

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

Fakulta financí a účetnictví

Katedra bankovníctví a pojišťovnictví

Studijní obor: Finanční inženýrství



Využití korelačních a kointegračních vztahů mezi cenami aktiv při
obchodování

Autor Diplomové práce : Bc. Jozef Zákalický

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Fičura

Rok obhajoby: 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Využití korelačních a kointegračních vztahů mezi cenami aktiv při obchodování, vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a další prameny jsme řádně označil a uvedl v přiloženém seznamu.

V Praze dne 19.12.2018

.....
Jozef Zákalický

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Milanu Fičurovi za veškeré připomínky a ochotný přístup při psaní práce.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Jozef Zákalický**
Studijní program: Finance a účetnictví
Obor: Finanční inženýrství
Název tématu: **Využití korelačních a kointegračních vztahů mezi cenami aktiv při obchodování**

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika korelačních a kointegračních vztahů v časových řadách a jejich praktické využití
2. Analýza algoritmického obchodování, fungujícího na principu korelačních a kointegračních vztahů mezi cenami aktiv.
3. Identifikace korelačních a kointegračních vztahů mezi vybranými aktivy, tvorba obchodních strategií a testování jejich úspěšnosti.

Rozsah práce: 60

Seznam odborné literatury:

1. ARLT, J. – ARLTOVÁ, M. *Ekonomické časové řady*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2007. 288 s. ISBN 978-80-247-1319-9.
2. CIPRA, T. *Finanční ekonometrie*. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.
3. MAKOVSKÝ, P. *Informační efektivnost devizového trhu*. 1. vyd. Slaný: Libuše Macáková, Melandrium, 2014. 147 s. ISBN 978-80-86175-91-1.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2017

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2018

Jozef Zákalický
Řešitel

Ing. Milan Fičura
Vedoucí práce

doc. RNDr. Jarmila Radová, Ph.D.
Vedoucí katedry

doc. Ing. Ladislav Mejzlík, Ph.D.
Děkan FFU VŠE

Abstrakt: V téhle práci je využitý kointegrační vztah mezi dvěma akciovými indexy pro vytvoření automatického obchodního systému. Kointegrační analýza zahrnuje Dickey- Fullerův test, Engle-Grangerův a Johansenův test. Na základě jejich výsledků je vytvořen regresní model, popisující vztah mezi technickým indikátorem a akciovým indexem Standard and Poor's 500. V závěru práce je naprogramována a optimalizována obchodní strategie na obchodní platformě MetaTrader, která je následně otestována při obchodování v reálném čase. Výsledkem práce je posouzení, zda je vytvořený obchodní systém, založen na kointegračních a regresních vztazích je profitabilní nebo ne.

Klíčová slova: algoritmické obchodování, kointegrační analýza, akciový index, technická analýza, regrese

Abstract: In this diploma thesis we used cointegration relationship between two stock indexes to create automated trading system. Cointegration analysis include Dickey- Fuller test, Engle-Granger test and Johansen cointegration test. Based on their result we build regression models to describe relationship between technical indicator and price of Standard and Poor's 500 stock index. In the end is programmed and optimized trading strategy on platform MetaTrader which is tested in real time trading. The result is the assessment, whether created automated trading system, based on cointegration and regression is profitable or not.

Key words: algorithmic trading, cointegration analysis, stock index, technical analysis, regression

Seznam zkratek

AOS.....	Automatický obchodní systém
BB.....	Bollingerové pásma
BPG.....	Breusch Pagan Godfrey test
CFD.....	Contract for difference
DD.....	Drawdown
DJIA.....	Dow Jones Industrial Average
ETF.....	Exchange-Traded Fund (burzovně obchodovaný fond)
HFT.....	High Frequency Trading (Vysokofrekvenční obchodování)
MNČ....	Metoda nejmenších čtverců
MQL.....	MetaQuotes Language
MT.....	Metatrader
OLS.....	Ordinary least squares
Prob.....	Probability
RRR.....	Risk Reward Ratio
S&P.....	Standard and Poor's
SL.....	Stop Loss
TP.....	Take Profit

Obsah

Úvod	5
1. Historie burzovního obchodování	7
1.1 Elektronické obchodování	7
1.2 Algoritmické obchodování	9
1.3 Vysokofrekvenční obchodování	10
1.4 Párové obchodování	12
2. Statistické vztahy mezi proměnnými	13
2.1 Korelační analýza	13
2.2 Kointegrační analýza	14
2.2.1 Testování kointegračních vztahů	14
2.3 Regresní analýza	19
3. Tvorba a testování obchodní strategie	24
3.1 Charakteristika burzovních indexů	25
3.1.1 Standard & Poor's 500	26
3.1.2 Dow Jones Industrial Average	27
3.2 Popis dat vybraného časového období	28
3.2.1 Stanovení časového rámce	30
3.3 Analýza korelačních a kointegračních vztahů mezi indexy	36
3.3.1 Engle- Grangerův test kointegrace	36
3.3.2 Rozšířený Dickey- Fullerův test jednotkového kořene	37
3.3.3 Johanesův test kointegrace	39
3.4 Výstavba a analýza regresního modelu	41
3.4.1 Model 0.1	41
3.4.2 Model 0.2	44
3.4.3 Model 0.3	48
3.5 Stavba a optimalizace AOS	50
3.5.1 Představení obchodní platformy Metatrader	51
3.5.2 Představení Admiral Markets AS	52
3.5.2 Princip fungování automatického obchodního systému	53
3.5.3 Vstupní signál	54
3.5.4 Výstupní signál	54
3.5.5 Struktura a tělo automatického obchodního systému	56
3.5.6 Optimalizace a backtestování automatického obchodního systému	59

3.6 Testování AOS prostřednictvím obchodování v reálném čase.....	66
3.6.1 Kointegrační analýza dat z období obchodování v reálném čase	68
Závěr.....	70
Seznam literatury	72
Seznam článků a internetových zdrojů	72
Seznam tabulek a grafů	74
Seznam příloh.....	76

Úvod

Účelem práce je propojení poznatků z oblastí stochastického modelování a kvantitativní analýzy s praktickým světem finančních trhů a burz. V současné době probíhá v globálním měřítku automatizace činností, které byly ještě donedávna ve výsostní pravomoci lidí. Právě obchodování byla jedna z těch činností, ve které odjakživa dominoval lidský um a schopnost vyjednávat. S příchodem výpočetní techniky, byl však um ve výrazné míře nahrazen statistickými analýzami, schopnými simulovat miliony scénářů možného vývoje trhu a místo vyjednávání cen dnes slouží čekající příkazy, které automaticky uzavrou obchod, jakmile se cena aktiva dostane na obchodníkem požadovanou úroveň. Na exekuci obchodních příkazů se používají především obchodní systémy, kterých výhoda spočívá v jejich rychlosti a absenci emocí, které by ovlivňovali jejich rozhodnutí. Původní role obchodníka byla tak částečně přenesena na burzovní analytiky, hledající vzorce chování na trzích, na základě kterých pak vývojáři vytvářejí inteligentní obchodní systémy, které dokážou autonomně reagovat na tržní situaci. Úloha obchodníků dnes spočívá především v monitorování výkonností vytvořených programů a taky ověřování, jestli jsou statistické modely, na základě kterých fungují programy, stále relevantní pro aktuální podmínky na trhu. Tahle práce bude postupně procházet všechny tři typy činnosti.

V teoretické části se však nejdříve podíváme na vývoj, kterým prošel obchodní svět v posledních desetiletích. Přiblížíme si změny, které souviseli s rozvojem komunikačních a výpočtových technologií a taky probereme výhody a nevýhody, které již dnes můžeme vnímat, v souvislosti s danými změnami. Nejnovější trend související s tradingem- vysokofrekvenční obchodování již povýšilo rychlost přenosu obchodních příkazů na jednu z hlavních priorit při dosahování zisku. Tenhle silný nástroj, kterým disponují největší institucionální hráči, však již prokázal svůj vliv v negativním směru, když hrál významnou roli v doposud největším propadu amerického akciového trhu v průběhu jediného dne (Flash Crash, 2010) a rozvířil tím diskusi o potřebách jeho regulace.

Jeden z kvantitativních přístupů, který je založen na zkoumání a vyhodnocování vztahů mezi dvěma obchodovanými aktivy, se nazývá párové obchodování. V průběhu času bylo od něho odvozených více obchodních strategií, všechny však vycházejí z očekávání existence dlouhodobého rovnovážného vztahu mezi aktivy. Právě tyto myšlenky stojí za obchodním systémem, vytvořeným pro tuhle práci. Proto jsou v teoretické části popsány principy korelačních, kointegračních a regresních vztahů, stejně tak některé metody jejich výpočtu, které byly následně aplikovány v praktické části práce. Ta začíná výběrem dvou typů finančních derivátů, známých jako Contract for difference, kterých podkladová aktiva tvoří americké akciové indexy Standard and Poor's 500 a Dow Jones Industrial Average.

Následně proběhne testování kointegračních vztahů mezi oběma indexy a to v různých časových rámcích. Od výsledků kointegrační analýzy se bude pak odvíjet regresní analýza, sloužící jako základ pro tvorbu automatického obchodního systému. Všechny statistické analýzy v práci byly provedeny v programe Econometric Views (neboli EViews), konkrétně ve verzi Standard Edition 8.

Završením práce bude tvorba automatického obchodního systému, schopného vstupovat do obchodních pozic (dlouhých i krátkých), podle naprogramovaných příkazů. Pro tvorbu a testování obchodního systému bude použita obchodní platforma MetaTrader a pro simulaci obchodování v reálném čase bude vytvořen demo účet u brokerské společnosti Admiral Markets. V závěru práce proběhne zhodnocení výkonnosti obchodního programu a taky analýza příčin jeho případného úspěchu a nebo neúspěchu.

1. Historie burzovního obchodování

Když mluvíme o evoluci obchodních technologií, je důležité rozlišovat mezi pitovým (floor trading), elektronickým (etradng) a algoritmickým obchodováním (algorithmic trading). Elektronické obchodování představuje propojení jednotlivých členů prostřednictvím elektronického obchodního protokolu a taky nahrazení takzvaného voice brokerage, neboli hlasitého vyjednávání obchodů. Historicky nejstarší typ burzovního obchodování probíhal na takzvaném obchodním parketu (od něho byl taky odvozen název floor trading), kde docházelo k fyzickému setkávání obchodníků (neboli floor traderů).

1.1 Elektronické obchodování

Elektronické a algoritmické obchodování nabilo od 80. let 20. století významní pozornosti ze strany finančních institucí, bezpečnostních regulátorů a různých burz. V důsledku přísnějších regulací, se začalo obchodování s akcemi stávat stále více komplikované a méně profitabilní. Právě automatizace a nové technologie měli dramatický vliv na jeho vývoj. Nárůst rychlosti přenosu informací byl překvapivý a umožnil obchodníkům a ostatním tržním účastníkům zadávání tržních příkazů rychleji a za nižší poplatky. Právě snížení transakčních nákladů pobádalo firmy k výrazním investicím do jejich obchodní a procesní infrastruktury. Šíření elektronického a algoritmického obchodování bylo nejvýrazněji pozorovatelné na Wall Street, odkud se šířilo na ostatní finanční trhy ve světě.

S tím, jak se rozvíjel internet a vznikali možnosti online obchodování, souvisel taky výrazní nárůst objemu obchodů (a taky cen akcií na trzích) a to až do takové míry, že přerostl do spekulativní bubliny. V průběhu 80. a 90. let rostl akciový index Standard and Poor's (S&P500) v průměru o 15 % ročně. V letech 1995 až 1999 dosáhl průměrný roční růst dokonce přes 26%. Nastavený trend dosáhl svého vrcholu v roce 2000, no po splasknutí technologické bubliny (Březen 2001, Dotcom-bubble¹), došlo k výraznému útlumu na akciových trzích ve světě. Index S&P 500 překročil své maximum z Března 2000 až o sedm let později.

Nové technologie a zvýšení výpočetních kapacit počítačů umožnilo vznik nových složitějších investičních produktů, mezi které patří burzovně obchodované fondy (ETF), nebo strukturované produkty (například CDO, CDS), založené na jiným obchodovaným pokladovém aktivu.

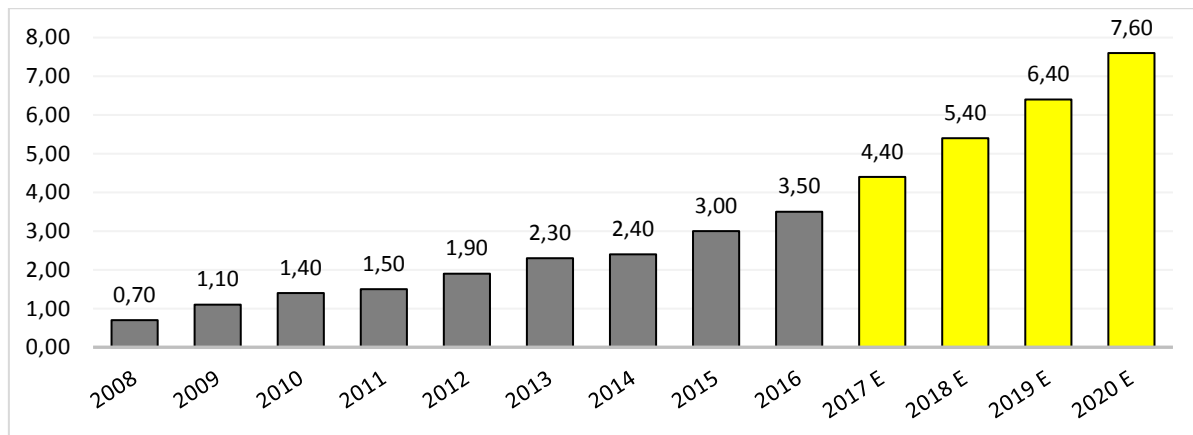
¹ Dotcom-bubble, Březen 2001

Exchange traded funds²

Počátky burzovně obchodovaných fondů sahají do začátku 90. let, kdy byl zájem vytvoření nových možností pro institucionální investory (a taky pro širší investorskou veřejnost) s využitím fondů, které by byli obchodováni na burze. Historicky první ETF byl odvozen od akciového indexu Standard and Poor's 500 a jmenoval se S&P Depositary Receipts. Díky jeho označení SDPR získal brzo přezdívku „spyder“. V příštích letech vznikli další fondy, navázané na nejvýznamnější americké akciové indexy PowerShares QQQ (vycházel z indexu NASDAQ 100) nebo Diamonds (Dow Jones Industrial Average). Původní fondy měli výlučně pasivní správu, což znamenalo, že jejich složení se v průběhu času neměnilo. Z toho plynula výhoda nižších nákladů na správu fondů a taky jejich vysoká transparentnost. Na rozdíl od klasických aktivně spravovaných fondů kolektivního investování (převážně podílové fondy a investiční fondy), při ETF zná investor jeho přesné složení v každém momentě. Od roku 2008 však existují taky aktivně spravované ETF, které jsou většinou orientovány na jeden sektor (technologický průmysl, finance, zemědělství atd).

V průběhu času se burzovně obchodované fondy rozšířili z USA do celého světa. Ve Spojených státech, kde je jejich zastoupení stále nejsilnější, má jejich monitoring a regulaci na starost Úřad pro kontrolu cenných papírů (Securities and Exchange Commission).

Graf č.1 Analýza a předpověď objemu majetku spravovaného ETF v letech 2008 - 2020 (v bilionech USD)



Zdroj: <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-etf-survey-2017/%24FILE/ey-global-etf-survey-2017.pdf>

Největší rozmach zažívá celý ETF průmysl od počátku třetího tisíciletí. V roce 2005 spravovali všechny burzovně obchodované fondy zhruba 417 miliard dolarů. Ke konci září 2017 dosáhl objem všech spravovaných prostředků hodnotu 4,4 biliónů amerických dolarů, což představuje průměrný meziroční

² Mark Matthews, *The Evolution of the ETF Industry*

růst o 21%. Podle odhadů společnosti Ernst & Young se tenhle objem navýší do konce roku 2020 na hodnotu 7,6 bilionů USD.³

1.2 Algoritmické obchodování

Algoritmické obchodování představuje exekuci finančních instrumentů prostřednictvím počítačů, přičemž vyžaduje od investora stanovení si obchodního plánu prostřednictvím matematických instrukcí. Dané instrukce si každý investor přizpůsobuje svým preferencím.

Algoritmy slouží na obchodování akcií, dluhopisů, měn a taky různých druhů finančních derivátů a často jsou označovány jako "automaty", "black box" nebo "algotading". Podílové fondy, indexové fondy, penzijní fondy, nebo dokonce hedgové fondy používají algoritmy pro implementaci jejich investičních rozhodnutí, například určení nejlepšího způsobu rozdělení obchodního příkazu (tzv. slice orders), nebo stanovení optimální ceny, času nebo objemu při vstupu na trh. Tyhle algoritmy dělají často rozhodnutí bez lidského zásahu.

Výhody spojený s algoritmickým obchodováním:

- *Nižší poplatky.* Využití algo tradingu při exekuci obchodních příkazů a poskytování služeb z tím spojených (například risk management nebo order management) umožnil snížení nákladu na tyto služby (to je způsobeno především snížením počtu brokerů, potřebných na poskytování těchto služeb).
- *Anonymita.* Obchodní příkazy vstupují do systému a jsou automaticky obchodovány.
- *Kontrola.* Buy-side obchodníci mají plnou kontrolu nad obchodními příkazy. Mohou je zrušit, nebo upravit obchodní instrukce téměř okamžitě.
- *Minimální únik informací.* Brokeři nedostávají informace o obchodních příkazech nebo záměrech investorů. Buy-side obchodníci dokáží specifikovat obchodní instrukce prostřednictvím algoritmů a specifikováním jejich parametrů.
- *Transparentnost.* Investorům je poskytována vysoká míra transparentnosti v souvislosti s tím, jak jsou exekuvány jejich obchodní příkazy. Algoritmy vykonávají obchodní příkazy jenom za takových podmínek, pro které jsou naprogramovány.
- *Přístupnost.* Algoritmy poskytují rychlý a efektivní přístup na různé trhy, s nízkým zpožděním informací.
- *Konkurence.* Investoři profitují z nárůstu konkurence mezi tržními účastníky/sprostředkovateli (independent vendors, order and execution management software firms, exchanges, third party providers, in-house development teams), ve srovnání s tradičními sell-side broker dealery.

³ Lisa Kealy, *Reshaping around the investor, Global ETF Research 2017*, Ernst & Young LLP

Flexibilita volby mezi sprostředkovateli způsobila snížení nákladů a taky zvýšení kvality poskytovaných služeb.

- *Snížení transakčních nákladů.* Počítače jsou lépe vybaveny a rychleji reagují na měnící se tržní podmínky a neočekávané události. Jsou schopné zajistit konzistentnost mezi investičním rozhodnutím a obchodními instrukcemi, které vedou ke snížení nákladů tržních vlivů, nižšímu časovému riziku (riziku špatně načasovaného vstupu na trh) a vyššímu procentu uskutečněných obchodních příkazů (snížení nákladů příležitosti).

Nevýhody spojený s algoritmickým obchodováním:

- Přílišná pohodlnost a sebevědomí uživatelů může vést k tomu, že algoritmy začnou být nasazovány bez ohledu na podmínky a charakteristiku daného trhu, jen proto, že se daný algoritmus osvědčil v jiných podmínkách (resp. na jiném trhu)
- Uživatelé musí soustavně testovat a ohodnocovat algoritmus, aby se ujistili, zda pracuje v daném tržním prostředí podle očekávání.
- V současné době existuje mnoho druhů algoritmů a jejich značení může vytvářet nepřehlednost. VWAP = volume weighted average price (objemově vážená průměrná cena) je příklad přehledného označení algoritmu, který je lehký identifikovatelný mezi brokeři. Jenže v algoritme pojmenovaném jako např. Tarjan⁴ není vůbec zřejmé, na jakém principu funguje. Investoři, kteří chtějí využívat algoritmy, se musejí orientovat v stovkách různých druhů algoritmů a zároveň držet krok se změnami, které mohou nastat v jejich základním kódu. Velké investiční společnosti mohou využívat služeb více brokerů současně, s individuálně nastavenými algoritmy pro každého brokera, přičemž velká část z algoritmů může mít nepopisný (non-descriptive) název.

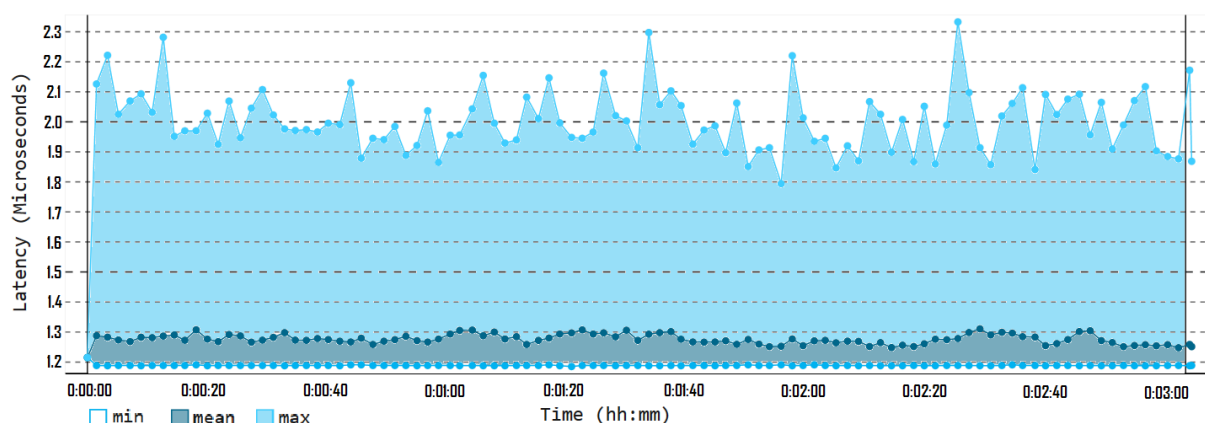
1.3 Vysokofrekvenční obchodování

Vysokofrekvenční obchodování (neboli high frequency trading) je podkategorie algoritmického obchodování, která má své charakteristické črty. Mezi ty hlavní patří vysoký počet otevíraných pozic, které mohou být rušeny v řadu sekund (respektive milisekund). Proto je nevyhnutným předpokladem pro fungování vysokofrekvenčního obchodování rychlá aktualizace informací na trhu a taky co nejvyšší rychlost umísťování obchodních příkazů. Na její měření se používá technický ukazovatel, označovaný jako latence, který vykazuje míru zpoždění reakce obchodního systému na nový podnět (v současnosti se úroveň latence na největších trzích pohybuje v mikrosekundách). Vzhledem k tomu, že celý princip

⁴ Informace o daném algoritmu jsou zpracovány v knize *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems*

vysokofrekvenčního obchodování je založen na „přebíhání konkurence“ při umísťování obchodních příkazů, tak se snižování latence stalo hlavní prioritou HFT obchodníků. Snaží se proto budovat svoji technologickou infrastrukturu fyzicky co nejbližší k centrálním serverům burzy (co-location), díky čemuž putují data kratší vzdáleností od obchodníka k burze a snižují tím čas pro zpracování svých obchodních příkazů. Dalším charakteristickým znakem HFT je orientace na co nejlikvidnější obchodované aktiva, obecně je vysokofrekvenční obchodování velmi populární na Forex trhu (např. na měnovém páru EURUSD) nebo na derivátových trzích (CME Group, Intercontinental Exchange, Nasdaq atd).⁵

Graf č. 2 Minimální, průměrná a maximální latence 20 nejobchodovanějších amerických akcí na NYSE



Zdroj: http://www.enyx.com/reports/data/img/latency_graphs/nxFeed-NYSE-XDP-INTEGRATED/latency_measures_test_0_histo.svg

Díky vysokému počtu obchodních pozic, které jsou otevírány pouze na krátkou dobu, dosahuje obchodník velmi nízkou průměrnou marží z jednoho obchodu, která se obvykle pohybuje v jednotkách dolarů, respektive desítkách centů.⁶ V posledních devíti letech zažívá vysokofrekvenční obchodování na amerických trzích spíše stagnaci. Podle výzkumní společnosti TABB Group, pokrýval HFT v roce 2009 zhruba 60 % objemu všech zobchodovaných amerických akcií. Od té doby se expanze zastavila a v roce 2017 byl tento podíl zhruba 55 %. Z hlediska obrátu, generovaného vysokofrekvenčními obchodníky, byl propad ještě výrazně markantnější (ze 7,2 miliardy USD v roce 2009 na necelou miliardu USD v roce 2017). Hlavní důvody poklesu významu HFT jsou připisovány růstu konkurence, která stlačila jeho profitabilitu na minimum (mnoho velkých hráčů dosahuje limitů rychlostí výpočetních kapacit, čímž se jejich náskok eliminoval) a taky růst poplatků (například za umísťování technologii k serverům burzy) nebo pokles volatility na trzích.⁷

⁵ Ekkehart Boehmer, Kingsley Fong, Julie Wu. *International evidence of algorithmic trading*,

⁶ Mathew Baron, Jonathan Brogaard, Andrei Kirilenko. *The Trading Profits of High Frequency Traders*

⁷ Joshua Warner, *Why has high-frequency trading decreased?*

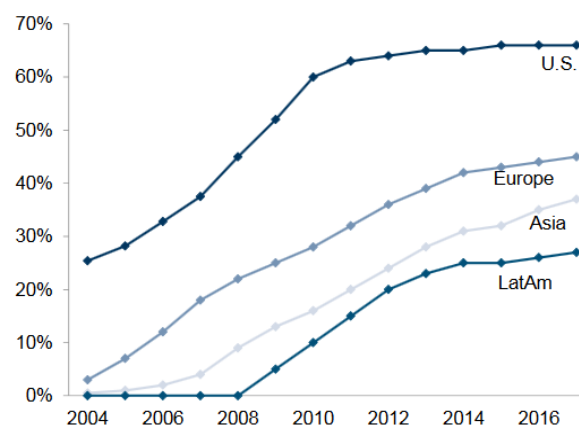
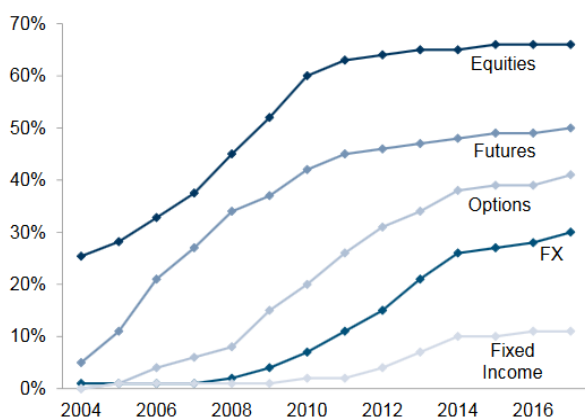
1.4 Párové obchodování

Párové obchodování je poměrně mladý přístup (vznikl v 80. letech) za kterého vytvořením stojí skupina kvantitativních analytiků ze společnosti Morgan Stanley, vedená Numzio Tartagliem. Právě rozmach algoritmického obchodování byl katalyzátorem pro nové obchodní přístupy, které vyžadovali vysoký výpočetní výkon pro zpracování velkého množství historických dat.

Tenhle typ statistické arbitráže se označuje jako tržně neutrální strategie, není totiž ovlivněn vývojem na trhu, což je taky důvod, proč se tahle myšlenka setkala s tak výrazným ohlasem na Wall Street. Tím, že v jeden moment dochází k nákupu jednoho aktiva (dlouhá pozice) a zároveň prodeji druhého (krátký prodej), vzniká jakési zajištění, které při platnosti kointegračního vztahu garantuje, že případná ztráta z jedné obchodní pozice, bude eliminována ziskem z korespondující druhé pozice.

Jako vstupní signál může sloužit vychýlení cenového spreadu mezi aktivy, kdy obchodník spekuluje na návrat do jeho rovnovážní úrovně tím, že nakoupí aktivum, které je relativně podhodnocené (vzhledem na spread) a prodá nadhodnocené aktivum. Jestliže se budou ceny aktiv vyvíjet stejným směrem (což se od kointegrovaných aktiv očekává), tak výnosnost strategie závisí od toho, jestli se jejich ceny budou k sobě přibližovat (což udělá strategii ziskovou) nebo nadále vzdalovat (strategie bude ztrátová). Stanovení optimální míry vychýlení spreadu, která by indikovala signál na otevření pozice, je v praxi poměrně problematické, při simulacích na historických datech je totiž nevyhnutné brát do úvahy money management (počet a velikost obchodních pozic, stop loss, také profit atd.), čímž se samotný proces optimalizace obchodní strategie komplikuje.⁸

Grafy č. 3 a 4 Tržní podíl algoritmického obchodování rozdělený podle třídy aktiv a podle regionu



Zdroj: https://www.gsam.com/content/dam/gsam/pdfs/sg/en/commentary/GS_Top%20of%20Mind_June.pdf?sa=n&rd=n

Obecně existuje mnoho způsobů pojetí párového obchodování, hlavní přístupy jsou však kointegrace, distanční metoda a stochastická metoda založená na spreadech.

⁸ Alice Nušlová, *Pairs Trading at the Prague Stock Exchange*

2. Statistické vztahy mezi proměnnými

Na finančních trzích je obchodováno nepřeberné množství investičních instrumentů, přičemž cena každého z nich je tvořená neustálou interakcí mezi nákupní a prodejní stranou. Výrazní část instrumentů je zároveň ovlivňována navzájem, na čem mělo podíl odvětví finančního inženýrství, které se zabývá vytvářením a oceňováním nových investičních nástrojů jako například finanční deriváty, nebo strukturované produkty. V případě finančních derivátů je cena těchto produktů propojena především s cenou jejich podkladového aktiva. Dále pak existuje jistá forma propojení mezi obchodovanými společnostmi, spadajícími do stejného segmentu (jako například technologické společnosti, automobilky, banky apod.). Tím, že se investoři zvyknou dívat na trh jako na celek, tak případný problém jedné společnosti, se může vlivem psychologického efektu přenést na ostatní firmy. Například když v roce 2015 zasáhla automobilku Volkswagen kauza Dieseltgate (způsobila propad cen jej akcií o 40 % v průběhu jednoho měsíce), tak obavy investorů z možného podvádění ostatních automobilek s emisemi, zapříčinili pokles cen všech velkých značek (Toyota zaznamenala v následujících měsících pokles přibližně 30 %, General Motors 20 % a Hyundai 15 %).

Právě pro analýzu vztahů mezi jednotlivými finančními produkty je možné využít poznatky stochastického modelování. Jedná se o oblast statistiky, která se věnuje zkoumání časových řad, jejich vývojem a vzájemní interakcí. V následujících podkapitolách si představíme korelační, kointegrační a regresní analýzu a stejně tak statistické testy, které budou využity pro stavbu obchodní strategie.

2.1 Korelační analýza

Korelační analýza zkoumající přítomnost lineárního vztahu mezi dvěma proměnnými je vyjádřena prostřednictvím korelačního koeficientu, který zobrazuje směr a sílu lineární závislosti. Může nabýt hodnot od -1 do 1 (hraniční hodnoty představují perfektní záporní respektive kladnou korelaci). Nulová hodnota korelačního koeficientu znamená neexistenci lineárního vztahu mezi proměnnými (což ještě neznamená, že mezi proměnnými neexistuje jiný typ vztahu, například exponenciální atd.). Na výpočet výběrového koeficientu korelace slouží Pearsonův koeficient korelace:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

kde $\bar{x}, \bar{y}$ jsou výběrové průměry proměnných X a Y. Daný vzorec se pak dá zjednodušit na tvar:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \text{ přičemž kovariance } X \text{ a } Y \text{ se vyjadřuje vztahem: } s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

kde s_x, s_y jsou směrodatné odchylky proměnných X a Y .

S výpočtem Pearsonova korelačního koeficientu jsou spojeny požadavky linearity vztahu mezi daty, jejich intervalový nebo poměrový charakter a taky dvojrozměrné normální rozdělení.

2.2 Kointegrační analýza

Myšlenka kointegrace vychází z provázanosti jednotlivých časových řad, které se v delším časovém období nerozcházejí. Tahle provázanost je pozorovatelná prostřednictvím stacionarity proměnné (můžeme říct, že časová řada je v ekvilibriu), která vznikla jako lineární kombinace původních nestacionárních proměnných. Samotní kointegrace nepopírá existenci výchylek a odklonů směru vývoje novo vzniklé časové řady, tyhle aspekty však musí být krátkodobé.⁹

Pojem kointegrace je spjat se jménem Clive W. J. Granger, který v průběhu 80. let zkoumal možnosti a využití statistických nástrojů a to z hlediska jak krátkodobého, tak dlouhodobého. Jeho práce vychází z výzkumu integrovaných procesů, kterým se jako první věnovali v 70. letech statistici George Box a Gwillim Jenkins. Jejich přístup k modelování časových řad byl založen na reziduální složce, která pozůstává z korelovaných náhodných veličin. Mezi nejpoužívanější modely Box-Jenkinsové metodologie patří model klouzavých součtů (MA), autoregresní model (AR) a smíšený model (např. ARMA). Důležitost kointegrace vychází z toho, že použití nestacionárních procesů, při vytváření regresního modelu, může vést ke vzniku takzvané zdánlivé neboli nesmyslné regrese. Na tenhle jev poukázal Clive Granger s kolegou Paulem Newboldem v roce 1974. Zdánlivá regrese mezi nesouvisejícími proměnnými se projevuje nestacionaritou náhodní chyby e_i (heteroskedasticita), která může vést k tomu, že standardní metoda nejmenších čtverců (OLS) vykáže jako statisticky významný koeficient b (s nenulovou hodnotou) ačkoli ve skutečnosti žádný regresní vztah mezi proměnnými neexistuje.

2.2.1 Testování kointegračních vztahů

Analýzu kointegračních vztahů je možné rozdělit na dva procesy. První proces pozůstává z identifikace míry integrovanosti časových řad. Ten je stanoven jako řád $I(d)$, kterým je potřebné diferencovat

⁹ Josef Arlt, *Informační Bulletin České Statistické Společnosti* č. 3

časovou řadu Y_t , tak aby se stala stacionární ($Y_t \sim I(d)$). Druhá část analýzy spočívá v samotném testování kointegrace (dochází k ní, až po splnění podmínky nestacionarity analyzovaných časových řad).

Pro identifikaci míry integrovanosti časové řady se používají testy, které je možné rozdělit na parametrické a neparametrické. Do první skupiny testů patří Dickey Fullerov (DF-test), s kterým budeme pracovat v praktické části (respektive jeho rozšířenou verzi ADF). Skupinu neparametrických testů tvoří Phillips-Perron test nebo KPSS test (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin).

Na testování kointegračních vztahů mezi dvěma nestacionárními časovými řadami se používá Engle-Grangerův test, Johansenův test, Durbin-Watsonův test kointegrační regrese (CRDW) a další. Většina daných testů vychází z nulové hypotézy o nepřítomnosti kointegračního vztahu na dané hladině významnosti.

2.2.1 Dickey Fullerův test (DF-test)

Vychází ze stochastického procesu:

$$y_t = \phi y_{t-1} + a_t$$

Přičemž $y_0 = 0$, ϕ je reální číslo a $\{a_t\}$ představuje postoupnost nezávislých náhodných premenných s nulovou střední hodnotou a odchylkou σ^2 .

Nulová hypotéza tvrdí, že proces, který vznikl jako výsledek interakce dvou nestacionárních procesů, je taky nestacionární.

H_0 : $\phi = 1$, časová řada není stacionární a odchylka y_t je $t\sigma^2$ a je integrovaná v řadě 1 $I(1)$

Tahle časová řada se občas taky nazývá náhodná procházka.

H_1 : $\phi < 1$, podle které je proces stacionární a integrovaný v řadě 0 $I(0)$

Pro testování přítomnosti jednotkového kořene vytvořili v roce 1979 David Dickey a Wayne Fuller tři hlavní verze testu:

$y_t = \phi y_{t-1} + a_t$ základní verze

$y_t = \beta_0 + \phi y_{t-1} + a_t$ verze obsahující úrovnovou konstantu

$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \phi y_{t-1} + a_t$ verze obsahující úrovnovou konstantu a deterministický trend

Testová statistika má tvar $t = \frac{\hat{\phi}-1}{S_{\hat{\phi}}}$, kde $S_{\hat{\phi}}$ je odhad směrodatné chyby odhadu $\hat{\phi}$ a při platnosti alternativní hypotézy má testové kritérium asymptotické normální rozdělení $t \sim N(0,1)$. U malých výběrů má testové kritérium při platnosti H_1 asymptotické t rozdělení $t \sim t(T-1)$.

Nevýhody využití DF testu¹⁰

Nevýhody související s použitím daného typu testu spočívají v relativně malé síle testu, co má za následek nezamítnutí nulové hypotézy i když se v časové řadě nenachází jednotkový kořen. Může to být způsobené nepřesným určením počtu zpoždění. Příliš malá úroveň zpoždění neeliminuje autokorelaci reziduí v modelu, což ovlivní vydatnost jeho odhadu. Opačná situace nastane v případě stanovení příliš mnoha zpoždění, kdy zvýšení standardní chyby koeficientu způsobí snížení síly testu. Jako další slabinu testu můžeme označit jeho skreslující výsledky v situaci, kde dochází ke skokovým změnám ve vývoji časové řady, co způsobí, že test ji začne vnímat jako nestacionární, i když ve skutečnosti žádný jednotkový kořen neobsahuje, čímž se vracíme k riziku vzniku chyby 2. druhu (neboli nízké síly testu).

2.2.2 Engle-Grangerův test

Jak již bylo zmíněno, právě Clive W. J. Granger a Robert F. Engle patří k nejvýznamnějším přispívatelům do téhle oblasti zkoumání stochastických vztahů. Jejich princip testování kointegrace je založen na testu jednotkového kořene, který je aplikován na rezidua regresního modelu, vytvořeného metodou statických nejmenších čtverců:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$$

kde y_t a x_t představují proměnné, které pokud nejsou kointegrované, tak potom všechny lineární kombinace (y_t, x_t) včetně reziduí ε_t jsou nestacionární. Proto testování nulové hypotézy o neexistenci kointegrace oproti alternativní hypotéze koresponduje s testem jednotkového kořene o nestacionaritě reziduí. Engle-Grangerův test se liší od Phillips-Ouliarisova testu kointegrace (který je taky založen na reziduích regresního modelu) tím, že používá parametrický rozšířený Dickey-Fullerov přístup (ADF), zatímco Phillips-Ouliaris použili neparametrickou Phillips-Perronovou (PP) metodologii.¹¹

Testové statistiky pro testování jednotkového kořene reziduí¹²:

1. Kointegrační regrese podle Durbin Watsona: $y_t = ax_t + c + u_t$

$$\xi_1 = DW \quad \text{nula je } DW=0$$

2. Regrese podle Dickey Fullera: $\Delta u_t = -\phi u_{t-1} + \epsilon_t$

$$\xi_2 = \tau_\phi : \text{t statistika pro } \phi$$

¹⁰ Martina Ježková, *Kointegrace a její aplikace ve financích*

¹¹ John Hudson, *Phillips-Perron (PP) Unit Root Test*

¹² Robert F. Engle, C.W.J. Granger, *Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing*

3. Rozšířená Dickey-Fullerova (ADF) regrese:

$$\Delta u_t = -\phi u_{t-1} + b_1 \Delta u_{t-1} + \dots + b_l \Delta u_t - p + \epsilon_t$$

$$\xi_3 = \tau_\phi$$

Přičemž y_t a x_t jsou původní časové řady a u_t jsou rezidua regresního modelu.

Tabulka č. 1 Tabulka kritických hodnot, když platí, že $\Delta y, \Delta x$ jsou nezávislé a mají normální rozdělení, přičemž počet pozorování je 100, a $p=4$

Název statistiky	1%	5%	10%
DW	0,511	0,386	0,322
DF	4,07	3,37	3,03
ADF	3,77	3,17	2,84

Nevýhoda daného testu spočívá v tom, že dokáže identifikovat mezi daty jenom jeden kointegrační vztah, i když jich může být přítomno více. Daný nedostatek se dá vyřešit opakováním testu (s jinými kombinacemi dat) nebo použitím komplexnějšího- Johansenova testu kointegrace.

2.2.3 Johanesův test

Výchozí bod Johansenové metodologie představuje vektorový autoregresní model (VAR) s počtem zpoždění p , který je dán rovnicí:

$$y_t = \mu + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \epsilon_t$$

Kde y_t je $(n \times 1)$ vektor proměnných, které jsou integrovány v řádu 1 (běžně značené jako $I(1)$) a ϵ_t je $(n \times 1)$ vektor přírůstků (vector of innovations). VAR model může být přepsán na:

$$\Delta y_t = \mu + \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i y_{t-i} + \epsilon_t$$

Přičemž platí:

$$\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I \quad \text{a zároveň} \quad \Gamma_i = - \sum_{j=i+1}^p A_j$$

Pokud platí, že hodnost matice Π je $r < n$, pak existuje $n \times r$ matic α a β , každá s hodnotou r přičemž $\Pi = \alpha \beta'$ a vektor $\beta' y_t$ je stacionární.¹³

¹³ Chiranjit Mukhopadhyay, *Driving the Economy through Innovation and Entrepreneurship*,

- r představuje počet existujících kointegračních vztahů, prvky matice α jsou známy jako upravené parametry vektoru modelu korekce chyb (jejich hodnoty reprezentují rychlost přizpůsobení se novým podmínkám rovnováhy) a β je matice dlouhodobých koeficientů (long-run) přičemž každý sloupec matice je kointegrační vektor.
 - Řádky matice β mohou být definované jako r distinct kointegračních vektorů, a nalezením hodnoty matice, prostřednictvím vlastního čísla matice, je možné potvrdit výskyt kointegrace.
- Johansen navrhuje 2 různé pravděpodobnostní testy důležitosti těchto kanonických korelací a tím pádem redukovanou hodnotu matice.

1. Johanesův test

$$J_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i), \quad r = 0, 1, 2, \dots, (n-2), (n-1)$$

Kde T představuje počet pozorování a $\hat{\lambda}_i$ je i -tý největší koeficient kanonické korelace (kanonická korelační analýza slouží k testování závislosti mezi dvěma skupinami proměnných a to tak, že vyhledává dvojici proměnných, která má nejvyšší korelační koeficient, pak další dvojici, která má nejvyšší korelační koeficient a zároveň je nekorelovaná s první dvojicí a tak pokračuje dále).

První Johansenův test porovnává nulovou hypotézu o r - kointegrovaných vektorech s alternativní hypotézou, která tvrdí, že počet kointegrovaných vektorů je n .

$$H_0 : r \leq x$$

$$H_1 : r > x \quad x \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$$

2. Johanesův test (maximální vlastní číslo)

$$J_{max} = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_1), \quad r = 0, 1, 2, \dots, (n-2), (n-1)$$

Test maximálního vlastního čísla testuje nulovou hypotézu o r - kointegrovaných vektorech oproti alternativní hypotéze, že počet kointegrovaných vektorů je $r+1$. Ani jeden z těchto testových statistik obecně nemá chí kvadrantové rozdělení a jejich asymptotické kritické hodnoty jsou získané prostřednictvím metody Monte Carlo ()

$$H_0 : r = x$$

$$H_1 : r = x + 1 \quad x \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$$

Při nezamítnutí nulové hypotézy už při prvním teste ($x=0$), se testování ukončuje. Výsledkem je nepřekázání kointegračních vztahů mezi proměnným. V případě zamítnutí se r (počet existujících kointegračních vztahů) testuje pro vyšší hodnoty n , až kým se nulová hypotéza nezamítne.

Mezi nevýhody Johansenovho přístupu můžeme zařadit jeho citlivost na optimální délku zpoždění. Stejně tak je potřebné správně určit přítomnost konstanty a deterministického trendu v modelu.

2.3 Regresní analýza

Regresní analýza představuje množinu statistických přístupů a metod, zabývajících se závislosti jedné kvantitativní spojité vysvětlované proměnné na jiné kvantitativní spojité vysvětlující proměnné (v případě vícenásobné regresi je vysvětlujících proměnných více). Princip fungování dané závislosti, stejně jako její intenzita a směr se pak snaží co nejvěrněji popsat regresní model. Nejjednodušší typ modelů představují lineární regresní modely, kterých vztah mezi závislou proměnnou a regresorem (vysvětlující proměnnou) je zachycen pomocí regresní přímky a na kalkulaci jejího sklonu se používá metoda nejmenších čtverců. Tuhle metodu lze obecně použít i pro odhad regresních modelů s nelineárními parametry, pokud je možné dane parametry linearizovat. Princip MNČ spočívá v nalezení takové pozice a sklonu regresní přímky, pro které bude celkový součet odchylek odhadnutých hodnot od těch skutečných, co nejmenší. V praxi se nepočítá se samotnými hodnotami odchylek ale jejími druhými mocninami. Důvodem je to, že odchylky mohou nabývat jak kladné (pokud je odhad podhodnocen), tak záporní hodnoty (odhad je nadhodnocen). Lineární regresní model s více vysvětlujícími proměnnými má pak tvar:

$$y = \mu + \varepsilon$$
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Kde y je závislá proměnná, μ představuje regresní funkci základního souboru, ε je náhodná složka a neznáme parametry β , které jsou prostřednictvím MNČ odhadovány, zobrazují sklon regresní přímky. Odhad regresního modelu:

$$y = Y + e$$
$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + e$$

Stejně tak, jak neznáme parametry β (b představuje jejich odhad), tak i náhodnou složku ε dokážeme jenom odhadnout. Tenhle odhad se nazývá reziduum (e) a představuje rozdíl mezi skutečnou hodnotou závislé proměnné y a její vyrovnanou hodnotou Y .

Na posouzení přesnosti odhadu parametrů, respektive kvality vytvořeného regresního modelu, se používá index determinace (R^2), který určuje, jakou část rozptylu závislé proměnné y dokázal model vysvětlit. Zbývající část variability, kterou model nevysvětlil, se označuje jako reziduální součet čtverců. Pro modely s vyšším počtem parametrů je ovšem vhodnější použití upraveného indexu determinace $\bar{R}^2$, kterého výhoda spočívá v tom, že přidáním nového regresoru do regresního modelu,

může jeho hodnota klesnout, a tím pádem poukáže na jeho nadbytečnost (čímž snižuje riziko provázanosti regresorů, tenhle jev se označuje jako multikolinearita). Vztah k regulérnímu indexu determinace se pak dá vyjádřit vztahem:¹⁴

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p-1}(1-R^2)$$

Kde p představuje počet odhadovaných parametrů v modelu n je velikost vzorku. Vzhledem k tomu, že $\frac{n-p}{n-p-1} \geq 1$ pak platí, že $\bar{R}^2 \leq R^2$.

Předpoklady MNČ

Proto, aby metoda nejmenších čtverců byla legitimním přístupem pro výstavbu regresního modelu (a tím pádem odhady b parametrů β byly nejlepší možné), je potřebné, aby regresní model splnil jistá kritéria.

1. Správně specifikovaný model (linearita modelu) a statistická významnost regresních parametrů
2. Nulová střední hodnota chybové složky
3. Homoskedasticita (konstantní rozptyl) chybové složky
4. Nekorelovanost složek chybového vektoru
5. Normalita chybové složky

Testování regresního modelu jako celku (Celkový F-test)¹⁵

Fisher-Snedecorův test je nejběžněji používaným prostředkem regresní analýzy, který využívá většina statistických programů. Jeho nulová hypotéza tvrdí, že žádný regresor nemá vliv na vysvětlovanou proměnnou, teda všechny parametry modelu jsou nulové $(\beta_1 \dots \beta_n)' = (0 \dots 0)'$

Oproti ní stojí alternativní hypotéza, podle které alespoň jeden regresor ovlivňuje proměnnou y $(\beta_1 \dots \beta_n)' \neq (0 \dots 0)'$

Testová statistika má F-rozložení s p a $n - p - 1$ stupni volnosti

$$F = \frac{S_R/p}{S_E/(n-p-1)}$$

Kde S_R je regresní součet čtverců a S_E je reziduální součet čtverců. Kritický obor, zamítající nulovou hypotézu na hladině významnosti α .

$$W = \langle F_{1-\alpha}(p, n-p-1), \infty \rangle$$

¹⁴ Martina Litschmannová, *Statistika I., cvičení*

¹⁵ M. Budíková, M. Králová, B. Maroš, *Průvodce základními statistickými metodami*

Testování parametrů lineární regresní funkce (dílčí t- testy)

Nejjednodušší způsob ověření statistické důležitosti jednotlivých parametrů představují dílčí t-testy, které jsou aplikované na každý parametr osobitě. Nulová hypotéza testů tvrdí, že daný regresor nemá statisticky významný vliv na vysvětlovanou proměnnou ($\beta = 0$).

Testová statistika má Studentovo t-rozdělení s $n - p$ stupni volnosti a představuje poměr odhadu parametru b_j a jejího standardní chyby s_{b_j} .

$$T_j = \frac{b_j}{s_{b_j}}$$

Kritický obor, zamítající nulovou hypotézu na hladině významnosti α .

$$W = \left(-\infty; -t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n - p - 1) \right) \cup \left(t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n - p - 1), \infty \right)$$

V případě, že testová statistika vedla k zamítnutí nulové hypotézy celkového F-testu, avšak některé t-testy vyšli jako nevýrazné (nezamítnutí statistické nevýznamnosti daného regresoru), pak se obecně provádí postupná eliminace nevýznamných parametrů.

Testování konstantního rozptylu chybové složky

Homoskedasticita neboli konstantnost rozptylu chybové složky je jedním z kritérií pro to, abychom jsme mohli prohlásit, že použití obyčejné metody nejmenších čtverců (OLS) poskytuje odhady parametrů s optimálními vlastnostmi. Jav, který představuje porušení téhle konstantnosti se nazývá heteroskedasticita a může vzniknout v důsledku některých chyb při tvorbě regresního modelu. Jednou z nich je opomenutí některé důležité vysvětlující proměnné, která má významný vliv na y . Další příčinou vzniku heteroskedasticity je obvykle kumulace chyb při sběru dat pro vyšší hodnoty vysvětlující proměnné (v souvislosti s časovými řadami vzniká riziko heteroskedasticity při nízké kvalitě historických dat. Tomuhle potenciálnímu problému se budeme věnovat taky v praktické části práce).

Breusch-Pagan-Godfrei test heteroskedasticity¹⁶ (BPG) využívá Lagrangeové multiplikátory pro testování nulové hypotézy, která tvrdí, že rozptyl všech chybových složek je stejný (podle alternativní hypotézy se pak rozptyl chyb mění s rostoucím x). Matematicky je možné zapsat nulovou hypotézu jako:

$$\sigma_t^2 = \sigma^2 f(\alpha_0 + \alpha' z_t)$$

přičemž z_t je vektor $k - 1$ nezávislých regresorů $z_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tk-1})$

¹⁶ Xin Yan, Xiao Gang Su, *Linear Regression Analysis, Theory and Computing*

Testová statistika BPG má při platnosti nulové hypotézy aproximativně chí kvadrátové rozdělení χ^2 (s k - stupni volnosti). H_0 je pak zamítnuta na hladině významnosti α , jestliže pro hodnotu testové statistiky platí $LN \geq \chi^2(1 - \alpha)$

Nekorelovanost chybových složek regresní rovnice

Problém autokorelace spočívá v závislosti náhodných složek z různých pozorování: $E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) \neq 0$. Nejčastěji se tenhle jev vykytuje v časových řadách, například ekonomických veličin, ale taky může vzniknout chybní specifikací modelu (například při použití lineární funkce namísto kvadratické atd.). Problémy, které autokorelace způsobuje, je (podobně jako při heteroskedasticitě) ztráta vydatnosti odhadů (již nemají nejmenší rozptyl) a vychýlení standardních chyb a odhadu rozptylu modelu. Pozitivní autokorelace obvykle znamená, že odhady rozptylu regresního modelu jsou podhodnocené. Testování autokorelace náhodných složek je možné provádět jenom nepřímo, prostřednictvím analýzy reziduí modelu.

Durbin Watsonova statistika je jedním z nejběžněji využívaným testem pro indikování přítomnosti autokorelace (statistický program Eviews počítá jeho hodnotu automaticky, již při vytváření regresního modelu). Matematicky je možné vyjádřit DW statistiku pro autokorelaci 1. řádu rovnicí:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2}$$

Kterou je možné definovat jako podíl součtu čtverců diferencí dvou po sobě jdoucích reziduí a součtu všech reziduálních hodnot modelu. Hodnoty, které DW statistika nabývá, jsou na intervalu $(0,4)$.¹⁷

Tabulka č. 2 Tabulka intervalů pro zamítnutí H_0 o neautokorelovanosti reziduí

pozitivní autokorelace	pásma neprůkaznosti	nulová autokorelace	pásma neprůkaznosti	negativní autokorelace
0	d_L	d_U	$4 - d_U$	$4 - d_L$
		2		4

Horní a dolní hranice (d_U, d_L), pomocí kterých se identifikuje přítomnost autokorelace, je možné získat z DW tabulek, její hodnoty závisí na počtu pozorování a počtu vysvětlujících proměnných. Pro korektní použití DW statistiky je potřebné, aby hledaná autokorelace nebyla nelineární a aby v modelu nebyla žádná zpožděná endogenní proměnná.

¹⁷ Lois W. Sayers, *Pooled Time Series Analysis*

Breusch Godfreyův test¹⁸ je možné aplikovat i na testování autokorelace vyšších řádu. Nulová hypotéza pak tvrdí, že hodnoty všech autokorelačních koeficientů jsou nulové. Při analýze reziduí vycházíme z regresního vztahu, vytvořeného metodou nejmenších čtverců:

$$e_i = a_0 + a_1x_{i1} + \dots + a_kx_{ik} + \rho_1e_{i-1} + \dots + \rho_pe_{i-p} + \delta_i$$

Kde $e_1, e_2, \dots, e_n$ představují rezidua odhadnutého regresního modelu:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon$$

Nulová hypotéza pro Breusch Godfreyův test má pak tvar:

$$\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n = 0$$

Přičemž testová statistika (pro dostatečné velké vzorky), která se obvykle označuje jako LM statistika (podle Lagrangeových multiplikátorů), má výpočetní tvar:

$$LM = (n - p)R^2 \sim \chi^2(p)$$

Kde n označuje původní rozsah vzorku. Statistické programy (včetně námi používaného programu Eviews) pracují obvykle taky s modifikovanou verzí LM testu, která se hodí na testování dat, které mají malý počet pozorování. F-testová verze BG testu má tvar:

$$LM^* = \frac{p}{n-p-k-1} * \frac{R^2}{1-R^2} \sim F(p, n-p-k-1)$$

Kde k představuje počet nezávislých proměnných.

Testování normality chybové složky

Díky normalitě reziduí jsou výsledky regresního modelu, vytvořeného prostřednictvím OLS identické výsledkům odhadu maximální věrohodnosti (maximum likelihood estimator). Normalita reziduí je stejně tak předpoklad pro správné použití celkového F-testu a dílčích t-testů. V případě, že testovaný vzorek má dostatečně velký rozsah, tak je možné použít MNČ i při porušení normality a to z důvodu platnosti centrální limitní věty.

¹⁸ Charles Zaiantz, *Breusch-Godfrey Test*

Jarque-Bera test normality¹⁹

$H_0: \chi \sim N(\cdot)$, přičemž $N(\cdot)$ představuje distribuční funkci normálního rozdělení

$H_1: \chi \not\sim N(\cdot)$

Testová statistika má tvar

$$JB = \frac{n}{6} \left(S^2 + \frac{K^2}{4} \right), \text{ kde } S \text{ je výběrová šikmost, } K \text{ je výběrová špičatost a } n \text{ je rozsah výběru}$$

Testová statistika JB má asymptotické chí kvadrátové rozdělení s 2 stupni volnosti.

$$JB \sim \chi^2_{v=2}(\alpha) \quad , \text{ kde } \alpha \text{ je hladina významnosti}$$

Na grafickou analýzu rozdělení se běžně využívá histogram (který je např. součástí testu normality v programu Eviews).

3. Tvorba a testování obchodní strategie

Praktická část práce je rozdělená do třech hlavních navazujících se procesů. První proces spočívá v identifikaci kointegračních vztahů mezi časovými řadami dvou obchodovaných aktiv. Námi zvolená investiční aktiva jsou americký akciový index S&P500 od společnosti Standard & Poor's a index Dow Jones Industrial Average (DJIA). Navzdory rozdílným způsobům výpočtu cen indexů (hodnotově vážený index versus cenově vážený) a taky výrazným nepoměrem jejich velikosti (500 akciových titulů proti 30 titulům) je možné očekávat podobnost chování obou indexů, a to z toho důvodu, že oba indexy vznikli za účelem vytváření obrazu o aktuálním stave amerického akciového trhu. Jejich dalším společným jmenovatelem je globální popularita a prestiž- jedná se o nejznámější a nejsledovanější indexy na světě. Pro účely téhle práce to znamená hlavně relativně jednoduchý přístup k historickým datům.

Pro testování kointegračních vztahů bude použitý Engle- Grangerův test kointegrace, Johanesův test a třetí metoda bude Dickey Fullerov test jednotkového kořene, aplikovaný na rozdíl logaritmovaných cen indexů. Potvrzení kointegračních vztahů mezi indexy je nezbytnou podmínkou pro přistoupení ke druhému procesu, spočívajícímu v testování regresních vztahů mezi aktivy. Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, použití nestacionárních proměnných v modelu, vytváří riziko vzniku zdánlivé regrese²⁰ , čímž by se veškeré výsledky analýzy znehodnotili. Regresní model bude konstruován tak, aby sloužil jako základ pro tvorbu automatického obchodního systému. Závislá proměnná modelu bude vycházet z dat indexu S&P500 který bude naším obchodním aktivem (přesněji CFD postaveném na

¹⁹ C.M. Jarque, A.K. Bera, *Jarque – Bera normality test*

²⁰ Josef Arlt, *Regresní analýza nestacionárních ekonomických časových řad*

daném indexu). Podstatou regresní analýzy je tak potvrzení, že zvolený index skutečně reaguje na námi vytvořenou proměnnou (označenou jako *diff*), která bude sloužit jako základ pro výpočet indikátoru pro vstup do obchodní pozice. Analýza nám taky ukáže směr závislosti, od kterého se bude odvíjet nákup, respektive prodej aktiva, při vychýlení indikátoru.

Poslední proces praktické části spočívá ve vytvoření automatického obchodního systému na platformě Metatrader, kterého parametre budou optimalizovány při využití historických dat. Hlavní úlohou optimalizace bude určení nejvhodnější míry vychýlení proměnné *diff*, při které využijeme princip známého indikátoru Bollingerove pásma.²¹ Optimalizace bude taky aplikovaná na stanovení hodnot výstupných signálů Stop Loss a Take Profit. První část testování a optimalizace strategie bude aplikovaná na historických datech (in sample) z časového rozmezí od 8.6 do 15.6. 2018. Druhá fáze backtestingu bude aplikovaná na novou vzorku historických dat (out of the sample) z období od 15.6. do 22.6.2018. Úlohou dvojfázového testování je nalezení co možná nejstabilnější obchodní strategie a taky odfiltrování přeoptymalizovaných (overfitted) strategií, které by byly ziskové na testovaném vzorku dat, no při obchodování na novém vzorku by selhávali. Rostoucí počet generovaných strategií na in-sample datech, stejně jako počet optimalizovaných proměnných, zvyšuje pravděpodobnost vzniku přeoptymalizovaných strategií. Završením praktické části bude spuštění automatického obchodního systému v reálném čase (na demo účte společnosti Admiral Markets).

3.1 Charakteristika burzovních indexů

Burzovní indexy jsou vytvářeny za účelem monitorování vývoje daného trhu, a to jak z hlediska dlouhodobého trendu, tak jeho krátkodobých výkyvů. Jedná se o statistické ukazovatele, které jsou konstruovány jako fiktivní portfolio všech titulů (souhrnné indexy), nebo jen těch nejdůležitějších (výběrové indexy), které jsou součástí trhu.

Pod pojmem burzovní index je téměř vždy myšlený index akciových trhů. Existují však taky indexy komoditní, dluhopisové atd. Z hlediska jejich rozsahu a významu pak můžeme dělit indexy na globální, národní a sektorové. Globální indexy v sebe sdružují největší společnosti s výrazním vlivem ve světě. Používají se jako měřítko výkonnosti globální ekonomiky a jedním z nejznámějších z nich je MSCI World Index, který obsahuje přes 1 600 akciových titulů z 23 rozvinutých krajin (existuje obdobní index, zaměřen na rozvíjející se ekonomiky – MSCI Emerging Markets).

V investorském světě jsou ještě populárnější národní indexy, které zachytávají vývoj na trhu v jednotlivých ekonomikách a obsahují akciové tituly největších domácích společností. Ve Spojených

²¹ Nákupní nebo prodejní signály, které jsou generovány indikátorem Bollinger bands spočívají v protnutí horního nebo dolního pásma křivkou, která je počítaná jako klouzavý průměr za stanovené období

státech se jedná hlavně o trojici indexů Standard & Poor's 500, Dow Jones Industrial Average a Nasdaq Composite.

Z evropských akciových indexů patří mezi nejvýznamnější britský FTSE 100, zahrnující 100 největších firem (obchodovaných na London Stock Exchange), dále pak německý DAX (30 společností, obchodovaných na burze ve Frankfurtu) nebo francouzský CAC 40. V zájmu bližší integrace evropských trhů vznikla v roce 2000 evropská akciová burza Euronext N.V. se sídlem v Paříži, která má vlastní akciový index Euronext 100, který je složen především z akcií francouzských, belgických a holandských společností. Asijské trhy zaznamenali v posledních desetiletích dramatický růst, který měl za následek taky zvýšení globálního významu jejich akciových indexů ve světě. Dva nejznámější akciové indexy v Japonsku jsou TOPIX (Tokyo Price Index) a Nikkei 225. První s nich je mladší a pro výpočet používá hodnotově vážený průměr, který pracuje s tržní kapitalizací akciových titulů, čímž poskytuje relevantnější výsledky.

Z hlediska čínského trhu je globálně známý index Shanghai Composite (SSEC), který je oficiálním indexem Šanghajske akciové burzy, čtvrté největší akciové burzy na světě²². Kromě mapování trhů, slouží indexy jako benchmark pro posouzení úspěšnosti aktivních a pasivních investičních strategií jednotlivých investorů, kteří obchodují na konkrétní burze.

3.1.1 Standard & Poor's 500

V roce 1923 vytvořila ratingová agentura Standard & Poor's svůj první akciový index. V tom čase sledovala vývoj 223 amerických akciových titulů, avšak vzhledem k absenci počítačové výpočtové kapacity, bylo příliš náročné mapovat jejich vývoj v denních nebo dokonce hodinových intervalech, proto se společnost rozhodla zúžit výběr a vytvořit index S&P90, který pozůstal z akciových titulů 50 průmyslových společností, 20 železničních společností, 20 společností ze sektoru veřejných služeb (utilities sector) a poskytoval údaje na hodinové bázi. Společnost nadále sledovala vývoj všech 223 titulů, avšak o jejich vývoji reportovala jenom jednou týdně.

V roce 1957 došlo k rozšíření indexu a vznikl S&P500, který patří dodnes k nejznámějším a nejvýznamnějším akciovým indexům. Akce všech 500 společností byly obchodovány na Newyorské burze (NYSE). Původně se jednalo o 425 společností z oblasti průmyslu, 60 společností veřejného sektoru a 15 železničních společností. Tržní kapitalizace těchto společností představovala v daném čase zhruba 90% z celého akciového trhu ve Spojených státech.

²² podle tržní kapitalizace obchodovaných akcií

V průběhu 70. let došlo k výraznějším změnám ve struktuře indexu. Počet akciových titulů se neměnil, nicméně některé původní společnosti byly vytlačeny a nahradily jich jiné. Poprvé se tak dostali do indexu společnosti například společnosti z finančního sektoru (banky JP Morgan Chase & Co. a Bank of America vstoupili do indexu v polovině 70. let). V sektore dopravy byly mnohé železniční společnosti nahrazeny aerolinkami (Southwest Airlines), logistickými společnostmi (FedEx Corporation) a společnostmi zabývající se pozemní nákladní dopravou (např. PACCAR Inc.).

Tradiční model indexu, který určoval jeho složení v poměru 400-40-40-20 (400, industriálních společností, 40 společností veřejný správy, 40 finančních společností a zbývajících 20 popředních společností ze sektoru logistiky) byl v roce 1988 zrušen. Tahle struktura indexu již nedokázala držet krok s neustále se zvyšující se dynamikou trhu. V současné době je rychlost obměňování společností v indexu ještě vyšší, hlavně v důsledku akvizic a fúzí, například od začátku roku 2018 do 28. října 2018 se vystřídalo indexu již 14 společností.²³

3.1.2 Dow Jones Industrial Average

Historie DJIA představuje taky historii americké ekonomiky od konce 19. století. V roce 1885 vznikl index, pozůstávající z akcií 12 železničních a 2 průmyslových společností (Dow Jones 14 Stocks), který vytvořili Charles Dow a Edward David Jones. Necelý rok poté byl index nahrazen novým indexem, který pozůstával jenom z 10 železničních a 2 průmyslových společností (Dow Jones 12 Stocks). V květnu 1896 došlo k výraznějším změnám ve složení indexu, kdy byly z něho odstraněny všechny železniční společnosti a byly nahrazeny čistě průmyslovými společnostmi (ropní, cukr, tabák, zemní plyn, General Electric, kůže, guma...). Právě tenhle datum je označován za vznik nejslavnějšího akciového indexu na světě. O 20 let později byl index rozšířen o další 4 akciové tituly (DJIA 20) a k jeho poslednímu rozšíření na konečný počet 30 akciových titulů, došlo v říjnu 1928. K největším změnám ve struktuře indexu pocházelo v průběhu 30. let během Velké deprese a v letech 2007/2008, kdy vypukla globální finanční krize, a docházelo ke kolapsu mnohých globálních společností (American International Group Inc. atd) V červenci 2018 byla z indexu vyřazena poslední původní společnost General Electric, která v indexu figurovala od jeho založení a nahradil ji farmaceutický holding Wallgreens Boots Alliance Inc.²⁴

Kalkulace indexu

Kritici indexu poukazují na způsob, jakým je počítán, index patří mezi takzvaně cenově vážené indexy, zatímco převládá většina moderních akciových indexů jsou hodnotově vážené. Problém s daným

²³ Polovina z nich se zabývá informačními a komunikačními technologiemi jako např. Twitter Inc.

²⁴ John W. Schoen, *Back to the future: A visual tour of the Dow 30 index*

způsobem výpočtu spočívá v tom, že vůbec nezohledňuje velikost společnosti a hodnota indexu je počítán jako aritmetický průměr cen akcií. V praxi to znamená, že společnost Goldman Sachs, které akcie jsou obchodovány za cca 230USD, má na cenu indexu vyšší vliv jako společnost Coca Cola, které jednotková cena akcie je kolem 45 USD. Přičemž tržní kapitalizace Coca Coly (počet akcií krát jejich jednotková cena) je zhruba dvakrát vyšší jako Goldman Sachs.

Původně byl index počítán jako prostý aritmetický průměr (součet cen jednotlivých akciových titulů vydělený počtem akciových titulů v indexu). Později se princip kalkulace změnil a součet cen akcií je dělen takzvaným Dowovým dělitelem. Hodnota dělitele se v průběhu času měnila, hlavně v případech, kdy docházelo k štěpení akcií společností (split), nebo k výrazným strukturálním změnám společností, které měli významný vliv na cenu akcie a tím pádem na cenu indexu.

V roce 1928 byla hodnota Dowova dělitele 16,67 poslední aktuální hodnota za srpen 2018 byla 0,14748. O aktuálních hodnotách informuje denně Wall Street Journal.²⁵

$$DJIA = \frac{\sum p_{old}}{d_{old}} = \frac{\sum p_{new}}{d_{new}}$$

V zaujmu zachování kontinuity indexu se v případě změn ve složení indexu, nebo štěpení akcií některé ze společností upravuje Dowův dělitel d_{new} .

Další kritika indexu souvisí s malým rozsahem indexu. Kvůli tomu, že obsahuje jenom 30 akciových titulů (i když se jedná o akcie společností, které patří k tím největším a nejvlivnějším v USA), reprezentuje dnes méně než jedno procento z celkového akciového trhu a tím pádem jeho výsledky nezachycují výsledky ekonomiky tak precizně, jak tomu bylo v minulosti.

3.2 Popis dat vybraného časového období

Pro praktickou část práce byly použity data, získané na webových stránkách švýcarské banky Dukascopy Bank SA, která poskytuje historické ceny CFD (Contract For Difference) na nejznámější akciové indexy (rozdělené na americký, evropský a asijský region), energetické komodity, vzácné kovy, měnové páry, akcie největších evropských a amerických společností a některé kryptoměny (bitcoin a ethereum). Jejich hlavní výhodou je ten, že data je možné stáhnout v různých formátech a ve tvaru, kdy s nimi dokáže pracovat obchodní platforma Metatrader, prostřednictvím které bude tvořen a backtestován náš automatický obchodní systém. Backtesting spočívá v simulaci obchodování, probíhající na historických datech a pro kterou obvykle stačí MS Excel, avšak na detailnější a komplexnější testy je vhodné pracovat s obchodní platformou, která je k danému účelu přímo

²⁵ Will Kenton, *Dow Divisor*

uzpůsobená (Metatrader poskytuje kromě backtestingu taky možnost optimalizace obchodních strategií). Další nespornou výhodou Dukascopy je to, že data jsou poskytovány bezplatně (pro jejich získání stačí registrace na webové stránky banky) a před samotným stažením je možná jejich konfigurace do požadovaného tvaru. To zahrnuje možnost zvolení požadovaného časového rámce (od tickových dat, které zaznamenávají pohyb ceny několikrát za sekundu, až po měsíční data), jednotky ve kterých mají být ceny zobrazeny, časové pásmo (respektive jeho posun), případně očištění dat o víkendy a dny, kdy se neprobíhalo obchodování.

Dceřiná společnost Dukascopy Europe IBS AS vystupuje jako broker a nabízí klientům vlastní platformu jForex, který je svým rozhraním podobná platformě Metatrader, na tvorbu automatických obchodních systémů však používá programovací jazyk Java, zatímco Metatrader má vytvořen vlastní jazyk MetaQuotes Language.

Contract for Difference (CFD)

Investiční nástroje Contract for Difference je možné chápat jako dohodu mezi kupujícím a prodávajícím kontraktu, která zavazuje obě strany k finančnímu vypořádání při změně ceny podkladového aktiva, na které je daný kontrakt navázán. Podstatou CFD je tedy spekulace na pohyb ceny podkladového aktiva, bez potřeby jeho vlastnění. Nejčastěji to bývají akcie, ETF, měny nebo komodity.²⁶

Obchodování daného produktu má své specifické znaky, mezi které patří výrazní vliv finanční páky (Leverage), která umožňuje vstup do obchodních pozic s kapitálem, dosahujícím obvykle jenom 1% až 10 % (v závislosti na brokerovi a typu podkladového aktiva) z celkové hodnoty pozice.

Mezi hlavní výhody CFD kontraktů patří jejich globální rozsah, díky kterému mohou investoři obchodovat s produkty ze všech hlavních světových trzích. Další výhodou je, že obchodování na CFD trzích nemá obvykle žádné restriktce, týkající se otevírání krátkých pozic (short selling). Vzhledem k tomu, že tyto aktiva nepředstavují skutečné vlastnictví daných podkladových instrumentů, tak zde neexistují žádné dodatečné náklady, související s vypůjčením aktiva.

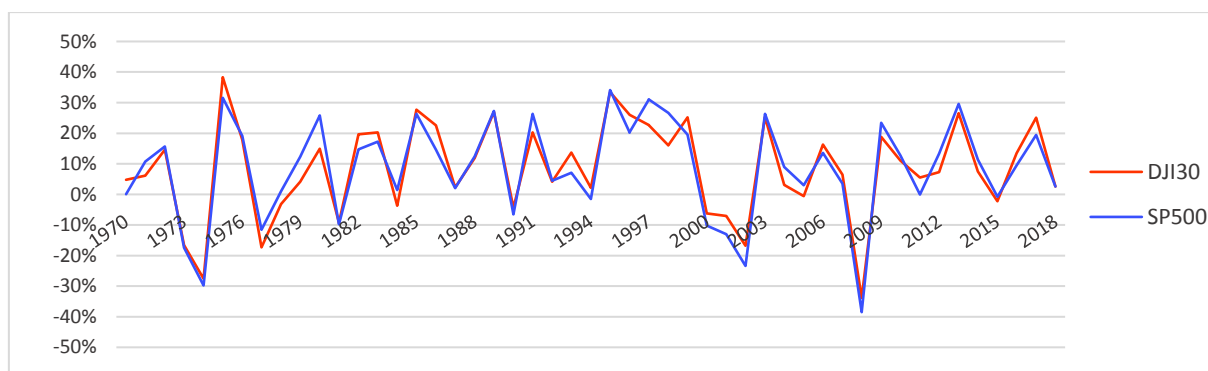
Hlavní nevýhoda těchto instrumentů spočívá ve spreadě, který obchodník platí jak při otevření pozice, tak při její uzavření, čímž se eliminuje profit spekulativních strategií, založených na malých pohybech cen podkladového aktiva. Dalším faktorem je nízká míra regulace CFD trhů, což vytváří pro obchodníka potenciální riziko v podobě netransparentních praktik ze strany CFD brokerů.

²⁶ David J. Norman, *CFDs – The definitive Guide to Contracts for Difference*

3.2.1 Stanovení časového rámce

Při obchodování prostřednictvím automatických obchodních systémů, je důležitá otázka stanovení optimálního časového rámce (timeframe), na kterém bude probíhat testování a optimalizace AOS. Pro naše účely je vhodnější použití kratších časových rámců jako je například minutový nebo pětiminutový. Je to z toho důvodu, že obchodní systémy obvykle pracují s uzavíracími cenami svíček (ale může to být taky otevírací cena, maximální nebo minimální cena v rámci svíčky), na základě kterých jsou kalkulovány matematické ukazatele, indikující optimální čas na vstup do obchodní pozice. Tyhle ukazatele se nazývají technické indikátory. Kratší časový rámec znamená více cenových svíček v daném časovém úseku a taky potenciálně více signálu k nákupu nebo prodeji aktiva. Pro posouzení kvality našeho obchodního systému je potřebný dostatečně velký vzorek uzavřených obchodu, abychom mohli prohlásit jestli byla naši obchodní strategie úspěšná nebo nikoliv.

Graf č. 6 Procentuální zhodnocení indexů DJIA a SP500 v letech 1970-2018



Zdroj: <https://www.macrotrends.net/1319/dow-jones-100-year-historical-chart?q=sp500>

Z hlediska analyzování kointegračních vztahů je však potřebné se zaměřit taky na širší časový rámec, protože, jak již bylo zmiňované v teoretické části práce, kointegrace spočívá v provázanosti časových řad, které se nerozcházejí v delším období. Proto budou do testů přidány data s hodinovým timeframe, zachytávající vývoj cen indexů v rámci čtyř měsíců (Březen 2018- Červen 2018), kdy bude síla provázanosti indexů zkoušená především při změně trendu vývoje trhu a taky během prudkých tržních výkyvů, vyvolaných neočekávanými událostmi.

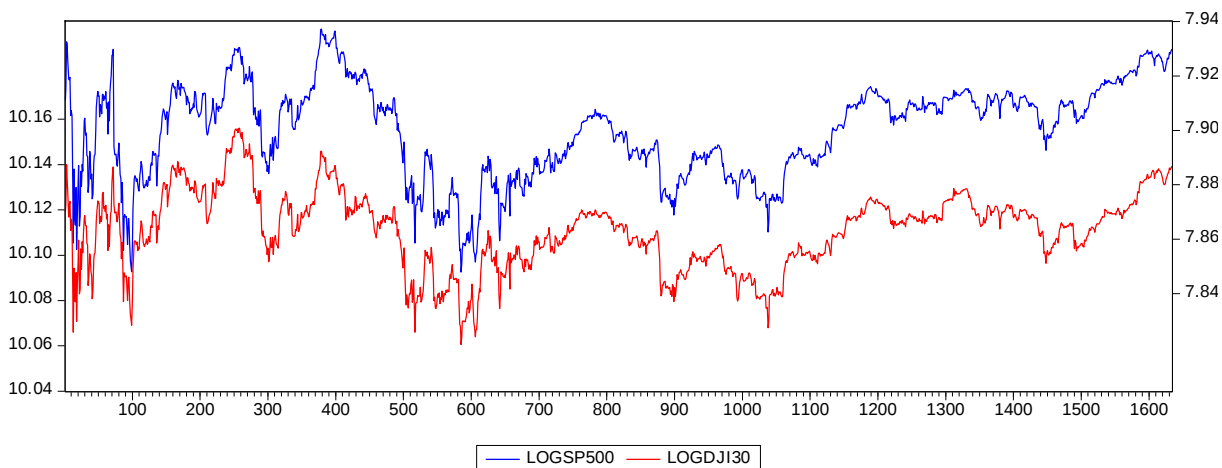
Historická provázanost dvou nejznámějších amerických akciových indexů reprezentuje taky graf (č.6) pohybů jejich hodnot v průběhu posledních 48 let. Koeficient korelace mezi výkonnostmi obou indexu dosáhl v daném období hodnotu přes 95 %, přičemž jenom třikrát došlo ke situaci (v letech 1978, 1984 a 1994) kdy jeden z indexů dosáhl kladné zhodnocení, zatímco druhý index zaznamenal oproti předcházejícímu roku pokles. Zajímavý je taky fakt, že oba indexy zaznamenali svůj největší vzestup ve stejném roce (1975) ale stejně tak i pokles²⁷ (rok 2008).

²⁷ Podle dat výzkumní platformy Macrotrends LLC

Hodinová data

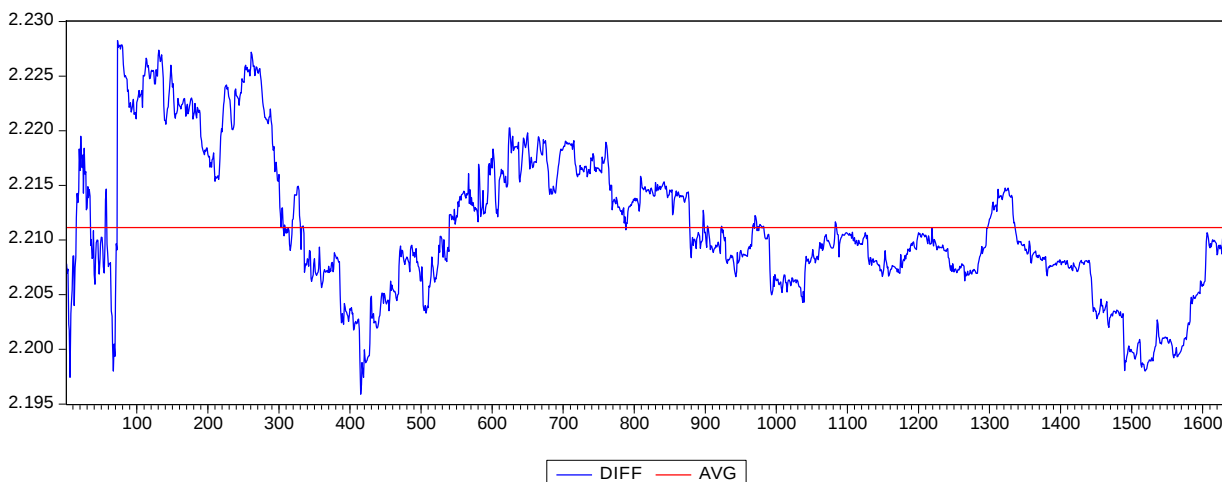
První typ dat představuje hodinová data cen indexů od 8. března 2018 do 8. června 2018. Jedná se o 1634 pozorování (po očištění o data uváděné přes víkendy nebo mimo obchodní hodiny) které byly v zájmu dosažení homogenity rozptylu dat, upravené logaritmickou transformací. V průběhu daného období dosáhl index S&P 500 zhodnocení 1,89%, zatímco akciový index Dow Jones 30 se zhodnotil o 2,02 %. Korelační koeficient mezi indexy dosáhl úroveň 0,9265.

Graf. č.7 Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a S&P 500 v časovém období 8. 3.– 8. 6. 2018



Při pohledu na graf logaritmovaných cen akciových indexů je vidět výraznou volatilitu v průběhu Března. Z oblasti technologického sektoru měl na vývoj indexů vliv skandál společnosti Facebook (kauza Cambridge Analytica) který ve Spojených státech a následně taky v Evropě otevřel diskusi o ochraně údajů na internetu. Daná kauze ovlivnila taky společnost Twitter, který zaznamenal přes 12 % propad akcií. Mezi další technologické společnosti s nepříznivými výsledky patřil Microsoft (krátkodobý propad o téměř 10 %) nebo Nvidia (krátkodobá ztráta přes 11 %). Tyhle propady byly však již v dubnu ve většině případů eliminovány a společnosti z technologického sektoru opět dosáhli rast.

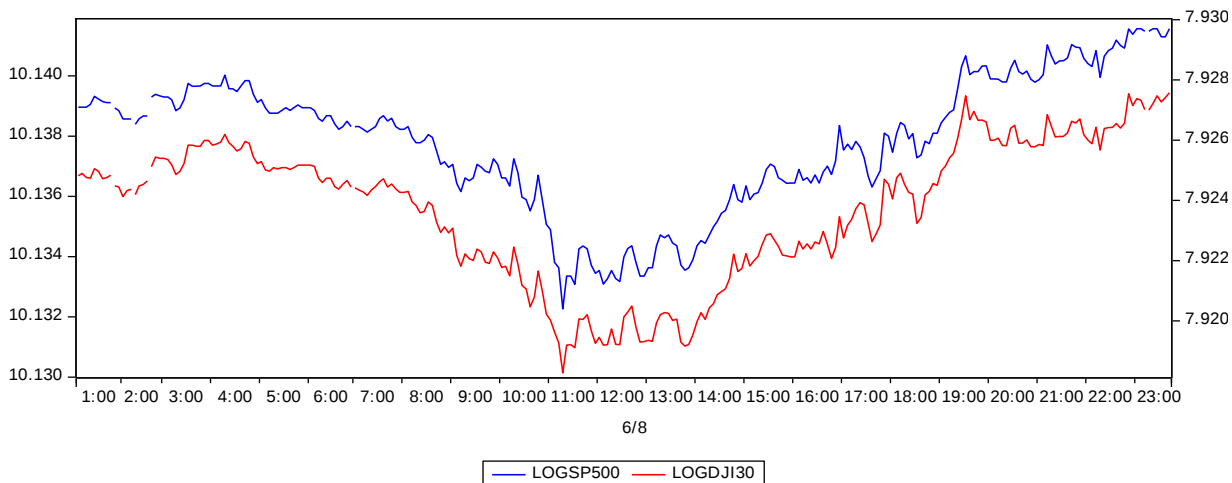
Graf. č 8 Rozdíl mezi logDJI30 a logS&P500



M5 data

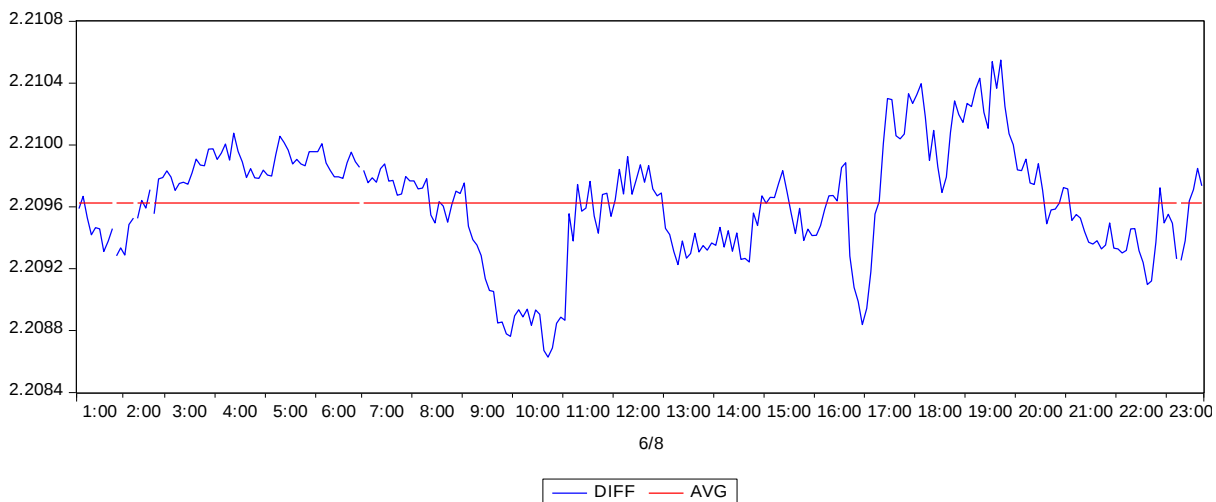
Dalším typem analyzovaných dat jsou cenové data s pětiminutovým timeframom ze dne 8. června 2018. Vzorek 269 pozorování zachytává v první polovině obchodního dne cenový přepad obou indexů, který byl kompenzován lineárním rastem indexů až do závěru dne, kdy dosáhli svých maximálních denních hodnot.

Graf č.9 Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (M5)



Americké akciové indexy navázali na propad akciových trhů v Asii (hongkongský index Hang Seng uzavíral se stratou -1,78%) a v Evropě (německý DAX klesl o 1,05%). V průběhu dne se ale po zveřejnění měsíčního velkoobchodního reportu Statistickým úřadem USA trend na akciovém trhu obrátil. Index S&P 500 uzavíral na hodnotě 2778,6 čímž dosáhl denního zhodnocení 2,61 % a hodnota DJ30 stoupla o 2,76 %. Korelační koeficient mezi indexy má hodnotu 0,9887.

Graf č.10 Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (M5)

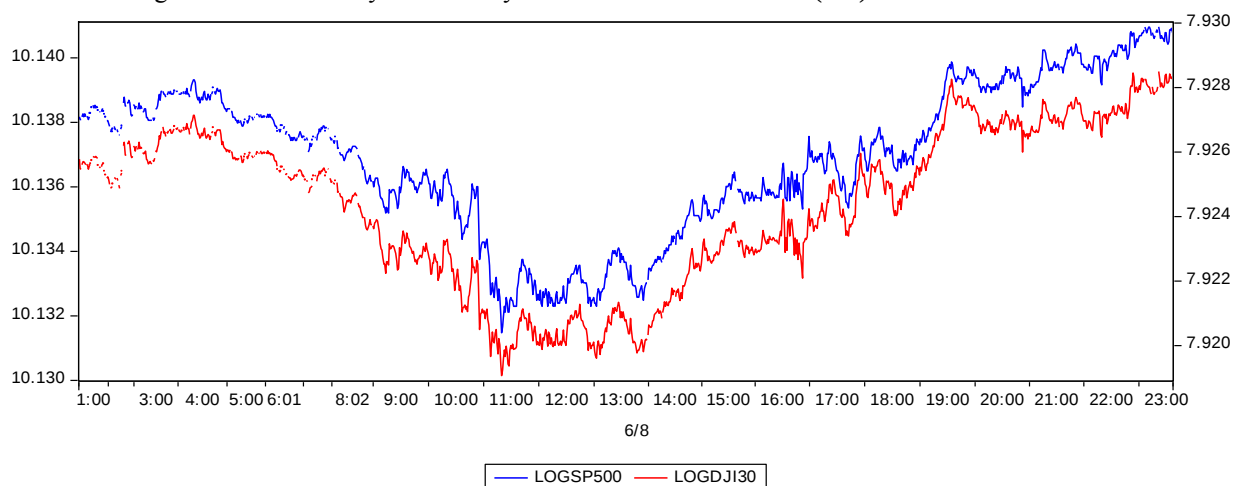


Největší výkyv rozdílů logaritmů cen indexu byl zaznamenán mezi 9. a 11. hodinou dopoledne a pak těsně po 16. hodině odpoledne.

M1

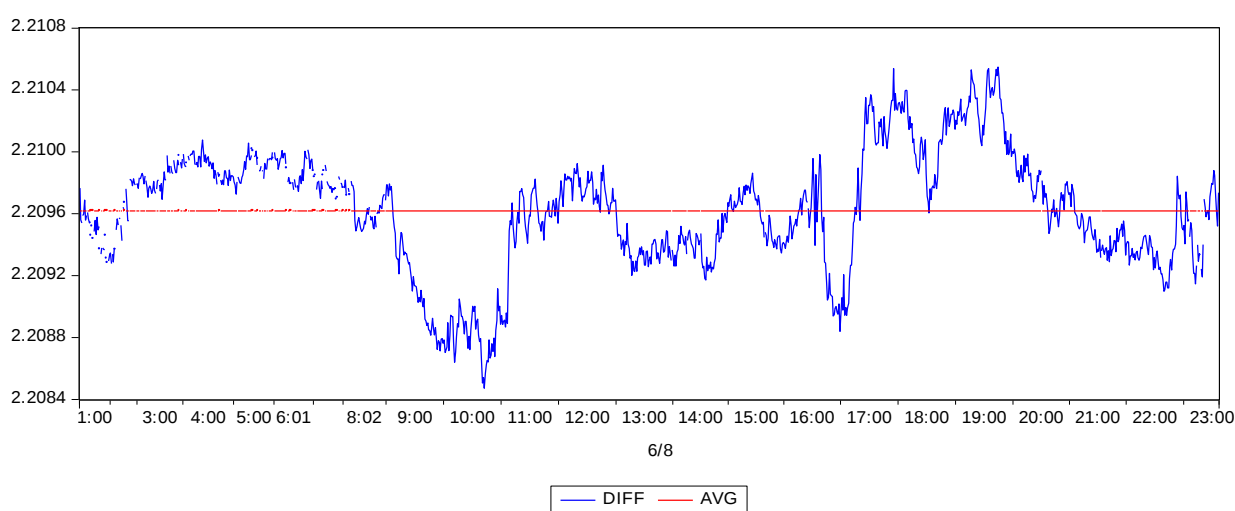
Minutová data ze dne 8.6.2018 obsahují 1189 pozorování. Tvarem se hodně podobají pětiminutovým datem, ale právě díky čtyřnásobně vyššímu počtu dat ve stejném časovém období, je graf dat členitější.

Graf č.11 Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (M1)



Oba indexu dosáhli svou nejnižší denní hodnotu o 11:19 dopoledne. Postupně však začali jejich kurzy růst a o 19:09 se index DJIA dostal na úroveň ze začátku dne. Index SP500 překročil svojí denní otevírací cenu o 5 minut později (19:14). Korelační koeficient mezi daty je stejný jako při M5 datech (při přesnosti na 4 desetinná místa).

Graf č.12 Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (M1)

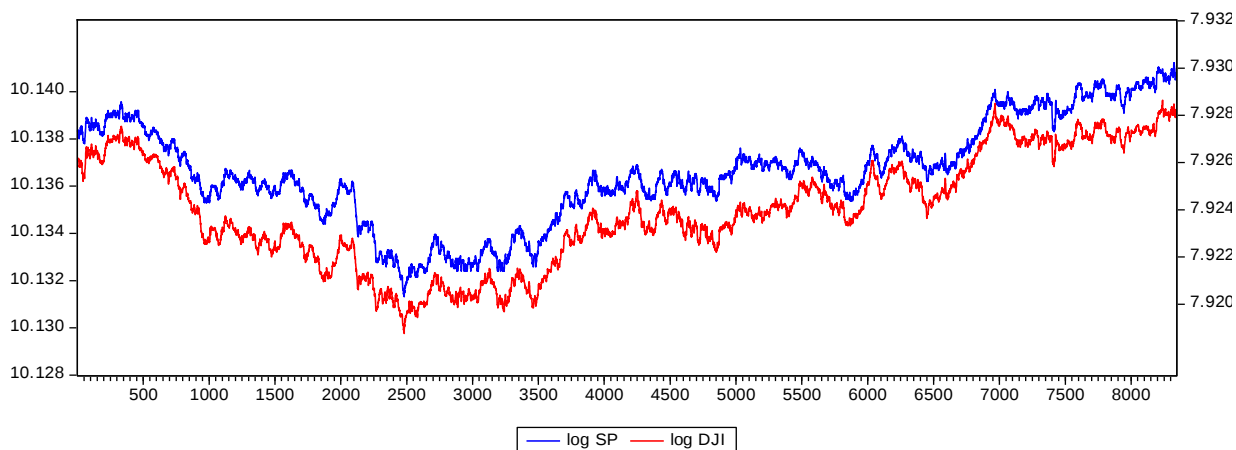


Z pohledu na graf č. 12 je vidět , že největší výkyv mezi rozdílem logaritmů cen indexu, nastal o 10:42, průměrná hodnota rozdílu byla 2,2096.

Sekundová data

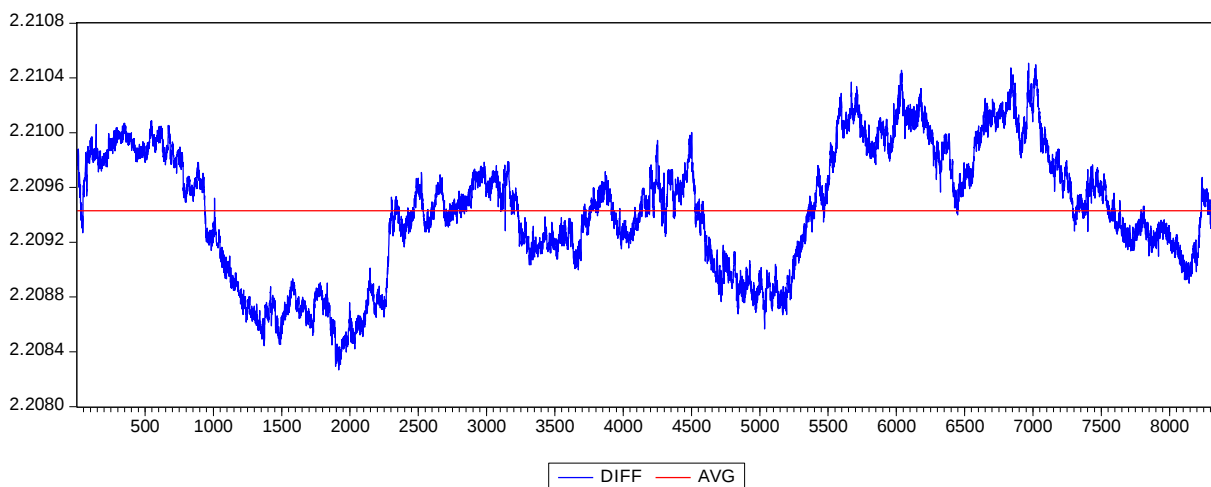
Sekundová data ze dne 8.6.2018 obsahují 8344 pozorování (po očištění o data, kdy pro některý z indexů chybělo pozorování a muselo být v zájmu zachování rovnováhy, vyjmuto aj z druhého indexu). Korelační koeficient mezi cenami indexů dosáhl hodnoty 0,9815.

Graf č.13 Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (Sec)



Popisná statistika dat poukazuje na problém s normalitou dat. Test Jarque- Bera zamítl nulovou hypotézu o normálním rozdělení dat na hladině významnosti 95%. Data obou indexů jsou mírně záporně sešikmená (-0,05 u DJI30 a -0,09 pro SP500). Znamená to, že mediánová hodnota je nižší než modus. Data mají taky problém se špičatostí. Oproti deklarované hodnotě 3 pro normální rozdělení, dosahují hodnoty cen indexů špičatost 2,01 (DJIA) respektive 2,42 (SP500).

Graf č.14 Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (Sec)

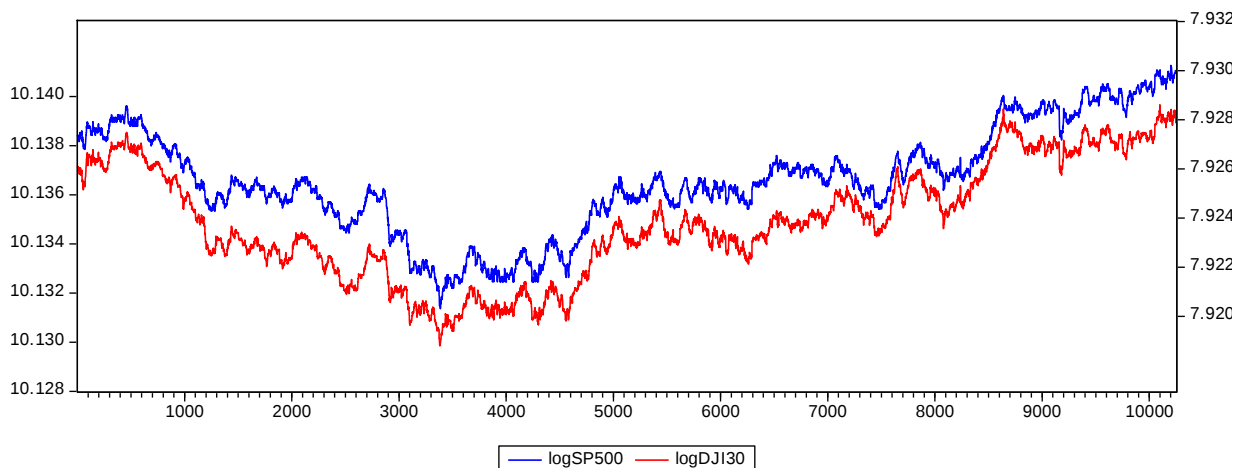


Průměrná hodnota rozdílu logaritmů cen indexů se oproti minutovým datům mírně snížila na úroveň 2,2094.

Ticková data

Tickové data představují nejmenší časový rámec mezi jednotlivými pohyby cen, jaký je daný obchodní systém schopen poskytnout. Cena obchodovaných aktiv se v praxi mění několikrát za vteřinu (princip latence byl vysvětlen v teoretické části při vysokofrekvenčním obchodování). Problém nastává při uchovávání těchto historických dat, kvůli jejich velikosti. Oproti sekundovým datům je rozsah tickových dat jen mírně rozšířený, konkrétně se jedná o 10 253 pozorování za 8. červen 2018.

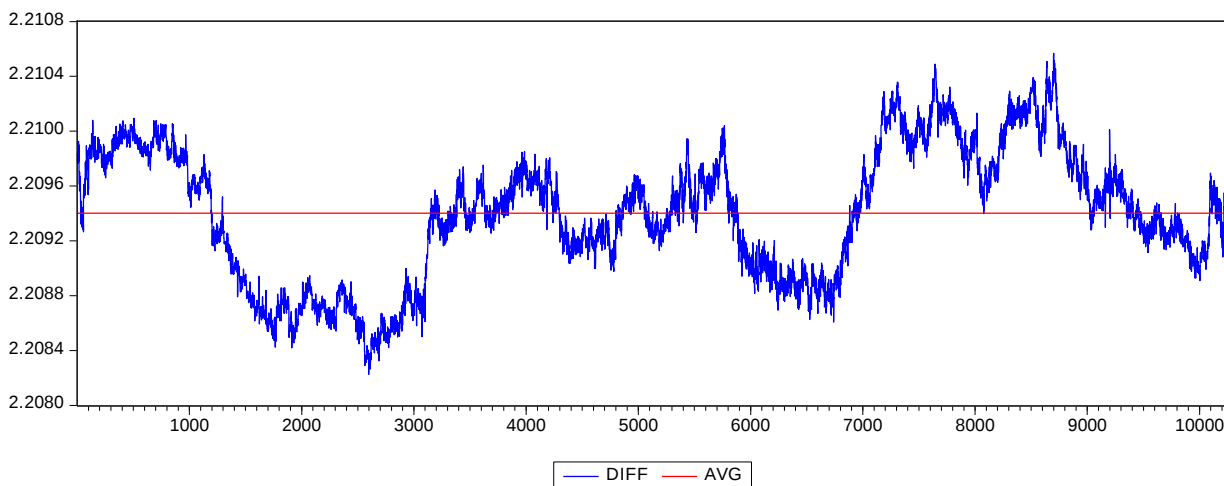
Graf č.15 Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (Tick)



Ukazovatele jako korelační koeficient, nebo rozdíl cen logaritmů cen, jsou v podstatě identické jako při sekundových datech (při přesnosti na 4 desetinná místa). Stejný problém mají taky s normalitou. Úroveň Jarque- Bera statistiky dosáhla při DJIA hodnotu 400,21 a při SP500 hodnotu 128,15.

Stejně jako při pětiminutových, minutových a sekundových datech aj zde graf rozdílu mezi logaritmovanými hodnotami cen indexů osciluje kolem rovnovážné hodnoty (počítané jako aritmetický průměr).

Graf č.16 Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (Tick)



3.3 Analýza korelačních a kointegračních vztahů mezi indexy

Vybraná data budou testována v programu Eviews na přítomnost kointegračních vztahů mezi logaritmovanými cenami indexů. Využijeme při tom Engle- Grangerův test, rozšířený Dickey Fullerův test jednotkového kořene, aplikovaný na rozdíl mezi logaritmovanými cenami a nakonec použijeme Johanesův test kointegrace. Následně budou výsledky jednotlivých testů srovnávány napříč jednotlivých časových rámců, z kterých bude vybrán jeden typ dat, který bude použit na tvorbu regresního modelu. Dá se očekávat, že kointegrační vztahy mezi indexy budou lépe pozorovatelné v delším časovém období.

3.3.1 Engle- Grangerův test kointegrace

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, Engle Grangerův test je založen na testování stacionarity reziduí regresního modelu, vytvořeného testovaných dat. Délka zpoždění (lags specification) je založená na Schwarzovem kritériu.

H_0 : časové řady nejsou kointegrované

H_1 : časové řady jsou kointegrované

Nulovou hypotézu o nepřítomnosti kointegrace zamítneme na hladině významnosti 5 %, pokud p-hodnota (značena jako Prob*) Engle Grangerova tau statistiky (značená jako tau-statistic) nebo normalizovaného autokorelačního koeficientu (značeného jako z-statistik) nabyde hodnotu nižší jako 0,05.

Hodinová data (1634 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
H1	-3.407231	0.0420	-23.03013	0.0298

Výsledek: oba testy zamítli nulovou hypotézu o nekointegrovanosti časových řad na hladině významnosti 5%

M5 data (269 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
M5	-3.395187	0.0457	-22.16116	0.0324

Výsledek: oba testy zamítli nulovou hypotézu o nekointegrovanosti časových řad na hladině významnosti 5%

M1 data (1189 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
M1	-3.206118	0.0697	-20.58839	0.0491

Výsledek: Engle-Grangerova t statistika nezamítla nulovou hypotézu o nekorelovanosti proměnných na hladině významnosti 5 %. Z-statistika však nulovou hypotézu zamítla na dané hladině významnosti nulovou hypotézu zamítla.

Sekundová data (8344 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
Sec	-2.733082	0.1880	-15.04353	0.1491

Výsledek: oba testy nezamítli nulovou hypotézu o nekointegrovanosti časových řad na hladině významnosti 5 %

Ticková data (10253 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
Tick	-2.656256	0.2157	-14.93105	0.1524

Výsledek: oba testy nezamítli nulovou hypotézu o nekointegrovanosti časových řad na hladině významnosti 5 %

Podle očekávání byli kointegrační vztahy prokázány na datech delšího časového rámce (hodinová a pětiminutová data). Naopak ticková a sekundová data se projeví v našem testu jako nekointegrovaná. Z toho se dá usoudit, že okamžitá reakce indexů na změny na trhu se může kvůli rozdílům ve struktuře indexu lišit. Na časovém horizontu 3 měsíců (hodinová data) však byly kointegrační vztahy mezi indexy prokázány.

3.3.2 Rozšířený Dickey- Fullerův test jednotkového kořene

Analýza kointegračních vztahů bude opět probíhat v programe Eviews. Test je založen na testování jednotkového kořene logaritmovaných cen indexů. Jeden z předpokladů funkčního kointegračního vztahu je, že procesy, mezi kterými se daný vztah hledá jsou nestacionární. Proto je potřebné testovat (a v optimálním případě nezamítnout) nulovou hypotézu o přítomnosti jednotkového kořene v daných procesech.

$$\log DJI30_t = \phi \log DJI30_{t-1} + a_t$$

$$\log SP500_t = \phi \log SP500_{t-1} + a_t$$

Vzájemná interakce znamená v našem případě rozdíl mezi proměnnými $\log DJI30$ a $\log SP500$, proto jako třetí test ADF bude zaměřen na proměnnou *diff*:

$$diff_t = \log DJI30_t - \log SP500_t$$

$$diff_t = \phi diff_{t-1} + a_t$$

Testování jednotkového kořene vychází ze základního tvaru bez úrovnové konstanty a bez deterministického trendu. Případné nezamítnutí nulové hypotézy značí, že testovanou časovou řadu nemůžeme označit na stacionární na námi zvolené hladině významnosti (5 %).

$$H_0: \phi = 1; \text{ časová řada má jednotkový kořen } I(1)$$

$$H_1: \phi < 1; \text{ časová řada nemá jednotkový kořen } I(0)$$

Tabulka č.3 Rozšířený DF test jednotkového kořene

Typ proměnné	Typ	Zpoždění / Lags	t-statistika	*Prob
H1_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	20	-2,8592	0,0505
H1_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	20	-2,6634	0,0807
H1_diff	Level/ Intercept	20	-3,0876	0,0277
M5_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	15	-0,8045	0,8159
M5_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	15	-0,8192	0,8117
M5_diff	Level/ Intercept	15	-3,2353	0,0191
M1_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	22	-0,7358	0,8354
M1_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	22	-0,7042	0,8437
M1_diff	Level/ Intercept	22	-3,0651	0,0295
Sec_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	36	-1,0638	0,7321
Sec_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	36	-0,8676	0,7989
Sec_diff	Level/ Intercept	36	-2,6833	0,0769
Tick_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	38	-1,1466	0,6994
Tick_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	38	-0,9062	0,7869
Tick_diff	Level/ Intercept	38	-2,6604	0,0811

* MacKinnin (1996) one-sided p-values

Test jednotkového kořene vycházel ze Schwarzovho informačního kritéria s defaultně nastavenou hladinou zpoždění. Na základě testové statistiky a její p-hodnoty, můžeme interpretovat výsledky. Logaritmované hodnoty cen indexů se prokázali přítomnost jednotkového kořene na hladině významnosti 5 %. Nejvýrazněji se tahle přítomnost projevila na datech na pětiminutových a minutových datech. Obecně lze říct, že všechny časové rámce ze zvoleného dne (8.6.2018) pracují s nestacionárními daty. Při hodinových datech vykázal test hraniční hodnoty (jak víme z teoretické části, DF test má relativně malou sílu testu, což může k chybnému nezamítnutí nulové hypotézy), které by při změně úrovně zpoždění mohli vést ku zamítnutí nulové hypotézy. Každopádně test potvrdil předpoklad nestacionarity procesů ve všech testovaných časových rámcích. Z hlediska testování jednotkového kořene proměnné *diff* byla nulová hypotéza zamítnuta na hladině významnosti 5 % při hodinových,

pětiminutových a minutových datech. Stejně jako předchozí (Engle Grangerův) test, ani tady nebyly podmínky funkčního kointegračního vztahu splněné při sekundových a tickových datech.

3.3.3 Johanesův test kointegrace

Jak již víme z teoretické části, Søren Johansen vytvořil dvě verze pravděpodobnostních testů, přičemž první z nich (v literatuře označován jako trace test) testuje nulovou hypotézu o r -kointegrovaných vektorech (oproti alternativní hypotéze, která tvrdí, že počet kointegrovaných vektorů více než r). Pro potvrzení existence kointegračního vztahu mezi námi zvolenými časovými daty je proto potřebné zamítnutí nulové hypotézy na určené hladině významnosti (opět použijeme hladinu významnosti 5 %). Druhý typ Johansenova testu (označován jako test maximálního vlastního čísla) porovnává nulovou hypotézu o r -kointegrovaných vektorech oproti alternativní hypotéze, že počet kointegrovaných vektorů je v datech $r+1$. Stejně jako při prvním testu, je pro nás žádoucí zamítnout nulovou hypotézu (alespoň na první úrovni) čímž se prokáže existence kointegračních vztahů mezi logaritmovanými cenami indexů. Testované hypotézy můžeme pak formulovat následovně:

H_0 : časové řady nejsou kointegrované ($r = 0$)

H_1 : existuje alespoň jeden kointegrační vztah mezi proměnnými ($r \neq 0$)

Johansenův test je citlivý na míru zpoždění a taky na správné nastavení charakteristiky testovaných dat. Pro náš test byla vybraná varianta s připuštěním lineárního deterministického trendu v datech a míra zpoždění byla nastavena na stejnou úroveň, jaká byla defaultně nastavená při rozšířeném Dickey-Fullerově teste jednotkového kořene (tam se míra zpoždění odvíjela od rozsahu dat)

Tabulka č.4 První Johansenův test kointegrace (trace)

Typ proměnné	Nulová hypotéza	Zpoždění (Lags)	Vlastní hodnota (Eigenvalue)	Trace statistika	Kritická hodnota (0,05)	Prob.
H1	$r = 0$	20	0,0009	23,0641	15,4947	0,0021
H1	$r \leq 1$	20	0,0055	8,8708	3,9415	0,0029
M5	$r = 0$	15	0,0570	16,2372	15,4947	0,0386
M5	$r \leq 1$	15	0,0055	1,3827	3,9415	0,2396
M1	$r = 0$	22	0,0130	16,2421	15,4947	0,0385
M1	$r \leq 1$	22	0,0008	0,9766	3,8415	0,3230
Sec	$r = 0$	36	0,0045	38,8701	15,4947	0,0000
Sec	$r \leq 1$	36	0,0001	1,1115	3,8415	0,2918
Tick	$r = 0$	38	0,0045	47,1465	15,4947	0,0000
Tick	$r \leq 1$	38	0,0001	1,1463	3,8415	0,2843

První Johansenův test (typu trace) je v programu Eviews analyzuje tvrzení, že se mezi daty nenacházejí žádné kointegrační vztahy, a taky hypotézu, že mezi daty je maximálně jeden kointegrační vztah. Na základě hodnot trace statistiky (které přesáhli kritickou hodnotu pro zamítnutí nulové hypotézy na zvolené hladině významnosti), aplikované na hodinová data, zamítáme obě tvrzení na hladině významnosti 5 %. Znamená to potvrzení existence více než jednoho kointegračního vztahu v datech daného časové rámce. Testy dat ostatních časových rámců zamítli nulovou hypotézu o neexistenci kointegračního vztahu mezi proměnnými ($r = 0$) ale zároveň nezamítly hypotézu o tom, že existuje maximálně jeden kointegrační vztah mezi daty ($r \leq 1$).

Tabulka č.5 Druhý Johansenův test kointegrace (Eigenvalue)

Typ proměnné	Nulová hypotéza	Zpoždění (Lags)	Vlastní hodnota (Eigenvalue)	Max-Eigen Statistic	Kritická hodnota (0,05)	Prob.
H1	$r = 0$	20	0,0093	23,9841	15,4947	0,0021
H1	$r \leq 1$	20	0,0055	8,8708	3,8415	0,0029
M5	$r = 0$	15	0,0570	14,8544	14,2646	0,0403
M5	$r \leq 1$	15	0,0055	1,3828	3,8415	0,2396
M1	$r = 0$	22	0,0130	15,2647	14,2646	0,0346
M1	$r \leq 1$	22	0,0008	0,9765	3,8415	0,3230
Sec	$r = 0$	36	0,0045	37,7585	14,2646	0,0000
Sec	$r \leq 1$	36	0,0001	1,1115	3,8415	0,2918
Tick	$r = 0$	38	0,0045	46,0001	14,2646	0,0000
Tick	$r \leq 1$	38	0,0001	1,1463	3,8415	0,2843

Druhý Johansenův test kointegrace obdobný výsledky z hlediska identifikace kointegračních vztahů. Hypotéza o neexistenci kointegračních vztahů ($r = 0$) byla zamítnuta na hladině významnosti 5 % při všech časových datech.

V shrnutí téhle podkapitoly můžeme konstatovat, že všechny použité testy kointegrace potvrdili existenci kointegračního vztahu mezi akciovým indexem Standard & Poor's 500 a Dow Jones Industrial Average 30 na datech s hodinovým časovým rámcem z období od 8. března 2018 do 8. června 2018. Vzhledem k tomu, že kointegrace je popisován jako dlouhodobý vztah, je potvrzení na 3 různých statistických testech důležité. Pro účely obchodování (při použití automatických obchodních systémů) je však důležité potvrzení vztahů na kratších časových intervalech. Data z pětiminutového časového rámce prokázali na hladině významnosti 5 % přítomnost kointegračního vztahu, při všech použitých testech. Jejich nevýhodou je však malý rozsah vzorku (jenom 269 pozorování). Při minutových datech prokázal Johansenův test, stejně jako ADF test jednotkového kořene přítomnost kointegračního vztahu, výsledek Engle-Grangerovho testu byl však nejednoznačný (tau statistika a z-test dosáhli hraniční hodnoty). Na sekundových a tickových datech se kointegrace prokázala při Johansenovom teste, avšak ne při Engle-Grangerovom a taky ADF testy jednotkového kořene nezamítly nulovou hypotézu o

nestacionaritě proměnných *diff*. Proto by jejich využití při stavbě regresního modelu bylo problematické a mohlo by vést ke skresleným výsledkům (zdánlivá regrese).

3.4 Výstavba a analýza regresního modelu

Úspěšné potvrzení existence kointegračního vztahu mezi logaritmovanými hodnotami cen indexů, je důležitý základ pro regresní analýzu, na základě které bude vytvořena a otestována obchodní strategie. Vzhledem k výsledkům, získaným z předchozí podkapitoly, jsme se jako referenční data rozhodli vybrat data s minutovým časovým rámcem. Tenhle typ dat je obecně vhodný na aplikaci automatického obchodního systému, navíc při potvrzení stacionarity rozdílu mezi logaritmovanými cenami (*diff*) můžeme vytvořit regresní model, který bude pracovat s danou časovou řadou jako s vysvětlující proměnnou.

3.4.1 Model 0.1

První typ modelu zachytává principiálně jednoduchý vztah mezi změnou logaritmu ceny akciového indexu SP500 v čase t a změnou logaritmu ceny akciového indexu DJI30 v čase t . V podstatě zkoumáme provázanost výkyvu cen SP500 s výkyvy cen DJ30. Vzhledem k identifikované přítomnosti autokorelace 1. řádu, použijeme v regresním modelu autoregresní funkci řádu 1.

$$diff_logSP500_t = \beta * diff_logDJI30_t + AR(1) + \varepsilon_t$$

$$diff_logSP500 \dots logSP500_t - logSP500_{t-1}$$

$$diff_log DJI30 \dots logDJI30_t - logDJI30_{t-1}$$

$$AR(1) \dots autoregresní funkce řádu 1$$

Pro zajištění stacionarity vysvětlující proměnné $logDJI30$, využijeme takzvanou diferenciaci, teda proces, kdy od hodnoty $logDJI30_t$ odečteme $logDJI30_{t-1}$ čímž získáme přírůstek dané proměnné. Prostřednictvím rozšířeného Dickey-Fullerova testu jednotkového kořene si potvrdíme, že náš novo vytvořený proces je skutečně stacionární. Stejnou operaci uděláme s proměnnou $logSP500$. Vytvořený regresní model bude tak pozůstat z diferencované hodnoty logaritmu ceny indexu DJ30 a z autoregresní funkce řádu 1. Konstanta se překázala jako statisticky nevýznamná a proto byla z modelu vyjmuta.

Tabulka č. 6 Výstup regresního modelu s vysvětlovanou proměnnou $diff_logSP500_t$

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DIFF_LOG_DJ30	0.877365	0.010587	82.86999	0.0000
AR(1)	-0.155779	0.028739	-5.420476	0.0000
R-squared	0.850673	Mean dependent var		2.27E-06
Adjusted R-squared	0.850547	S.D. dependent var		0.000193
S.E. of regression	7.45E-05	Akaike info criterion		-16.17098
Sum squared resid	6.57E-06	Schwarz criterion		-16.16242
Log likelihood	9599.481	Hannan-Quinn criter.		-16.16775
F-statistic	3372.496	Durbin-Watson stat		2.013213
Prob(F-statistic)	0.000000			

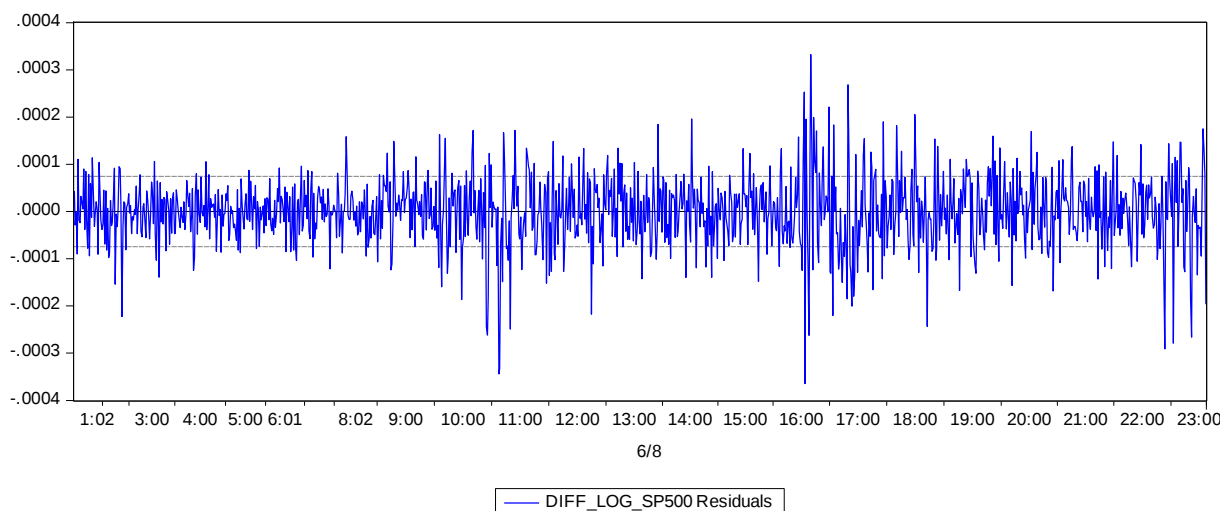
Interpretace výsledků testů regresního modelu.

Dílčí t – testy poukazují na statistickou významnost vysvětlující proměnné $diff_logDJ30_t$ (p- hodnota je signifikantně nižší jako 0,05 a teda můžeme zamítnout nulovou hypotézu o nevýznamnosti dané vysvětlující proměnné na hladině významnosti 5 %). Na základě p-hodnoty můžeme označit za statisticky významnou taky autoregresní funkci. Index determinace (podobně jako upravený index determinace, kterého hodnota se snižuje při zahrnování nadbytečného množství proměnných) dosáhl hodnoty přibližně 0,85 což značí, že náš regresní model vysvětluje 85 % rozptylu naší vysvětlované proměnné. Ukazovatel Akaike informační kritérium (podobně jako Schwarz kritérium a Hannan-Quinn kritérium) slouží na srovnávání kvality regresních modelů. Jeho hodnota vychází ze vztahu:

$$\text{Akaike informační kritérium (AIC)} = n \cdot \ln\left(\frac{\text{reziduální součet čtverců}}{n}\right) + 2m$$

Přičemž m představuje počet parametrů v modelu. Daný ukazovatel upřednostňuje jednodušší modelu (s nižším počtem parametrů) před složitějšími. Nižší hodnota kritéria se interpretuje jako lepší kvalita daného regresního modelu.

Graf č.17 Rezidua regresního modelu



Graf reziduí nenaznačuje přítomnost problému s autokorelací. Přesný výsledek nám však poskytne až Breusch-Paganův test autokorelace.

Na základě p-hodnoty Fisher-Snedecorůvho testu (0,0000) zamítáme nulovou hypotézu o tom, že žádný regresor nemá statisticky významný vliv na vysvětlovanou proměnnou. Při testování autoregresních funkcí vyšších řádu v modelu se jejich statistická významnost neprojevila, a proto byly z modelu vyjmuty.

Odlehle hodnoty reziduí (v čase 16:34 byla hodnota rezidua hodnotu -0,00036 a nejvyšší kladná odchylka s hodnotou 0,00033 vznikla v čase 16:40) indukují potenciální problém s jejich normalitou.

Tabulka č.7 Breusch – Godfrey serial correlation test H_0 : rezidua nejsou autokorelovana

F-statistic	1.963515	Prob. F(2,1182)	0.1408
Obs*R-squared	3.916899	Prob. Chi-Square(2)	0.1411

Na základě F-statistiky, respektive její p–hodnoty nezamítáme nulovou hypotézu neautokorelovaosti rezidui na hladině významnosti 5 %. Nemusí nás teda trápit případné riziko ztráty vydatnosti odhadů, nebo vychýlení standardních chyb a odhadu rozptylu modelu. Jako další indikátor přítomnosti autokorelace v regresním modelu může být podezřele vysoká hodnota indexu determinace (0,99).

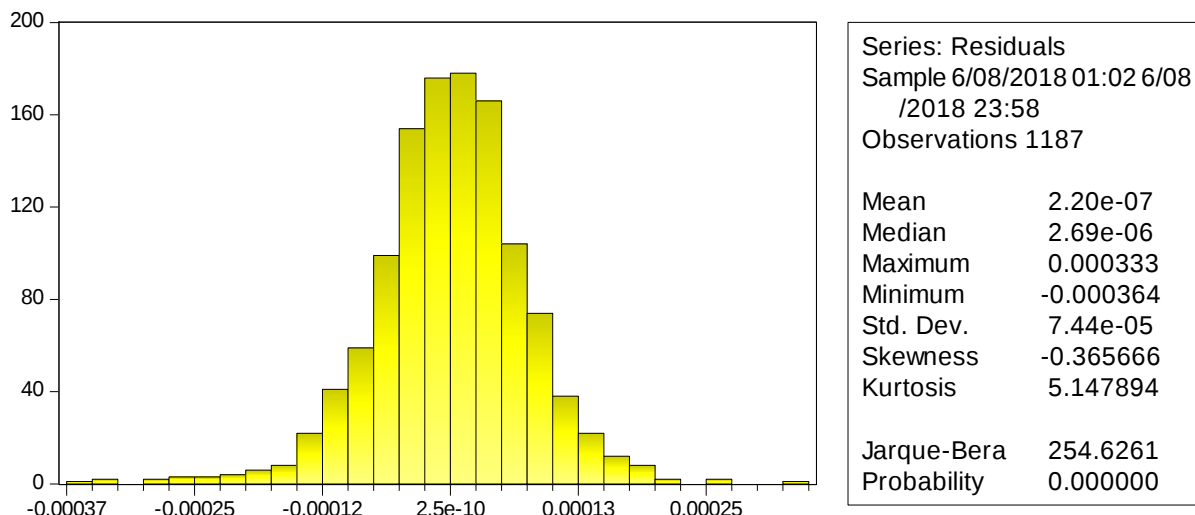
Tabulka č.8 Breusch Pagan Godfrei test heteroskedasticity

F-statistic	0.027422	Prob. F(1,1185)	0.8685	
Obs*R-squared	0.027467	Prob. Chi-Square(1)	0.8684	
Scaled explained SS	0.056714	Prob. Chi-Square(1)	0.8118	
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGDJI30STAC	2.66E-07	1.61E-06	0.165595	0.8685

Nulová hypotéza o konstantním rozptyle chybových složek nebyla zamítnuta na hladině významnosti 5 %. Tým pádem můžeme považovat bodové odhady parametrů za konzistentní a nestranné. Nezamítnutí homoskedasticity má taky vliv na důvěru v kvalitu našich historických dat (již z teoretické části víme, přítomnost heteroskedasticity indikuje kromě nesprávně nastaveného modelu taky nízkou kvalitu testovaných dat).

Statistický program Eviews nabízí jako další metody na analýzu heteroskedasticity Harveyho, Glejserův test, ARCH test a další.

Graf č.18 Jarque Bera test normality reziduí pro model 0.1



P – hodnota statistiky Jarque- Bera testu zamítá nulovou hypotézu o normalitě reziduí na hladině významnosti 5 %. Popisná statistika na pravé straně od grafu (konkrétně ukazatel Skewness) poukazuje na negativně (levostranně) sešikmené reziduá. Vysoký koeficient špičatosti (Kurtosis) nám zase indikuje, že reziduá mají takzvané leptokurtické rozdělení (pro potvrzení normálního rozdělení by špičatost musela dosahovat hodnoty kolem 3). Na zamítnutí normality se taky podíleli odlehlé hodnoty reziduí, které souvisí s prudkým vychýlením měřených cen v průběhu dne. Dané odchylky je možné individuálně odfiltrovat s použitím takzvaných dummy proměnných (jedná se o nulové vektory, které mají v čase vychýlení hodnotu 1). Při jejich začlenění do regresního modelu plní funkci vysvětlované proměnné, které vysvětluje danou výchylku. Jedná se však o značně nestandardní úpravou modelu, která se doporučuje používat jenom výjimečně. Při použití 9 dummy proměnných se hodnota testové statistiky snížila na hodnotu 90,14 (což je stále výrazně víc jako požadovaná hodnota pro nezamítnutí nulové hypotézy).

3.4.2 Model 0.2

Druhá verze regresního modelu pracuje se stejným typem dát (minutová), avšak zahrnuje novou, námi vytvořenou proměnnou $diff_{t-1}$ která je počítaná s následujícím způsobem:

$$diff_{t-1} = (\log DJI30_{t-1} - \log SP500_{t-1})$$

Potřeba časového posunu při dané proměnné na úroveň t-1 pramení z toho, že v případě úspěšného potvrzení existence regresního vztahu mezi ní a vysvětlovanou proměnnou (stacionarizovaná logaritmovaná cena indexu SP500), bude použita jako indikátor technické analýzy při tvorbě automatického obchodního systému (pro technické indikátory je charakteristická zpožděnost reakce při

změnách podmínek na trhu, a my se budeme tomu snažit přizpůsobit ještě před vytvářením samotné obchodní strategie). To, jak bude vychýlení indexu reagovat na pohyb indikátoru, nám dá představu o tom, jakým způsobem bude potřebné stanovit nákupní a prodejní signál při obchodování.

$$diff_logSP500_t = c + \beta * diff_logDJ30_t + \beta * diff_{t-1} + AR(1) + \varepsilon_t$$

c ... konstanta

diff_logSP500 ... logSP500_t – logSP500_{t-1}

diff_log DJI30 ... logDJ30_t – logDJ30_{t-1}

Proměnná *diff* byla v předchozí kapitole testována rozšířeným Dickey Fullerovým testem, který zamítnul nulovou hypotézu o nestacionaritě dané proměnné (p-hodnota testu byla 0,0295) na hladině významnosti 5 %. Proto je pro účely vytvoření regresního modelu její použití korektní a nevytváří riziko vzniku takzvané zdánlivé regrese.

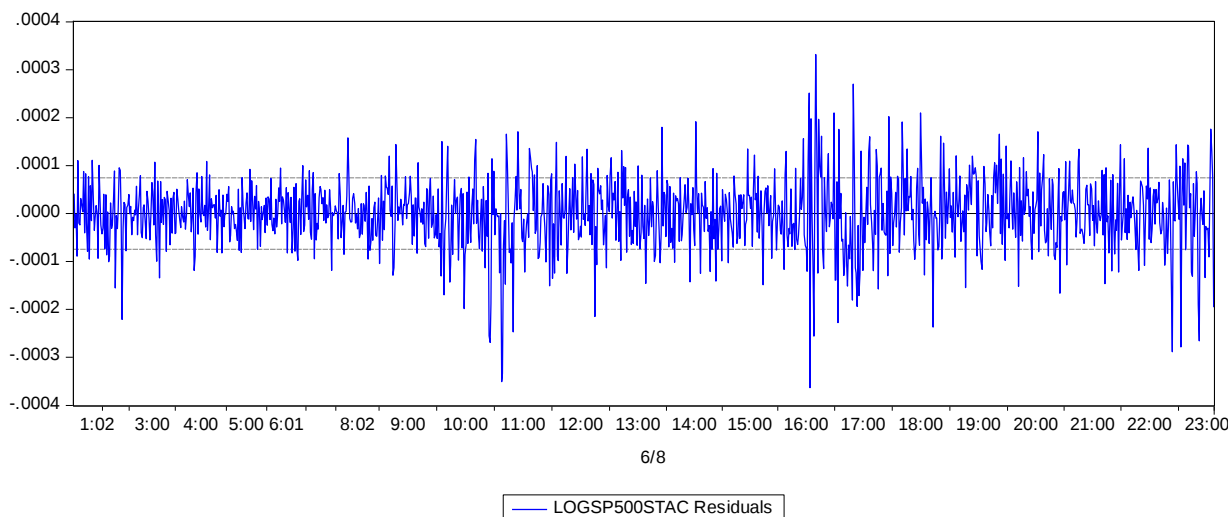
Tabulka č.9 Výstup regresního modelu s vysvětlovanou proměnnou *diff_logSP500_t*

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.028916	0.011062	2.613899	0.0091
DIFF_LOG_DJ30	0.878792	0.010587	83.00678	0.0000
DIFF	-0.013086	0.005007	-2.613882	0.0091
AR(1)	-0.149844	0.028777	-5.207077	0.0000
R-squared	0.851527	Mean dependent var		2.27E-06
Adjusted R-squared	0.871150	S.D. dependent var		0.000193
S.E. of regression	7.43E-05	Akaike info criterion		-16.17334
Sum squared resid	6.53E-06	Schwarz criterion		-16.15622
Log likelihood	9602.877	Hannan-Quinn criter.		-16.16689
F-statistic	2261.589	Durbin-Watson stat		2.010293
Prob(F-statistic)	0.000000			

Dílčí t-testy a jejich p-hodnoty potvrzují statistickou významnost všech vysvětlovaných proměnných (včetně konstanty, která je, na rozdíl od předchozího modelu, statisticky významná). Hodnota koeficientu vysvětlující proměnné *diff* je záporná, což je možné interpretovat jako nárůst rozdílů mezi logaritmovanými cenami indexů DJI30 a SP500 v čase t-1, má za následek záporný přírůstek logaritmované ceny indexu SP500 v čase t.

Daný výsledek téhle regresní analýzy (přesto že se hodnota koeficientu jeví nevýrazně) bude tvořit základ pro tvorbu automatického obchodního systému.

Graf č.19 Rezidua regresního modelu 0.1



Graf reziduí regresního modelu zachytává přítomnost odlehklých pozorování, které budou mít vliv na normalitu reziduí, avšak žádný náznak přítomnosti autokorelace nebo heteroskedasticity nevykazují.

Tabulka č.10 Breusch – Godfrey serial correlation test H_0 : rezidua nejsou autokorelovana

F-statistic	1.506463	Prob. F(2,1181)	0.2221	
Obs*R-squared	3.020527	Prob. Chi-Square(2)	0.2209	
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000204	0.011058	-0.018478	0.9853
LOGDJI30STAC	-0.000949	0.010603	-0.089545	0.9287
DIFF	9.25E-05	0.005005	0.018475	0.9853
AR(1)	0.339140	0.410017	0.827137	0.4083

Na základě F– statistiky, respektive její p-hodnoty nezamítáme nulovou hypotézu o neautokorelovanosti reziduí. Ve srovnání s modelem 0.1 jsou získané p-hodnoty téměř dvounásobné. Testy autokorelovanosti pro jednotlivé vysvětlující proměnné skončili taky nezamítnutím nulové hypotézy o neautokorelovanosti. Můžeme teda předpokládat, že našemu modelu nehrozí ztráta vydatnosti odhadů regresních parametrů, případně vychýlení standardních chyb a podhodnocení reziduí.

Tabulka č.11 Breusch Pagan Godfrei test heteroskedasticity

F-statistic	0.429214	Prob. F(2,1184)	0.6511
Obs*R-squared	0.859979	Prob. Chi-Square(2)	0.6505
Scaled explained SS	1.795475	Prob. Chi-Square(2)	0.4075

BPG test heteroskedasticity dopadl podobně jako při předcházejícím modelu. Homoskedasticita reziduí nebyla zamítnuta na hladině významnosti 5 %. Nevýhoda daného testu spočívá v jeho vysoké citlivosti

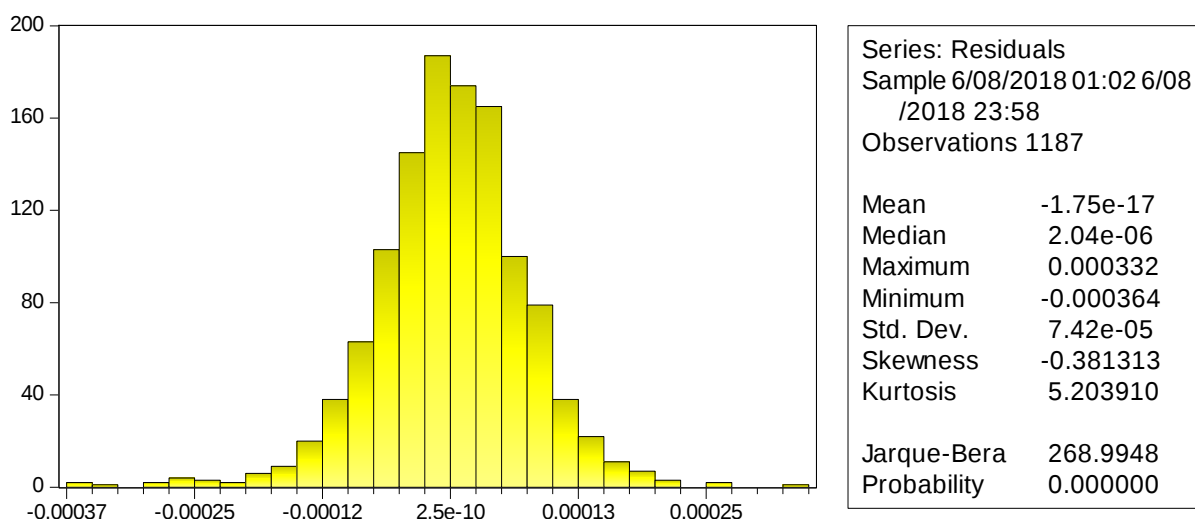
na normalitu náhodných složek, což se projevilo jako problematický bod již při předcházejícím modelu. Proto byl jako doplňující test heteroskedasticity náhodných složek vybrán doplňující Glejserův test, který testuje heteroskedasticitu prostřednictvím regrese absolutních hodnot reziduí. Nulová hypotéza, stejně jako u Breuch Paganova testu tvrdí, že náhodná složka modelu má konstantní rozptyl, teda je homoskedastická.

Tabulka č.12 Glejserův test heteroskedasticity

F-statistic	0.603947	Prob. F(2,1183)	0.5468
Obs*R-squared	1.209722	Prob. Chi-Square(2)	0.5462
Scaled explained SS	1.453377	Prob. Chi-Square(2)	0.4835

Ani Glejserův test nezamítl nulovou hypotézu o homogenitě náhodné složky na hladině významnosti 5 % a teda naše očekávání, že se rezidua regresního modelu se budou vyvíjet konstantně v čase, je oprávněné. Posledním testem náhodné složky je test normality.

Graf č. 20 Jarque Bera test normality pro model 0.2



Nový model má stejný problém s normalitou reziduí jako ten předcházející. Rezidua jsou levostranně zešíkmené a mají výrazně vyšší koeficient špičatosti. Při použití dummy proměnných je možné hodnotu Jarque- Bera statistiky výrazně snížit, stále se však bude pohybovat hluboko s intervalu zamítnutí nulové hypotézy o normalitě. Vzhledem k relativně rozsáhlému vzorku (1189 pozorování) a poměrně symetrickému tvaru hustoty pravděpodobnosti se však můžeme využít teorém centrální limitní věty²⁸, a považovat odhady regresních parametrů za spolehlivé.

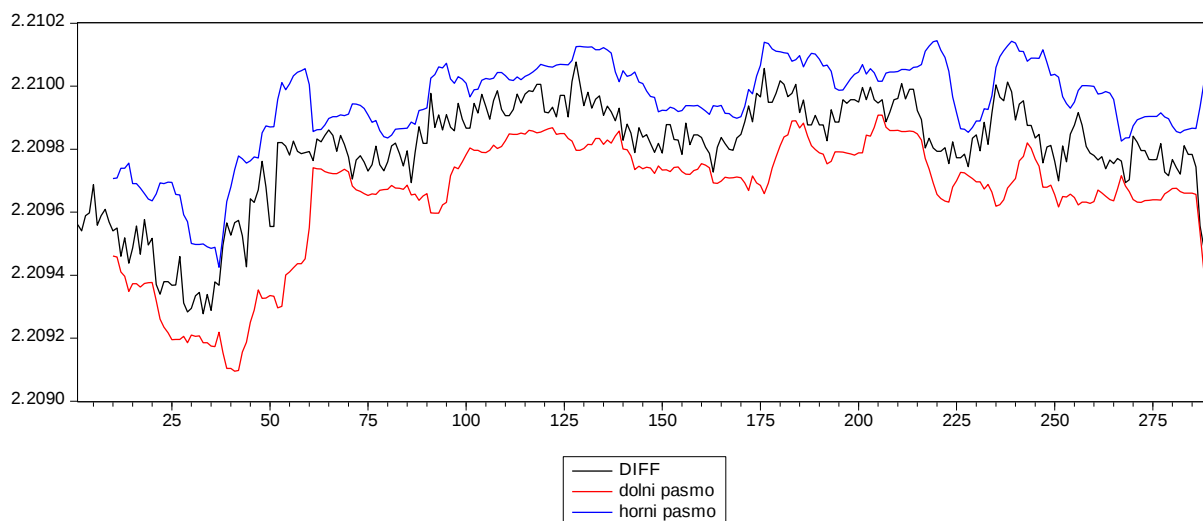
²⁸ M. Budíková, M. Králová, B. Maroš, *Průvodce základními statistickými metodami*

3.4.3 Model 0.3

Předcházející model měl za úlohu co nejvěrněji popsat chování závislé proměnné (stacionarizovaná logaritmovaná cena indexu S&P 500) a její reakci na pohyb zpožděného regresoru $diff_{t-1}$. Pro praktické využití dané proměnné na obchodování, je však potřebná její úprava, tak aby s ní bylo možné pracovat jako s technickým indikátorem, který bude spouštěčem na vstup do dlouhý nebo krátký obchodní pozice. Předcházející regresní model poukazuje na nepřímou závislost mezi danou vysvětlující a vysvětlovanou proměnnou. Tím, že se hodnota $diff_{t-1}$ mění neustále a uzavírací cena jedné svíčky se bude s největší pravděpodobností lišit od uzavírací ceny předcházející svíčky, vzniká nákupní (pokud je nová uzavírací cena nižší jako při předchozí svíčce) nebo prodejní signál (když se nová svíčka uzavírá při vyšší ceně jako předešlá) každou minutu, při uzavření ceny aktuální svíčky. Obchodní strategie by tak brzo narazila na limitní počet otevřených obchodů (kvůli omezené výšce kapitálu, nebo kvůli nastaveným limitům ze strany brokera). Stejně tak by se na ziskovosti strategie podepsali náklady na otevření každé jedné pozice (spready).

Pro funkční využití regresního vztahu pro obchodování je proto potřebné stanovit způsob, kterým se vychýlení regresoru $diff_{t-1}$ bude moci interpretovat jako vhodný čas na vstup do obchodní pozice. Jednou z možností je použití principu Bollingerových pásem. Jedná se o jeden z nejznámějších indikátorů technické analýzy, který vytvořil v 80. letech finanční analytik John Bollinger. Metoda pracuje s jednoduchým klouzavým průměrem, počítaným ze stanovené periody a představuje rovnovážní hladinu ceny aktiva. Dále se pak na zachycení volatility, neboli kolísavosti ceny aktiva, používá směrodatná odchylka, která je počítaná ze stejné periody jako aritmetický průměr. Přičtením hodnoty odchylky k průměru vznikne horní Bollingerovo pásmo a zároveň odečtením odchylky od průměru vzniká dolní Bollingerovo pásmo. V praxi se cena aktiva nachází většinu času mezi pásmy, při její výrazném výkyvu však může jedno z nich přetnout. Po chvíli se však oba Bollingerova pásma vlivem zvýšené volatility rozšíří a cena aktiva se opět dostává mezi ně.

Graf č. 21 Bollingerovy pásma klouzavý průměr (perioda 10), standardní odchylka s koeficientem 2



Právě situace, kdy dojde ke přetnutí horního anebo dolního pásma se využívá jako signál k nákupu nebo prodeji aktiva. Daná metoda však funguje jenom tehdy, když ukazovatel, od kterého je indikátor počítán, má tendenci se pravidelně vracet na svou rovnovážní úroveň. My jsme tenhle požadavek splnili úspěšným potvrzením stacionarity proměnné $diff$.

V případě, že časová řada, na kterou je aplikován technický indikátor, je velmi volatilní a způsobuje příliš časté protnutí horního anebo dolního pásma (a tím pádem, příliš mnoho nákupních nebo prodejních signálů), je možné stanovit hladinu k -násobku standardní odchylky, která bude přičítána a odečítána od klouzavého průměru. Čím vyšší bude hodnota násobku (koeficientu), tím bude taky širší rozpětí mezi pásmy a taky méně situací, kdy dojde k protnutí pásem.

Třetí část regresní analýzy spočívá v nahrazení původní vysvětlující proměnné $diff_{t-1}$ její klouzavým průměrem. Pro účely testu byly vybrány klouzavé průměry s periodou 5, 10 a 20. V případě potvrzení statistické významnosti nových ukazatelů (a stejně tak znamének jejich koeficientů), získáme k dispozici důležitý základ pro stavbu obchodního systému, který bude pracovat s výše popsáním technickým indikátorem.

Tabulka č.13 Klouzavý průměr s periodou 5

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.021522	0.011116	1.936090	0.0531
DIFF_LOGDJIA	0.877465	0.010585	82.89983	0.0000
MA5_DIFF	-0.009740	0.005031	-1.936112	0.0531
AR(1)	-0.159736	0.028836	-5.539408	0.0000

Tabulka č.14 Klouzavý průměr s periodou 10

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.025898	0.011263	2.299317	0.0217
DIFF_LOGDJIA	0.877556	0.010592	82.85314	0.0000
MA10_DIFF	-0.011721	0.005097	-2.299331	0.0217
AR(1)	-0.159146	0.028913	-5.504345	0.0000

Tabulka č.15 Klouzavý průměr s periodou 20

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.032804	0.011558	2.838139	0.0046
DIFF_LOGDJIA	0.877066	0.010599	82.74912	0.0000
MA20_DIFF	-0.014846	0.005231	-2.838148	0.0046
AR(1)	-0.156666	0.029045	-5.393852	0.0000

Metoda nejmenších čtverců potvrdila statistickou významnost klouzavých průměrů proměnné $diff_{t-1}$ s periodou 10 a 20, na hladině významnosti 5 %. Klouzavý průměr s periodou 5 se jako statisticky významný na dané hladině významnosti neprojevil (při detailnějším testu, se však projevil jako významný všechny klouzavé průměry od periody 6 a více). Důležité je, že při všech vytvořených

modelech, byla dosažená záporní hodnota regresního koeficientu (a teda regresního vztahu). Stejně jako u verze 0.2, aj tyhle regresní modely mají problém s dosažením normality reziduí (Jarque- Bera test zamítá nulové hypotézy na všech možných hladinách významnosti). Zůstává nám tak se spolehnout na robustnost dat a využít objevený regresní vztah ke stavbě automatického obchodního systému.

3.5 Stavba a optimalizace AOS

Poslední fáze praktické části téhle práce navazuje na výsledky analýz, získaných v předchozích kapitolách. Testy kointegrace nám prokázali existenci provázanosti mezi vybranými akciovými indexy v různých časových rámcích. Pro využití daného vztahu při obchodování bylo potřebné najít proměnnou, která by s určitou statistickou signifikantností (pracovali jsme s hladinou významnosti 5 %) ovlivňovala cenu jednoho nebo druhého indexu. Při regresní analýze jsme zvolili jako závislou proměnnou index Standard & Poor's 500, respektive jeho diferencovanou (pro účely stacionarity proměnné) logaritmovanou (pro účely dosažení homogenity rozptylu) hodnotu. Bylo to z toho důvodu, že CFD na daný index je levnější jako CFD na index Dow Jones Industrial Average 30 (spread za jeden CFD kontrakt na SP500 je 0,4 pipu oproti 1,2 pipu za kontrakt na DJI30)²⁹.

V první části podkapitoly bude představena obchodní platforma a taky brokerská společnost, které služby budeme pro testování našeho automatického obchodního systému využívat. Následně se zaměříme na samotnou obchodní strategii, kterou rozdělíme na procesy vstupu (nákup nebo krátký prodej) a výstupu (uzavření pozice). Pro nalezení optimálních hodnot nákupních a prodejních signálů využijeme proces testování výkonnosti strategii na historických datech (takzvaný backtesting), který rozdělíme do dvou fází (in-sample a out of the sample). V první fázi bude na vybraný vzorek dat aplikován optimalizační proces, který je založen na postupném generování obchodních strategií s různými iteracemi hodnot vstupních a výstupních parametrů, a následným simulováním obchodování. Vytvořené obchodní strategie jsou pak seřazeny podle jejich ziskovosti. Kromě zisku je však dalším faktorem pro hodnocení kvality strategie její rizikovost, měřena maximálním poklesem kapitálu v průběhu obchodování.

Ze všech vytvořených a otestovaných strategií bude vybráno 10 nejúspěšnějších, které budou podrobeny backtestingu na novém vzorku historických dat (out-of-sample). V praxi dosahuje většina vygenerovaných obchodních strategií na nové vzorce dat výrazně rozdílné výsledky, většinou se nadějnější strategie prokáže jako prudce nestabilní a ztrátová. Právě out-of-sample backtesting má za úlohu tyhle strategie odfiltrovat a najít tu, u které má nejlepší poměr mezi ziskovostí a rizikovostí. Míra

²⁹ Podle podmínek platných k datu 3.12.2018

akceptovaného rizika je pro každého investora individuální, obecně se pro obchodování stanovuje hladina maximálního poklesu na úrovni 20-30% z hodnoty kapitálu.

Pro otestování strategie prostřednictvím obchodování v reálném čase bude vytvořen Demo účet u vybrané brokeské společnosti. Výhoda Demo účtu spočívá v tom, že investor má možnost otestovat svou obchodní strategii v reálných podmínkách (při skutečné výšce všech poplatků), bez riskování ztráty vlastního kapitálu. Nasazení obchodního systému na obchodování ze skutečnými penězi je obecně doporučeno až po nějakém čase testování na Demo účtu, když se strategie projeví jako perspektivní a stabilně výdělečná.

3.5.1 Představení obchodní platformy Metatrader

Metatrader patří mezi nejpoužívanější obchodní platformy mezi českými investory (kromě ní, je taky hodně využívána platforma AlgoTrader a NinjaTrader). Umožňuje obchodování na forexovém trhu, future a CFD trzích, prostřednictvím kterých je možné obchodovat produkty, založené na nejznámějších akciových titulech ze Spojených států, Evropy a Asie, akciových indexech, komoditách a nově taky na některých kryptoměnách (bitcoin, ethereum atd.). Metatrader 4 byl vytvořen v roce 2005 ruskou společností MetaQuotes Software, která se zaměřuje na softwarové produkty pro finanční trhy. Svojí popularitu mezi širokou investorskou veřejností si získal díky uživatelskému prostředí, které navzdory široké nabídce funkcí a možností individualizací pro investora, zůstalo intuitivní a jednoduché na obsluhu. Další nespornou výhodou platformy je široká škála nabízených nástrojů pro technickou analýzu, od grafických objektů až po pestrou nabídku technických indikátorů, kterých je již v základní verzi platformy zhruba 30 (a je možné ji rozšířit o další indikátory). Hlavní argument pro využití dané platformy v naší práci je nabízená možnost vyvíjení automatizovaných obchodních systémů.

Metatrader má vlastní programovací jazyk MQL4, který byl založen na konceptu populárního programovacího jazyka C++ a umožňuje kromě tvorby AOS, taky vytváření vlastních technických indikátorů, skriptů, nebo knihoven funkcí. Díky globálnímu rozšíření platformy, existuje množství zdrojů informací a návodů na uživatelských diskusních fórech (nebo prostřednictvím video tutoriálů), které lze při tvorbě individuálních obchodních strategií využít. Pro testování AOS poskytuje platforma možnost backtestování strategií na historických datech (umožňuje i uploading vlastních historických dat) a dokonce umožňuje optimalizaci parametrů pro nákupní a prodejní příkazy (jedná se o jakousi hodně zjednodušenou verzi genetického algoritmu³⁰).

³⁰ Daná téma je přehledně popsána v knize *Genetické algoritmy a genetické programování* od Josefa Hyneka

Pro potenciálního investora (obzvlášť začínajícího) je zajímavý fakt, že používání platformy je bezplatné a mnoho brokerů umožňuje obchodování právě prostřednictvím ní. V případě změny obchodního zprostředkovatele, se pak investor nemusí učit pracovat s novým rozhraním. Metatrader již funguje taky jako mobilní aplikace.

V roce 2010 byl vytvořen nástupce- Metatrader 5 (s programovacím jazykem MetaQuotes Language neboli MQL5). Jeho uživatelské prostředí se výrazně neliší od MT4, změny nastali hlavně v technické oblasti (byl přidán nový způsob obchodování takzvanou přímou výměnou, nové formy čekajících příkazů, širší nabídka časových rámců, vyšší rychlost a spolehlivost zadávání obchodních příkazů apod.). Hlavní nevýhodou nové platformy je však nekompatibilita mezi programovacími jazyky MQL4 a MQL5, bez které není možné přenést vytvořené indikátory a automatické obchodní systémy do nového rozhraní. To je taky důvod, proč mnoho investorů nadále využívá původní Metatrader 4.

V roce 2016 došlo k rozšíření možností platform MT4 a MT5. Nová nadstavba MetaTrader Supreme Edition a přinesla nástroj Mini Terminál, který umožňuje řídit obchodní pokyny (částečné uzavření pozice, stop pokyny založené na čase), poskytuje lepší přehled monitoringu pozic a hlavně přináší ekonomické zpravodajství v reálném čase a ekonomický kalendář.

3.5.2 Představení Admiral Markets AS

Admiral Markets AS je estonská obchodní společnost, licencovaná estonským úřadem pro finanční dohled³¹ pro poskytování mezinárodních brokerských služeb v 28 členských krajínách Evropské unie a ve 3 krajínách Evropského hospodářského prostoru (Island, Norsko a Lichtenštejnsko). Společnost je taky členem Estonského záručního fondu (³²), který poskytuje neprofesionálním zákazníkům dodateční finanční ochranu. Společnost se zaměřuje na poskytování zprostředkovatelských služeb při obchodování na forexových trzích, a CFD trzích, se zaměřením na největší světové akciové tituly, akciové indexy, komodity, dluhopisy a nově taky kryptoměny. Česká národní banka udělila společnosti Admiral Markets AS povolení k přijímání a předávání pokynů týkajících se investičních nástrojů, obchodování s investičními nástroji na vlastní účet, jejich úschovu a správu pro zákazníka, poskytování úvěru, investiční výzkum taky devizové služby, související s poskytováním investičních služeb.

Historie skupiny Admiral Markets

Společnost s původním názvem Admiral Investments & Securities Limited byla založená v roce 2001 v Tallinne. V roce 2007 pak došlo k přejmenování společnosti na její současný název. Přelomový byl

³¹ Estonian Financial Supervision Authority

³² Estonian Guarantee Fund

rok 2009, kdy společnost získala licenci pro vykonávání investičních a brokerských aktivit na finančních trzích, včetně FX trhů, akciových, futures a CFD trhů. Právě získání statusu profesionálního účastníka trhu, který splňuje nejvyšší standardy finančních regulátorů EU, způsobilo razantní nárůst ve výkonnosti společnosti. Následující rok se prostřednictvím akvizice společnosti UMIS, podařil vstup na ruský trh a stejně tak posílení pozice na domácím trhu.

V roce 2010 společnost vstupuje taky na český trh. Společnost nadále rozšiřovala své působení z geografického hlediska a v roce 2011 otevřela svojí pobočku v Austrálii, Čile, Indii a Číně. V roce 2015 v důsledku neočekávaných tržních událostí dosáhla společnost signifikantní ztráty a musela se zaměřit jen na své nejperspektivnější projekty. Zároveň se rozhodla ukončit své působení v Moldavsku, Gruzii, Srbsku a Slovinsku, kde tamní trhy byly příliš malé pro efektivní způsob podnikání. Nejnovější technologické změny v strategii společnosti souvisí ze vstupem na trh kryptoměn, od roku 2017 umožňuje pro investory investování s CFD na Bitcoin, Bitcoin Cash, Ripple, Ethereum a Litecoin. Další technologickou novinkou byla nabídka nové platformy Metatrader 5.

Od 11. ledna 2018 jsou dluhopisy společnosti kótovány na Nasdaq Baltic Bond List spadající pod Nasdaq Tallinn. Celkový objem emise dosáhl 1,8 milionů EUR při ceně 100 € za bond a úrokové sazbě 8 % p. a. a půlročním úročením. Společnost získala 2 roky po sobě britské ocenění UK FOREX awards, za nejlepšího MT4 brokera (v roce 2015) a za nejlepšího poskytovatele vzdělávání v oblasti forexu (Best Forex Educator 2016).

3.5.2 Princip fungování automatického obchodního systému

Náš obchodní model je založený na myšlence využití regresního vztahu mezi námi vytvořenou proměnnou *diff* a diferencovanou logaritmovanou hodnotou indexu Standard & Poor's 500. Díky vytvořenému regresnímu modelu 0.3 očekáváme, že kladné vychýlení hodnoty vysvětlující proměnné *diff* v čase t , bude mít za následek záporní vychýlení logaritmované hodnoty ceny indexu, což můžeme interpretovat jako pokles ceny indexu v čase $t+1$. Stejně tak víme, že existuje obdobný regresní vztah za použití klouzavých průměru proměnné *diff* (s periodou 6 a vyšší) které budou sloužit jako základ pro technický indikátor. Pro praktické využití daného vztahu na obchodování je potřebné stanovit odchylku indikátoru od jeho rovnovážné hodnoty. Rovnovážní hodnotu *diff* vypočteme jako:

$$diff = \log(iMA_{DJI}) - \log(iMA_{SP500})$$

iMA_{DJI} ... klouzavý průměr ceny akciového indexu DJI

iMA_{SP500} ... klouzavý průměr ceny akciového indexu SP500

3.5.3 Vstupní signál

Nákupní, respektive prodejní signál, který vygeneruje náš automatický obchodní systém je založen na vychýlení klouzavého průměru rozdílů logaritmů cen indexů DJI30 a SP500. Vzhledem na výsledek regresní analýzy, která indikovala nepřímou závislost mezi proměnnou *diff* a cenou akciového indexu SP500, bude jako nákupní signál bráno vychýlení *diff* směrem dolů. Když teda rozdíl logaritmů klouzavých průměru DJI30 a SP500 (*diff*) přetne spodní Bollingerovo pásmo (LOWER), náš automatický obchodní systém vstoupí do dlouhé pozice (BUY order). Naopak, když *diff* přetne horní Bollingerove pásmo (UPPER), vstoupíme do krátké pozice (SELL order). Pro nalezení optimální hodnoty k-násobku standardní odchylky, která určuje šířku rozpětí Bollingrových pásem.

Vstupní parametry programu

logDJI... logaritmus ceny indexu DJI30

logSP...logaritmus ceny indexu SP500

diff... (logDJI – log SP)

iStdDev... standardní odchylka ukazatele diff. Její vstupní parametry, které je možné upravovat:

- *ma_period*: perioda klouzavého průměru od kterého je počítaná odchylka
- *ma_shift*: posun klouzavého průměru. Např. hodnota 2 představuje časový horizont t-2
- *ma_method*: typ klouzavého průměru (SIMPLE, EXPONENTIAL...)

iMA... klouzavý průměr parametru diff. Daný ukazatel pracuje, stejně jako iStdDev s parametry *ma_period*, *ma_shift*, *ma_method*.

Coeff... k-násobek standardní odchylky

Doplňující parametry

CountOrder... počítadlo otevřených obchodů. Slouží na stanovení limitu počtu otevřených pozic

3.5.4 Výstupní signál

Pro úspěch obchodní strategie je nezbytnost zvládnutí money managementu, který se snaží minimalizovat ztráty a zajistit dlouhodobou ziskovost strategie. Jeho základem je stanovení míry rizika, respektive maximální ztráty, která může připadat na jednu otevřenou pozici a taky na všechny otevřené pozice současně. Velikost potenciální ztráty z jedné obchodní pozice se odvíjí od velikosti kapitálu,

vloženého do dané pozice a taky od míry vychýlení ceny při uzavírání pozice. Pro příklad, jestli navážeme do jedné obchodní pozice 0,5 % z našeho kapitálu a plánujeme uzavřít pozici při 1 % vychýlení ceny v nepříznivém směru (při koupě aktiva je to pokles jeho ceny, při prodeji aktiva je to naopak nárůst jeho ceny), tak při otevření jedné obchodní pozice riskujeme 0,005% z našeho kapitálu. Pro obchodování s finanční pákou se ovšem míra rizika násobně zvyšuje. Při obchodování s brokerem využíváme maximální nabízené páky 1:500, což by zvýšilo risk z jedné otevřené pozice na 2,5 % z kapitálu.

Pro uzavírání otevřené pozice, při dosažení očekávaného zisku (respektive hraniční ztráty) se používají automatizované obchodní příkazy Stop Loss, Take Profit, případně Trailing Stop.

Stop Loss/ Zastavení ztráty- chrání účet před nepříznivým vývojem na trhu (neboli směrem pohybu obchodovaného aktiva). Při naplnění předem nadefinovaných podmínek uzavírá automaticky otevřenou pozici (jako podmínka pro aktivování Stop Lossu může sloužit předdefinované vychýlení ceny od nákupní resp. prodejní ceny, dále jako aktivátor může sloužit dosažení stanovené ztráty z otevřené pozice, nebo může být založen na technických ukazatelích jako například klouzavý průměr, nebo jiný technický indikátor).³³

Take Profit/ Vybraní zisku- funguje na stejném principu jako Stop Loss, ovšem jedná se o automatické uzavření pozice při dosažení předdefinovaného profitu.

Trailing Stop/ Posuvný stop- na rozdíl od běžného příkazu Stop Loss, který má od začátku fixní úroveň (která určuje, kdy se SL aktivuje), je Trailing Stop je mnohem flexibilnější. V případě, že pohyb ceny aktiva začne vytvářet zisk, bude se jeho hranice pro uzavření obchodu posouvat s ní. Za situace, kdy se cena aktiva pohybuje v neprospěch otevřené pozice, se však hranice nemění. To umožňuje uzavření pozice ze ziskem i v případě, že se vývoj na trhu obrátí v neprospěch investora (pokud předcházející pohyb ceny aktiva posunul hranici Trailing Stopu do kladných čísel).

Risk Reward Ratio (RRR) – představuje poměr mezi potenciální ztrátou a ziskem z obchodu, neboli Stop Loss (SL) a Take Profit (TP). Pro příklad, jestli je příkaz SL nastaven na uzavření pozice při dosažení ztráty 10 Euro a TP uzavírá obchod při zisku 30 Euro, tak hodnota RRR je 1:3. V takovém případě pro dosažení celkového zisku stačí, aby úspěšnost obchodů byla vyšší jako 25 % (neboli alespoň jeden obchod uzavřen prostřednictvím TP připadající na tři obchody, které jsou uzavřené Stop Lossem). V naší obchodní strategii budou využity příkazy Stop Loss a Take Profit , které uzavírají pozici při dosažení zvolené hladiny ztráty, respektive zisku (vyjádřené v absolutních hodnotách, nikoli

³³ E. Acar, S. Satchell, *Advanced trading rules, second edition*

procentech). Vzhledem ke strategické důležitosti tyto příkazy, použijeme pro nalezení jejich nejvhodnějších hodnot proces optimalizace v Metatraderu.

3.5.5 Struktura a tělo automatického obchodního systému

Platforma Metatrader umožňuje vytvoření obchodního systému (Expert Advisor) prostřednictvím specifického programovacího jazyka MQL, který má podobnou syntax jako známý programovací jazyk C, což je pro investory, který s ním mají zkušenosti, velká výhoda. Investoři s méně rozvinutými zkušenostmi v programování, mohou využít širokou nabídku již vytvořených indikátorů, poskytovaných samotnou platformou, popřípadě rozsáhle portfolio technických nástrojů je možné získat z internetové komunity uživatelů platformy. Existují také vývojářské společnosti, které se specializují na tvorbu obchodních systémů na míru, podle požadavků investora.

Samotná struktura programu je poměrně jednoduchá. Záhlaví slouží na definování proměnných, použitých v programu. Podle charakteru proměnné se určuje datový typ, ku kterému bude přidělena:

- **int** - používá se pro proměnné které nabývají hodnoty celých čísel (v našem programu bude tento typ používán nejčastěji)
- **double** – tento typ se používá, jestliže proměnná nabývá hodnoty s desetinným místem
- **bool** – umožňuje proměnné nabýt hodnoty 0 anebo 1. Jedná se o logický typ proměnné
- **string** – daný datový typ ukládá řetězce, tvořené z textových znaků
- **color**- datový typ pro barvu, který se používá při grafickém znázornění technického indikátoru
- **datetime**- slouží na identifikaci času a data, který je využit při obchodní strategii.

Pro fungování programu je důležitá funkce start(), která volá kód uvnitř těla vždy, když dojde ke změně ceny na trhu. Tělo obchodního programu se obvykle skládá z definování technických indikátorů a stanovení způsobu jejich kalkulace. Další významný prvek programu je operátor, který slouží na práci s daty podle stanoveného předpisu. Pro účely našeho systému byl využit podmínkový operátor if- else, který iniciuje nákupní a nebo prodejní příkaz vždy, když jsou splněny předdefinované podmínky.

Samotný příkaz se nazývá OrderSend a pozůstává se z následujících parametrů:

- **Symbol** – definuje typ aktiva, na které se obchodní příkaz vztahuje (SP500)
- **cmd** – představuje typ obchodu (nákup, prodej, případně čekající příkaz)
- **Volume** – objem objednávky, definován v Lotech, případně jeho zlomek
- **Price**- cena, za kterou se má iniciovat obchod (při čekajícím příkaze)
- **Slippage** – maximální akceptovaný skluz mezi zadanou a vykonanou cenou
- **Stop Loss level**- určuje míru posunu od nákupní ceny v nepříznivém směru pro uzavření pozice

- **Take Profit level**- určuje míru posunu od nákupní ceny v příznivém směru pro uzavření pozice
- **Comment**- komentář, který je vygenerován při každé nové otevřené pozici
- **Datetime**- čas, kdy má expirovat objednávka (při čekajícím příkaze)

Pro řízení počtu současně otevřených pozic byl do programu zahrnut kalkulátor Count Order, který je inicializován po každém pohybu ceny na trhu. Daný proces kalkuluje počet aktuálně otevřených pozic a tuhle hodnotu vrací do podmínkového operátora. Program nebere ohled na to jestli jde o nákupní nebo prodejní pozice, důležitý je jejich celkový počet.

Tělo vytvořeného obchodního systému v programovacím jazyce MQL4 – Expert Advisor

Proto aby platforma dokázala aktuální hodnoty proměnné *diff* spočítat, je potřebné nejdříve definovat klouzavý průměr (iMA) a ve druhém kroku ho logaritmovat prostřednictvím operátoru *MathLog*. Všechny generované proměnné jsou typu double, je potřebné pracovat s jejich hodnotami s přesností na více desetinných míst.

```
double currentDJI= iMA("[DJI30]", 0, period, 0, MODE_SMA, PRICE_CLOSE,0);
double currentSP= iMA("[SP500]", 0, period, 0, MODE_SMA, PRICE_CLOSE,0);
double DJI0=MathLog(currentDJI);
double SP0=MathLog(currentSP);
double average0=DJI0-SP0;
```

Výpočet hodnoty proměnné *diff* podle vzorce s nastavitelným posunem (*shift*). Všechny použité klouzavé průměry jsou typu SMA (Simple Moving Average). Kromě jednoduchých klouzavých průměrů lze použít taky exponenciální (EMA), vyhlazený (SMMA) nebo lineárně vážený (LWMA) průměr.

```
double prevDJI= iMA("[DJI30]", 0, period, 0, MODE_SMA, PRICE_CLOSE,shift);
double prevSP= iMA("[SP500]", 0, period, 0, MODE_SMA, PRICE_CLOSE,shift);
double DJI1=MathLog(prevDJI);
double SP1=MathLog(prevSP);
double average1=DJI1-SP1;
```

Vypočet hodnot směrodatných odchylek s nastavitelnou periodou a koeficientem násobku. Opět se jedná o aktuální hodnotu (teda s nulovým posunem) a o zpožděnou hodnotu s nastavitelným posunem.

```
doudle stdevDJI= iStdDev("[DJI30]", 0, period, 0 ,MODE_SMA,PRICE_CLOSE, 0);
double stdevSP= iStdDev("[SP500]", 0, period, 0 ,MODE_SMA,PRICE_CLOSE, 0);
double diff0= Coeff*(stdevDJI-stdevSP);
double Stdev0 = MathLog(diff0);
```

```
double stdevDJI1= iStdDev("[DJI30]", 0, period, 0 ,MODE_SMA,PRICE_CLOSE, shift);
double stdevSP1= iStdDev("[SP500]", 0, period, 0 ,MODE_SMA,PRICE_CLOSE, shift);
double diff1= Coeff*(stdevDJI1-stdevSP1);
double Stdev1 = MathLog(diff1);
```

Proces tvorby Bollingerových pásů je završen přičtením a odečtením logaritmovaných hodnot směrodatných odchylek ku logaritmovaným hodnotám klouzavých průměrů. Aktuální hodnoty odchylek jsou kalkulovány s aktuálními průměry a zpožděné odchylky přislouchají zpožděným průměrům (se stejným koeficientem zpoždění).

```
double high0=average0+(Stdev0);
double low0=average0-(Stdev0);
double high1=average1+(Stdev1);
double low1=average1-(Stdev1);
```

Podmínky pro prodejní příkaz jsou definovány jako protnutí horního Bollingerova pásma proměnnou *diff* (směrem zdola nahoru) a zároveň je potřebné, aby počet aktuálně otevřených obchodu byl nižší jako stanovený limit. V případě splnění podmínek dochází k aktivování příkazu na prodej aktiva (short sell). Všechny prodejné příkazy mají stejně předdefinované parametry (symbol, typ obchodu, velikost pozice, stanovení Stop Lossu a Take Profitu). Vzhledem k tomu, že se nejedná o čekající příkaz ale okamžitou exekuci, tak ostatní parametry jsou nastaveny defaultně.

```
If
((average1<high1) && (average0>high0) && (count_order()<pocet))
{
order = OrderSend ("[SP500]", OP_SELL, size, Bid, 0,Bid+StopLoss, Bid-TakeProfit, NULL, 0,0,NULL);
}
```

Nákupní příkaz je podmíněn protnutím dolního Bollingerova pásma proměnnou *diff*, směrem z horní strany. Protnutí pásma je možné vyjádřit prostřednictvím dvou nerovností. Pokud byla hodnota klouzavého průměru v minulosti vyšší, jako dolní Bollingerovo pásmo a zároveň je její současná hodnota pod aktuální úroveň pásma, tak je zřejmé, že došlo k jeho protnutí. Hlavní rozdíl v parametrech mezi nákupním a prodejním příkazem, byl při stanovování úrovně Stop Loss a Také

```
if
((average1>low1) && (average0<low0) && (count_order()<pocet))
{
order = OrderSend("[SP500]", OP_BUY, size, Ask, 0, Ask-StopLoss, Ask+TakeProfit, NULL, 0, 0, NULL);
}
```

Profit. Prodejní cena se označuje jako Bid a nákupní cena je Ask. Při prodeji se úroveň Stop Lossu stanovuje nad realizovanou cenu a Take Profit pod ní. Při nákupu je situace opačná.

```

int count_order()
{
    int count=0;
    for(int i=0;i<OrdersTotal();i++)
    {
        if(OrderSelect(i,SELECT_BY_POS)==true)
        {
            if(OrderSymbol()==Symbol())
            {
                count=count+1;
            }
        }
    }
}

```

Poslední část programu se nazývá Count order – kalkulátor příkazů. Jeho úlohou je zaznamenat každou novou otevřenou pozici a zároveň eviduje, pokud je pozice uzavřena. Daný proces proběhne s každým pohybem ceny na trhu a vrátí hodnotu count (počet).

3.5.6 Optimalizace a backtestování automatického obchodního systému

Vytvoření obchodního programu, který dokáže na základě přednastavených pravidel uskutečňovat nákupy a prodeje vybraného instrumentu je jenom poloviční část úspěchu. Správní čas vstupu do obchodní pozice, stejně tak jak její opuštění, je klíčem pro dlouhodobé dosahování zisku. Vzhledem k tomu, že automatické obchodní systémy jsou téměř výlučně postaveny na principech technické analýzy, je důležité brát v potaz její principy. Jedním ze základních pilířů technické analýzy tvoří předpoklad, že chování cen obchodovaných aktiv je možné alespoň do jisté míry vysvětlit prostřednictvím statistických vztahů, které platí po dostatečně dlouhou dobu na to, aby jich bylo možné jich využít při obchodování. Pro hledání těchto vzorců chování cen se využívají historické data, na kterých jsou obchodní strategie konstruovány.

In – sample testování (provedeno na historických datech z období 8.6.2018 – 15.6.2018)

Metatrader umožňuje pro nalezení nejoptimálnější kombinaci vstupních a výstupních parametrů automatických obchodních systémů, takzvanou optimalizaci, která spočívá v postupném backtestování strategií při různých hodnotách parametrů proměnných. Výsledkem této optimalizace je seznam strategií, které je možné seřadit podle dosaženého zisku na daných in-sample datech, dále pak podle počet obchodů které daná strategie uskutečnila. Jako jeden z nejdůležitějších ukazatelů úspěšnosti, respektive kvality obchodního systému, můžeme označit takzvaný ziskový faktor, který představuje poměr mezi všemi ziskovými a všemi ztrátovými obchody. Hodnota vyšší jako 1 znamená, že potenciální zisk je vyšší jako potenciální ztráty z obchodů.

Z hlediska stability výnosů je pak velmi důležitý ukazatel drawdown (DD), který může být vyjádřen buď v absolutních hodnotách, nebo jako procento z hodnoty celého portfolia. Drawdown je možné charakterizovat jako největší míru poklesu hodnoty portfolia v stanoveném časovém rámci. Jestliže nám

při backtestingu vyjde hodnota DD 30%, tak víme, že největší kumulovaná ztráta hodnoty portfolia dosáhla 30% z jeho velikosti do času, od kdy jeho hodnota začala znovu narůstat. Posledním ukazatelem, spojením s obchodními strategiemi je počet uskutečněných obchodů. Proto, abychom mohli hodnotit výsledky strategií považovat za relevantní, je potřebné aby každá strategie uskutečnila řádově stovky (optimálně tisíce) obchodů.

Proces optimalizace bude, kromě hledání optimální hodnoty k-násobku směrodatné odchylky (*Coeff*), aplikován taky na periodu, ze které bude počítán klouzavý průměr (*period*) a taky parametry Stop Loss a Take Profit. Proměnná časového posunu (*shift*) zůstane nastavena na hodnotě 1 pro všechny generované strategie (vzhledem k výsledkům regresní analýzy, kde časový posun proměnné *diff* byl testován na úrovni t-1).

Při ladění optimalizačního procesu parametrů jsme se snažili dodržovat zásady money managementu. V praxi to znamená, že Stop Loss může nabít hodnoty od 5 do 15 (parametry jsou vyjádřeny v eurech). Vzhledem ke vstupnímu kapitálu 5 000 euro, se tak jedná o možnou ztrátu z jedné pozice mezi 0,1 % až 0,3 % z celkového kapitálu. Při 40 otevřených obchodních pozicích (tak je maximálně stanovený náš limit) je tak v jednu chvíli riskováno 4 % až 12 % z celkového kapitálu. Od obchodní strategie se obecně očekává, že potenciální zisk z jednoho obchodu bude řádově 2 až 3 – násobně vyšší jako potenciální ztráta. Proto jsme jako hraniční hodnoty proměnné Take Profit nastavili na úroveň 10 až 40.

Parametry limitu počtu otevřených pozic (*pocet*) a velikosti pozice (*lot*) jsme nechali stejné pro všechny generované strategie. Pro optimalizaci strategií nejsou dané parametry klíčové a vytvořené strategie budou lépe kontrolovatelné z hlediska money managementu, když jediná proměnná, která ovlivňuje velikost podstupovaného rizika v jeden moment, bude Stop Loss. Tester strategií, v kterém probíhá backtesting, umožňuje manuální nastavení časového rámce, spreadu nebo období v rámci kterého má být prováděná simulace obchodování. Výsledkem simulace je pak přehledný report o všech uzavřených obchodech a taky graf vývoje hodnoty portfolia v průběhu obchodování.

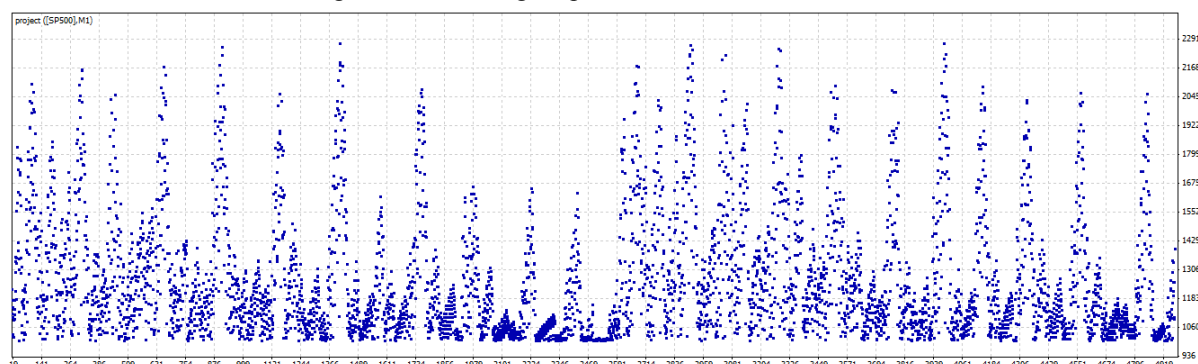
Tabulka č. 16 Optimalizované parametry obchodní strategie.

Premenná	Hodnota	Štart	Krok	Stop
☒ StopLoss	5	5	1	15
☒ TakeProfit	10	10	2	40
☐ pocet	40	40	0	0
☒ Coeff	1	1	1	3
☒ period	6	6	1	20
☐ shift	1	1	1	1
☐ lot	10	10	0	0

Optimalizační proces, který testoval náš automatický obchodný systém vygeneroval 5077 iterací programů s různými hodnotami vstupních a výstupních parametrů, podle námi nastavených kritérií a

následně jich otestoval na in sample vzorku dat (minutová data, období 8. 6. 2018 – 15. 6. 2018). Tyhle strategie byly seřazeny podle dosaženého zisku, ziskového faktoru, očekávaných výnosů (průměrný zisk na jednu transakci) a drawdovnu (absolutní a relativní, vyjádřen jako procento z celkového kapitálu). Všechny 5077 vytvořených strategií je zachycených na grafu č.22, kde jsou uspořádány podle pořadí, v jakém byly generovány (osa X) a jejich ziskovosti (osa Y zobrazuje zůstatek na účte). Každá tečka na grafu představuje jednu iteraci strategie.

Graf č. 22 Grafické zobrazení generování strategií v platformě Metatrader 4



In- sample backtesting strategií bez omezení (08. 06. 2018 – 15.06. 2018)

Nejziskovější nalezená strategie se zhodnotila o více než 109 % v průběhu 5 obchodních dnů. Strategie uskutečnila 5529 obchodních příkazů, z toho 2616 nákupních (z toho 16,36 % vítězných) a 2913 prodejních (z nich bylo 18,37 % ziskových). Strategie je poměrně specifická tím, že její poměr mezi hladinou Take Profitu a Stop Lossu je vyšší, jako je zvýšené. Hodnota Risk Reward Ratia je 5,7 což značí, že pro udržení strategie v černých číslech stačí, aby ziskovost jejich obchodů dosahovala alespoň 15 %.

Tabulka č. 17 Výsledky optimalizace na in-sample datech (DD bez omezení)

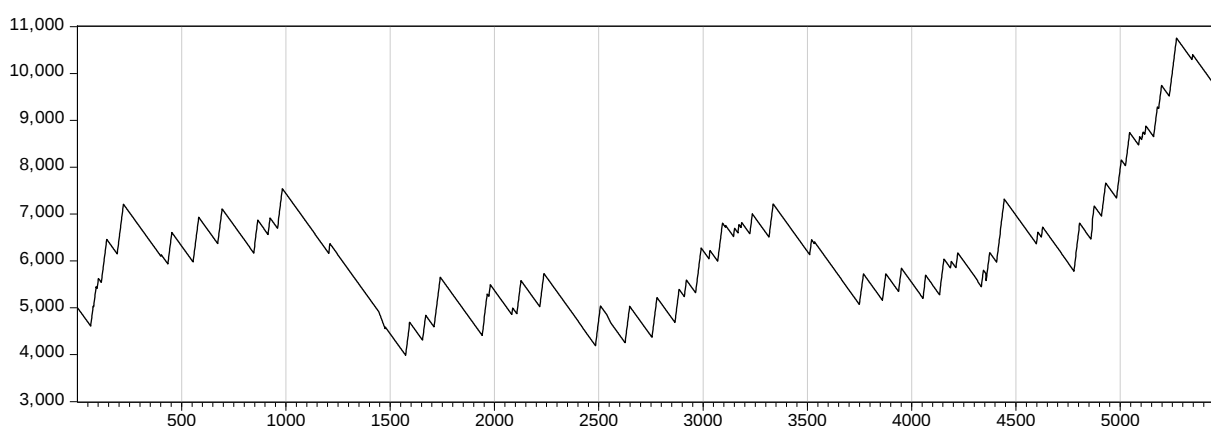
Pořadí	Profit	DD %	zisk. faktor	SL	TP	Coeff	period	shift
1	5 452,54	43,51 %	1.19	7	40	2	8	1
2	5 140,60	40,46 %	1.14	8	20	3	7	1
3	5 034,14	34,89 %	1.13	7	20	2	6	1
4	4 936,38	48,63 %	1.14	7	32	2	12	1
5	4 791,50	25,49 %	1.14	10	30	1	6	1
6	4 570,80	24,81 %	1.15	12	38	1	11	1
7	4 476,39	37,29 %	1.15	10	34	1	10	1
8	4 453,80	38,42 %	1.13	10	40	2	6	1
9	4 417,81	38,05 %	1.14	12	32	1	9	1
10	4 232,26	24,20 %	1.16	8	30	3	13	1

Pohled na graf č. 23 nám naznačuje, že výnosnost strategie č.1 je hodně kolísavá a téměř veškerý zisk byl dosažen až poslední den obchodování. Na konci předposledního obchodovaného dne dosahovala

strategie zhodnocení jenom zhruba 759, 5 euro, což představuje zisk 15 %. Je proto na místě očekávat, že strategie bude mít problém s udržení stability výnosů v delším období.

Následující 3 strategie mají, podobně jako strategie číslo 1, vysokou hladinu Drawdownu. Strategie číslo 2 má vyšší hodnotu koeficientu násobku směrodatné odchylky (Coeff), avšak navzdory očekávání, na počtu otevřených pozic se to nijak neprojevalo (5318 uskutečněných obchodů). Strategie číslo 4 je specifická vysokou hodnotou parametru period, avšak ani tady se nenaplnilo očekávání toho, že zvýšená hodnota daného parametru bude mít vliv na počet uskutečněných obchodů (strategie provedla 5652 obchodů).

Graf č. 23 Vývoj strategie číslo 1 v období 08.6.-15.06.2018 (in-sample data). Osa Y představuje hodnotu účtu



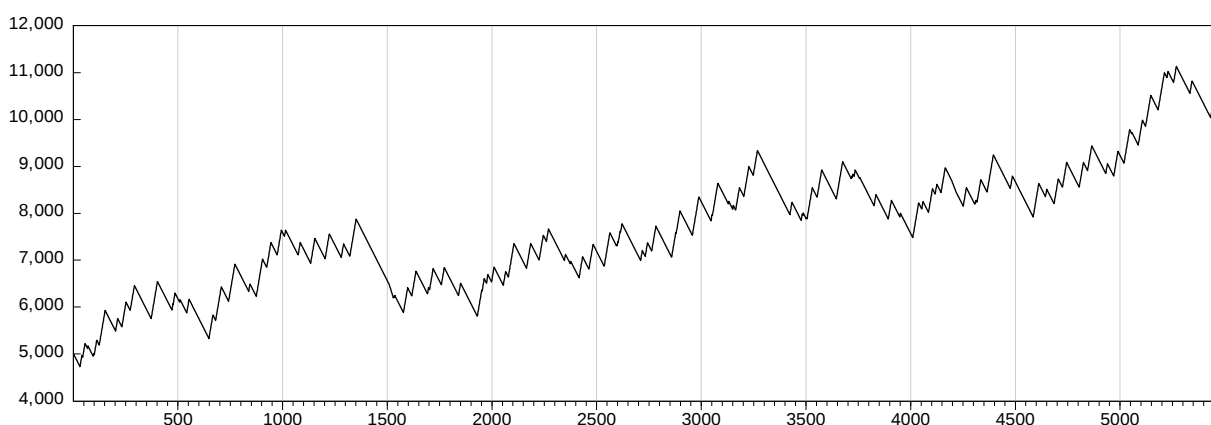
In- sample backtesting strategii s omezením (DD max 30 %) (08. 06. 2018 – 15.06. 2018)

Při stanovení maximální úrovně relativního drawdownu 30 %, dosáhla nejziskovější strategie profit 4791,5 euro, což představuje 95 % z investovaného kapitálu. AOS uskutečnil 5478 obchodů, z kterých 2827 bylo prodejů (jejich úspěšnost byla 27,38%) a 2651 nákupů (z kterých bylo 27,84% úspěšných). Samotný poměr všech úspěšných strategií je relativně nízký (27,6 %), avšak vzhledem na poměrně vysoké Risk Reward Ratio (kterého hodnota je 3) to postačuje na dlouhodobé generování zisku. Tabulka č. 18 Výsledky optimalizace na in-sample datech (DD max 30 %)

Pořadí	Profit	DD %	SL	TP	Coeff	period	shift
x1	4 791,50	25,49 %	10	30	1	6	1
x2	4 570,80	24,81 %	12	38	1	11	1
x3	4 232,26	24,20 %	8	30	3	13	1
x4	4 076,03	21,18 %	6	18	1	12	1
x5	3 975,32	29,54 %	13	24	2	7	1
x6	3 932,46	19,71 %	15	22	1	7	1
x7	3 839,79	22,72 %	9	32	3	7	1
x8	3 664,60	19,02 %	5	16	1	13	1
x9	3 520,91	28,51 %	11	32	1	11	1
x10	3 321,38	24,08 %	8	16	2	12	1

Strategie s nižším DD % jsou výrazně stabilnější a proto působí perspektivněji pro obchodování v reálném čase. Při strategii x1 dosáhl kapitál svojí nejnižší hodnotu 4726,27 eur, což představuje pokles zhruba 5 % pa od té doby jeho hodnota stoupala. Ještě důležitější je, že růst kapitálu byl kontinuální, 4 z 5 obchodovaných dnů skončilo se ziskem, což je nejlepší výsledek ze všech zmíněných obchodních strategií. Druhá nejziskovější strategie má ještě vyšší poměr Risk Reward Ratio (4), který jej umožnil dosáhnout kladný celkový zisk, i když jenom 26,75% všech obchodů bylo uzavřeno příkazem Take Profit.

Graf č. 24 Vývoj strategie x1 (DD 30%) v období 8.6.2018 – 15.6.2018 (in- sample data)



Na opačné straně je z hlediska úspěšnosti uzavřených obchodů, strategie x6 (42,99 % úspěšných obchodů). Její úroveň RRR je však jenom 1,5 a teda zisk z úspěšného obchodu je jenom 1,5 krát vyšší jako ztráta z neúspěšného.

Strategie x1 dosáhla na svém vrcholu hodnotu kapitálu 11 144 euro, což představuje zhodnocení 123%, avšak v průběhu posledního obchodního dne došlo ke korekci a celkový profit se snížil.

Out- of- sample backtesting strategií bez omezení (15. 06. 2018 – 22.06. 2018)

Při testování obchodních strategií na novém vzorku dat, je běžným jevem, že velká část z nich selže. Je to způsobeno tím, že při optimalizaci strategií dochází také k takzvanému přeoptymalizování, kdy úspěch dané strategie podmiňoval vliv náhody. Jednoduše řečeno, čím více kombinací parametrů dané strategie vyzkoušíme, tím více ziskových strategií nalezneme. Problém je, že dané strategie budou ziskové jenom pro dané časové pásmo a nikoliv na nových datech.

Nalezení strategie, která by dlouhodobě generovala zisk při adekvátní míře rizikovitosti je výzva pro každého investora. Hlavní příčinou neúspěchu strategií bývá měnící se vzorce chování na trzích, kterým se naprogramované strategie nedokázali přizpůsobit.

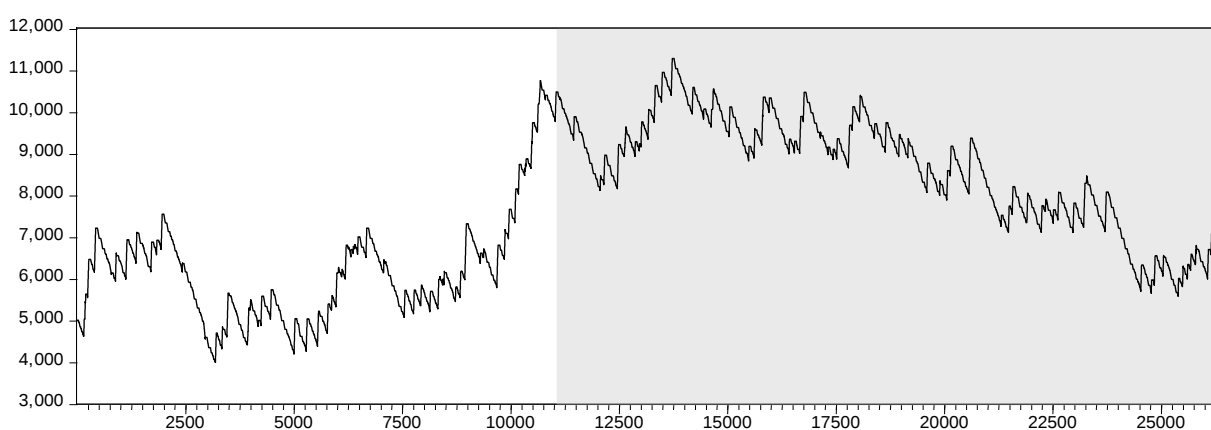
Tabulka č. 19 Výsledky optimalizace na in-sample a out-of-sample datech (DD bez omezení)

Pořadí	Profit (in_sample)	Profit (out of sample)	Drawdown % (in_sample)	Drawdown % (out of sample)
1	5 452,54	-3 198,37	43,51 %	93,18 %
2	5 140,60	1 241,83	40,46 %	77,92 %
3	5 034,14	-477,57	34,89 %	46,14 %
4	4 936,38	-4 716,90	48,63 %	98,34 %
5	4 791,50	4 410,21	25,49 %	24,28 %
6	4 570,80	2 959,05	24,81 %	43,74 %
7	4 476,39	1 855,55	37,29 %	49,08 %
8	4 453,80	7 363,31	38,42 %	22,67 %
9	4 417,81	897,31	38,05 %	42,39 %
10	4 232,26	-74,66	24,20 %	46,88 %

Tabulka č. 19 vychází ze všech vytvořených strategií bez ohledu na to jak rizikově se chovali na in-sample datech. Je zajímavé vidět, jak rozdílné výsledky tyhle strategie dosáhli na nových datech. Strategie číslo 1, 3, 4 a 10 selhali a skončili ze ztrátou. Strategie číslo 2 sice vygenerovala zisk, ten byl však čtyřnásobně nižší jak původní a Drawdown strategie stoupl téměř dvojnásobně.

Naproti tomu, strategie číslo 5 a 8 se osvědčili jak z hlediska profitu, tak podle rizikovosti a obě se jeví jako vhodné pro nasazení na obchodování v reálném čase, první z nich však dosáhla vyšší míry kontinuity mezi in-sample a out-of sample testem.

Graf č. 25 Vývoj strategie číslo 1 v období 8.6.-22.06.2018 (stínovaná oblast, představuje out-of-sample vzorek)



Out-of- sample backtesting strategií s omezením (DD max 30 %) (15. 06. 2018 – 22.06. 2018)

Výsledky strategií, které byly odfiltrovány podle jejich Drawdownu, se na první pohled neliší od výsledku strategií, které filtrovány nebyly. Polovina strategií selhala, přičemž největší propad zaznamenala strategie x4, která při obchodování na nových datech vymazala téměř celý kapitál. Obdobně si počínaly strategie číslo x3, x6, x8 a x10.

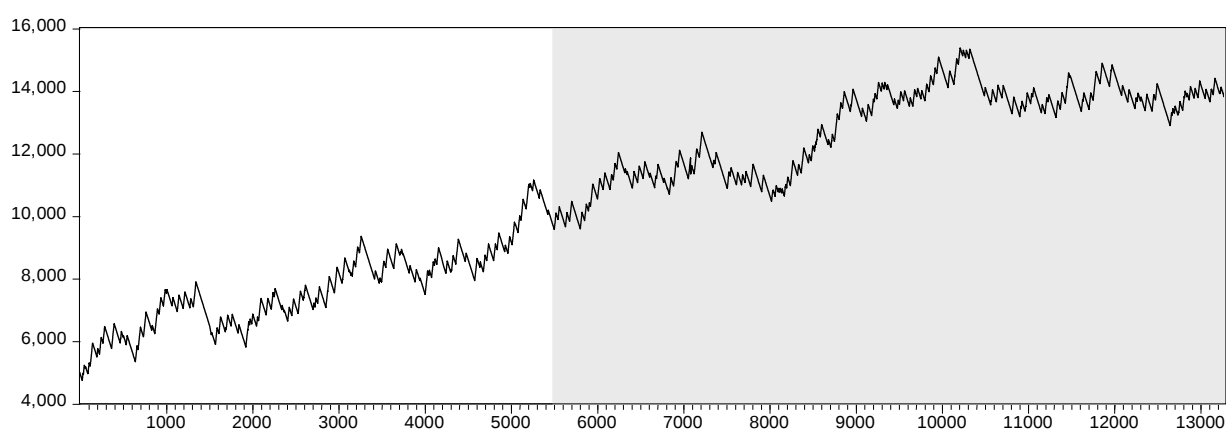
Ze zbývajících strategií se jenom x7 podařilo dosáhnout na nových datech vyšší profit, než jaký zaznamenala na datech původních. Avšak cena za to byla téměř dvojnásobní Drawdown, který indikuje problém strategie se stabilitou. Strategie x2, x5 a x9 si přibližně zachovali svoji ziskovost, avšak taky se výrazně zvýšil propad kapitálu v průběhu obchodování.

Tabulka č.20 Výsledky optimalizace na in-sample a out-of-sample datech (DD max 30%)

Pořadí	Profit (in_sample)	Profit (out of sample)	Drawdown % (in_sample)	Drawdown % (out of sample)
x1	4 791,50	4 410,21	25,49 %	24,28 %
x2	4 570,80	2 959,05	24,81 %	43,74 %
x3	4 232,26	-74,66	24,20 %	46,88 %
x4	4 076,03	-4 698,25	21,18 %	96,71 %
x5	3 975,32	3 928,27	29,54 %	37,91 %
x6	3 932,46	-1 161,41	19,71 %	60,76 %
x7	3 839,79	7 259,69	22,72 %	40,22 %
x8	3 664,60	-2 975,98	19,02 %	76,70 %
x9	3 520,91	3 295,26	28,51 %	40,93 %
x10	3 321,38	-3 071,83	24,08 %	73,73 %

Původně nejziskovější strategie (podle kritéria DD max 30 %) se projevila jako nejvhodnější kandidát pro obchodování v reálném čase. Jedná se o jednu ze dvou strategií, které se prokázali jako neperspektivnější při testování všech vygenerovaných strategií (DD bez omezení). Proto bude vybrána do poslední fázi testu, představeném v následující kapitole. V rámci out-of-sample backtestingu otevřel obchodní systém 7892 pozic, z kterých 4177 bylo prodejních (27,77% ziskových) a 3715 nákupních (25,3 % ziskových) a dosáhl zisk ve 4 obchodních dnů z 5 (stejně jako při in-sample backteste).

Graf č. 26 Výkonnost strategie 1 na in sample a out-of-sample datech (8.6.2018-22.6.2018)



3.6 Testování AOS prostřednictvím obchodování v reálném čase

V průběhu 8 pracovních dní (od 3. do 12. prosince 2018) proběhla simulace obchodování v reálném čase. Časová prodleva mezi backtestingem, který byl založen na historických datech z června 2018 a obchodováním v reálném čase, poslouží na ověření, jestli statistické vztahy mezi akciovými indexy existují dlouhodobě, nebo se jednalo o přechodný jev, způsobený danou situací na finančním trhu.

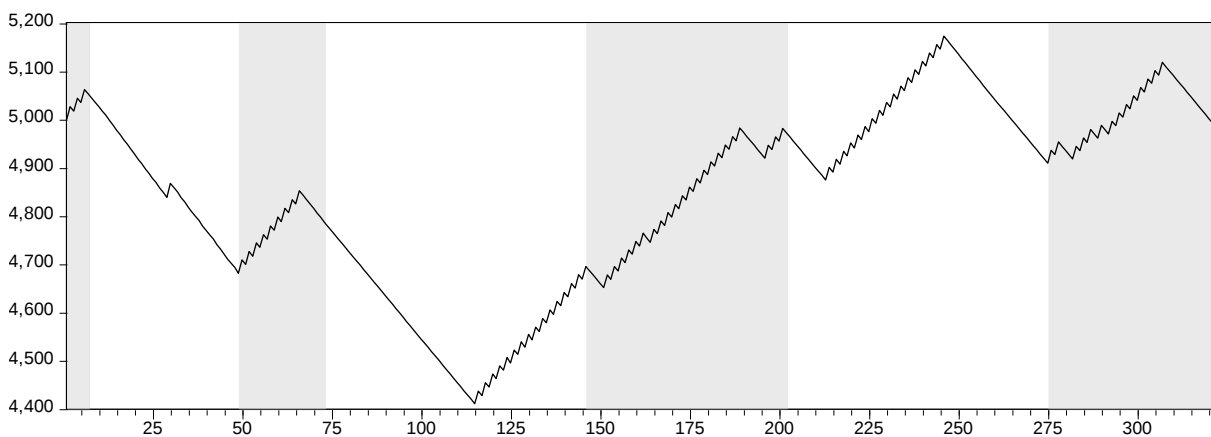
Pro obchodování na demo účtu byla vybrána strategie x1, které hodnoty vstupních a výstupních parametrů jsou:

$$\text{Stop Loss} = 10, \text{ Take Profit} = 30, \text{ Coeff} = 1, \text{ period} = 6, \text{ shift} = 1, \text{ pocet} = 40$$

V čase ukončení testování byla okamžitá hodnota kapitálu 5 204,43 EUR (počáteční kapitál byl nastaven na 5 000 EUR), což by představovalo zhodnocení zhruba 4 %. Jedná se však o hypotetickou hodnotu, která by byla dosažena po okamžitém uzavření všech aktuálně otevřených obchodních pozic, které generovali okamžitý zisk 211,05 EUR (všechny již uzavřené pozice vytvořili naopak ztrátu 6,62 EUR, viz tabulka č. 21). Profit z obchodování je výrazně nižší jak proklamovala strategie z backtestů, na vynesení závěrů o její úspěšnosti by však byl potřebný delší časový úsek pro obchodování a stejně tak více uzavřených obchodů. Strategie dosáhla maximální Drawdown 14,67 %, z hlediska rizikovosti je teda o přibližně 10 % stabilnější jak se původně očekávalo.

Graf č. 27 zobrazuje vývoj hodnoty kapitálu v průběhu obchodování a prostřednictvím stínování od sebe odděluje jednotlivé obchodní dny podle data, byly otevřené pozice. Je vidět, že téměř od počátku obchodování, generovala strategie ztrátu, která se zastavila na hladině 4 410,70 EUR. Od ní se pak odrazila a zpátky na původní hodnotu (5 000 EUR) se dostala až v 7. obchodní den.

Graf č. 27 Hodnota portfolia v průběhu obchodování na demo účtu od 3.12.2018 do 12.12.2018³⁴



Je zřejmé, že frekvence otevírání pozic byla výrazně nižší jako při backtestingu. V průběhu prvních dvou dnů otevřel obchodní systém jenom 10 pozic (5 nákupů a 5 prodejů).

³⁴První stínovaná část grafu (zleva) představuje 2. obchodní den, kdy poprvé došlo k uzavření pozic.

Tabulka č. 21 Výsledky obchodování v reálném čase v období 3.12.2018-12.12.2018

Datum	Typ obchodu	Počet otevřených pozic	Počet uzavřených pozic	Počet ziskových obchodů	Počet ztrátových obchodů	Úspěšnost %	Profit
3.12.2018	Nákup	3	-	-	-	-	-
	Prodej	3	-	-	-	-	-
	Celkem	6	-	-	-	-	-
4.12.2018	Nákup	2	3	0	3	0%	-26,2
	Prodej	2	3	3	0	100%	79,78
	Celkem	4	6	3	3	50%	53,38
5.12.2018	Nákup	28	0	0	0	0%	0
	Prodej	28	20	0	20	0%	-181,35
	Celkem	56	20	0	20	0%	-181,35
6.12.2018	Nákup	4	33	0	33	0%	-331,71
	Prodej	4	13	10	3	77%	246,59
	Celkem	8	46	10	36	22%	-85,12
7.12.2018	Nákup	43	35	9	26	26%	4,19
	Prodej	45	37	6	31	16%	-122,31
	Celkem	88	72	15	57	21%	-118,12
10.12.2018	Nákup	20	28	13	15	46%	208,22
	Prodej	21	29	10	18	36%	95,82
	Celkem	41	57	23	34	40%	304,04
11.12.2018	Nákup	35	35	17	18	49%	288,45
	Prodej	37	35	0	35	0%	-324,63
	Celkem	72	70	17	53	24%	-36,18
12.12.2018	Nákup	13	14	14	0	100%	370,27
	Prodej	32	35	0	35	0%	-313,54
	Celkem	45	49	14	35	29%	56,73

V následujících dnech program otevíral několik desítek obchodů denně a jejich celkový počet se zastavil na 335 (z kterých 320 již bylo uzavřeno). Důvody pro tak signifikantní rozdíl v počtu provedených obchodů mezi backtestinogm a real time tradingem, mohou spočívat v charakteru chování cen indexů (které jednoduše nevytvářeli nákupní a prodejní signály), pravděpodobnější scénář je však selhání kalkulátoru otevřených pozic při backtestingu (tím pádem vstupoval systém do více než 40 pozic současně), nebo samotný proces testování mohl být ovlivněn kvalitou historických dat (navzdory tomu, že tomuhle bodu byla věnovaná osobití pozornost a data byly získány z externího zdroje).

Z hlediska ziskovosti v jednotlivých dnech jsou výsledky strategie kolísavé. Ve 4 dnech (z toho 3 dny v řadě) uzavírala strategie se ztrátou a jenom 3 obchodné dny končili ziskem. Počet dlouhých a krátkých pozic byl téměř shodný v průběhu celé doby obchodování. Celková úspěšnost všech uzavřených obchodu dosáhla 25,7 %. Největší počet výher v řadě byl 7, zatímco při prohrách to bylo 20 obchodů za sebou, které narazili na hranici Stop Lossu.

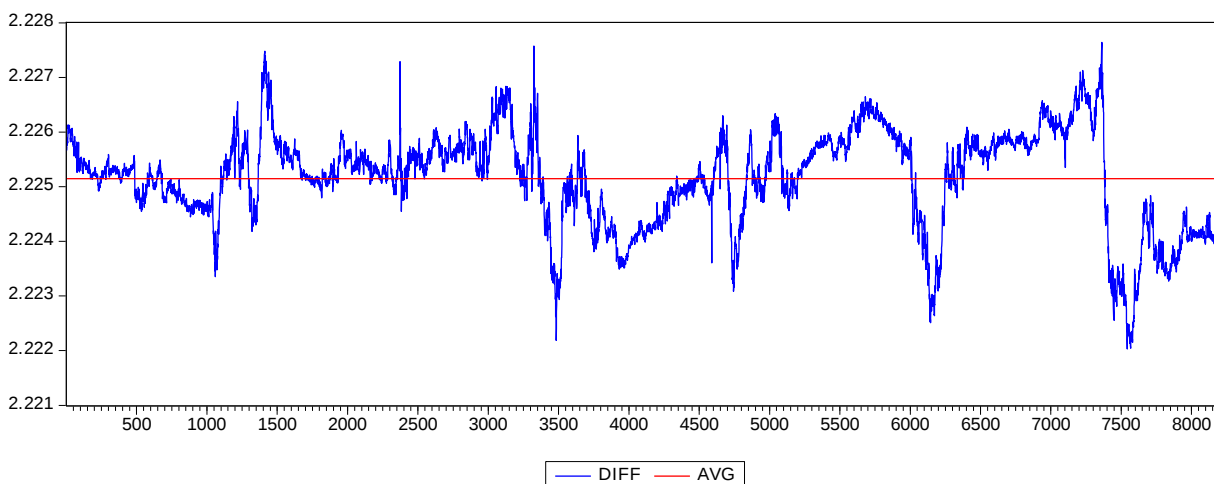
Většina obchodů byla uzavřena v ten samý den, kdy byly otevřené, což znamená, že podíl obchodů, držených přes noc byl relativně nízký (kromě 3. obchodního dne). Tahle skutečnost je důležitá především proto, že společnost Admiral Markets si ve svých platebních podmínkách stanovuje právo účtovat poplatky, související s držbou instrumentů přes noc. Další riziko souvisí s cenovými skoky (neboli gapy), když by se otevírací cena v novém dni výrazněji posunula oproti závěrečné ceně předchozího dne. V takové situaci broker negarantuje, že případná ztráta z pozice nebude vyšší, jako je stanovená hladina Stop Loss.

Zbývajících 15 otevřených pozic představují nákupy, neboli dlouhé pozice. Detail o nákupních cenách, hranicích SL, TP a okamžité hodnotě dané pozice je přiložen v příloze (Tabulka otevřených obchodů ke dnu 12.12.2018).

3.6.1 Kointegrační analýza dat z období obchodování v reálném čase

Doplňková kointegrační analýza dat z období, v kterém probíhalo obchodování v reálném čase, je důležité pro potvrzení, jestli je vztah mezi indexy, na kterém byla založena naše obchodní strategie, stále platný. V případě jeho selhání by nebylo možné prokázat funkční regresní závislost mezi proměnnou *diff* a indexem Standard and Poor's, čímž by strategie ztratila veškerou statistickou oporu a samotná logika jejího fungování by byla chybná.

Graf č.28 Rozdíl logaritmů cen indexů DJI30 a S&P500 (M1 data, 8233 pozorování, období 3.12. – 12.12.2018)



Při pohledu na graf č. 28 se zdá, že proměnná *diff* osciluje kolem její rovnovážní hladiny, navzdory prudkým výkyvům, které ji provázeli. Na potvrzení nebo vyvrácení domněnky použijeme opět Rozšířený Dickey Fullerův test jednotkového kořene. Připomeňme, že dvě časové řady považujeme za kointegrované, jestliže existuje jejich lineární kombinace, která je dlouhodobě stacionární, přičemž ale samotné časové řady jsou nestacionární. Od ADF testu tedy očekáváme zamítnutí nulové hypotézy o

přítomnosti jednotkového kořene proměnné *diff* a zároveň nezamítnutí stejných nulových hypotéz pro logaritmované hodnoty cen indexů.

Tabulka č. 22 Rozšířený Dickey Fulleruv test jednotkového kořene

Typ proměnné	Typ	Zpoždění / Lags	t-statistika	*Prob
M1_ <i>log DJI30</i>	Level/ Intercept	36	-2,05968	0,2614
M1_ <i>log SP500</i>	Level/ Intercept	36	-2,04386	0,2681
M1_ <i>diff</i>	Level/ Intercept	36	-4,27509	0,0005

Na základě p-hodnot testů jednotkového kořene pro všechny 3 časové řady můžeme označit výsledek ADF testu jako příznivý. Na hladině významnosti 5 % se prokázalo, že kointegrační vztah mezi indexy přetrval.

Tabulka č. 23 Engle-Grangeruv test kointegrace (M1 data, 8233 pozorování)

Dependent	tau-statistic	Prob.*	z-statistic	Prob.*
M1	-4.273573	0.0028	-37.80473	0.0012

Jako doplňkový test byl zvolen taky Engle-Grangerův test, kterého kritické hodnoty tau-statistiky a z-statistiky zamítli nulovou hypotézu (na hladině významnosti 5 %) o nepřítomnosti kointegračního vztahu mezi proměnnými.

Závěr

Cílem práce byla identifikace kointegračních vztahů a mezi dvěma obchodovatelnými aktivy a následně jejich využití v reálném tržním prostředí. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, kointegrace je charakterizována jako existence dlouhodobého stabilního vztahu, přestože přesné časové ohraničení pojmu dlouhodobosti není obecně specifikováno. Proto jsme se v naší práci zaměřili na více timeframů, přičemž ten nejdelší zachytával hodinové data za období 3 měsíců od 8. března do 8. června 2018. Jednalo se o 1634 pozorování, které prostřednictvím Engle-Grangerova, Johansenova a ADF testů prokázali existenci provázanosti akciových indexů. Vybrané data představovali historické ceny CFD vázané na indexy S&P 500 a DJIA. Tenhle typ investičních instrumentů byl vybrán v důvodu jejich dostupnosti pro malé investory (Admiral Markets umožňuje obchodování s kapitálem již od 5 000 korun, přičemž minimální objem jednoho obchodu je 0,01 Lotu) a taky bezproblémového stanovování jak nákupních, tak prodejních obchodních příkazů. Obchodní platforma MetaTrader poskytuje individuálním investorům mnoho výhod, z kterých velká část byla při vypracovávání praktické části použita. Především se jedná o možnost tvorby obchodních robotů a jejich testování a optimalizace. Z hlediska individualizace a přizpůsobení nárokům investora, poskytuje platforma širokou nabídku grafických nástrojů pro úpravy grafů a samozřejmě umožňuje taky tvorbu vlastních grafických indikátorů. Autor práce vidí hlavní výhodu platformy v její rozšířené komunitě uživatelů, která představuje bohatý zdroj rad a návodů, ceněných především těmi obchodníky, kteří se obchodování nevěnují profesionálně. Slabá stránka platformy naopak spočívá v poměrně skromné nabídce nástrojů pro backtesting, respektive testování robustnosti strategií na historických datech. Pro tenhle účel slouží lépe platformy jako např. StrategyQuant a podobně.

Celkový koncept fungování vytvořeného obchodního systému se liší od běžných strategií, založených na principu kointegrace. Zatímco „typické“ párové obchodování sleduje ceny obou obchodovaných aktiv a v případě jejich vzájemného vychýlení otevírá současně dlouhou pozici pro záporně vychýlené a krátkou pozici pro kladně vychýlené aktivum, náš systém šel poněkud jinou cestou. Nákupní a prodejní příkazy jsou navázané jenom na CFD na akciový index S&P 500. Jak již bylo zmiňováno, poplatek za otevření pozice (neboli spread) je třetinový oproti poplatku za obchodování s DJIA. Prostřednictvím regresní analýzy jsme pak identifikovali vztah mezi vychýlením rovnovážné hladiny mezi indexy a následným výkyvem ceny indexu S&P 500. Na základě principu technického indikátoru Bollingerova pásma jsme pak vytvořili schéma pro stanovení optimální míry vychýlení dané hladiny pro vstup do obchodní pozice. Pro nalezení těch „správných“ hodnot parametrů pro vstupní a výstupní příkazy, byly využité poněkud okleštěné nástroje, která platforma nabízí. Z hlediska dosažených výsledků z testování na historických datech byla vybrána strategie, která se jevila jako

nejperspektivnější pro obchodování v reálném čase. Po její nasazení na real time trading se však její výsledky neprojeví jako moc přesvědčivé.

Důvody pro nevýrazné výkony strategie se mohou lišit, přičemž jedním z nich může spočívat přímo ve výsledcích regresní analýzy. Ta nám sice prokázala, že mezi vychýlením rovnovážné hladiny a indexem je statisticky významný regresní vztah, ten však vysvětloval jenom část variability vysvětlované proměnné. Kromě ní, obsahoval model autoregresní funkci řádu 1 a taky stacionarizovanou logaritmovanou řadu cen indexu DJIA. V praxi pak bylo obtížné odhadnout, do jaké míry ovlivní výkyv proměnné *diff*, pohyb ceny indexu (obzvlášť když se hodnoty ostatních represorů taky soustavně měnili). Při pohledu na historii provedených obchodů je vidět, že program často vstupoval do opačných pozic v krátkém časovém rozmezí. Tenhle typ strategie by mohl být úspěšný za předpokladu, že signály pro vstupy do pozic by přicházeli těsně před prudkým výkyvem ceny indexu. Tím by se uzavřela jedna pozice na úrovni Stop Loss, ale zároveň by taky cena indexu prorazila úroveň Take Profit z opačné pozice. Z toho vyplývá, že největší problém strategie způsoboval postranní pohyb ceny indexu. Výrazní vliv na ziskovost strategie měli samozřejmě taky stanovené hladiny Stop Loss a Take Profit. Jak již prokázali výsledky backtestů, právě jejich hodnoty měli největší podíl na výsledcích generovaných strategií.

Obecně teda nelze doporučit vytvořenou strategii pro obchodování na reálném účtu, přestože dodatečná analýza prokázala, že kointegrační vztah mezi cenami indexů potrval i v čase probíhajícího obchodování v reálném čase (dokonce dodateční regresní analýza prokázala stejný směr regresní závislosti jako při původních modelech).

Seznam literatury

- [1] Robert F. Engle, C.W.J. Granger (1987): Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*: 251-276
- [2] M. Budíková, M. Králová, B. Maroš, Průvodce základními statistickými metodami, Praha 2010, 233-253, ISBN 978-80-247-3243-5
- [3] Chiranjit Mukhopadhyay, *Driving the Economy through Innovation and Entrepreneurship*, Indian Institute of Science, Bangalore, 2013, 242-244, ISBN 978-81-322-0746-7
- [4] Xin Yan, Xiao Gang Su, *Linear Regression Analysis, Theory and Computing*, British Library 2009, 197-207, ISBN 978-981-283-410-2 ,
- [5] David J. Norman, *CFDs – The definitive Guide to Contracts for Difference*, Harriman House Ltd. 2009 , ISBN 978-1-905641-43-7
- [6] E. Acar, S. Satchell, *Advanced trading rules, second edition*, , Elsevier Science Ltd. 2002, 312-340, ISBN 0-7506-5516X
- [7] Josef Arlt, *Regresní analýza nestacionárních ekonomických časových řad*, Politická ekonomie No.45, VŠE Praha 1997, 281-289 , ISSN 0032-3233
- [8] Josef Hynek, *Genetické algoritmy a genetické programování*, Grada Publication, 2008, ISBN 978-80-247-2695-3
- [9] Lois W. Sayrs, *Pooled Time Series Analysis*, SAGE University, Sage Publications, Inc. 1989, 19-21 , ISBN 0-8039-3160-3
- [10] John Bollinger, *Bollinger on Bollinger bands*, 2002, ISBN 978-0-07-138673-9
- [11] Oldřich Rejnuš, *Finanční trhy, 4. aktualizované vydání*, Grada Publishing, 2014, ISBN 978-80-247-3671
- [12] J. Arlt, M. Artlová, *Ekonomické časové řady 1. vydání*, Praha, Grada Publishing, 2007, ISBN 978-80-247-1319-9
- [13] T. Cipra, *Finanční ekonometrie*, Praha, Ekopress, 2008, ISBN 978-80-86929-43-9
- [14] P. Makovský, *Informační efektivnost devízového trhu, 1. vydání*, Meladrim, 2014, ISBN 978-80-86175-91-1

Seznam článků a internetových zdrojů

- [1] Mark Matthews, *The Evolution of the ETF Industry*, CLS Investments, May 2018, dostupné z: https://www.etftrends.com/etf-strategist-channel/evolution-etf-industry/?utm_source&utm_medium=referral&utm_campaign=nasdaq
- [2] Lisa Kealy et al., *Reshaping around the investor*, *Global ETF Research 2017*, Ernst & Young

- LLP, September 2017, dostupné z: <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-etf-survey-2017/%24FILE/ey-global-etf-survey-2017.pdf>
- [3] Ekkehart Boehmer, Kingsley Fong, Julie Wu. *International evidence of algorithmic trading*, September 2015, dostupné z: http://www.fmaconferences.org/Orlando/Papers/BFW_v11_Sep_17_2015_full.pdf
 - [4] Mathew Baron, Jonathan Brogaard, Andrei Kirilenko. *The Trading Profits of High Frequency Traders*. August 2012, zdroj: <https://www.banqueducanada.ca/wp-content/uploads/2012/11/Brogaard-Jonathan.pdf>
 - [5] Joshua Warner, *Why has high-frequency trading decreased?*, IG Group Limited, December 2018, London, zdroj: <https://www.ig.com/au/trading-opportunities/why-has-high-frequency-trading-decreased-181010>
 - [6] Alice Nušlová, *Pairs Trading at the Prague Stock Exchange*, Univerzita Karlova, spren 2014, zdroj: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/124893/>
 - [7] Josef Arlt, *Informační Bulletin České Statistické Společnosti č. 3*, KPMS MFF UK Praha, ISSN 1210-8022, prosinec 2003; zdroj: <http://www.statapol.cz/bulletiny/ib-03-3.pdf>
 - [8] Martina Ježková, *Kointegrace a její aplikace ve financích*, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Brno, 2013, zdroj: https://is.muni.cz/th/15le4/DP_Martina_Jezkova.pdf
 - [9] John Hudson, *Phillips-Perron (PP) Unit Root Test*, University of Bath, 2013, zdroj: <http://staff.bath.ac.uk/hssjrh/Phillips%20Perron.pdf>
 - [10] Martina Litschmannová, Statistika I., cvičení. Zdroj: <https://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/Cviceni/PDF/14cRegrese.PDF>
 - [11] Charles Zaiontz, Breusch-Godfrey Test, zdroj: <http://www.real-statistics.com/multiple-regression/autocorrelation/breusch-godfrey-test/>
 - [12] C.M. Jarque, A.K. Bera, Jarque – Bera normality test, zdroj: <http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/18AST/18AST-JBtest-zpracovani.pdf>
 - [13] John W. Schoen, *Back to the future: A visual tour of the Dow 30 index*, CNBC, říjen 2017, zdroj: <https://www.cnbc.com/2014/07/02/history-of-dow-30.html>
 - [14] Will Kenton, *Dow Divisor*, Investopedia, April 2018, zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/d/dowdivisor.asp>

Seznam tabulek a grafů

- Tabulka 1. Tabulka kritických hodnot, DW, DF a ADF statistiky
- Tabulka 2. Tabulka intervalů pro zamítnutí H_0 o neautokorelovanosti reziduí
- Tabulka 3. Rozšířený DF test jednotkového kořene
- Tabulka 4. První Johansenův test kointegrace (trace)
- Tabulka 5. Druhý Johansenův test kointegrace (Eigenvalue).
- Tabulka 6. Výstup regresního modelu s vysvětlovanou proměnnou $diff_logSP500_t$
- Tabulka 7. Breusch – Godfrey serial correlation test $H_0: rezidua nejsou autokorelovana$
- Tabulka 8. Breusch Pagan Godfrei test heteroskedasticity
- Tabulka 9. Výstup regresního modelu s vysvětlovanou proměnnou $diff_logSP500_t$
- Tabulka 10. Breusch – Godfrey serial correlation test $H_0: rezidua nejsou autokorelovana$
- Tabulka 11. Breusch Pagan Godfrei test heteroskedasticity
- Tabulka 12. Glejserův test heteroskedasticity
- Tabulka 13. Klouzavý průměr s periodou 5
- Tabulka 14. Klouzavý průměr s periodou 10
- Tabulka 15. Klouzavý průměr s periodou 20
- Tabulka 16. Optimalizované parametry obchodní strategie.
- Tabulka 17. Výsledky optimalizace na in-sample datech (DD bez omezení)
- Tabulka 18. Výsledky optimalizace na in-sample datech (DD max 30 %)
- Tabulka 19. Výsledky optimalizace na in-sample a out-of-sample datech (DD bez omezení)
- Tabulka 20. Výsledky optimalizace na in-sample a out-of-sample datech (DD max 30%)
- Tabulka 21. Výsledky obchodování v reálném čase v období 3.12.2018-12.12.2018
- Tabulka 22. Rozšířený Dickey Fulleruv test jednotkového kořene
- Tabulka 23. Engle-Grangeruv test kointegrace
-
- Graf 1. Analýza a předpověď objemu majetku spravovaného ETF v letech 2008–2020 (v bilionech \$)
- Graf 2. Minimální, průměrná a maximální latence 20 nejobchodovanějších amerických akcií na NYSE

Graf 3. Tržní podíl algoritmického obchodování rozdělený podle třídy aktiv a podle regionu

Graf 4. Tržní podíl algoritmického obchodování rozdělený podle třídy aktiv a podle regionu

Graf 5. Historický vývoj indexu S&P500 (od roku 1973 do 30.11.2018)

Graf 6. Procentuální zhodnocení indexů DJIA a SP500 v letech 1970-2018

Graf 7. Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a S&P 500

Graf 8. Rozdíl mezi logDJ130 a logS&P500

Graf 9. Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (M5)

Graf 10. Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (M5)

Graf 11. Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (M1)

Graf 12. Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (M1)

Graf 13. Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (Sec)

Graf 14. Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (Sec)

Graf 15. Logaritmované hodnoty cen akciových indexů DJIA a SAP 500 (Tick)

Graf 16. Rozdíl mezi logDJIA a logSP500 (Tick)

Graf 17. Rezidua regresního modelu

Graf 18. Jarque Bera test normality reziduí pro model 0.1

Graf 19. Rezidua regresního modelu 0.1

Graf 20. Jarque Bera test normality reziduí pro model 0.2

Graf 21. Bollingerovy pásma klouzavý průměr (perioda 10), standardní odchylka s koeficientem 2

Graf 22. Grafické zobrazení generování strategií v platformě Metatrader 4

Graf 23. Vývoj strategie číslo 1 v období 08.6.-15.06.2018 (in-sample data)

Graf 24. Vývoj strategie x1 (DD 30%) v období 8.6.2018 – 15.6.2018 (in- sample data)

Graf 25. Vývoj strategie číslo 1 v období 8.6.-22.06.2018

Graf 26. Výkonnost strategie 1 na in sample a out-of-sample datech (8.6.2018-22.6.2018)

Graf 27. Hodnota portfolia v průběhu obchodování na demo účtu od 3.12.2018 do 12.12.2018

Graf 28. Rozdíl logaritmů cen indexů DJ130 a S&P500

Seznam příloh

Tabulka otevřených obchodů ke dni 12.12.2018

Čas nákupu	Typ obchodu	Otevírací cena	Stop Loss	Take Profit	Aktuální cena	Profit
12.12.2018 4:11	Nákup	2652.31	2642.31	2682.31	2675,25	20,19
12.12.2018 4:11	Nákup	2652.19	2642.19	2682.19	2675,25	20,30
12.12.2018 4:11	Nákup	2652.06	2642.06	2682.06	2675,25	20,41
12.12.2018 4:30	Nákup	2650.82	2640.82	2680.82	2675,25	21,51
12.12.2018 4:30	Nákup	2650.82	2640.82	2680.82	2675,25	21,51
12.12.2018 12:14	Nákup	2663.63	2653.63	2693.63	2675,25	10,23
12.12.2018 12:14	Nákup	2663.38	2653.38	2693.38	2675,25	10,45
12.12.2018 12:14	Nákup	2663.13	2653.25	2693.25	2675,25	10,67
12.12.2018 12:14	Nákup	2663.13	2653.13	2693.13	2675,25	10,67
12.12.2018 12:40	Nákup	2663.88	2653.88	2693.88	2675,25	10,01
12.12.2018 12:40	Nákup	2663.63	2653.88	2693.88	2675,25	10,23
12.12.2018 12:40	Nákup	2663.63	2653.63	2693.63	2675,25	10,23
12.12.2018 12:40	Nákup	2663.88	2653.88	2693.88	2675,25	10,01
12.12.2018 12:40	Nákup	2663.63	2653.63	2693.63	2675,25	10,23
12.12.2018 13:20	Nákup	2658.89	2648.64	2688.64	2675,25	14,40

Aktuální hodnota otevřených pozic 211,05

Tabulka uzavřených obchodů ke dni 12.12.2018

Account: 23706951 Name: YZ Abc Currency: EUR Leverage: 1:500 2018 December 12, 17:56

Closed Transactions:

Ticket	Open Time	Type	Size	Item	Price	S / L	T / P	Close Time	Price	Commission	Taxes	Swap	Profit
140129634	2018.11.26 22:24:33	balance		Deposit: DEMO									5 000.00
140288348	2018.11.28 21:47:35	buy	1.00	[sp500]	2731.88	0.00	0.00	2018.11.28 21:47:45	2731.23	0.00	0.00	0.00	-0.57
140497671	2018.12.03 21:43:05	sell	1.00	[sp500]	2785.25	2795.25	2755.25	2018.12.04 19:05:10	2755.04	0.00	0.00	-0.07	26.66
140497672	2018.12.03 21:43:05	buy	1.00	[sp500]	2785.65	2775.65	2815.65	2018.12.04 06:21:52	2775.64	0.00	0.00	-0.31	-8.80
140497709	2018.12.03 21:43:53	sell	1.00	[sp500]	2784.51	2794.76	2754.76	2018.12.04 19:05:18	2754.54	0.00	0.00	-0.07	26.45
140497710	2018.12.03 21:43:53	buy	1.00	[sp500]	2784.91	2775.16	2815.16	2018.12.04 06:23:27	2775.14	0.00	0.00	-0.31	-8.59
140497711	2018.12.03 21:43:53	sell	1.00	[sp500]	2784.51	2794.51	2754.51	2018.12.04 19:05:18	2754.29	0.00	0.00	-0.07	26.67
140497712	2018.12.03 21:43:54	buy	1.00	[sp500]	2784.91	2774.91	2814.91	2018.12.04 06:24:01	2774.89	0.00	0.00	-0.31	-8.81
140583163	2018.12.04 23:42:17	sell	1.00	[sp500]	2699.38	2709.38	2669.38	2018.12.05 02:00:00	2709.41	0.00	0.00	-0.06	-8.84
140583164	2018.12.04 23:42:17	buy	1.00	[sp500]	2699.78	2689.78	2729.78	2018.12.06 01:00:38	2689.58	0.00	0.00	-0.60	-8.99
140583165	2018.12.04 23:42:22	sell	1.00	[sp500]	2699.13	2709.13	2669.13	2018.12.05 02:00:00	2709.41	0.00	0.00	-0.06	-9.06
140583166	2018.12.04 23:42:22	buy	1.00	[sp500]	2699.53	2689.53	2729.53	2018.12.06 01:00:39	2689.33	0.00	0.00	-0.60	-8.99
140585620	2018.12.05 01:51:02	sell	1.00	[sp500]	2707.39	2717.39	2677.39	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-8.89
140585621	2018.12.05 01:51:02	buy	1.00	[sp500]	2707.79	2697.79	2737.79	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.87

140585623	2018.12.05 01:51:18	sell	1.00	[sp500]	2707.51	2717.51	2677.51	2018.12.05 15:22:40	2717.98	0.00	0.00	0.00	-9.22
140585624	2018.12.05 01:51:19	buy	1.00	[sp500]	2707.91	2697.91	2737.91	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.98
140585625	2018.12.05 01:51:23	sell	1.00	[sp500]	2707.26	2717.26	2677.26	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-9.00
140585626	2018.12.05 01:51:24	buy	1.00	[sp500]	2707.66	2697.66	2737.66	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.76
140585629	2018.12.05 01:51:26	sell	1.00	[sp500]	2707.51	2717.51	2677.51	2018.12.05 15:22:40	2717.98	0.00	0.00	0.00	-9.22
140585630	2018.12.05 01:51:27	buy	1.00	[sp500]	2707.91	2697.91	2737.91	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.98
140585631	2018.12.05 01:51:29	sell	1.00	[sp500]	2707.39	2717.39	2677.39	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-8.89
140585633	2018.12.05 01:51:29	buy	1.00	[sp500]	2707.79	2697.79	2737.79	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.87
140585635	2018.12.05 01:51:30	sell	1.00	[sp500]	2707.51	2717.51	2677.51	2018.12.05 15:22:40	2717.98	0.00	0.00	0.00	-9.22
140585636	2018.12.05 01:51:30	buy	1.00	[sp500]	2707.91	2697.91	2737.91	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.98
140585637	2018.12.05 01:51:33	sell	1.00	[sp500]	2707.26	2717.26	2677.26	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-9.00
140585638	2018.12.05 01:51:33	buy	1.00	[sp500]	2707.66	2697.66	2737.66	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.76
140585639	2018.12.05 01:51:39	sell	1.00	[sp500]	2707.39	2717.39	2677.39	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-8.89
140585640	2018.12.05 01:51:39	buy	1.00	[sp500]	2707.79	2697.79	2737.79	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.87
140585641	2018.12.05 01:51:41	sell	1.00	[sp500]	2707.26	2717.26	2677.26	2018.12.05 15:22:29	2717.48	0.00	0.00	0.00	-9.00
140585642	2018.12.05 01:51:41	buy	1.00	[sp500]	2707.66	2697.66	2737.66	2018.12.06 01:00:25	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-10.76
140585935	2018.12.05 02:04:08	sell	1.00	[sp500]	2709.76	2719.76	2679.76	2018.12.06 01:00:52	2676.85	0.00	0.00	-0.06	29.00
140585936	2018.12.05 02:04:09	buy	1.00	[sp500]	2710.16	2700.16	2740.16	2018.12.06 01:00:22	2700.08	0.00	0.00	-0.30	-8.88
140588084	2018.12.05 03:11:10	sell	1.00	[sp500]	2707.77	2717.77	2677.77	2018.12.05 15:22:40	2717.98	0.00	0.00	0.00	-8.99
140588086	2018.12.05 03:11:10	buy	1.00	[sp500]	2708.17	2698.17	2738.17	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.21
140588280	2018.12.05 03:20:43	sell	1.00	[sp500]	2708.02	2718.02	2678.02	2018.12.05 15:22:52	2718.23	0.00	0.00	0.00	-8.99
140588281	2018.12.05 03:20:43	buy	1.00	[sp500]	2708.42	2698.42	2738.42	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.43
140588282	2018.12.05 03:20:45	sell	1.00	[sp500]	2708.27	2718.27	2678.27	2018.12.05 15:22:58	2718.98	0.00	0.00	0.00	-9.43
140588283	2018.12.05 03:20:45	buy	1.00	[sp500]	2708.67	2698.67	2738.67	2018.12.06 01:00:25	2698.58	0.00	0.00	-0.30	-8.89
140588284	2018.12.05 03:20:47	sell	1.00	[sp500]	2708.02	2718.02	2678.02	2018.12.05 15:22:52	2718.23	0.00	0.00	0.00	-8.99
140588285	2018.12.05 03:20:47	buy	1.00	[sp500]	2708.42	2698.42	2738.42	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.43
140588287	2018.12.05 03:20:54	sell	1.00	[sp500]	2708.27	2718.27	2678.27	2018.12.05 15:22:58	2718.98	0.00	0.00	0.00	-9.43
140588288	2018.12.05 03:20:55	buy	1.00	[sp500]	2708.67	2698.67	2738.67	2018.12.06 01:00:25	2698.58	0.00	0.00	-0.30	-8.89
140588289	2018.12.05 03:20:55	sell	1.00	[sp500]	2708.02	2718.15	2678.15	2018.12.05 15:22:52	2718.23	0.00	0.00	0.00	-8.99
140588290	2018.12.05 03:20:56	buy	1.00	[sp500]	2708.42	2698.55	2738.55	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.43
140588291	2018.12.05 03:20:56	sell	1.00	[sp500]	2708.02	2718.02	2678.02	2018.12.05 15:22:52	2718.23	0.00	0.00	0.00	-8.99
140588292	2018.12.05 03:20:56	buy	1.00	[sp500]	2708.42	2698.42	2738.42	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.43
140588293	2018.12.05 03:20:59	sell	1.00	[sp500]	2708.27	2718.27	2678.27	2018.12.05 15:22:58	2718.98	0.00	0.00	0.00	-9.43
140588294	2018.12.05 03:20:59	buy	1.00	[sp500]	2708.67	2698.67	2738.67	2018.12.06 01:00:25	2698.58	0.00	0.00	-0.30	-8.89
140588295	2018.12.05 03:21:00	sell	1.00	[sp500]	2708.15	2718.15	2678.15	2018.12.05 15:22:52	2718.23	0.00	0.00	0.00	-8.88
140588296	2018.12.05 03:21:00	buy	1.00	[sp500]	2708.55	2698.55	2738.55	2018.12.06 01:00:26	2695.45	0.00	0.00	-0.30	-11.54
140621439	2018.12.05 16:06:21	sell	1.00	[sp500]	2715.58	2725.45	2685.45	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.63
140621441	2018.12.05 16:06:21	buy	1.00	[sp500]	2715.98	2705.85	2745.85	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.39
140621442	2018.12.05 16:06:21	sell	1.00	[sp500]	2715.58	2725.58	2685.58	2018.12.06 01:00:49	2685.48	0.00	0.00	-0.06	26.53
140621443	2018.12.05 16:06:21	buy	1.00	[sp500]	2715.98	2705.98	2745.98	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.39
140621489	2018.12.05 16:06:45	sell	1.00	[sp500]	2715.33	2725.33	2685.33	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.41
140621491	2018.12.05 16:06:46	buy	1.00	[sp500]	2715.73	2705.73	2745.73	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.17
140621492	2018.12.05 16:06:49	sell	1.00	[sp500]	2715.58	2725.58	2685.58	2018.12.06 01:00:49	2685.48	0.00	0.00	-0.06	26.53

140621493	2018.12.05 16:06:49	buy	1.00	[sp500]	2715.98	2705.98	2745.98	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.39
140621856	2018.12.05 16:14:03	sell	1.00	[sp500]	2715.33	2725.33	2685.33	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.41
140621857	2018.12.05 16:14:03	buy	1.00	[sp500]	2715.73	2705.73	2745.73	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.17
140621858	2018.12.05 16:14:04	sell	1.00	[sp500]	2715.33	2725.45	2685.45	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.41
140621860	2018.12.05 16:14:04	buy	1.00	[sp500]	2715.73	2705.85	2745.85	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.17
140621861	2018.12.05 16:14:04	sell	1.00	[sp500]	2715.33	2725.33	2685.33	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.41
140621863	2018.12.05 16:14:04	buy	1.00	[sp500]	2715.73	2705.73	2745.73	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-9.17
140621867	2018.12.05 16:14:10	sell	1.00	[sp500]	2715.08	2725.08	2685.08	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.19
140621869	2018.12.05 16:14:10	buy	1.00	[sp500]	2715.23	2705.48	2745.48	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-8.72
140621910	2018.12.05 16:14:43	sell	1.00	[sp500]	2715.08	2725.08	2685.08	2018.12.06 01:00:50	2684.23	0.00	0.00	-0.06	27.19
140621912	2018.12.05 16:14:43	buy	1.00	[sp500]	2715.48	2705.48	2745.48	2018.12.06 01:00:16	2705.33	0.00	0.00	-0.30	-8.94
140683985	2018.12.06 14:51:01	sell	1.00	[sp500]	2655.83	2665.95	2625.95	2018.12.06 15:29:48	2666.23	0.00	0.00	0.00	-9.15
140683986	2018.12.06 14:51:02	buy	1.00	[sp500]	2656.23	2646.35	2686.35	2018.12.06 16:54:04	2645.33	0.00	0.00	0.00	-9.57
140683989	2018.12.06 14:51:02	sell	1.00	[sp500]	2656.08	2666.08	2626.08	2018.12.06 15:29:48	2666.23	0.00	0.00	0.00	-8.93
140683990	2018.12.06 14:51:03	buy	1.00	[sp500]	2656.48	2646.48	2686.48	2018.12.06 16:54:04	2645.33	0.00	0.00	0.00	-9.79
140683991	2018.12.06 14:51:05	sell	1.00	[sp500]	2656.33	2666.33	2626.33	2018.12.06 15:29:54	2666.60	0.00	0.00	0.00	-9.04
140683992	2018.12.06 14:51:06	buy	1.00	[sp500]	2656.73	2646.73	2686.73	2018.12.06 16:54:04	2645.33	0.00	0.00	0.00	-10.01
140731609	2018.12.06 23:53:01	sell	1.00	[sp500]	2693.74	2703.74	2663.74	2018.12.07 16:40:48	2703.94	0.00	0.00	-0.06	-8.95
140731610	2018.12.06 23:53:01	buy	1.00	[sp500]	2694.14	2684.14	2724.14	2018.12.07 03:51:09	2683.97	0.00	0.00	-0.30	-8.94
140736483	2018.12.07 03:41:00	sell	1.00	[sp500]	2688.22	2698.22	2658.22	2018.12.07 16:38:05	2698.23	0.00	0.00	0.00	-8.79
140736484	2018.12.07 03:41:00	buy	1.00	[sp500]	2688.62	2678.62	2718.62	2018.12.07 09:30:50	2678.25	0.00	0.00	0.00	-9.12
140736486	2018.12.07 03:41:46	sell	1.00	[sp500]	2688.46	2698.46	2658.46	2018.12.07 16:38:05	2698.48	0.00	0.00	0.00	-8.80
140736487	2018.12.07 03:41:46	buy	1.00	[sp500]	2688.86	2678.86	2718.86	2018.12.07 09:30:50	2678.75	0.00	0.00	0.00	-8.89
140737622	2018.12.07 04:24:04	sell	1.00	[sp500]	2685.97	2695.97	2655.97	2018.12.07 15:41:47	2696.19	0.00	0.00	0.00	-8.98
140737623	2018.12.07 04:24:04	buy	1.00	[sp500]	2686.37	2676.37	2716.37	2018.12.07 09:39:46	2676.26	0.00	0.00	0.00	-8.89
140737624	2018.12.07 04:24:05	sell	1.00	[sp500]	2685.72	2695.72	2655.72	2018.12.07 15:41:47	2695.94	0.00	0.00	0.00	-8.98
140737625	2018.12.07 04:24:05	buy	1.00	[sp500]	2686.12	2676.12	2716.12	2018.12.07 09:39:54	2676.01	0.00	0.00	0.00	-8.89
140737626	2018.12.07 04:24:08	sell	1.00	[sp500]	2685.97	2695.97	2655.97	2018.12.07 15:41:47	2696.19	0.00	0.00	0.00	-8.98
140737627	2018.12.07 04:24:08	buy	1.00	[sp500]	2686.37	2676.37	2716.37	2018.12.07 09:39:46	2676.26	0.00	0.00	0.00	-8.89
140738857	2018.12.07 05:13:04	sell	1.00	[sp500]	2685.22	2695.22	2655.22	2018.12.07 15:41:21	2695.44	0.00	0.00	0.00	-8.97
140738858	2018.12.07 05:13:04	buy	1.00	[sp500]	2685.62	2675.62	2715.62	2018.12.07 09:39:55	2675.51	0.00	0.00	0.00	-8.89
140738866	2018.12.07 05:13:50	sell	1.00	[sp500]	2685.72	2695.72	2655.72	2018.12.07 15:41:47	2695.94	0.00	0.00	0.00	-8.98
140738867	2018.12.07 05:13:50	buy	1.00	[sp500]	2686.12	2676.12	2716.12	2018.12.07 09:39:54	2676.01	0.00	0.00	0.00	-8.89
140738868	2018.12.07 05:13:53	sell	1.00	[sp500]	2685.60	2695.60	2655.60	2018.12.07 15:41:40	2695.69	0.00	0.00	0.00	-8.86
140738869	2018.12.07 05:13:54	buy	1.00	[sp500]	2686.00	2676.00	2716.00	2018.12.07 09:39:55	2675.51	0.00	0.00	0.00	-9.23
140738870	2018.12.07 05:13:56	sell	1.00	[sp500]	2685.47	2695.47	2655.47	2018.12.07 15:41:40	2695.69	0.00	0.00	0.00	-8.98
140738871	2018.12.07 05:13:56	buy	1.00	[sp500]	2685.87	2675.87	2715.87	2018.12.07 09:39:55	2675.51	0.00	0.00	0.00	-9.11
140738873	2018.12.07 05:13:57	sell	1.00	[sp500]	2685.60	2695.60	2655.60	2018.12.07 15:41:40	2695.69	0.00	0.00	0.00	-8.86
140738874	2018.12.07 05:13:57	buy	1.00	[sp500]	2686.00	2676.00	2716.00	2018.12.07 09:39:55	2675.51	0.00	0.00	0.00	-9.23
140738875	2018.12.07 05:14:01	sell	1.00	[sp500]	2685.47	2695.47	2655.47	2018.12.07 15:41:40	2695.69	0.00	0.00	0.00	-8.98
140738876	2018.12.07 05:14:01	buy	1.00	[sp500]	2685.87	2675.87	2715.87	2018.12.07 09:39:55	2675.51	0.00	0.00	0.00	-9.11
140738919	2018.12.07 05:16:59	sell	1.00	[sp500]	2685.72	2695.72	2655.72	2018.12.07 15:41:47	2695.94	0.00	0.00	0.00	-8.98
140738920	2018.12.07 05:16:59	buy	1.00	[sp500]	2686.12	2676.12	2716.12	2018.12.07 09:39:54	2676.01	0.00	0.00	0.00	-8.89

140739220	2018.12.07 05:30:01	sell	1.00	[sp500]	2687.22	2697.22	2657.22	2018.12.07 15:42:01	2697.44	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739222	2018.12.07 05:30:01	buy	1.00	[sp500]	2687.62	2677.62	2717.62	2018.12.07 09:32:47	2677.51	0.00	0.00	0.00	-8.89
140739228	2018.12.07 05:30:20	sell	1.00	[sp500]	2686.97	2696.97	2656.97	2018.12.07 15:42:00	2697.19	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739229	2018.12.07 05:30:21	buy	1.00	[sp500]	2687.37	2677.37	2717.37	2018.12.07 09:33:12	2677.26	0.00	0.00	0.00	-8.89
140739232	2018.12.07 05:30:23	sell	1.00	[sp500]	2687.22	2697.22	2657.22	2018.12.07 15:42:01	2697.44	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739233	2018.12.07 05:30:23	buy	1.00	[sp500]	2687.62	2677.62	2717.62	2018.12.07 09:32:47	2677.51	0.00	0.00	0.00	-8.89
140739241	2018.12.07 05:30:44	sell	1.00	[sp500]	2686.97	2696.97	2656.97	2018.12.07 15:42:00	2697.19	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739242	2018.12.07 05:30:45	buy	1.00	[sp500]	2687.62	2677.37	2717.37	2018.12.07 09:33:12	2677.26	0.00	0.00	0.00	-9.11
140739243	2018.12.07 05:30:45	sell	1.00	[sp500]	2687.22	2697.22	2657.22	2018.12.07 15:42:01	2697.44	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739244	2018.12.07 05:30:45	buy	1.00	[sp500]	2687.62	2677.62	2717.62	2018.12.07 09:32:47	2677.51	0.00	0.00	0.00	-8.89
140739245	2018.12.07 05:30:46	sell	1.00	[sp500]	2687.10	2697.10	2657.10	2018.12.07 15:42:00	2697.19	0.00	0.00	0.00	-8.86
140739246	2018.12.07 05:30:46	buy	1.00	[sp500]	2687.50	2677.50	2717.50	2018.12.07 09:33:12	2677.26	0.00	0.00	0.00	-9.01
140739247	2018.12.07 05:30:47	sell	1.00	[sp500]	2686.97	2696.97	2656.97	2018.12.07 15:42:00	2697.19	0.00	0.00	0.00	-8.98
140739248	2018.12.07 05:30:47	buy	1.00	[sp500]	2687.37	2677.37	2717.37	2018.12.07 09:33:12	2677.26	0.00	0.00	0.00	-8.89
140739249	2018.12.07 05:30:51	sell	1.00	[sp500]	2687.22	2697.22	2657.22	2018.12.07 15:42:01	2697.44	0.00	0.00	0.00	-8.98
140755080	2018.12.07 11:09:01	sell	1.00	[sp500]	2675.55	2685.30	2645.30	2018.12.07 15:27:30	2685.85	0.00	0.00	0.00	-9.06
140755081	2018.12.07 11:09:02	buy	1.00	[sp500]	2675.95	2665.70	2705.70	2018.12.07 16:41:47	2705.78	0.00	0.00	0.00	26.18
140755082	2018.12.07 11:09:02	sell	1.00	[sp500]	2675.55	2685.55	2645.55	2018.12.07 15:27:30	2685.85	0.00	0.00	0.00	-9.06
140755083	2018.12.07 11:09:02	buy	1.00	[sp500]	2675.95	2665.95	2705.95	2018.12.07 16:41:53	2706.15	0.00	0.00	0.00	26.50
140755084	2018.12.07 11:09:05	sell	1.00	[sp500]	2675.80	2685.80	2645.80	2018.12.07 15:27:30	2685.85	0.00	0.00	0.00	-8.84
140755085	2018.12.07 11:09:05	buy	1.00	[sp500]	2676.20	2666.20	2706.20	2018.12.07 16:41:53	2706.53	0.00	0.00	0.00	26.62
140764801	2018.12.07 13:49:11	sell	1.00	[sp500]	2676.56	2686.56	2646.56	2018.12.07 15:30:14	2686.85	0.00	0.00	0.00	-9.03
140764802	2018.12.07 13:49:12	buy	1.00	[sp500]	2676.96	2666.96	2706.96	2018.12.07 16:41:57	2707.03	0.00	0.00	0.00	26.39
140764803	2018.12.07 13:49:12	sell	1.00	[sp500]	2676.31	2686.31	2646.31	2018.12.07 15:30:14	2686.85	0.00	0.00	0.00	-9.25
140764804	2018.12.07 13:49:12	buy	1.00	[sp500]	2676.71	2666.71	2706.71	2018.12.07 16:41:57	2706.78	0.00	0.00	0.00	26.39
140768909	2018.12.07 14:53:08	sell	1.00	[sp500]	2676.96	2686.96	2646.96	2018.12.07 15:30:21	2689.85	0.00	0.00	0.00	-11.31
140768911	2018.12.07 14:53:08	buy	1.00	[sp500]	2677.36	2667.36	2707.36	2018.12.07 16:42:17	2707.40	0.00	0.00	0.00	26.36
140768912	2018.12.07 14:53:09	sell	1.00	[sp500]	2677.08	2686.83	2646.83	2018.12.07 15:30:14	2686.85	0.00	0.00	0.00	-8.58
140768913	2018.12.07 14:53:09	buy	1.00	[sp500]	2677.48	2667.23	2707.23	2018.12.07 16:42:02	2707.27	0.00	0.00	0.00	26.14
140768915	2018.12.07 14:53:09	sell	1.00	[sp500]	2677.08	2687.08	2647.08	2018.12.07 15:30:21	2689.85	0.00	0.00	0.00	-11.20
140768917	2018.12.07 14:53:10	buy	1.00	[sp500]	2677.36	2667.48	2707.48	2018.12.07 16:42:17	2707.52	0.00	0.00	0.00	26.47
140768918	2018.12.07 14:53:10	sell	1.00	[sp500]	2676.96	2686.96	2646.96	2018.12.07 15:30:21	2689.85	0.00	0.00	0.00	-11.31
140768919	2018.12.07 14:53:10	buy	1.00	[sp500]	2677.36	2667.36	2707.36	2018.12.07 16:42:17	2707.40	0.00	0.00	0.00	26.36
140768920	2018.12.07 14:53:11	sell	1.00	[sp500]	2676.83	2686.83	2646.83	2018.12.07 15:30:14	2686.85	0.00	0.00	0.00	-8.80
140785646	2018.12.07 17:02:00	sell	1.00	[sp500]	2700.51	2710.38	2670.38	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	26.76
140785647	2018.12.07 17:02:01	buy	1.00	[sp500]	2700.78	2690.78	2730.78	2018.12.07 17:13:22	2690.64	0.00	0.00	0.00	-8.91
140785648	2018.12.07 17:02:01	sell	1.00	[sp500]	2700.38	2710.38	2670.38	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	26.64
140785649	2018.12.07 17:02:01	buy	1.00	[sp500]	2700.78	2690.78	2730.78	2018.12.07 17:13:22	2690.64	0.00	0.00	0.00	-8.91
140785731	2018.12.07 17:02:40	sell	1.00	[sp500]	2700.38	2710.38	2670.38	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	26.64
140785735	2018.12.07 17:02:40	buy	1.00	[sp500]	2700.53	2690.78	2730.78	2018.12.07 17:13:22	2690.64	0.00	0.00	0.00	-8.69
140785750	2018.12.07 17:02:53	sell	1.00	[sp500]	2700.88	2710.88	2670.88	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	27.08
140785751	2018.12.07 17:02:55	buy	1.00	[sp500]	2701.28	2691.28	2731.28	2018.12.07 17:13:22	2691.14	0.00	0.00	0.00	-8.91
140785755	2018.12.07 17:02:56	sell	1.00	[sp500]	2701.13	2711.13	2671.13	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	27.30

140785756	2018.12.07 17:02:56	buy	1.00	[sp500]	2701.53	2691.53	2731.53	2018.12.07 17:13:21	2691.39	0.00	0.00	0.00	-8.91
140785760	2018.12.07 17:02:58	sell	1.00	[sp500]	2701.38	2711.25	2671.25	2018.12.07 17:36:27	2670.05	0.00	0.00	0.00	27.52
140785772	2018.12.07 17:03:04	buy	1.00	[sp500]	2702.28	2691.65	2731.65	2018.12.07 17:13:15	2691.63	0.00	0.00	0.00	-9.35
140819798	2018.12.07 23:39:45	sell	1.00	[sp500]	2635.54	2645.54	2605.54	2018.12.10 17:43:23	2605.46	0.00	0.00	-0.19	26.37
140819799	2018.12.07 23:39:45	buy	1.00	[sp500]	2635.94	2625.94	2665.94	2018.12.10 01:00:00	2626.47	0.00	0.00	-0.87	-8.31
140820138	2018.12.07 23:58:05	sell	1.00	[sp500]	2634.42	2644.42	2604.42	2018.12.10 15:20:57	2644.46	0.00	0.00	-0.19	-8.79
140820139	2018.12.07 23:58:05	buy	1.00	[sp500]	2634.82	2624.82	2664.82	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-8.97
140820142	2018.12.07 23:58:10	sell	1.00	[sp500]	2634.29	2644.29	2604.29	2018.12.10 15:20:57	2644.46	0.00	0.00	-0.19	-8.90
140820144	2018.12.07 23:58:10	buy	1.00	[sp500]	2634.69	2624.69	2664.69	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-8.85
140820145	2018.12.07 23:58:11	sell	1.00	[sp500]	2634.54	2644.54	2604.54	2018.12.10 17:44:22	2604.47	0.00	0.00	-0.19	26.36
140820148	2018.12.07 23:58:11	buy	1.00	[sp500]	2634.94	2624.94	2664.94	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.07
140820180	2018.12.07 23:58:31	sell	1.00	[sp500]	2634.79	2644.79	2604.79	2018.12.10 17:44:22	2604.47	0.00	0.00	-0.19	26.58
140820181	2018.12.07 23:58:31	buy	1.00	[sp500]	2635.19	2625.19	2665.19	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.29
140820186	2018.12.07 23:58:35	sell	1.00	[sp500]	2634.67	2644.67	2604.67	2018.12.10 17:44:22	2604.47	0.00	0.00	-0.19	26.48
140820188	2018.12.07 23:58:35	buy	1.00	[sp500]	2635.07	2625.07	2665.07	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.19
140820191	2018.12.07 23:58:35	sell	1.00	[sp500]	2634.54	2644.54	2604.54	2018.12.10 17:44:22	2604.47	0.00	0.00	-0.19	26.36
140820194	2018.12.07 23:58:36	buy	1.00	[sp500]	2634.94	2624.94	2664.94	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.07
140820200	2018.12.07 23:58:42	sell	1.00	[sp500]	2634.79	2644.79	2604.79	2018.12.10 17:44:22	2604.47	0.00	0.00	-0.19	26.58
140820201	2018.12.07 23:58:42	buy	1.00	[sp500]	2635.19	2625.19	2665.19	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.29
140820206	2018.12.07 23:58:49	sell	1.00	[sp500]	2635.04	2645.04	2605.04	2018.12.10 17:43:31	2604.97	0.00	0.00	-0.19	26.36
140820207	2018.12.07 23:58:50	buy	1.00	[sp500]	2635.44	2625.44	2665.44	2018.12.10 01:00:00	2624.60	0.00	0.00	-0.87	-9.51
140833159	2018.12.10 04:49:03	sell	1.00	[sp500]	2612.36	2622.36	2582.36	2018.12.10 09:02:02	2622.78	0.00	0.00	0.00	-9.12
140833160	2018.12.10 04:49:03	buy	1.00	[sp500]	2612.77	2602.77	2642.77	2018.12.10 15:20:55	2642.94	0.00	0.00	0.00	26.41
140833161	2018.12.10 04:49:03	sell	1.00	[sp500]	2612.61	2622.61	2582.61	2018.12.10 09:02:02	2622.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140833163	2018.12.10 04:49:04	buy	1.00	[sp500]	2613.02	2603.02	2643.02	2018.12.10 15:20:56	2643.19	0.00	0.00	0.00	26.41
140833165	2018.12.10 04:49:04	sell	1.00	[sp500]	2612.36	2622.36	2582.36	2018.12.10 09:02:02	2622.78	0.00	0.00	0.00	-9.12
140833166	2018.12.10 04:49:05	buy	1.00	[sp500]	2612.77	2602.77	2642.77	2018.12.10 15:20:55	2642.94	0.00	0.00	0.00	26.41
140833167	2018.12.10 04:49:05	sell	1.00	[sp500]	2612.48	2622.48	2582.48	2018.12.10 09:02:02	2622.78	0.00	0.00	0.00	-9.01
140833168	2018.12.10 04:49:06	buy	1.00	[sp500]	2612.88	2602.88	2642.88	2018.12.10 15:20:55	2642.94	0.00	0.00	0.00	26.32
140833169	2018.12.10 04:49:06	sell	1.00	[sp500]	2612.61	2622.61	2582.61	2018.12.10 09:02:02	2622.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140833170	2018.12.10 04:49:07	buy	1.00	[sp500]	2613.02	2603.02	2643.02	2018.12.10 15:20:56	2643.19	0.00	0.00	0.00	26.41
140833172	2018.12.10 04:49:09	sell	1.00	[sp500]	2613.11	2622.86	2582.86	2018.12.10 09:02:02	2623.03	0.00	0.00	0.00	-8.68
140833173	2018.12.10 04:49:09	buy	1.00	[sp500]	2613.52	2603.27	2643.27	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.74
140833862	2018.12.10 05:11:07	sell	1.00	[sp500]	2613.48	2623.48	2583.48	2018.12.10 09:02:26	2623.52	0.00	0.00	0.00	-8.79
140833863	2018.12.10 05:11:07	buy	1.00	[sp500]	2613.89	2603.89	2643.89	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.41
140833864	2018.12.10 05:11:10	sell	1.00	[sp500]	2613.61	2623.61	2583.61	2018.12.10 09:20:40	2623.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140833865	2018.12.10 05:11:10	buy	1.00	[sp500]	2614.02	2604.02	2644.02	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.30
140833867	2018.12.10 05:11:14	sell	1.00	[sp500]	2613.36	2623.36	2583.36	2018.12.10 09:02:27	2623.52	0.00	0.00	0.00	-8.89
140833868	2018.12.10 05:11:14	buy	1.00	[sp500]	2613.77	2603.77	2643.77	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.52
140833871	2018.12.10 05:11:25	sell	1.00	[sp500]	2613.61	2623.48	2583.48	2018.12.10 09:02:26	2623.52	0.00	0.00	0.00	-8.67
140833872	2018.12.10 05:11:25	buy	1.00	[sp500]	2614.02	2603.89	2643.89	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.30
140833873	2018.12.10 05:11:25	sell	1.00	[sp500]	2613.61	2623.61	2583.61	2018.12.10 09:20:40	2623.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140833874	2018.12.10 05:11:26	buy	1.00	[sp500]	2614.02	2604.02	2644.02	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.30

140833877	2018.12.10 05:11:53	sell	1.00	[sp500]	2613.61	2623.61	2583.61	2018.12.10 09:20:40	2623.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140833878	2018.12.10 05:11:53	buy	1.00	[sp500]	2614.02	2604.02	2644.02	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.30
140833879	2018.12.10 05:11:54	sell	1.00	[sp500]	2613.48	2623.48	2583.48	2018.12.10 09:02:27	2623.52	0.00	0.00	0.00	-8.79
140833880	2018.12.10 05:11:54	buy	1.00	[sp500]	2613.89	2603.89	2643.89	2018.12.10 15:20:57	2644.06	0.00	0.00	0.00	26.41
140834559	2018.12.10 05:44:36	sell	1.00	[sp500]	2615.73	2625.73	2585.73	2018.12.10 09:37:49	2625.78	0.00	0.00	0.00	-8.79
140834561	2018.12.10 05:44:36	buy	1.00	[sp500]	2616.14	2606.14	2646.14	2018.12.10 17:40:33	2606.06	0.00	0.00	0.00	-8.83
140834563	2018.12.10 05:44:36	sell	1.00	[sp500]	2615.61	2625.61	2585.61	2018.12.10 09:37:49	2625.78	0.00	0.00	0.00	-8.90
140834564	2018.12.10 05:44:37	buy	1.00	[sp500]	2616.02	2606.02	2646.02	2018.12.10 17:40:39	2605.82	0.00	0.00	0.00	-8.94
140834580	2018.12.10 05:45:26	sell	1.00	[sp500]	2615.86	2625.86	2585.86	2018.12.10 09:37:55	2626.03	0.00	0.00	0.00	-8.90
140841744	2018.12.10 09:20:01	sell	1.00	[sp500]	2622.63	2632.63	2592.63	2018.12.10 14:43:27	2632.85	0.00	0.00	0.00	-8.95
140841747	2018.12.10 09:20:02	buy	1.00	[sp500]	2623.03	2613.03	2653.03	2018.12.10 16:53:10	2612.79	0.00	0.00	0.00	-8.98
140871429	2018.12.10 15:19:03	sell	1.00	[sp500]	2638.19	2648.19	2608.19	2018.12.10 17:39:33	2607.96	0.00	0.00	0.00	26.49
140871433	2018.12.10 15:19:03	buy	1.00	[sp500]	2638.59	2628.59	2668.59	2018.12.10 16:48:13	2628.52	0.00	0.00	0.00	-8.84
140878336	2018.12.10 16:24:11	sell	1.00	[sp500]	2631.70	2641.70	2601.70	2018.12.10 17:52:44	2601.47	0.00	0.00	0.00	26.52
140878337	2018.12.10 16:24:11	buy	1.00	[sp500]	2632.10	2622.10	2662.10	2018.12.10 16:49:45	2621.79	0.00	0.00	0.00	-9.05
140878342	2018.12.10 16:24:14	sell	1.00	[sp500]	2631.95	2641.95	2601.95	2018.12.10 17:52:44	2601.72	0.00	0.00	0.00	26.52
140878344	2018.12.10 16:24:14	buy	1.00	[sp500]	2632.35	2622.35	2662.35	2018.12.10 16:49:41	2622.29	0.00	0.00	0.00	-8.83
140928285	2018.12.10 23:40:17	sell	1.00	[sp500]	2643.87	2653.87	2613.87	2018.12.11 12:53:27	2653.97	0.00	0.00	-0.06	-8.87
140928286	2018.12.10 23:40:18	buy	1.00	[sp500]	2644.27	2634.27	2674.27	2018.12.11 02:08:31	2634.01	0.00	0.00	-0.29	-9.04
140931015	2018.12.11 01:21:04	sell	1.00	[sp500]	2639.38	2649.38	2609.38	2018.12.11 12:12:58	2649.48	0.00	0.00	0.00	-8.87
140931016	2018.12.11 01:21:04	buy	1.00	[sp500]	2639.90	2629.78	2669.78	2018.12.11 02:52:31	2629.77	0.00	0.00	0.00	-8.92
140931017	2018.12.11 01:21:04	sell	1.00	[sp500]	2639.50	2649.50	2609.50	2018.12.11 12:13:02	2649.73	0.00	0.00	0.00	-8.98
140931018	2018.12.11 01:21:05	buy	1.00	[sp500]	2639.90	2629.90	2669.90	2018.12.11 02:52:31	2629.77	0.00	0.00	0.00	-8.92
140931022	2018.12.11 01:21:15	sell	1.00	[sp500]	2639.25	2649.25	2609.25	2018.12.11 12:12:58	2649.48	0.00	0.00	0.00	-8.98
140931023	2018.12.11 01:21:15	buy	1.00	[sp500]	2639.65	2629.65	2669.65	2018.12.11 03:16:52	2629.65	0.00	0.00	0.00	-8.80
140931024	2018.12.11 01:21:16	sell	1.00	[sp500]	2639.00	2649.00	2609.00	2018.12.11 12:12:15	2649.23	0.00	0.00	0.00	-8.98
140931025	2018.12.11 01:21:16	buy	1.00	[sp500]	2639.40	2629.40	2669.40	2018.12.11 03:17:08	2629.27	0.00	0.00	0.00	-8.92
140931615	2018.12.11 01:56:19	sell	1.00	[sp500]	2636.26	2646.26	2606.26	2018.12.11 12:06:39	2646.73	0.00	0.00	0.00	-9.20
140931616	2018.12.11 01:56:19	buy	1.00	[sp500]	2636.66	2626.66	2666.66	2018.12.11 14:19:43	2666.83	0.00	0.00	0.00	26.48
140932611	2018.12.11 02:38:01	sell	1.00	[sp500]	2634.51	2644.51	2604.51	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-9.85
140932612	2018.12.11 02:38:01	buy	1.00	[sp500]	2634.91	2624.91	2664.91	2018.12.11 14:14:48	2665.08	0.00	0.00	0.00	26.48
140932616	2018.12.11 02:38:05	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932617	2018.12.11 02:38:05	buy	1.00	[sp500]	2634.66	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.37
140932619	2018.12.11 02:38:08	sell	1.00	[sp500]	2634.01	2644.01	2604.01	2018.12.11 12:02:08	2644.23	0.00	0.00	0.00	-8.98
140932620	2018.12.11 02:38:09	buy	1.00	[sp500]	2634.41	2624.41	2664.41	2018.12.11 14:09:07	2664.58	0.00	0.00	0.00	26.48
140932621	2018.12.11 02:38:19	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932622	2018.12.11 02:38:20	buy	1.00	[sp500]	2634.66	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.37
140932623	2018.12.11 02:38:21	sell	1.00	[sp500]	2634.14	2644.14	2604.14	2018.12.11 12:02:08	2644.23	0.00	0.00	0.00	-8.86
140932624	2018.12.11 02:38:21	buy	1.00	[sp500]	2634.54	2624.54	2664.54	2018.12.11 14:09:07	2664.58	0.00	0.00	0.00	26.36
140932625	2018.12.11 02:38:22	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932627	2018.12.11 02:38:22	buy	1.00	[sp500]	2634.66	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.37
140932629	2018.12.11 02:38:24	sell	1.00	[sp500]	2634.01	2644.01	2604.01	2018.12.11 12:02:08	2644.23	0.00	0.00	0.00	-8.98
140932630	2018.12.11 02:38:24	buy	1.00	[sp500]	2634.41	2624.41	2664.41	2018.12.11 14:09:07	2664.58	0.00	0.00	0.00	26.48

140932634	2018.12.11 02:38:28	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932635	2018.12.11 02:38:28	buy	1.00	[sp500]	2634.66	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.37
140932638	2018.12.11 02:38:29	sell	1.00	[sp500]	2634.01	2644.01	2604.01	2018.12.11 12:02:08	2644.23	0.00	0.00	0.00	-8.98
140932639	2018.12.11 02:38:30	buy	1.00	[sp500]	2634.41	2624.41	2664.41	2018.12.11 14:09:07	2664.58	0.00	0.00	0.00	26.48
140932640	2018.12.11 02:38:31	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932641	2018.12.11 02:38:32	buy	1.00	[sp500]	2634.41	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.59
140932642	2018.12.11 02:38:32	sell	1.00	[sp500]	2634.01	2644.01	2604.01	2018.12.11 12:02:08	2644.23	0.00	0.00	0.00	-8.98
140932643	2018.12.11 02:38:32	buy	1.00	[sp500]	2634.41	2624.41	2664.41	2018.12.11 14:09:07	2664.58	0.00	0.00	0.00	26.48
140932644	2018.12.11 02:38:38	sell	1.00	[sp500]	2634.26	2644.26	2604.26	2018.12.11 12:03:43	2645.73	0.00	0.00	0.00	-10.07
140932645	2018.12.11 02:38:38	buy	1.00	[sp500]	2634.66	2624.66	2664.66	2018.12.11 14:11:19	2664.71	0.00	0.00	0.00	26.37
140937354	2018.12.11 05:57:23	sell	1.00	[sp500]	2631.54	2641.54	2601.54	2018.12.11 11:59:31	2641.73	0.00	0.00	0.00	-8.95
140937355	2018.12.11 05:57:23	buy	1.00	[sp500]	2631.94	2621.94	2661.94	2018.12.11 13:46:06	2662.08	0.00	0.00	0.00	26.45
140937361	2018.12.11 05:57:52	sell	1.00	[sp500]	2631.79	2641.79	2601.79	2018.12.11 11:59:38	2642.11	0.00	0.00	0.00	-9.07
140937362	2018.12.11 05:57:53	buy	1.00	[sp500]	2632.19	2622.19	2662.19	2018.12.11 13:46:07	2662.33	0.00	0.00	0.00	26.45
140937364	2018.12.11 05:57:54	sell	1.00	[sp500]	2631.54	2641.54	2601.54	2018.12.11 11:59:31	2641.73	0.00	0.00	0.00	-8.95
140937365	2018.12.11 05:57:54	buy	1.00	[sp500]	2631.94	2621.94	2661.94	2018.12.11 13:46:06	2662.08	0.00	0.00	0.00	26.45
140937581	2018.12.11 06:05:43	sell	1.00	[sp500]	2631.04	2641.04	2601.04	2018.12.11 09:40:36	2641.47	0.00	0.00	0.00	-9.17
140937582	2018.12.11 06:05:44	buy	1.00	[sp500]	2631.44	2621.44	2661.44	2018.12.11 13:46:06	2661.83	0.00	0.00	0.00	26.67
140937595	2018.12.11 06:06:06	sell	1.00	[sp500]	2631.54	2641.54	2601.54	2018.12.11 11:59:31	2641.73	0.00	0.00	0.00	-8.95
140945258	2018.12.11 09:54:09	sell	1.00	[sp500]	2637.57	2647.57	2607.57	2018.12.11 12:08:26	2647.98	0.00	0.00	0.00	-9.14
140959790	2018.12.11 12:36:00	sell	1.00	[sp500]	2649.58	2659.58	2619.58	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.45
140959791	2018.12.11 12:36:01	buy	1.00	[sp500]	2649.98	2639.98	2679.98	2018.12.11 19:07:22	2639.74	0.00	0.00	0.00	-9.05
140959792	2018.12.11 12:36:01	sell	1.00	[sp500]	2649.33	2659.46	2619.46	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.67
140959793	2018.12.11 12:36:01	buy	1.00	[sp500]	2649.73	2639.86	2679.86	2018.12.11 19:07:22	2639.74	0.00	0.00	0.00	-8.83
140959794	2018.12.11 12:36:01	sell	1.00	[sp500]	2649.33	2659.33	2619.33	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.67
140959795	2018.12.11 12:36:02	buy	1.00	[sp500]	2649.73	2639.73	2679.73	2018.12.11 19:07:24	2639.49	0.00	0.00	0.00	-9.05
140959803	2018.12.11 12:36:16	sell	1.00	[sp500]	2649.58	2659.58	2619.58	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.45
140959804	2018.12.11 12:36:16	buy	1.00	[sp500]	2649.98	2639.98	2679.98	2018.12.11 19:07:22	2639.74	0.00	0.00	0.00	-9.05
140959808	2018.12.11 12:36:20	sell	1.00	[sp500]	2649.58	2659.33	2619.33	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.45
140959809	2018.12.11 12:36:20	buy	1.00	[sp500]	2649.98	2639.73	2679.73	2018.12.11 19:07:24	2639.49	0.00	0.00	0.00	-9.27
140959810	2018.12.11 12:36:20	sell	1.00	[sp500]	2649.58	2659.58	2619.58	2018.12.11 13:35:26	2660.35	0.00	0.00	0.00	-9.45
140959811	2018.12.11 12:36:21	buy	1.00	[sp500]	2649.98	2639.98	2679.98	2018.12.11 19:07:22	2639.74	0.00	0.00	0.00	-9.05
140963501	2018.12.11 13:29:41	sell	1.00	[sp500]	2656.83	2666.83	2626.83	2018.12.11 14:18:23	2666.98	0.00	0.00	0.00	-8.91
140963502	2018.12.11 13:29:41	buy	1.00	[sp500]	2657.23	2647.23	2687.23	2018.12.11 18:34:22	2647.19	0.00	0.00	0.00	-8.87
140963505	2018.12.11 13:29:47	sell	1.00	[sp500]	2656.58	2666.58	2626.58	2018.12.11 14:18:18	2666.61	0.00	0.00	0.00	-8.80
140963506	2018.12.11 13:29:47	buy	1.00	[sp500]	2656.98	2646.98	2686.98	2018.12.11 18:34:29	2646.94	0.00	0.00	0.00	-8.87
140963507	2018.12.11 13:29:49	sell	1.00	[sp500]	2656.83	2666.83	2626.83	2018.12.11 14:18:23	2666.98	0.00	0.00	0.00	-8.91
140963508	2018.12.11 13:29:49	buy	1.00	[sp500]	2657.23	2647.23	2687.23	2018.12.11 18:34:22	2647.19	0.00	0.00	0.00	-8.87
140963509	2018.12.11 13:29:50	sell	1.00	[sp500]	2656.70	2666.70	2626.70	2018.12.11 14:18:18	2666.73	0.00	0.00	0.00	-8.80
140963510	2018.12.11 13:29:50	buy	1.00	[sp500]	2657.23	2647.10	2687.10	2018.12.11 18:34:28	2647.06	0.00	0.00	0.00	-8.99
140963511	2018.12.11 13:29:50	sell	1.00	[sp500]	2656.83	2666.83	2626.83	2018.12.11 14:18:23	2666.98	0.00	0.00	0.00	-8.91
140963512	2018.12.11 13:29:51	buy	1.00	[sp500]	2657.23	2647.23	2687.23	2018.12.11 18:34:22	2647.19	0.00	0.00	0.00	-8.87
141030664	2018.12.11 22:28:17	sell	1.00	[sp500]	2652.89	2662.89	2622.89	2018.12.12 11:36:44	2663.12	0.00	0.00	-0.06	-9.03

141030665	2018.12.11 22:28:18	buy	1.00	[sp500]	2653.29	2643.29	2683.29	2018.12.11 22:45:05	2643.17	0.00	0.00	0.00	-8.94
141030679	2018.12.11 22:28:29	sell	1.00	[sp500]	2652.64	2662.64	2622.64	2018.12.12 11:36:44	2662.87	0.00	0.00	-0.06	-9.03
141030680	2018.12.11 22:28:29	buy	1.00	[sp500]	2653.04	2643.04	2683.04	2018.12.11 22:45:06	2642.92	0.00	0.00	0.00	-8.94
141035567	2018.12.11 23:40:38	sell	1.00	[sp500]	2636.17	2646.17	2606.17	2018.12.12 02:36:28	2646.30	0.00	0.00	-0.06	-8.94
141035568	2018.12.11 23:40:39	buy	1.00	[sp500]	2636.57	2626.57	2666.57	2018.12.12 14:41:29	2666.74	0.00	0.00	-0.29	26.56
141044122	2018.12.12 03:09:20	sell	1.00	[sp500]	2645.91	2655.91	2615.91	2018.12.12 06:23:07	2656.08	0.00	0.00	0.00	-8.98
141044123	2018.12.12 03:09:20	buy	1.00	[sp500]	2646.31	2636.31	2676.31	2018.12.12 17:57:20	2676.53	0.00	0.00	0.00	26.59
141045741	2018.12.12 04:11:00	sell	1.00	[sp500]	2651.91	2661.91	2621.91	2018.12.12 11:34:34	2662.12	0.00	0.00	0.00	-9.01
141045743	2018.12.12 04:11:10	sell	1.00	[sp500]	2651.79	2661.79	2621.79	2018.12.12 11:31:55	2661.87	0.00	0.00	0.00	-8.90
141045745	2018.12.12 04:11:11	sell	1.00	[sp500]	2651.66	2661.66	2621.66	2018.12.12 11:31:55	2661.87	0.00	0.00	0.00	-9.01
141046070	2018.12.12 04:30:01	sell	1.00	[sp500]	2649.92	2659.92	2619.92	2018.12.12 08:19:01	2660.10	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046073	2018.12.12 04:30:01	buy	1.00	[sp500]	2650.32	2640.32	2680.32	2018.12.12 18:17:24	2680.35	0.00	0.00	0.00	26.43
141046076	2018.12.12 04:30:02	sell	1.00	[sp500]	2649.92	2659.92	2619.92	2018.12.12 08:19:01	2660.10	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046077	2018.12.12 04:30:02	buy	1.00	[sp500]	2650.32	2640.32	2680.32	2018.12.12 18:17:24	2680.35	0.00	0.00	0.00	26.43
141046083	2018.12.12 04:30:04	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.17	2620.17	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046085	2018.12.12 04:30:04	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.57	2680.57	2018.12.12 18:17:44	2680.60	0.00	0.00	0.00	26.43
141046087	2018.12.12 04:30:05	sell	1.00	[sp500]	2650.42	2660.42	2620.42	2018.12.12 11:27:11	2660.62	0.00	0.00	0.00	-9.00
141046093	2018.12.12 04:30:09	sell	1.00	[sp500]	2650.29	2660.29	2620.29	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.88
141046094	2018.12.12 04:30:09	buy	1.00	[sp500]	2650.69	2640.69	2680.69	2018.12.12 18:53:36	2680.72	0.00	0.00	0.00	26.43
141046095	2018.12.12 04:30:10	sell	1.00	[sp500]	2650.42	2660.42	2620.42	2018.12.12 11:27:11	2660.62	0.00	0.00	0.00	-9.00
141046098	2018.12.12 04:30:11	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.29	2620.29	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046099	2018.12.12 04:30:12	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.69	2680.69	2018.12.12 18:53:36	2680.72	0.00	0.00	0.00	26.53
141046100	2018.12.12 04:30:12	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.17	2620.17	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046101	2018.12.12 04:30:12	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.57	2680.57	2018.12.12 18:17:44	2680.60	0.00	0.00	0.00	26.43
141046102	2018.12.12 04:30:16	sell	1.00	[sp500]	2650.29	2660.29	2620.29	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.88
141046103	2018.12.12 04:30:16	buy	1.00	[sp500]	2650.82	2640.69	2680.69	2018.12.12 18:53:36	2680.72	0.00	0.00	0.00	26.31
141046104	2018.12.12 04:30:17	sell	1.00	[sp500]	2650.29	2660.29	2620.29	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.88
141046105	2018.12.12 04:30:17	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.69	2680.69	2018.12.12 18:53:36	2680.72	0.00	0.00	0.00	26.53
141046106	2018.12.12 04:30:17	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.17	2620.17	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046107	2018.12.12 04:30:17	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.57	2680.57	2018.12.12 18:17:44	2680.60	0.00	0.00	0.00	26.43
141046125	2018.12.12 04:30:54	sell	1.00	[sp500]	2650.05	2659.92	2619.92	2018.12.12 08:19:01	2660.10	0.00	0.00	0.00	-8.87
141046126	2018.12.12 04:30:55	buy	1.00	[sp500]	2650.45	2640.32	2680.32	2018.12.12 18:17:24	2680.35	0.00	0.00	0.00	26.31
141046127	2018.12.12 04:30:55	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.05	2620.05	2018.12.12 08:19:01	2660.10	0.00	0.00	0.00	-8.77
141046128	2018.12.12 04:30:55	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.45	2680.45	2018.12.12 18:17:44	2680.60	0.00	0.00	0.00	26.43
141046129	2018.12.12 04:30:56	sell	1.00	[sp500]	2650.17	2660.17	2620.17	2018.12.12 08:19:51	2660.35	0.00	0.00	0.00	-8.99
141046130	2018.12.12 04:30:56	buy	1.00	[sp500]	2650.57	2640.57	2680.57	2018.12.12 18:17:44	2680.60	0.00	0.00	0.00	26.43
141046131	2018.12.12 04:30:59	sell	1.00	[sp500]	2649.92	2659.92	2619.92	2018.12.12 08:19:01	2660.10	0.00	0.00	0.00	-8.99
141048721	2018.12.12 06:31:47	sell	1.00	[sp500]	2653.56	2663.56	2623.56	2018.12.12 11:48:48	2663.62	0.00	0.00	0.00	-8.88
141073072	2018.12.12 12:14:05	sell	1.00	[sp500]	2663.23	2673.23	2633.23	2018.12.12 15:53:46	2673.40	0.00	0.00	0.00	-8.96
141073080	2018.12.12 12:14:10	sell	1.00	[sp500]	2662.98	2672.98	2632.98	2018.12.12 15:53:16	2673.15	0.00	0.00	0.00	-8.96
141073091	2018.12.12 12:14:15	sell	1.00	[sp500]	2662.85	2672.85	2632.85	2018.12.12 15:52:46	2672.90	0.00	0.00	0.00	-8.85
141073094	2018.12.12 12:14:16	sell	1.00	[sp500]	2662.73	2672.73	2632.73	2018.12.12 15:52:46	2672.90	0.00	0.00	0.00	-8.95
141075288	2018.12.12 12:40:04	sell	1.00	[sp500]	2663.48	2673.48	2633.48	2018.12.12 15:54:02	2673.65	0.00	0.00	0.00	-8.96

141075292	2018.12.12 12:40:04	sell	1.00	[sp500]	2663.48	2673.48	2633.48	2018.12.12 15:54:02	2673.65	0.00	0.00	0.00	-8.96
141075295	2018.12.12 12:40:05	sell	1.00	[sp500]	2663.23	2673.23	2633.23	2018.12.12 15:53:47	2673.40	0.00	0.00	0.00	-8.96
141075315	2018.12.12 12:40:22	sell	1.00	[sp500]	2663.48	2673.48	2633.48	2018.12.12 15:54:02	2673.65	0.00	0.00	0.00	-8.96
141075333	2018.12.12 12:40:32	sell	1.00	[sp500]	2662.98	2673.23	2633.23	2018.12.12 15:53:46	2673.40	0.00	0.00	0.00	-9.18
141078764	2018.12.12 13:20:02	sell	1.00	[sp500]	2658.24	2668.24	2628.24	2018.12.12 15:49:20	2668.40	0.00	0.00	0.00	-8.94
141078766	2018.12.12 13:20:03	sell	1.00	[sp500]	2658.49	2668.49	2628.49	2018.12.12 15:49:22	2668.65	0.00	0.00	0.00	-8.94
141095124	2018.12.12 15:29:39	sell	1.00	[sp500]	2663.00	2673.00	2633.00	2018.12.12 15:53:16	2673.15	0.00	0.00	0.00	-8.94

-6.99