
         cekani_na_extrem(15),
         cekani_po_extremu(5),
         perioda_CCI(14),
         CCI_dolni(-100),
         CCI_horni(100);

variables:      rostouci_gap(FALSE),
                klesajici_gap(FALSE),
                zadny_gap(FALSE),
                bull_prev(FALSE),
                bear_prev(FALSE),
                chop_prev(FALSE),
                x(0),
                prvni(0),
                prumer(0),
                pocet_svici_zpet(0),
                prislo_low(FALSE),
                prislo_high(FALSE),
                CLOSE_low(0),
                CLOSE_high(0),
                p(0),
                y(0),
                z(0),
                signal_high(FALSE),
                porovnani_high(0),
                signal_low(FALSE),
                porovnani_low(0);

// rozpoznani gapu:

if Date > Date[1] then begin

    if CLOSE[1] - open > velikost_gapu then begin
        klesajici_gap = TRUE;
    end

    else if CLOSE[1] - open < - velikost_gapu then begin
        rostouci_gap = TRUE;
    end

    else if CLOSE[1] - open[0] < velikost_gapu AND CLOSE[1] -
open > - velikost_gapu then begin
        zadny_gap = TRUE;
    end
end
```

```
end;

// rozpoznani trendu predchoziho dne:

Array: pole[] (0);
Array_SetMaxIndex(pole, svice_k_avg);

for x = 0 to (svice_k_avg-1) begin
pole[x+1] = CLOSE[svice_k_avg - x];
end;

prumer = AverageArray(pole, svice_k_avg);
prvni = pole[1];

If prumer > prvni + konstanta then begin
bull_prev = TRUE;
end

else if prumer < prvni - konstanta then begin
bear_prev = TRUE;
end

else if prvni + konstanta > prumer AND prvni - konstanta
< prumer then begin
chop_prev = TRUE;
end;

end;

// urceni high nebo low signalu:

if (T-T[1]) > 5 then begin
// vypocet pozice extremu ve svickach
pocet_svici_zpet = (T-sess2firstbartime)/5-8;
end

else if T-T[1] = 5 AND (T-sess2firstbartime)/5 -
pocet_svici_zpet[1] > 5 then begin
pocet_svici_zpet = (T-sess2firstbartime)/5 -8;
end
else begin pocet_svici_zpet = (T-sess2firstbartime)/5;
end;

if Date > Date[1] then begin
//prvni svicka je v podstate taky extrem, osetreni
CLOSE_high = C;
CLOSE_low = C;
end;

if pocet_svici_zpet >= 1 AND pocet_svici_zpet
<= cekani_na_extrem AND D = D[1] then begin

Array: pole_ex[] (0);
Array_setMaxIndex(pole_ex,pocet_svici_zpet);

for z = 0 to pocet_svici_zpet-1 begin
pole_ex[z+1] = C[pocet_svici_zpet-z];
end;

if C > HighestArray(pole_ex,pocet_svici_zpet) then
begin
```

```
CLOSE_high = C;
end;

if C < LowestArray(pole_ex,pocet_svici_zpet) then
begin
CLOSE_low = C;
end;

If D = D[cekani_po_extremu] AND C[cekani_po_extremu] =
CLOSE_high then begin

    for p = 0 to cekani_po_extremu-1 begin
        if C[p]<= CLOSE_high then begin
            porovnani_high = porovnani_high +1;
        end;
    end;

    if porovnani_high = cekani_po_extremu then
begin
signal_high = TRUE;
end;
end;

if D = D[cekani_po_extremu] AND C[cekani_po_extremu] =
CLOSE_low then begin

    for y = 0 to cekani_po_extremu-1 begin
        if C[y]>= CLOSE_low then begin
            porovnani_low = porovnani_low +1;
        end;
    end;

    if porovnani_low = cekani_po_extremu then begin
signal_low = TRUE;
end;
end;

end;

end;

if pocet_svici_zpet > cekani_na_extrem then begin
zadny_gap = FALSE;
klesajici_gap = FALSE;
rostouci_gap = FALSE;

bull_prev = FALSE;
bear_prev = FALSE;
chop_prev = FALSE;

end;
```

```
// V S T U P Y   D O   P O Z I C :

//----- LONG SIGNALY -----:
if dayofweek(date) <> 3 AND EntriesToday(date)<1 then begin

// 1.
if (marketposition = 0 AND rostouci_gap AND bull_prev AND signal_low
AND CCI(perioda_CCI)<CCI_horni {AND O[1]<XAverage(CLOSE,MA)}) then
begin
Buy("RiseGapLONGJedna") next bar at Market;
end;
end;

if dayofweek(date) <> 2 then begin

// 2.
if (marketposition = 0 AND rostouci_gap AND bear_prev AND signal_low
AND CCI(perioda_CCI)<CCI_horni {AND O[1]>XAverage(CLOSE,MA)}) then
begin
Buy("RiseGapLONGDva") next bar at Market;
end;

end;

if dayofweek(date) <> 1 then begin

// 8.
if (marketposition = 0 AND rostouci_gap AND bear_prev AND signal_high
AND CCI(perioda_CCI)<CCI_horni {AND O[1]<XAverage(CLOSE,MA)}) then
begin
Buy("RiseGapLONGOsm") next bar at Market;
end;

end;

//----- SHORT SIGNALY -----:

if dayofweek(date) <> 1 then begin

// 10.
if (MarketPosition = 0 AND klesajici_gap AND bull_prev AND signal_high
AND CCI(perioda_CCI)>CCI_dolni {AND O[1]>XAverage(CLOSE,MA)}) then
begin
SellSHORT("FallGapSHORT") next bar at Market;
end;

end;

SetStopLoss(SL);
SetProfitTarget(PT);
setexitonCLOSE;

signal_low = FALSE;
signal_high = FALSE;
porovnani_high = 0;
porovnani_low = 0;
x = 0;
y = 0;
z = 0;
p = 0;
```

## B.2 Obchodní systém s náhodnými vstupy

```
clear all;
CLOSE all;
clc;

data=xlsread('data_excel','2015-2016');
n = length(data);
CLOSE_rank_day = data(:,1:3);
vynosy = [];
lambda1 = 29.8;
lambda2 = 66;
SL = 3;      %body = 150 USD
PT = 20;     %body = 1000 USD

for i = 1:10000
    suma = 1;                % index
    pocet_obchodu = 0;      % počet obchodů
    zustatek = 0;
    ucet = [];
    rozdil1 = 0;
    rozdil2 = 0;
    pom1 = 1;
    pom2 = 1;
    pocet1 = 0;
    pocet2 = 0;
    nepocitej = false;

    while suma+81 < n
        p = rand;
        q = rand;
        x = round(expinv(p,lambda2)) % cekani na vstup do pozice
        y = round(expinv(q,lambda1)) % max doba setrvani v pozici

        if x+y+suma > n || zustatek <= (-10000+2942.10+0.85) %margin+komise
            break;
        else
            r = rand;                % druh pozice

            if r < 0.246              % ppst SHORT
                pom2 = 0;

                if CLOSE_rank_day(suma+x,3)~= CLOSE_rank_day(suma,3) &&
                    suma > 1
                    z = rand;
                    if z > 161/505 % ppst obchodu
                        pom1 = y+1; % přeskočení while cyklu
                        nepocitej = true;
                        rozdil1 = 0.017; %vynuluje komise
                    end;
                end;
            end;

            while pom1 <= y
                prodej = CLOSE_rank_day(suma+x,1); % ulozeni CLOSE
                rozdil1 = prodej-CLOSE_rank_day(suma+x+pom1,1);
                pocet1 = pom1;

                if rozdil1 <= -SL
```

```

        rozdil1 = -SL; % v bodech
        pocet1 = pom1;
        pom1 = y;

    elseif rozdil1 >= PT % v bodech
        rozdil1 = PT;
        pocet1 = pom1;
        pom1 = y;
    end;

    if CLOSE_rank_day(suma+x,2) == 81
        rozdil1 = 0.017;
        pocet1 = 0;
        pom1 = y;

        elseif CLOSE_rank_day(suma+x+pom1,2) == 81
            pocet1 = pom1;
            pom1 = y;
        end;

        pom1 = pom1+1;
    end;

    zustatek = zustatek + rozdil1*50-0.85 % v dolarech
    rozdil1 = 0;
end;

if r >= 0.246 % ppst LONG
    pom1 = 0;

    if CLOSE_rank_day(suma+x,3) ~= CLOSE_rank_day(suma,3) &&
        suma > 1
        z = rand;
        if z > 161/505 %ppst obchodu
            pom2 = y+1;
            nepocitej = true;
            rozdil2 = 0.017;
        end;
    end;

    if CLOSE_rank_day(suma+x,3) == CLOSE_rank_day(suma,3) &&
        suma > 1 %pokud jsme dnes už obchodovali, neprobehne
        další obchod
        pom2 = y+1;
        nepocitej = true;
        rozdil2 = 0.017;
    end;

    while pom2 <= y
        nakup = CLOSE_rank_day(suma+x,1);
        rozdil2 = CLOSE_rank_day(suma+x+pom2,1)-nakup;
        pocet2 = pom2;

        if rozdil2 <= -SL
            rozdil2 = -SL;
            pocet2 = pom2;
            pom2 = y;

        elseif rozdil2 >= PT

```



```
        rozdil2 = PT;
        pocet2 = pom2;
        pom2 = y;
    end;

    if CLOSE_rank_day(suma+x,2) == 81
        rozdil2 = 0.017;
        pocet2 = 0;
        pom2 = y;
    elseif CLOSE_rank_day(suma+x+pom2,2) == 81
        pocet2 = pom2;
        pom2 = y;
    end;

    pom2 = pom2+1;
end;

    zustatek = zustatek + rozdil2*50-0.85    % dolarech
    rozdil2 = 0;
end;
end;

if nepocitej == false
    pocet_obchodu = pocet_obchodu+1;
end;

ucet(pocet_obchodu) = 10000+zustatek;
suma = suma + x + pocet1 + pocet2;
pom1 = 1; pom2 = 1;
pocet1 = 0; pocet2 = 0;
nepocitej = false;
end;

komise = pocet_obchodu*.85                % celkove
cisty_zustatek = zustatek
vynosy(i) = cisty_zustatek;                % pro histogram
obchody(i) = pocet_obchodu;
end;

figure
plot(1:pocet_obchodu,ucet')
grid on
xlabel('Počet obchodů')
ylabel('Účet')
title('Prehled uctu 2015 - 2016')

figure
histfit(vynosy);
xlabel('Čistý výnos')
ylabel('Četnost')
title('Histogram vynosů 10 000 simulací')

figure
histfit(obchody);
xlabel('Čistý výnos')
ylabel('Četnost')
title('Histogram vynosů 1000 simulací
```

## 10 Literatura

- [1] **MURPHY, J. John. 1999.** *Fundamental analysis and position trading*. New York institut of finance, New York. ISBN: 0-7352-0066-1.
- [2] **BULKOWSKI, N. Thomas. 2013.** *Fundamental analysis and position trading: Evolution of a Trader*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. ISBN: 978-1-118-46420-5.
- [3] **REJNUŠ, Oldřich. 2016.** *Finanční trhy*. Praha: Grada Publishing a.s., 2016. ISBN: 978-80-271-9299-1.
- [4] **CHEN, James. 2010.** *Essentials of technical analysis and financial markets*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. ISBN: 13 978-0-470-53729-9.
- [5] **PODHAJSKÝ P., NESNÍDAL T. 2010.** *Kompletní průvodce úspěšného finančníka*. Praha: Centrum finančního vzdělávání, s. r. o., 2010. ISBN: 978-80-903874-5-4.
- [6] **HYNEK, Josef. 2008.** *Genetické algoritmy a genetické programování*. Praha: Grada Publishing a.s., 2010. ISBN: 978-80-247269-5-3.
- [7] **CONTABO GmbH. 2017.** *VPS*. [online]. 2017. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: <https://contabo.com/?show=vps>
- [8] **JONES, Ryan. 1999.** *The trading game: Playing by the numbers to make millions*. John Wiley & Sons, Inc., Canada. ISBN: 0-471-31698-9.
- [9] **JAEKLE U., TOMASINI E. 2009.** *Trading systems*. Harriman House LTD, Great Britain. ISBN: 978-1-905641-79-6.
- [10] **PARDO, Roberto. 1992.** *Design, testing and optimization of trading systems*. John Wiley & Sons, Inc., Canada. ISBN: 0-471-55446-4.
- [11] **NESNÍDAL, Tomáš. 2010.** *Walk forward analýza podrobněji*. [online]. 2010. [Citace: 9. květen 2017]. Dostupné z: [http://www.financnik.cz/komodity/fin\\_home/walkforward-analyza-podrobneji.html](http://www.financnik.cz/komodity/fin_home/walkforward-analyza-podrobneji.html)
- [12] **FOREX PRO ZAČÁTEČNÍKY.CZ. 2013.** *Vytváříme AOS – definování cíle (3. díl)*. [online]. [Citace: 9. květen 2017]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160414152141/http://www.forex-pro-zacatecniky.cz:80/news/vytvarime-aos-definovani-cile-dil-3/>
- [13] **CME GROUP Inc. 2017.** *E-mini S&P 500 Futures Contract Specs*. [online]. 2017. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: [http://www.cmegroup.com/trading/equity-index/us-index/e-mini-sandp500\\_contract\\_specifications.html](http://www.cmegroup.com/trading/equity-index/us-index/e-mini-sandp500_contract_specifications.html)
- [14] **MULTICHARTS, LLC. 2017.** *Multicharts 10 free trial*. [online]. 2017. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.multicharts.com/>

- [15] **IQFEED. 2017.** *ABOUT IQFEED: Put the Power of Streaming Quotes on your Desktop.* [online]. 2017. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.iqfeed.net/index.cfm?displayaction=data&section=main>
- [16] **FRIESL M., 2014.** *Pravděpodobnost a statistika hypertextově.* [online]. 2014. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: <https://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/hPsbS.pdf>
- [17] **OLIVA M., Patria Finance, a.s. 2011.** *Ocilátor CCI - populární pomocník při forexovém obchodování.* [online]. 2. 9. 2011. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.patria.cz/zpravodajstvi/1894121/ocilator-cci---popularni-pomocnik-pri-forexovem-obchodovani.html>
- [18] **INTERACTIVE BROKERS, LLC. 2017.** *E-mini S&P 500 (ES@) specifications.* [online]. 2017. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: [https://misc.interactivebrokers.com/cstools/contract\\_info/v3.9/index.php?action=Details&site=GEN&conid=269745169](https://misc.interactivebrokers.com/cstools/contract_info/v3.9/index.php?action=Details&site=GEN&conid=269745169)
- [19] **INTERACTIVE BROKERS, LLC. 2016.** *IB history.* [online]. 1. 1. 2016. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.interactivebrokers.com/en/index.php?f=564>
- [20] **INTERACTIVE BROKERS, LLC. 2017.** *Required minimums.* [online]. 2017. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.interactivebrokers.com/en/index.php?f=4969>
- [21] **INTERACTIVE BROKERS, LLC. 2017.** *Futures margin.* [online]. 2017. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.interactivebrokers.com/en/index.php?f=marginnew&p=fut>
- [22] **INTERACTIVE BROKERS, LLC. 2017.** *Commissions.* [online]. 2017. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.interactivebrokers.com/en/index.php?f=commission&p=futures1>
- [23] **MULTICHARTS, LLC. 2017.** *Getting started with AutoTrading.* [online]. 2017. [Citace: 9. duben 2017]. Dostupné z: [https://www.multicharts.com/trading-software/index.php/Getting\\_Started\\_with\\_AutoTrading](https://www.multicharts.com/trading-software/index.php/Getting_Started_with_AutoTrading)
- [24] **TRADESTATION SECURITIES, Inc. 2007.** *EasyLanguage Essentials.* [online]. 2007. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: [https://www.tradestation.com/~media/Files/TradeStation/Education/University/School%20of%20EasyLanguage/Books/EL\\_Essentials.ashx](https://www.tradestation.com/~media/Files/TradeStation/Education/University/School%20of%20EasyLanguage/Books/EL_Essentials.ashx)
- [25] **FUSION MEDIA LIMITED. 2017.** *Investing.com: EUR/USD Historical data.* [online]. 2017. [Citace: 9. květen 2017]. Dostupné z: <https://www.investing.com/currencies/eur-usd-historical-data>
- [26] **IQFEED. 2017.** *IQFeeds Core Service Fees, Exchange fees.* [online]. 2017. [Citace: 14. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.iqfeed.net/index.cfm?displayaction=data&section=fees>

- [27] **SCHUSTER T., LIESEN A. 2014.** *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler*. Springer Berlin Heidelberg, Deutschland. ISBN: 978-3-642-41994-2.
- [28] **MULTICHARTS, LLC. 2017.** *Understanding Optimization*. [online]. 2017. [Citace: 9. květen 2017]. Dostupné z: <https://www.multicharts.com/tradingsoftware/index.php/Unders>