

**UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE**  
**FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED A INFORMATIKY**

**ALGORITMY OBCHODOVANIA NA ONLINE**  
**BURZÁCH**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**2023**

**BC. JOZEF MIHÁLIK**

**UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE**  
**FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED A INFORMATIKY**

**ALGORITMY OBCHODOVANIA NA ONLINE BURZÁCH**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný odbor: 18. Informatika  
Študijný program: Aplikovaná informatika  
Školiace pracovisko: Katedra informatiky  
Školiteľ: prof. RNDr. Michal Munk, PhD.

Nitra 2023

Bc. Jozef Mihálik



## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Bc. Jozef Mihálik  
**Študijný program:** aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** informatika  
**Typ záverečnej práce:** Diplomová práca  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský  
**Sekundárny jazyk:** anglický

**Názov:** Algoritmy obchodovania na online burzách

**Anotácia:** Obchodovanie na burzách sa v súčasnosti stáva čoraz dostupnejšie vďaka online platformám a automatizovanému obchodovaniu. V automatizovanom obchodovaní na online burzách sa uplatňujú metódy a algoritmy využívajúce štatistické modely a strojové učenie. Za týmto účelom sa používa obchodný robot (trading bot), ktorý nie je ovplyvnení emóciami na rozdiel od človeka.

Cieľom práce je analyzovať používané koncepty pri online obchodovaní. V teoretickej časti práce je žiaduce zhodnotiť obchodné stratégie a objasniť možné využitie automatizovaného obchodovania. V praktickej časti práce je žiaduce zhodnotiť stratégie obchodných robotov (trading bots) a prípadne navrhnúť obchodného robota, ktorý s využitím algoritmov obchodovania bude schopný za používateľa vykonávať obchody na burze.

**Charakter práce:**

Výskumný – stanovenie výskumného problému, metodika výskumu, výsledky výskumu (štatistická interpretácia), interpretácia výsledkov výskumu (vecná interpretácia).

**Predmetové prerekvizity:**

Modelovanie ekonomických procesov (2., Mgr.)

Počítačová analýza dát (2., Bc.)

Umelá inteligencia (2., Bc.)

Programovanie a údajové štruktúry (1., Bc.)

**Najdôležitejšie kompetentnosti získané spracovaním témy:**

uplatniť postupy štatistickej analýzy

narábať so vzorkami údajov

referovať o výsledkoch analýzy

vykonať analýzu údajov

vykonávať štatistické predpovede

zhodnotenie a navrhnutie algoritmu pre riešenie konkrétnej zadanej úlohy

**Školiteľ:** prof. RNDr. Michal Munk, PhD.

**Oponent:** Mgr. Martin Vozár, PhD.

**Katedra:** KI - Katedra informatiky

**Dátum zadania:** 08.11.2021

**Dátum schválenia:** 09.01.2023

RNDr. Ján Skalka, PhD., v. r.  
vedúci/a katedry

## **POĎAKOVANIE**

Týmto spôsobom by som sa chcel poďakovať školiteľovi prof. RNDr. Michalovi Munkovi PhD., za odbornú pomoc, užitočné pripomienky, usmernenie, ochotu a odborné vedenie, ktoré mi poskytol pri písaní diplomovej práce.

## ABSTRAKT

MIHÁLIK, Jozef: Algoritmy obchodovania na online burzách. [Diplomová práca]. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre. Fakulta prírodných vied a informatiky. Školiteľ: prof. RNDr. Michal Munk, PhD. Stupeň odbornej kvalifikácie: Magister odboru Aplikovaná informatika. Nitra: FPVaI, 2023. 73 s.

Táto diplomová práca sa zoberá principiálnym popisom algoritmov a postupov obchodovania na online burzách. Oboznamuje čitateľa s obchodovaním na online burzách, s jeho aktuálnym prínosom a možnosťami využitia. Obsahuje prehľad samotných postupov, ktoré sa využívajú pri online obchodovaní a popisuje najčastejšie využívané metódy obchodovania na online platformách a ich ďalšie možnosti využitia, napríklad pri možnej automatizácii tohto procesu obchodovania. Ďalej sa zameriava na kritické zhodnotenie technických indikátorov a ich využitie na finančných trhoch za účelom naprogramovania obchodného robota (trading bot), a priblíženia postupu jeho fungovania.

**Kľúčové slová:** Indikátory. Online burzy. Automatizácia. Obchodný robot. Časové rady.

## ABSTRACT

MIHÁLIK, Jozef: Algorithms for trading on online exchanges. [Master Thesis]. Constantine the Philosopher University in Nitra. Faculty of Natural Sciences and Informatics. Supervisor: prof. RNDr. Michal Munk, PhD. Degree of Qualification: Master of Applied Informatics. Nitra: FNSaI, 2023. 73 p.

This master thesis deals with a basic description of algorithms and procedures of trading on online exchanges. It acquaints the reader with trading on online exchanges, with its current benefits and possibilities of use. It provides an overview of procedures used in online trading and describes most commonly used trading methods on online platforms and their other use, such as the possible automation of this trading process. It also focuses on critical evaluation of technical indicators and their use in financial markets in order to program a trading robot (trading bot), and to approach the process of its functioning.

**Keywords:** Indicators. Online exchanges. Automation. Trading bot. Time series.

# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Analýza súčasného stavu.....</b>	<b>13</b>
1.1 Stratégie založené na technických indikátoroch.....	14
1.1.1 Úvod do technickej analýzy a indikátorov .....	14
1.1.2 Ciele a metodológie výskumu.....	15
1.1.3 Záver a zistenia výskumu .....	18
1.2 Skúmanie indexu relatívnej sily .....	19
1.2.1 Klasická forma indexu relatívnej sily.....	19
1.2.2 Upravená forma indexu relatívnej sily .....	21
1.2.3 Použité dáta a ciele výskumu.....	22
1.2.4 Porovnanie foriem indexu relatívnej sily.....	23
1.3 Kľzavý priemer v algoritmickom obchodovaní.....	25
1.3.1 Kľzavé priemery .....	26
1.3.2 Navrhovaná metóda kľzavého priemeru.....	29
1.3.3 Experimentálne výsledky a záver .....	30
<b>2 Ciele záverečnej práce.....</b>	<b>33</b>
<b>3 Návrh a metodika výskumu.....</b>	<b>34</b>
3.1 Algoritmické obchodovanie .....	34
3.2 Použité dáta .....	35
3.2.1 Zdroj dát .....	35
3.2.2 Získanie dát .....	36
3.2.3 Ukážka dát.....	38
3.3 Technické indikátory a stratégie.....	39
3.3.1 Relative Strength Index .....	40
3.3.2 Commodity Channel Index.....	42
3.3.3 Money Flow Index .....	44
3.3.4 Bollinger Bands.....	46
3.3.5 Moving Averages .....	47
3.4 Spätné testovanie.....	50
3.4.1 Vstupné premenné.....	50
3.4.2 Výstupné premenné.....	52
3.5 Model obchodného robota.....	53
<b>4 Výsledky .....</b>	<b>55</b>
4.1 Interpretácia výsledkov výskumu.....	55

<b>5</b>	<b>Diskusia .....</b>	<b>64</b>
	<b>Záver .....</b>	<b>68</b>
	<b>Zoznam bibliografických odkazov .....</b>	<b>69</b>



## ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obrázok 1 Štatistiky používania programovacích jazykov na strane servera pre webové stránky .....	13
Tabuľka 1 Časový úsek a indexy použité vo výskume.....	15
Tabuľka 2 Tabuľka ukazovateľov a stratégie nákupu a predaja.....	16
Tabuľka 3 Významné pozitívne stratégie návratnosti .....	18
Tabuľka 4 Výsledky získané aplikáciou klasickej formy RSI.....	24
Tabuľka 5 Výsledky získané aplikáciou RSI <sub>M</sub> .....	24
Obrázok 2 Skutočné ceny a kľzavý priemer .....	26
Tabuľka 6 Porovnanie získaných hodnôt PF s navrhovaným prístupom a prístupmi v literatúre.....	31
Obrázok 3 Vizualna podoba dát.....	39
Obrázok 4 Indikátor RSI spolu s hraničnými bodmi .....	41
Obrázok 5 Indikátor CCI spolu s hraničnými bodmi.....	43
Obrázok 6 Indikátor MFI spolu s hraničnými bodmi .....	45
Obrázok 7 Indikátor BB spolu s hranicami .....	47
Obrázok 8 Kľzavé priemry a ich oneskorenia na zmenu ceny aktíva.....	49
Obrázok 9 Diagram návrhu modelu obchodného robota.....	53
Obrázok 10 Relačná schéma databázy spätných testovaní.....	54
Tabuľka 7 Analýza jednoduchého rozptylu: Výsledky testovania hypotéz .....	55
Tabuľka 8 Viacnásobné porovnávanie: Winratio .....	57
Tabuľka 9 Viacnásobné porovnávanie: Romad.....	57
Tabuľka 10 Viacnásobné porovnávanie: Ddown .....	57
Tabuľka 11 Viacnásobné porovnávanie: Pfactor.....	58

Tabuľka 12 Viacnásobné porovnávanie: Maxbal .....	58
Tabuľka 13 Viacnásobné porovnávanie: Avghold .....	58
Tabuľka 14 Viacnásobné porovnávanie: Wins .....	59
Tabuľka 15 Viacnásobné porovnávanie: Trades .....	59
Tabuľka 16 Viacnásobné porovnávanie: Minbalance .....	59
Tabuľka 17 Viacnásobné porovnávanie: Ebalance.....	59
Tabuľka 18 Viacnásobné porovnávanie: Return .....	60
Obrázok 11 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné winratio, avghold, ebalance a minbalance .....	61
Obrázok 12 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné trades, wins a maxbalance .....	61
Obrázok 13 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné pfactor a romad .....	62
Obrázok 14 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné return a drawdown.....	62
Obrázok 15 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru premenných return a drawdown pre dĺžku indikátora 8 .....	63
Obrázok 16 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru premenných return a drawdown pre dĺžku indikátora 21 .....	63
Obrázok 17 Xu100 index a PSAR, BB, MACD, RSI a Stoch RSI indikátory .....	66
Obrázok 18 Pseudokód navrhovaného prístupu .....	67

## ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

<b>API</b>	Application Programming Interface <sup>1</sup>
<b>BB</b>	Bollinger Bands <sup>2</sup>
<b>CCI</b>	Commodity Channel Index <sup>3</sup>
<b>EMA</b>	Exponential Moving Average <sup>4</sup>
<b>HMA</b>	Hull Moving Average <sup>5</sup>
<b>MACD</b>	Moving Average Convergence Divergence <sup>6</sup>
<b>MFI</b>	Money Flow Index <sup>7</sup>
<b>NASDAQ</b>	National Association of Securities Dealers <sup>8</sup>
<b>OHLC</b>	Open High Low Close <sup>9</sup>
<b>PHP</b>	PHP: Hypertext Preprocessor <sup>10</sup>
<b>PSAR</b>	Parabolic SAR <sup>11</sup>
<b>RSI</b>	Relative Strength Index <sup>12</sup>
<b>S&amp;P 500</b>	Standard & Poor's 500 Index <sup>13</sup>
<b>SMA</b>	Simple Moving Average <sup>14</sup>
<b>STOCH</b>	Stochastic <sup>15</sup>
<b>WMA</b>	Weighted Moving Average <sup>16</sup>

---

<sup>1</sup> Zdroj: <https://techterms.com/definition/api>

<sup>2</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/b/bollingerbands.asp>

<sup>3</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/c/commoditychannelindex.asp>

<sup>4</sup> Zdroj: <https://groww.in/p/exponential-moving-average>

<sup>5</sup> Zdroj: [https://school.stockcharts.com/doku.php?id=technical\\_indicators:hull\\_moving\\_average](https://school.stockcharts.com/doku.php?id=technical_indicators:hull_moving_average)

<sup>6</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/m/macd.asp>

<sup>7</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/m/mfi.asp>

<sup>8</sup> Zdroj: <https://www.businessnewsdaily.com/3403-nasdaq.html>

<sup>9</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/o/ohlcchart.asp>

<sup>10</sup> Zdroj: <https://techterms.com/definition/php>

<sup>11</sup> Zdroj: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/capital-markets/parabolic-sar/>

<sup>12</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/r/rsi.asp>

<sup>13</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/s/sp500.asp>

<sup>14</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/s/sma.asp>

<sup>15</sup> Zdroj: <https://www.dictionary.com/browse/stochastic>

<sup>16</sup> Zdroj: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/weighted-moving-average>

## SLOVNÍK POJMOV

<b>Bear Market</b>	Doba, kedy cena akcií klesá a veľa ľudí ich predáva. <sup>17</sup>
<b>Bull Market</b>	Doba, keď ceny väčšiny akcií rastú. <sup>18</sup>
<b>Candlestick</b>	Sviečkový graf je finančný graf, ktorý zvyčajne zobrazuje cenové pohyby meny, cenných papierov alebo derivátov. <sup>19</sup>
<b>Dashboard</b>	Časť zariadenia, počítačového programu atď., ktorá zobrazuje informácie a štatistiky (čísla) o tom, ako zariadenie, program funguje. <sup>20</sup>
<b>Intraday</b>	Počas konkrétneho dňa. <sup>21</sup>
<b>Long</b>	Pojem „ <i>long</i> “ opisuje, čo investor kúpil, keď kúpi cenný papier alebo derivát s očakávaním, že jeho hodnota vzrastie. <sup>22</sup>
<b>Overbought</b>	Používa sa na opis finančných trhov, akcií atď. kde ceny príliš vzrástli v porovnaní s ich skutočnou hodnotou. <sup>23</sup>
<b>Oversold</b>	Pojem „ <i>oversold</i> “ sa vzťahuje na stav, keď sa aktívum obchodovalo za nižšiu cenu a má potenciál na rast ceny. <sup>24</sup>
<b>Perpetual</b>	V prípade „ <i>perpetual</i> “ kontraktov má obchodník väčšiu páku a nevymieňa okamžité podkladové aktíva. <sup>25</sup>
<b>Retracement</b>	„ <i>Retracement</i> “ je technický termín používaný na identifikáciu menšieho poklesu alebo zmeny v smere finančného nástroja. <sup>26</sup>
<b>Short</b>	„ <i>Short</i> “ je investičná alebo obchodná stratégia, ktorá predpokladá pokles ceny akcie alebo iného cenného papiera. <sup>27</sup>

<sup>17</sup> Zdroj: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/bear-market>

<sup>18</sup> Zdroj: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/bull-market>

<sup>19</sup> Zdroj: <https://www.tibco.com/reference-center/what-is-a-candlestick-chart>

<sup>20</sup> Zdroj: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/dashboard>

<sup>21</sup> Zdroj: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/intra-day?q=intraday>

<sup>22</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/l/long.asp>

<sup>23</sup> Zdroj: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/overbought>

<sup>24</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/o/oversold.asp>

<sup>25</sup> Zdroj: <https://www.makeuseof.com/perpetual-futures-contracts-how-do-they-work/>

<sup>26</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/r/retracement.asp>

<sup>27</sup> Zdroj: <https://www.investopedia.com/terms/s/shortselling.asp>

# ÚVOD

Automatizácia zohrala významnú úlohu v mnohých doménach a obchodovanie na burze nie je výnimkou. Dokonca aj maloobchodní obchodníci môžu automatizovať svoju obchodnú stratégiu pomocou API. Počítačový program, ktorý obchoduje, je známy ako algoritmické obchodovanie. Algoritmické obchodovanie je oveľa lepšie ako manuálne obchodovanie z hľadiska rýchlosti a presnosti, čo sú veľmi dôležité aspekty ziskového obchodovania na burze. Obchodná logika, ktorá rozhoduje o tom, kedy kúpiť a predať aktívum, sa vo všeobecnosti označuje ako obchodná stratégia. Validácia výkonnosti akejkoľvek preddefinovanej obchodnej stratégie na historických údajoch hrá významnú úlohu v jej živej výkonnosti a je známa ako spätné testovanie, ktoré je kľúčovou vlastnosťou algoritmického obchodovania.

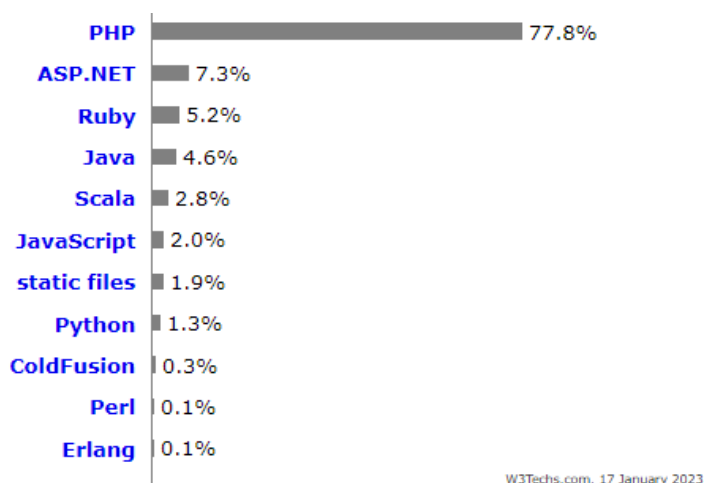
Dôvodom riešenia danej problematiky je, že algoritmické obchodovanie ponúka mnoho výhod okrem schopnosti premyslieť stratégiu dopredu. Človek ako obchodník je ušetrený emocionálneho zapojenia do obchodu v reálnom čase, čo je jeden z hlavných zdrojov „vyhorenia“ nielen u začínajúcich obchodníkov. Automatizované algoritmy dokážu vykonávať komplexnú matematiku v reálnom čase a prijímať požadované rozhodnutia na základe definovanej stratégie bez ľudského zásahu a posielajú obchodné príkazy na realizáciu automaticky z počítača na burzu. Počítač môže obchodovať so stovkami problémov súčasne pomocou pokročilých algoritmov s vrstvami podmienených pravidiel.

Diplomová práca je rozdelená do 5 kapitol. Prvá kapitola sa zaoberá analýzou súčasného stavu, v nej je čitateľ na úvod oboznámený so základnými pojmami v oblasti obchodovania na online burzách a následne sú v tejto kapitole priblížené výskumy od autorov, ktorí riešili podobnú problematiku. V druhej kapitole sú nastolené ciele a podciele diplomovej práce. Tretia kapitola predstavuje náš návrh modelu obchodného robota, ktorý zautomatizuje procesy obchodovania na online burzách a rieši tak naše ciele a problematiku. Štvrtú kapitolu tvorí testovanie a analýza zozbieraných údajov obchodným robotom a zároveň štatistická a vecná interpretácia našich výsledkov. Nasleduje piata kapitola, ktorá predstavuje diskusiu, v ktorej sú zhrnuté štúdie, ktorým sme sa venovali. Diskusia obsahuje zhrnutie postupov a výsledkov štúdií, ich kritické zhodnotenie a prípadné návrhy na zlepšenie.

# 1 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Technológia zmenila spôsob fungovania finančných trhov a spôsob, akým sa obchoduje s finančnými aktívami. Dve významné vzájomne súvisiace technologické zmeny spočívajú v tom, že investori používajú počítače na automatizáciu svojich obchodných procesov a trhy sa reorganizujú, takže prakticky všetky trhy sú teraz elektronickými limitnými knihami objednávok (Riordan, 2011; Dubey 2022). Rýchlosť a kvalita prístupu na takéto trhy podporuje používanie algoritmického obchodovania, ktoré sa bežne definuje ako používanie počítačových algoritmov na automatické prijímanie obchodných rozhodnutí, zadávanie pokynov a správu týchto pokynov po ich odoslaní (Leshik a Cralle, 2011).

Práve na automatizáciu procesov obchodovania a využitia algoritmov sa zameriame v tejto práci, kde sme na demonštráciu automatizácie preddefinovaných obchodných stratégií a ich spätného testovania použili programovací jazyk PHP. Keďže sme potrebovali aby bol náš automatický robot neustále aktívny, prehľadával trhy a hľadal na nich obchodné príležitosti, potrebovali sme si zvoliť vhodný programovací jazyk hlavne na strane servera. A podľa obrázku 1, kde môžeme vidieť štatistiky používania programovacích jazykov na strane servera pre webové stránky, je zrejmé, že PHP nemá konkurenciu a nemali sme teda ťažké rozhodovanie pri výbere programovacieho jazyka pre nášho robota.



Obrázok 1 Štatistiky používania programovacích jazykov na strane servera pre webové stránky<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Zdroj Obrázok 1: [https://w3techs.com/technologies/overview/programming\\_language](https://w3techs.com/technologies/overview/programming_language)

## **1.1 STRATÉGIE ZALOŽENÉ NA TECHNICKÝCH INDIKÁTOROCH**

Investori, ktorí investujú na finančnom trhu, potrebujú dostatok informácií o tom, ako spravovať svoj kapitál, aby dosiahli požadovaný výnos. Vo všeobecnosti existujú dva typy analýzy predpovedania cien pre riadenie kapitálu na akciovom trhu, a to fundamentálna analýza a technická analýza. Fundamentálna analýza sa zameriava na vnútornú hodnotu akcií. Technická analýza však predpokladá cenu akcií vo svetle minulých trendov cien akcií. Inými slovami, technická analýza je nástroj na štúdium správania na trhu pomocou grafov. Nástroje technickej analýzy môžu obchodníkom pomôcť v rôznych časových obdobiach (dlhodobé, strednodobé a krátkodobé) a práve technické indikátory patria medzi takéto nástroje (Ahmadi et al., 2018).

### **1.1.1 Úvod do technickej analýzy a indikátorov**

Autori (Abbasi et al., 2020) výskumu z roku 2020 s názvom Hodnotenie výkonnosti indikátorov technickej analýzy v porovnaní so stratégiou nákupu a držania v teheránskych burzových indexoch sa zamerali, ako už z názvu vyplýva na indikátory technickej analýzy a technickú analýzu vysvetľujú ako prostriedok na predpovedanie cien a trhov štúdiou historických údajov o trhu. Vzhľadom na faktory skúmané v tomto type analýzy je vytvorený a prezentovaný súbor indikátorov na uľahčenie rozhodovania nákupu a predaja na finančných trhoch.

Podľa princípov technickej analýzy a teórie výkonnosti rôznych finančných trhov v rôznych časových intervaloch sa sila tohto analytického nástroja mení. Technická analýza je podľa zdrojov literatúry (Nazario et al., 2017) autora rozdelená na dve časti: vzory a indikátory. Vzory sa zvyčajne prezentujú na základe formy cien, zatiaľ čo ukazovatele a oscilátory sa počítajú na základe výpočtov založených na cene a historických objemov príslušného aktíva. Táto štúdia hodnotí technické analýzy z pohľadu ukazovateľov. Indikátory a oscilátory boli formulované na základe troch faktorov, ktorými sú cena, objem obchodovania a čas, aby integrovali tri dimenzie založené na štatistike a matematike, a uľahčili tak rozhodovanie aktívnych obchodníkov o vstupe na trh a výstupe z trhu, čo autori považujú za výhodu podporenú literatúrou (Benington a Jensen, 1970) v porovnaní s technickou analýzou založenou na vzoroch. Jednou nevýhodou používania ukazovateľov, ktorú autori uvádzajú však je, že v závislosti od povahy ukazovateľa a spôsobu jeho použitia v rôznych trhových podmienkach (trendový trh, neutrálny trh a podobne) sa bude ich efektívnosť a výnosnosť líšiť. Inými slovami, na základe povahy a tvaru trhu niektoré ukazovatele

fungujú lepšie ako iné. Za iných okolností sa však ich výkon mení, na čo upozorňujú autori výskumu a podkladajú to odbornou literatúrou (Nti et al., 2019).

### 1.1.2 Ciele a metodológie výskumu

Podľa prehľadu literatúry autorov sú technické analýzy a indikátory užitočným nástrojom na predpovedanie finančných aktív a indexov. Preto autori v tomto výskume navrhli algoritmický systém založený na 10 indikátoroch na predpovedanie niekoľkých indexov teheránskej burzy a ich porovnanie so stratégiou nákupu a držania a preto autori sformulovali celkovo 10 hypotéz, ktoré mali znenie, že neexistuje žiadny významný rozdiel medzi návratnosťou použitia stratégií založených na ukazovateľoch technickej analýzy a návratnosťou stratégie nákupu a držania pre 10 rôznych trhových indexov.

Tabuľka 1 Časový úsek a indexy použité vo výskume<sup>29</sup>

Časový úsek	N	Názov premennej	Názov indexu
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	TEPIX	Total Stock Index
06.07.2013 až 27.2.2019	2462	OTC index	Total OTC Index
10.10.2009 až 27.2.2019	2462	Insurance	Insurance & Retirement Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Computer	Computer Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Bank	Bank Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Invest	Investment Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Cement	Cement Industry Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Sugar	Sugar Industry
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Car	Car Index
26.11.2008 až 27.2.2019	2462	Petroleum	Petroleum products Index

Tabuľka 1 poskytuje informácie o trhových indexoch študovaných v tomto výskume, časovom intervale a počte zodpovedajúcich údajov (N). Denná konečná cena je uvedená v každom časovom intervale a aritmetický priemer denného výnosu sa použil aj na uplatnenie priemerného výnosu na túto stratégiu (stratégia nákupu a držania). Ukazovatele uvedené v tabuľke 2 použili autori na vyhodnotenie výkonnosti nástrojov technickej analýzy na základe prezentovanej stratégie.

<sup>29</sup> Zdroj Tabuľka 1: [https://amfa.arak.iau.ir/article\\_672525.html](https://amfa.arak.iau.ir/article_672525.html)



Tabuľka 2 Tabuľka ukazovateľov a stratégie nákupu a predaja<sup>30</sup>

<b>Stratégia transakcie</b>	<b>Indikátor/Oscilátor</b>
Ak najnižšia cena klesne pod spodné pásmo a cenový cieľ pozície bude dosahovať hranicu 20-dňového priemeru.	Bollinger Bands (BB)
Hodnota CCI je nižšia ako -100, pre toto aktívum sa vezme pozícia nákupu. Táto pozícia nemá žiadne limity na zisk a stratu a vyššie uvedená pozícia bude uzavretá, ak CCI dosiahne hodnotu +100.	Commodity Channel Index (CCI)
Keď je priesečník dvoch jednoduchých kľzavých priemerov 12 a 26 smerom nahor, považuje sa to za nákupnú pozíciu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a ak je priesečník jednoduchých kľzavých priemerov 12 a 26 smerom nadol, nákupná pozícia sa uzavrie.	Simple Moving Average (SMA)
Keď priesečník dvoch váhových kľzavých priemerov 12 a 26 smeruje nahor, považuje sa to za nákupnú pozíciu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a ak je priesečník váhových kľzavých priemerov 12 a 26 smerom nadol, nákupná pozícia sa uzavrie.	Weighted Moving Average (WMA)
Priesečník dvoch exponenciálnych kľzavých priemerov 12 a 26 smerom nahor sa považuje za nákupnú pozíciu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a ak je priesečník exponenciálnych kľzavých priemerov 12 a 26 smerom nadol, nákupná pozícia sa uzavrie.	Exponential Moving Average (EMA)
Keď je priesečník dvoch línií Tenkan Sen a Kijun Sen smerom nahor, považuje sa to za nákupnú pozíciu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a ak je priesečník Tenkan Sen a Kijun Sen smerom nadol, nákupná pozícia sa uzavrie.	Ichimoku
Po priesečníku MACD a signálnych čiar smerom nahor sa otvorí nákupná pozícia na cieľovom aktíve. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a bude uzavretá v opačnom bode (priesečník MACD a signálnych čiar smerom nadol).	Moving Average Convergence Divergence (MACD)

<sup>30</sup> Zdroj Tabuľka 2: [https://amfa.arak.iau.ir/article\\_672525.html](https://amfa.arak.iau.ir/article_672525.html)

Ak je hodnota RSI nižšia ako 30 a potom stúpne nad hodnotu 30, otvorí sa pozícia nákupu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a ak stúpne nad hodnotu 70, vyššie uvedená pozícia sa uzavrie.	Relative Strength Index (RSI)
Po priesečníku k% a D% čiar smerom nahor sa otvorí nákupná pozícia. Táto pozícia nemá žiadny limit zisku a straty a prijatá nákupná pozícia bude uzavretá, ak priesečník k% a D% línií bude smerom nadol.	Stochastic
Ak je čiara R% pod -80% a potom stúpne nad túto hodnotu, otvorí sa pozícia nákupu. Táto pozícia nemá limit zisku a straty a vyššie uvedená pozícia sa uzavrie, ak R% dosiahne hodnotu -20%.	Williams R%

Každá zo stratégií uvedených v tabuľke 2 operácií nákupu a predaja (vstup na trh a výstup z trhu) bude mať výnosy podľa ukazovateľov uvedených v tabuľke 1. Výnosmi autori mali na mysli výšku zisku, ktorá je pridelená primárnemu zdroju na nákup a predaj, pomocou týchto stratégií. V závislosti od počtu dní, ktoré uplynuli od transakcie, možno vypočítať priemerný denný výnos z každej z vyššie uvedených stratégií a teda *Priemerná návratnosť každej stratégie = Priemerná návratnosť stratégie / počet dní.*

Autori následne vykonali dvojvýberový t-test štatistický test na testovanie významnosti rozdielu medzi návratnosťou každej stratégie a návratnosťou stratégie nákupu a držania. Nulová hypotéza testu bola, že neexistuje významný rozdiel medzi návratnosťou používania stratégií založených na ukazovateľoch technickej analýzy a návratnosťou stratégie nákupu a držania. Testovaciu štatistiku autori získali podľa vzorca

$$t = \frac{R_{STRI} - R_{BH}}{\sqrt{\frac{V_{R_{STRI}}^2}{N_{R_{STRI}}} + \frac{V_{R_{BH}}^2}{N_{R_{BH}}}}} \quad (1)$$

kde  $R_{STRI}$  predstavuje priemerný denný výnos  $i$ -tej stratégie,  $R_{BH}$  predstavuje priemerný denný výnos nákupu a držania stratégie,  $N$  je počet údajov a teda časový úsek a  $V$  sú rozptyly údajov o dennom výnose každej zo stratégií a stratégie nákupu a držania. Ak je  $p$  hodnota testovacej štatistiky menšia ako 0.05, tak nulová hypotéza

testu bez rozdielu medzi návratnosťou dvoch prístupov sa zamieta s úrovňou spoľahlivosti 95%.

### 1.1.3 Záver a zistenia výskumu

Na základe krokov a metód výskumu opísaných v predchádzajúcej časti autori testovali zistenia stratégií technickej analýzy a stratégie nákupu a držania pomocou t-testu. Vzhľadom na to, že na získanie výsledku o účinnosti návratnosti nástrojov technickej analýzy je potrebné otestovať nekorelované aktíva, autori vytvorili korelačnú maticu spolu s p-hodnotou a zistili, že neexistuje žiadna významná (priamo úmerná alebo nepriamo úmerná lineárna závislosť) korelácia medzi žiadnym z výnosov. Opisná štatistika ďalej naznačila, že neexistuje žiadne možné normálne rozdelenie výnosu indexu. Autori teda vyššie uvedené stratégie implementovali v MQL5 pomocou softvéru Meta Trader a serverového pripojenia k burze.

Vzhľadom na to, že úroveň spoľahlivosti vo finančnej literatúre sa zvyčajne považuje za 95%, stratégie s t hodnotou vyššou ako 2 predstavujú odmietnutie nulovej hypotézy a ich návratnosť bola vyššia ako pri stratégii nákupu a držania.

Tabuľka 3 Významné pozitívne stratégie návratnosti<sup>31</sup>

Index	Stratégia	t	p-hodnota	Výnos	Obchody
Total Stock Index	SMA	2.31	0.037	4791.0%	13
Total Stock Index	EMA	2.84	0.029	6789.0%	6
Total OTC Index	RSI	4.85	0.001	12.0%	7
Bank Index	EMA	2.57	0.037	25.5%	7
Computer Index	SMA	2.67	0.018	297.6%	14
Computer Index	BB	2.37	0.033	290.4%	13
Sugar Index	SMA	2.46	0.031	2232.3%	9
Insurance Index	EMA	3.82	0.009	612.4%	6
Insurance Index	Ichimoku	2.28	0.038	179.2%	14
Investment Index	RSI	2.37	0.035	60.0%	12
Investment Index	SMA	3.19	0.003	196.2%	17
Investment Index	EMA	4.21	0.004	187.0%	7
Investment Index	WMA	2.21	0.048	306.1%	13

<sup>31</sup> Zdroj Tabuľka 3: [https://amfa.arak.iau.ir/article\\_672525.html](https://amfa.arak.iau.ir/article_672525.html)

Investment Index	Ichimoku	2.57	0.017	114.1%	22
Petroleum Index	SMA	2.13	0.044	8032.2%	23
Petroleum Index	EMA	3.22	0.009	8986.5%	10
Cement Index	EMA	2.75	0.007	124.4%	9
Cement Index	WMA	2.14	0.049	52.5%	11
Cement Index	Williams	2.08	0.045	2640.8%	33
Cement Index	Ichimoku	2.21	0.047	120.8%	12

V tabuľke 3 je možné vidieť všetky hypotézy, ktoré sú zamietnuté a teda kde je významný rozdiel medzi návratnosťou používania stratégií založených na ukazovateľoch technickej analýzy a návratnosťou stratégie nákupu a držania. Podľa stratégií uvedených v tabuľke 3 je možné poukázať na to, že účinnosť stratégií technickej analýzy sa v jednotlivých odvetviach líši. Stratégie EMA a SMA, ktoré mali 6 a 5 opakovaní v tabuľke 3 sa javia ako najlepšie stratégie a práve toto zistenie na základe autormi získaných výsledkov nám pomohlo pri tvorbe a testovaní stratégií v našej práci.

## 1.2 SKÚMANIE INDEXU RELATÍVNEJ SILY

Relative Strength Index (RSI), alebo index relatívnej sily je jedným z najznámejších a najpoužívanějších ukazovateľov technickej analýzy (de Zwart et al., 2009). RSI je indikátor hybnosti, ktorý meria veľkosť nedávnych zmien cien na vyhodnotenie podmienok nadhodnotenia (overbought) alebo podhodnotenia (oversold) v cene aktíva. RSI sa zobrazuje ako oscilátor, teda ako čiarový graf, ktorý sa pohybuje medzi dvoma extrémami a môže mať hodnotu od 0 do 100 (Anderson a Li, 2015).

### 1.2.1 Klasická forma indexu relatívnej sily

Autor (Morosan, 2011), ktorý tento výskum uskutočnili v roku 2011 uvádza príspevie k dôležitej diskusii o ziskovosti technickej analýzy zameraním sa na jeden konkrétny technický ukazovateľ: index relatívnej sily (RSI). RSI je bežne používaný oscilátor v technickej analýze kvôli jeho ľahkému použitiu a interpretácii. Vo svojej klasicknej podobe ho vyvinul Welles Wilder Jr. v roku 1978 v knihe „*New Concepts in Technical Trading Systems*“ (Badruzaman, 2019).

RSI sa vypočíta nasledujúcim vzorcom

$$RSI = 100 - \left( \frac{100}{1 + \frac{AvgGain}{AvgLoss}} \right), \quad (2)$$

kde priemerný zisk (*AvgGain*) alebo strata (*AvgLoss*) použité pri výpočte sú priemerný percentuálny zisk alebo strata počas preferovanej dĺžky indikátora. Vzorec používa absolútnu hodnotu pre priemernú stratu. Ak je *AvgGain* pre určitý deň kladný, potom sa *AvgLoss* pre tento deň nahradí 0 a naopak, ak je pre určitý deň *AvgLoss* kladná, potom sa *AvgGain* pre príslušný deň nahradí 0.

Autor vo výskume použil na výpočet RSI exponenciálny kľzavý priemer (EMA) pre *AvgGain* a pre *AvgLoss* pomocou násobiteľa  $\alpha$  vypočítaného na základe určitého počtu dní  $N$ . Kľzavý priemer sa používa na obmedzenie vplyvu náhodných faktorov, neobvyklých pre priemer. Počet dní, ktoré Wilder odporúča vo svojej knihe spomínanej vyššie, je 14, ale vzorec EMA, ktorý predstavil v tej istej knihe, zodpovedá  $N$  rovnému 27. EMA sa určuje pomocou  $\alpha$  násobiteľa, aby sa priradili rôzne stupne dôležitosti k údajom zohľadneným pri výpočte v závislosti od ich „veku“. Staršie údaje budú mať teda menšiu váhu a najnovšie údaje budú mať väčšiu váhu. Násobiteľ  $\alpha$  sa určuje vo vzťahu k počtu  $N$  dní a teda má nasledovný vzorec

$$\alpha = \frac{2}{N + 1}. \quad (3)$$

Napríklad pre počet dní rovný 27 je  $\alpha$  1/14. Určenie EMA vyžaduje výpočet jednoduchého aritmetického priemeru (SMA) údajov za prvých  $N$  dní v uvažovanom reťazci a to vzorcom

$$SMA = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n}, \quad (4)$$

kde  $A$  je priemer v perióde a  $n$  je počet periód, respektíve časových období. Exponenciálny kľzavý priemer dňa  $N+1$  sa potom určí nasledovne (zachovajú sa predtým používané zápisy)

$$EMA_{N+1} = \alpha A_{N+1} + (1 - \alpha)SMA_N. \quad (5)$$

Po určení exponenciálnych kľzavých priemerov uzatváracích cien, nasleduje vzorec, ktorý predstavuje relatívnu silu (RS)

$$RS = \frac{EMA(AvgGain)}{EMA(AvgLoss)} \quad (6)$$

a následne sa prevádza na index, ktorý sa môže pohybovať od 0 do 100 jednotiek, vypočítaný podľa vzorca (2) vyššie a tento index je nazývaný index relatívnej sily (RSI).

Vo všeobecnosti, keď RSI prekročí hodnotu 30 jednotiek zdola nahor, považuje sa to za nákupný signál a keď presiahne hodnotu 70 bodov zhora nadol, považuje sa to za signál predaja. Inými slovami, keď má RSI hodnoty nižšie ako 30, podkladové aktívum, na základe ktorého sa vypočítava cena, je podhodnotené a keď má hodnoty vyššie ako 70, podkladové aktívum je nadhodnotené. Pre vysoko volatilné trhy niektorí technickí analytici odporúčajú ako úroveň signálu použiť úroveň 20 a 80 jednotiek namiesto 30 a 70 jednotiek. Niektorí obchodníci odporúčajú používať RSI len pre nákupné signály na vzostupnom trhu (býčí trh) alebo len pre predajné signály na klesajúcom trhu (medvedí trh).

Priemerná úroveň RSI je 50 jednotiek. Iná interpretácia indikátora naznačuje, že keď prekročí túto hodnotu zdola nahor, indikuje vznik/pokračovanie vzostupného trendu (býčí trend), a keď túto hodnotu prekročí zhora nadol, indikuje vznik/pokračovanie klesajúceho trendu (medvedí trend). Táto interpretácia vyplýva zo vzorca na výpočet RSI a to na základe, že keď má hodnoty nad 50, priemerný zisk z posledného obdobia je vyšší ako priemerná strata. V opačnom prípade má ukazovateľ hodnoty pod 50.

### 1.2.2 Upravená forma indexu relatívnej sily

Klasická forma RSI berie do úvahy iba cenu podkladového aktíva, bez ohľadu na objem obchodovania, ktorý viedol k tejto cene. V tomto výskume sa preto autor snažil upraviť vzorec výpočtu indexu tak, aby nová metóda výpočtu zohľadňovala objem obchodovania. Toto bol pre autora mimoriadne dôležitý ukazovateľ, pretože ukazoval silu, ktorá poháňa trh jedným alebo druhým smerom.

V predmetnom vzorci autor uvažoval dve relatívne sily: cenu v porovnaní s cenami súvisiacimi s počtom predchádzajúcich obchodných dní a objem obchodovania vyjadrený v hodnotách vo vzťahu k objemu obchodov spojeným s rovnakým počtom dní. Preto pri určovaní upravenej formy RSI autor zohľadnil tieto pomery

$$RS_{P/V} = \frac{EMA(AvgGain_{P/V})}{EMA(AvgLoss_{P/V})}, \quad (7)$$

kde  $RS_{P/V}$  je relatívna sila ceny/objemu,  $EMA(AvgGain_{P/V})$  je exponenciálny kľzavý priemer zvýšenia ceny/objemu za  $N$  dní obchodovania a  $EMA(AvgLoss_{P/V})$  je exponenciálny kľzavý priemer poklesu ceny/objemu za  $N$  dní obchodovania.

Stanovenie RSI v autormi upravenej a teda experimentálnej verzii, ktorú označili ako  $RSI_M$ , zhrnuli porovnanie relatívnej sily objemu obchodovania s cenou podľa nasledujúceho vzorca (predtým používané zápisy sú zachované)

$$RSI_M = 100 \left( \frac{1}{1 + RS_V} - \frac{1}{1 + RS_P} \right). \quad (8)$$

Ak by štúdia použila vzorec (8), RSI by malo hodnoty medzi - 100 a 100. Aby sa ukazovateľ dostal do limitov hodnôt 0 a 100 jednotiek navrhnutých Wilderom pre klasickú formu RSI, autor použil v štúdiu nasledujúcu upravenú forma

$$RSI_M = 50 \left( 1 + \frac{1}{1 + RS_V} - \frac{1}{1 + RS_P} \right). \quad (9)$$

Použitím vzorca (9) sa interpretácia výsledkov navrhovaných Wilderom nemení. Odporúčané úrovne signálu nákupu a predaja sa však líšia od tých, ktoré navrhuje Wilder. Pre  $RSI_M$  teda prekročenie úrovne 37,5 jednotiek zdola nahor signalizuje zvýšenie ceny podkladového aktíva na ďalšie obdobie, zatiaľ čo prekročenie 62,5 jednotiek zhora nadol znamená pokles ceny v blízkej budúcnosti.

### 1.2.3 Použité dáta a ciele výskumu

Autor v práci použil denné záverečné hodnoty indexu S&P 500 za obdobie od 1. marca 2004 do 30. apríla 2010 a denný objem obchodov zodpovedajúci rovnakému obdobiu. S&P 500 je hodnotovo vážený index cien akcií najväčších spoločností obchodovaných na dvoch najväčších akciových trhoch v USA, New York Stock Exchange a NASDAQ, podľa ich trhovej kapitalizácie.

Čo sa týka sledovaného obdobia, autor sa snažil zachytiť posledný býčí trh, ktorý sa skončil v roku 2007 spolu s objavením sa prvých správ o úverovej kríze a prechode na medvedí trh, o ktorom v čase písania výskumu (máj až august 2010), mal autor konkrétne, ale nie jasné potvrdenie, že sa skončil. Údaje zahrnuté v návrhu štúdie preto autor predĺžil na šesť rokov, aby zahrnuli oba typy trendového trhu. Autor však poznamenal, že výber údajov je mimoriadne dôležitý pre dôveryhodnosť získaných výsledkov a z tohto pohľadu bolo známe, že obdobie šiestich rokov nie je ani zďaleka

dostatočne rozsiahle na zovšeobecnenie získaných výsledkov a na tvrdenie, že tieto výsledky sú nepopierateľné.

Denné hodnoty indexu, ktorý bol použitý, boli upravené o vplyv dividend a rozdelenia. Z tohto dôvodu by štúdia mohla porovnať získané výsledky pomocou navrhovanej techniky s tými, ktoré by investor získal za rovnaké obdobie pri uplatnení stratégie nákupu a držania, autor však uviedol, že to nie je cieľom a chcel jednoducho preskúmať, či je uvedenie jeho experimentálnej techniky do praxe výhodnejšie ako používanie tradičnej formy RSI.

#### **1.2.4 Porovnanie foriem indexu relatívnej sily**

Autor sa touto štúdiou snažil na základe prezentovaných empirických údajov overiť presnosť signálov RSI určených v klasickej forme a signálov  $RSI_M$  v extrémnych bodoch. Štúdia použila ako krajné body (hodnoty signálu) úrovne 30 a 70 pre klasickú verziu RSI, respektíve úrovne 37,5 a 62,5 pre autorovu experimentálnu verziu indikátora. Na stanovenie EMA bola v štúdiu použitá hodnota  $N$  rovnajúca sa 14 dňom pre obe formy ukazovateľa.

Indikátor ukazuje predajný signál bez ohľadu na verziu výpočtu, ak RSI uzavrie deň na úrovni nad maximálnou hodnotou signálu. Predaj jednotky indexu S&P 500 sa uskutoční v prvý deň, kedy RSI v akejkoľvek použitej forme dosiahne úroveň pod maximálnou hodnotou signálu za predpokladu, že tieto úrovne nie sú v daný deň pod priemernou hodnotou 50 bodov. V druhom prípade sa signál predaja nebude brať do úvahy. Uzavretie otvorenej pozície sa uskutoční prvý deň, kedy indikátor opäť dosiahne maximálnu hodnotu signálu alebo úroveň pod 50 bodov (podľa toho, ktorá z týchto dvoch situácií nastane skôr).

Ak RSI uzavrie deň na úrovni pod minimálnou hodnotou signálu, bez ohľadu na použitú verziu výpočtu, ide o nákupný signál. Nákup jednotky indexu S&P 500 sa uskutoční v prvý deň, keď RSI v akejkoľvek použitej forme dosiahne úroveň nad minimálnou hodnotou signálu, za predpokladu, že tieto úrovne nie sú v ten deň nad priemernou hodnotou 50 bodov. V druhom prípade sa nákupný signál nebude brať do úvahy. Zatvorenie otvorenej pozície nastane v prvý deň, kedy indikátor opäť dosiahne minimálnu hodnotu signálu alebo úroveň nad 50 bodov (podľa toho, ktorá z týchto dvoch situácií nastane skôr).

Aplikovaním vyššie opísanej stratégie pre klasickú formu RSI autor získal výsledky zhrnuté v tabuľke 4.



Tabuľka 4 Výsledky získané aplikáciou klasickej formy RSI<sup>32</sup>

<b>RSI</b>	<b>Počet signálov</b>	<b>Výhry</b>	<b>Prehry</b>	<b>Výnos z výhier</b>	<b>Výnos z prehier</b>	<b>Celkový výnos</b>
Nákup	55	28	27	594.75	-867.36	-272.61
Predaj	67	33	34	457.04	-468.32	-11.28
Celkovo	122	61	61	1051.79	-1335.68	-283.89

Z tabuľky 4 je zrejmé, že použitie klasickej formy RSI a uvedenie vyššie opisanej stratégie do praxe viedlo za obdobie analýzy k 122 signálom nákupu a predaja s celkovou stratou 283.89 jednotiek. Z nákupných signálov bolo dvadsaťosem úspešných, vygenerovali zisk 594.75 jednotiek a priemerný zisk na signál bol 21.24. Ďalších dvadsaťsedem bolo stratových, čo viedlo k celkovej strate 867.36 jednotiek a priemernej strate na signál 32.12. Všetkých päťdesiatpäť nákupných signálov viedlo k strate 272.61 jednotiek. Pokiaľ ide o predajné signály, 33 bolo úspešných, čo viedlo k celkovému zisku 457.04 jednotiek a priemernému zisku 13.85. Zvyšných tridsaťštyri predajných signálov bolo stratových, čo generovalo celkovú stratu 468.32 jednotiek a priemernú stratu na signál 13.77. Všetkých 67 predajných signálov viedlo k strate 11.28 jednotiek. Avšak je zaujímavé, že v sledovanom období sa počet nákupných signálov, ktoré boli úspešné, takmer rovnal počtu neúspešných, no priemerný zisk na úspešný nákupný signál bol oveľa menší ako priemerná strata na stratový nákupný signál.

Aplikovaním vyššie prezentovanej stratégie obchodovania pre autorom navrhovanú formu  $RSI_M$  štúdia získala výsledky zhrnuté v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Výsledky získané aplikáciou  $RSI_M$ <sup>33</sup>

<b>RSI</b>	<b>Počet signálov</b>	<b>Výhry</b>	<b>Prehry</b>	<b>Výnos z výhier</b>	<b>Výnos z prehier</b>	<b>Celkový výnos</b>
Nákup	68	31	37	455.38	-709.01	-253.63
Predaj	71	29	42	387.31	-511.39	-124,08
Celkovo	139	60	79	842.69	-1220.40	-377.71

<sup>32</sup> Zdroj Tabuľka 4: <https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-full-text-pdf/D7BE87A24350>

<sup>33</sup> Zdroj Tabuľka 5: <https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-full-text-pdf/D7BE87A24350>

Výsledky získané aplikáciou  $RSI_M$  na prvý pohľad viedli k presvedčeniu o tom, čo sa predpokladá pri klasickej forme, teda že tento ukazovateľ je samostatne nepoužiteľný, pretože bez ohľadu na jeho použitie generuje stratu.

Autor ešte preskúmal druhú stratégiu, kedy indikátor ukazuje predajný signál bez ohľadu na verziu výpočtu, ak RSI uzavrie deň na úrovni nad maximálnou hodnotou signálu. Predaj jednotky indexu S&P 500 sa uskutoční v prvý deň, keď RSI v akejkolvek použitej forme dosiahne úroveň pod maximálnou hodnotou signálu. Uzavretie otvorenej pozície sa uskutoční prvý deň, kedy indikátor dosiahne minimálnu hodnotu signálu a naopak pre nákupný signál. Rozdiel bol teda v tom, že nepoužil úroveň 50 bodov ako v prvej stratégii. Avšak ani v tomto prípade nebola ani jedna z foriem RSI zisková, dokonca dosiahla ešte väčšiu celkovú stratu pri súčte celkových ziskov oboch indikátorov. Štúdia preto dospela k záveru, že pri analýze výsledkov výskumu extrémne hodnoty RSI a  $RSI_M$  neindikujú návrat trendu a vedú k stratám, čo nám pomohlo pri výbere nastavení podmienok pre obchodované stratégie a celkovo pri výbere indikátora.

### 1.3 KĹZAVÝ PRIEMER V ALGORITMICKOM OBCHODOVANÍ

V súčasnosti sa počet systémov využívajúcich výpočtovú inteligenciu, ako je hlboké učenie, každým dňom zvyšuje (Sezer a Ozbayoglu, 2018). Tieto systémy, ktoré sú oveľa komplexnejšie, sa zameriavajú na identifikáciu trendových vzorcov vytvorených časovými radmi a predpovedanie cenových pohybov na základe umelej inteligencie vývojom modelov, ktoré sa učia z údajov indikátorov (Santur a Aysel, 2022). Nevýhodou týchto systémov je, že musia pracovať v reálnom čase a hardvérové náklady modelov sú pomerne vysoké. Na druhej strane ukazovatele odvodené z kľzavých priemerov pozostávajú z jednoduchých, ale účinných matematických modelov využívajúcich štatistické metódy. Týmto spôsobom sa dajú ľahšie vypočítať v reálnom čase a keďže stratégie nákupu/predaja sú založené na pravidlách, dajú sa jednoduchšie naprogramovať. Okrem toho je jednoduchšie a rýchlejšie vykonávať úlohy, ako je backtest alebo spätné testovanie, ktoré sa používa na testovanie vytvorenej stratégie a optimalizáciu na výber najlepších parametrov na maximalizáciu výnosov portfólia (Abouloula et al., 2018).

### 1.3.1 Kľzavé priemery

Autori (Santur a Aysel, 2022) vo svojom výskume uvádzajú, že kľzavé priemery sú jednou z najbežnejších stratégií používaných v obchodovaní. Vo svojej najjednoduchšej forme, ako je znázornené na obrázku 2, ktorí uviedli autori ako príklad, keď súčasná cena stúpne nad priemer, považuje sa to za pokračovanie trendu smerom nahor. Keď klesne pod, považuje sa to za smer poklesu. Graf zobrazuje aktuálnu hodnotu akcie modrou farbou a jej kľzavý priemer červenou farbou. Zelené a červené šípky predstavujú signály nákupu a predaja.



Obrázok 2 Skutočné ceny a kľzavý priemer<sup>34</sup>

Rozdiel medzi kľzavým priemerom a aritmetickým priemerom je v tom, že kľzavý priemer sa aplikuje na dátovú štruktúru pozostávajúcu z cenových informácií nazývaných časový rad. Týmto spôsobom kľzavé priemery merajú hybnosť a potvrdzujú aktuálny trend. Okrem toho sa kľzavé priemery používajú na zmiernenie šumov v časovom rade v závislosti od zvoleného obdobia. Spomínaný šum spočíva v tom, že pohyby cien sú väčšinou horizontálne, zatiaľ čo krátkodobé pohyby vyvolávajú dojem zavádzajúceho trendu. Preto autori odkazujú na literatúru iných autorov (Wang et al., 2014) a tvrdia, že namiesto použitia kľzavých priemerov ako takých je potrebné použiť dva rôzne kľzavé priemery alebo podporiť signály získané z kľzavých priemerov inými indikátormi. V dôsledku toho sú kľzavé priemery oneskoreným indikátorom, ktorý potvrdzuje aktuálne pohyby cien, nie prediktívnym.

Prvou metódou, ktorú autori opísali je jednoduchý kľzavý priemer (SMA), aritmetický kľzavý priemer aplikovaný na sériu. Vypočíta sa vzorcom

<sup>34</sup> Zdroj Obrázok 2: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1912987>

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}, \quad (10)$$

kde  $A_i$  je cena v príslušnom období a  $n$  je obdobie. Hoci SMA je pomerne jednoduchý a efektívny kľzavý priemer, nevýhodou je, že pri vytváraní trendov akcií berie všetky minulé obdobia s rovnakou váhou.

Na odstránenie tejto nevýhody sa používa vážený kľzavý priemer (WMA). Rovnica (11) je založená na princípe, že ceny vo vybranom období sú vážené podľa poradia série tak, aby sa väčšia váha venovala nedávnym cenovým pohybom. Stále má však šum, pretože je aplikovaný na sériu. Vzorec pre výpočet WMA je nasledovný

$$WMA = \frac{\sum_{i=1}^n A_i(n-i)}{n(n+1)/2}. \quad (11)$$

Exponenciálny kľzavý priemer (EMA) znižuje šum a výraznejšie vyjadruje najnovšie pohyby cien. Keďže EMA sa počíta rekurzívne na základe predchádzajúceho obdobia, poskytuje dobré vyhladenie, pri ktorom sa šum viac znižuje. Keďže rekurzia sa počíta ako rovnica (12), je potrebná hodnota EMA z predchádzajúceho dňa, takže namiesto prvej hodnoty EMA sa použije SMA. Vzorec pre výpočet WMA je nasledovný

$$EMA_t = A_t \left( \frac{2}{n+1} \right) + EMA_{t-1} \left( 1 - \frac{2}{n+1} \right). \quad (12)$$

Autori uviedli tri rôzne vzorce bežne používané v literatúre, ktoré sú uvedené vyššie. Ďalej dodali, že v skutočnosti je EMA špeciálna forma WMA a princípom všetkých kľzavých priemerov je, ako zvoliť ich váhy. Pre väčšie zmäkčenie sa však bežne používa dvojité alebo trojitá EMA, uvedené v rovnicach (13 a 14) nižšie.

$$DEMA = 2EMA - EMA(EMA) \quad (13)$$

$$TEMA = 3EMA - 3EMA(EMA) + EMA(EMA(EMA)) \quad (14)$$

Autori ďalej vysvetľujú, že vo všeobecnosti je vhodnejšie zvoliť WMA a EMA pre obdobia dlhé 20 alebo menej a SMA pre obdobia 60 alebo dlhšie, pretože konečné ceny sú dôležitejšie. Pretože s narastajúcim obdobím sa váhy zvolené podľa princípu WMA a EMA približujú k SMA. Čím kratšia je zvolená perióda, tým vyššia je možnosť šumu a falošné signály spôsobia oneskorenie. Toto oneskorenie zvyčajne povedie k tomu, že na stúpajúcom trende vstúpi obchodník do pozície neskoro (po zvýšení cien)

a naopak neskorý odchod z pozície (po poklese cien). Na tento účel sa vyvinuli prístupy, ako je použitie dvoch alebo viacerých typov kľzavých priemerov spolu, kľzavých priemerov a iných indikátorov spolu, adaptívne prispôsobenie váh kľzavého priemeru alebo hlboké učenie (Canela et al., 2019).

Ukazovateľ kľzavej priemernej konvergenie divergencie (MACD), jeden z dnes najpopulárnejších ukazovateľov, je založený na dvoj periodickom EMA a princípe ich zmäkčovania. MACD línia je 12-dňový a 26-dňový rozdiel koncových cien EMA, signálna línia je 9-periódové vyhladzovanie. Histogram ukazuje rozdiel medzi nimi. V súlade s tým, autori uvádzajú nasledovnú stratégiu pre MACD: Ak MACD línia prekríži smerom hore Signálnu líniu, je to signál na nákup; ak sa krížia smerom nadol, je to signál na predaj. Podobne je stratégiou aj hodnota histogramu pod alebo nad 0. Keď je horný priesečník pod histogramom, ide o „slabý nákup“; ak je vyššie, je to „silný nákup“, zatiaľ čo spodný priesečník je nad histogramom, ide o „slabý predaj“ a pod histogramom je signál „silný predaj“.

$$MACD \text{ línia} = EMA(12) - EMA(26) \quad (15)$$

$$Signálna \text{ línia} = EMA(MACD \text{ línia}, 9) \quad (16)$$

Ďalším široko používaným indikátorom je Bollinger Band (BB), ktorý pozostáva z troch trendových línií a jeho názov je odvodený od priezviska jeho vývojára. Stredná čiara tohto indikátora je 20 periód SMA cien aktíva. Horné a dolné pásma sa získajú pripočítaním a odčítaním dvojnásobku hodnoty štandardnej odchýlky od tohto stredného pásma, ktorej vzorec je nasledovný

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - SMA)^2}{n} \quad (17)$$

Podľa autorov ďalším široko používaným a porovnávaným ukazovateľom je index relatívnej sily (RSI). V skutočnosti sa RSI používa na potvrdenie cenových extrémov indikátorom v určitom období. Okrem toho sa normalizuje na rozsah 0-100 a pod 30 sa považuje aktívum za „prepredané“ a nad 70 sa považuje za „prekúpené“. V tomto prípade sa indikátor považuje za prechod cez zónu prepredania zdola nahor ako signál na nákup a prechod pod zónu prekúpenia zhora nadol sa považuje za signál na predaj. Ako všeobecná akceptácia je hodnota obdobia zvolená ako 14. Autori použili klasickú formu pre RSI, ktorá je nasledovná

$$RSI = 100 - \left( \frac{100}{1 + \frac{AvgGain}{AvgLoss}} \right). \quad (18)$$

Indikátor RSI je dnes jedným z najpoužívanejších ukazovateľov. Vyššie uvedené signály sa však vyskytujú zriedkavo. Ďalšou stratégiou, ktorá sa využíva pomocou RSI, je porovnanie aktuálnej hodnoty s jej priemerom. Na tomto princípe funguje Stochastic RSI (Stoch). Hodnota  $K\%$  uvedená v rovnici (19) sa získa normalizáciou RSI na interval 0-1 a jej vynásobením 100.  $D\%$  je jeho 3-dňový jednoduchý priemer  $K\%$ . Pomocou Stochastic RSI autori uviedli stratégiu, keď hodnota  $K\%$  prekročí hodnotu  $D\%$  nahor, považuje to za signál nákupu a keď prekročí nadol, udáva signál na predaj.

$$Stoch(K\%) = \frac{(RSI - \min(RSI))}{(\max(RSI) - \min(RSI))} \quad (19)$$

Posledným ukazovateľom skúmaným v štúdií autorov je ukazovateľ Parabolic Stop and Reversal (PSAR). Používa sa na zachytenie zmien cien a trendov. Rovnica (20), v ktorej  $C$  je záverečná cena  $EPT$  vynásobená najvyššou a najnižšou hodnotou dňa, zatiaľ čo konštanta  $AF$  je konštanta 0,2 vynásobená počtom dní a vrcholov 0,02.

$$PSAR = C + AF(EPT - C) \quad (20)$$

### 1.3.2 Navrhovaná metóda kĺzavého priemeru

Autori v tejto štúdií vytvorili nový ukazovateľ, ktorý počíta kĺzavý priemer s odlišným prístupom. Jeho výkonnosť bola porovnaná s ostatnými piatimi vyššie skúmanými ukazovateľmi. Základnou hypotézou štúdie je využitie zlatého rezu pri vážení kĺzavého priemeru. Okrem matematiky je zlatý rez široko používaný v umení, architektúre, biológii a financiách na čo autori odkazujú aj literatúrou (Gabdrakhmanova et al., 2021). Každé Fibonacciho číslo sa rovná súčtu dvoch predchádzajúcich Fibonacciho čísel. Hodnota zlatého rezu sa rovná približne 1,6180339887498, čo dostaneme po delení dvoch po sebe idúcich čísel vo Fibonacciho rade. Používanie Fibonacciho čísel vo financiách nie je novým prístupom. Používajú sa pri zvratoch cien pri meniacich sa trendoch, pri určovaní možných úrovní podpory a odporu alebo pri predpovedaní trendových období, *retracement* hodnotách, trendovo založenom Fibonacciho čase, kruhoch či špirále (Lusindah a Sumirat, 2021).

V tejto štúdií sú dva rôzne kĺzavé priemery vypočítané pomocou SMA, WMA a EMA fixovaním ich váh pomocou zlatého rezu. Vyvinutá stratégia vytvára signály

nákupu/predaja podľa priesečníka týchto dvoch priemerov s cenou. Práca sa zameriava najmä na získanie WMA, ktorý používa SMA s váhami zlatých pomerov, zjemnenie tejto série pomocou EMA a jej optimalizáciu na výber najvhodnejších parametrov pre testované akcie BIST30. Hodnota Fibonacciho čísel rastie so zvyšujúcim sa indexom, takže vynásobenie série veľkým číslom je problém. Preto prvé dve hodnoty radu  $W$ , ktoré tvoria váhy kĺzavého priemeru, sú konštantné, kde  $W_{-1} = 0.61803$  a  $W_0 = 1$ . Ostatné čísla radu sa rovnajú hodnote zlatého rezu umocnenej na index daného čísla v rade. Tento ukazovateľ, experimentálne autormi nazývaný Trend Follower (TF), sa vypočíta ako v rovnici (21) a vydelený sa súčtom týchto vopred zvolených váh. Potom sa hodnota TF pripočíta k hodnote odchýlky na zníženie šumu.

$$TF = \frac{\sum_{i=n}^1 A_i W_i}{\sum W_i} (100 + bias) / 100 \quad (21)$$

*TFsmooth* je 9-periódová hodnota EMA hodnoty TF. Podobne pre proces znižovania hluku. Hodnota odchýlky sa odpočíta. Ako pracovný princíp, ako v iných indikátoroch, keď hodnota *TF* prekročí hodnotu *TFsmooth* vygeneruje sa signál kúpiť a pri prechode nadol signál predaj. Výpočet pre *TFsmooth* je nasledovný

$$TFsmooth = EMA(TF, 9)(100 - bias) / 100. \quad (22)$$

Podľa optimalizačných testov autorov bola hĺbka periódy  $W$  zvolená na 10, hodnota vyhladenia na 9 a odchýlka, teda *bias*, na 0,3.

### 1.3.3 Experimentálne výsledky a záver

Navrhovaný prístup bol potvrdený spätným testovaním 30 akcií v BIST30. Akcie BIST30 vybrané pre štúdiu predstavujú najhodnotnejšie akcie pre turecký akciový trh. Štúdia bola vyvinutá pomocou skriptovacieho jazyka Pine na online platforme tradingview. Keďže každá akcia na finančných trhoch kolíše, žiadny ukazovateľ nefunguje ideálne. Z tohto dôvodu bolo na overenie štúdie použitých päť indikátorov a vyvinutý experimentálny prístup a porovnanie pre 30 akcií v BIST30 so stratégiou vytvorenou kódovaním jazyka pine script na online platforme tradingview.

Stratégia zahŕňa portfólio simulujúce vytvorené signály nákupu / predaja do minulých grafov s počiatočným predvoleným kapitálom. Výsledkom simulácie sú metrické hodnoty, ako je čistý zisk získaný so 100 000 ako počiatočným kapitálom v miestnej mene akcie, percento zisku, počet obchodovaných pozícií, počet pozícií uzavretých so ziskom a koeficient zisku. Počet ziskových pozícií a percento ziskovosti

môže byť dosť zavádzajúce, pretože krátkodobé pozície často otvárané na horizontálnom trhu majú nízke zisky. Zároveň veľké straty môžu viesť k celkovým stratám portfólia. Najoptimálnejšie porovnanie je Profit Factor (PF), získaný vydelením hrubého zisku hrubou stratou. Ak je táto hodnota menšia ako 1, znamená to, že príslušné portfólio stratégie je uzavreté so stratou; ak je väčšia ako 1, znamená to, že je uzavreté so ziskom.

Tabuľka 6 Porovnanie získaných hodnôt PF s navrhovaným prístupom a prístupmi v literatúre<sup>35</sup>

Aktívum	Navrhovaný prístup	MACD	STOCH	PSAR	BB
AKBNK	0.81	0.86	0.72	0.96	1.79
ARCLK	0.99	0.87	0.87	1.23	1.10
ASELS	1.11	1.02	0.63	0.83	1.17
BIMAS	0.82	0.48	1.16	0.57	0.93
DOHOL	1.70	1.70	1.22	1.28	1.63
EKGYO	0.88	1.22	1.37	0.76	0.65
EREGL	1.13	0.87	0.26	0.86	0.90
GARAN	0.76	0.99	1.12	0.80	1.15
GUBRF	1.53	0.77	0.42	1.00	0.66
HALKB	1.05	0.90	0.65	0.81	1.19
ISCTR	1.08	0.82	0.81	0.85	0.77
KCHOL	1.07	1.32	0.76	0.82	1.46
KOZAA	1.09	1.61	1.82	0.97	1.28
KOZAL	0.82	0.95	1.41	0.79	0.71
KRDMD	1.21	1.33	0.89	1.73	0.50
OYAKC	1.54	1.35	0.25	0.94	0.67
PETKM	1.08	1.70	2.04	1.21	0.71
PGSUS	1.59	1.24	0.32	1.79	0.72
SAHOL	0.77	1.00	1.81	0.86	1.55
SASA	1.21	0.68	1.62	1.33	0.62
SISE	0.91	1.34	0.50	0.73	0.42
TAVHL	1.04	1.10	0.49	0.85	0.24

<sup>35</sup> Zdroj Tabuľka 6: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1912987>



TCELL	0.82	0.86	0.98	0.81	1.83
THYAO	1.09	1.33	0.51	1.53	0.90
TKFEN	1.35	0.82	0.67	0.72	0.87
TSKB	1.89	1.37	1.41	1.29	1.23
TTKOM	0.84	0.66	1.32	0.80	1.44
TUPRS	1.00	0.99	0.93	1.36	1.43
VAKBN	1.14	1.21	0.24	1.11	0.41
YKBNK	1.02	1.10	0.86	0.90	0.79
Priemer PF	1.11	1.08	0.93	1.01	0.99
Priemer PF					1.00

Táto štúdia vyvinula nový prístup využívajúci kľzavé priemery, ktoré sú široko používané na finančných trhoch. Ďalej autori naprogramovali strategický test na overenie vyvinutého prístupu a proces spätného testovania bol aplikovaný na 30 akcií v BIST30. S navrhovaným prístupom v porovnaní s MACD, RSI, Stoch a PSAR skúmanými v štúdiu a široko používanými na finančných trhoch boli dosiahnuté v priemere lepšie výsledky v uvedených akciách.

Autormi porovnávané indikátory spoločne s ich nastaveniami nám pomohli pri výbere a nastaveniach indikátorov a pri výbere podmienok testovania pre náš model. Ďalej nám taktiež pomohli metriky, ktoré autori používali na vyhodnotenie úspešnosti stratégie a indikátora celkovo a v neposlednom rade ich experimentálny prístup pri tvorbe a použití vlastného indikátora.

## 2 CIELE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce je nastoliť a objasniť aktuálnosť výskumného problému, stanoviť a overiť hypotézy výskumu, ďalej analyzovať používané koncepty pri online obchodovaní na burzách, zhodnotiť obchodné stratégie využitím a uplatnením postupov štatistickej analýzy a objasniť možné využitie a prínos automatizovaného obchodovania. Cieľom výskumu bude identifikovať efektívne stratégie obchodovania založené na vybraných technických indikátoroch, konkrétne index relatívnej sily, index komoditného kanála, index peňažných tokov, Bollingerove pásma, jednoduchý kĺzavý priemer, exponenciálny kĺzavý priemer, vážený kĺzavý priemer a Hullovo kĺzavý priemer.

### **Podciele záverečnej práce:**

- zhodnotenie a navrhnutie algoritmu pre riešenie konkrétnej zadanej úlohy,
- navrhnuť obchodného robota, ktorý s využitím algoritmov obchodovania bude schopný za používateľa vykonávať obchody na burze,
- vykonávať štatistické predpovede,
- narábať so vzorkami údajov získaných pri spätnom testovaní zvolených obchodných stratégií,
- stanovenie globálnych nulových štatistických hypotéz na základe prieskumu dát,
- testovanie hypotéz a viacnásobné porovnávanie,
- referovať o štatistických a vecných výsledkoch výskumu.

### 3 NÁVRH A METODIKA VÝSKUMU

Na vytvorenie úspešného modelu automatického obchodného robota sme potrebovali niekoľko vecí. V prvej rade zabezpečiť automatické a nepretržité prehľadávanie dát obchodnej burzy, v ktorých by náš robot hľadal obchodné príležitosti a splnil tak podmienku automatizovaného procesu fungovania bez ľudského zásahu. Z toho dôvodu sme potrebovali zdroj a prístup k takýmto dátam a plánovač úloh na strane servera. Ďalej sme potrebovali vyvinúť stratégiu, ktorú by sme testovali a overovali na jej úspešnosť a výkonnosť nášho robota a na tento spôsob sme využili poznatky získané z analýzy súčasného stavu, kde autori použili rôzne stratégie a indikátory, čo nám pomohlo pri tvorbe nášho modelu. Taktiež autormi použité metriky a procesy na hodnotenie úspešnosti a výkonnosti. Táto kapitola teda obsahuje zhrnutie získaných poznatkov využitých pri návrhu nášho modelu automatického obchodného robota a použitých algoritmov.

#### 3.1 ALGORITMICKÉ OBCHODOVANIE

Tak ako sme už spomenuli v úvodnej časti záverečnej práce, automatizácia procesov obchodovania a následne využitia algoritmov je podstatou úspešného automatického obchodovania, ktoré sa odborne nazýva algoritmické obchodovanie a je definované v literatúre (Leitner, 2022; Cohen, 2022) ako používanie automatizovaného systému na vykonávanie obchodov, ktoré sa vykonávajú vopred určeným spôsobom pomocou algoritmu špecificky bez akéhokoľvek ľudského zásahu. Algoritmické stratégie sú navrhnuté pred začatím obchodovania a sú vykonávané bez vlastného uváženia od ľudských obchodníkov. Odborná literatúra (O'Hara, 2015; Burgess 2019) rozdeľuje algoritmické obchodovanie podľa frekvencie do troch kategórií a to vysoko, stredne a nízko-frekvenčné algoritmické obchodovanie.

Pri vysokofrekvenčnom obchodovaní roboty vykonávajú veľa obchodov za minútu. Tieto obchodné roboty dosahujú malé zisky v milisekundách až mikrosekundách. Ich pointou je vykonať stratégie niekoľko tisíckrát denne a tak byť ziskovými s veľkým množstvom malých ziskov. Ako príklad možno uviesť robota, ktorý sleduje správy a novinky. Keď sa zverejní správa o spoločnosti alebo inom obchodovateľnom aktíve, tieto roboty dokážu rýchlo prečítať materiál. Potom po analýze obsahu určia, či to bude mať negatívny alebo pozitívny vplyv na cenu aktíva. Ak očakávajú zvýšenie ceny, roboty automaticky nakúpia dané aktívum a to všetko

v priebehu zlomku sekundy. Takéto obchodovanie je však výpočtovo a finančne náročné a z toho dôvodu nebolo použité v našom návrhu riešenia problematiky.

Stredne a nízkofrekvenčné obchodovanie sa využívajú na niekoľko minútové, až niekoľko hodinové obchody. Rozdiel je v tom, že strednefrekvenčné stratégie vykonávajú vnútrodné (intraday) obchodné pozície a teda tieto pozície tiež uzatvárajú do jedného dňa na rozdiel od nízkofrekvenčného obchodovania, ktoré môžu zostať otvorené aj niekoľko dní či týždňov. Môže sa zdať, že roboty na nízkofrekvenčné obchodovanie sú menej komplikované, pretože nemusia spracovať milióny údajov v zlomku sekundy. Stále však môžu využívať komplexné prístupy, ktoré zohľadňujú množstvo podmienok a ukazovateľov pred vstupom do obchodu alebo výstupom z neho a teda aj maloobchodníci s menším kapitálom majú možnosť automatizovania procesov obchodovania, čo je poznamenané aj v odbornej literatúre (Sahalia a Brunetti, 2020). Z tohto dôvodu sme sa preto rozhodli použiť stredne a nízkofrekvenčné obchodovanie v našej práci.

## **3.2 POUŽITÉ DÁTA**

Dáta sme sa rozhodli získavať pomocou API čo je zbierka funkcií a tried, ktoré určujú akým spôsobom sa majú funkcie knižníc volať zo zdrojového kódu programu. API funkcie sú teda programové celky, ktoré programátor volá namiesto vlastného naprogramovania a týmto spôsobom uľahčujú prístup k získaniu dát a nejedná sa o výpočtovo zložitú operáciu čo podporuje aj odborná literatúra (Thayer et al., 2021) a teda nebudeme musieť všetky potrebné údaje ukladať v databáze.

### **3.2.1 Zdroj dát**

Pre zdroj dát sme sa rozhodli použiť kryptomeny na rozdiel od aktív spoločností či národných mien, nakoľko kryptomeny sú komoditou, s ktorou sa obchoduje 24 hodín 7 dní v týždni na rôznych burzách po celom svete. Kryptomeny teda nemajú regulátora a nepodliehajú zatváraniu a otváraniu trhov ako už spomínané akcie a národné meny. Navyše online burzy s kryptomenami nie sú regulované vysokými poplatkami a majú relatívne nízke minimálne vkladové požiadavky na nákup, kdežto napríklad online burzy pre akcie spoločností môžu mať minimálne vkladové požiadavky na úrovni aj niekoľko tisíc eur. A hlavným dôvodom je, že prístup k historickým dátam kryptomien nie je spoplatnený na rozdiel od akcií spoločností, kde síce prístup k dňovým dátam je voľne prístupný, ale napríklad prístup k minútovým, či hodinovým dátam už nie je na

čo odkazuje aj odborná literatúra (Parlika a Pratama, 2021). Z tohto dôvodu aj vyššie skúmané jednotlivé výskumy pracovali práve s dňovými dátami akcií spoločností. A preto sme sa rozhodli použiť v práci práve dáta kryptomien.

### 3.2.2 Získanie dát

Pri výbere burzy sme hľadali takú, čo bude mať najlepšie spracovanú API dokumentáciu a teda bude pripojenie sa ňu a následne aj získanie dát pre nás čo najjednoduchšie. Ďalšou požiadavkou bolo preštudovať si danú dokumentáciu a zistiť, či daná burza podporuje limitné objednávky aby každý náš obchod mal automaticky nastavené hodnoty pre zisk a stratu, a tým pádom aby bol celý proces plne zautomatizovaný bez nutnosti ľudského zásahu. Rozhodli sme sa preto pre online burzu Binance, ktorá patrí momentálne medzi najpopulárnejšie a zároveň poskytuje pre náš účel vhodné API služby spoločne s prehľadnou dokumentáciou<sup>36</sup>. Po preštudovaní dokumentácie sme do PHP skriptu napísali nasledujúci kód

```
if ($timeframe >= 3600) {
    $globaluri = 'https://fapi.binance.com/fapi/v1/continuousKlines?pair=' .
    $symbol .
    '&contractType=PERPETUAL' .
    '&interval=' . ($timeframe / 3600) . 'h' .
    '&startTime=' . $partialStartTime . '000' .
    '&endTime=' . $partialEndTime . '000' .
    '&limit=1500';
} else {
    $globaluri = 'https://fapi.binance.com/fapi/v1/continuousKlines?pair=' .
    $symbol .
    '&contractType=PERPETUAL' .
    '&interval=' . ($timeframe / 60) . 'm' .
    '&startTime=' . $partialStartTime . '000' .
    '&endTime=' . $partialEndTime . '000' .
    '&limit=1500';
},
```

kde premenná \$timeframe predstavuje použitý časový rámec v sekundách, konkrétne burza Binance podporuje časové rámce o dĺžke 60, 300, 900, 1800, 3600 a 14400 sekúnd, čo predstavuje minútové, 5 minútové, 15 minútové, 30 minútové,

---

<sup>36</sup> <https://binance-docs.github.io/apidocs/futures/en/#change-log>

hodinové a 4 hodinové časové intervaly a teda príslušné hodnoty pre dáta, čo je vhodné pre naše stredne a nízkofrekvenčné algoritmické obchodovanie. Premenná \$globaluri predstavuje adresu na pripojenie sa na API burzy a v tejto premennej sú zadané všetky ďalšie potrebné premenné na získanie dát, ako premenná \$symbol, ktorá predstavuje konkrétnu kryptomenu (napríklad BTCUSDT pre získanie dát Bitcoinu), ďalej je contractType nastavený na PERPETUAL čo predstavuje druh kontraktu bez dátumu expirácie, interval je nastavený na už spomínaný \$timeframe, startTime a endTime predstavujú unixový časový úsek, z ktorého chceme získať dáta a limit predstavuje maximálny počet časových rámcov, ktoré je možné získať pri jedno vykonaní príkazu, napríklad pre časový rámec jedného dňa by sme získali dáta z časového úseku pre maximálne 1500 dní od zvoleného startTime-u. Ďalej sme napísali kód pre získanie dát

```
$curl_handle = curl_init();
curl_setopt($curl_handle, CURLOPT_URL, $globaluri);
curl_setopt($curl_handle, CURLOPT_CONNECTTIMEOUT, 2);
$data = json_decode(curl_exec($curl_handle), true);
$number_of_candles = sizeof($data);
curl_close($curl_handle);
```

ktorý pomocou curl\_init() funkcie, ktorá musí byť prvá a vráti nám curl handle, ktorý použijeme následne ako vstup pre curl\_setopt() funkcie, konkrétne pre URL adresu a nastavenie maximálneho času v sekundách, ktorý sme ochotní čakať pri fáze pripojenia k serveru. Následne získané dáta dekodujeme a uložíme do premennej \$data. V premennej \$number\_of\_candles si uložíme dĺžku premennej \$data, ktorú využijeme pri určení dĺžky cyklu pre výpočet indikátorov. Na záver už len zavrieme curl. Ďalej si ukážeme a priblížime akú podobu mali dáta, s ktorými sme pracovali a ktoré konkrétne údaje boli potrebné pre výpočet indikátorov.

### 3.2.3 Ukážka dát

Dáta po získaní a následnom dekódovaní do json formátu majú nasledujúcu podobu

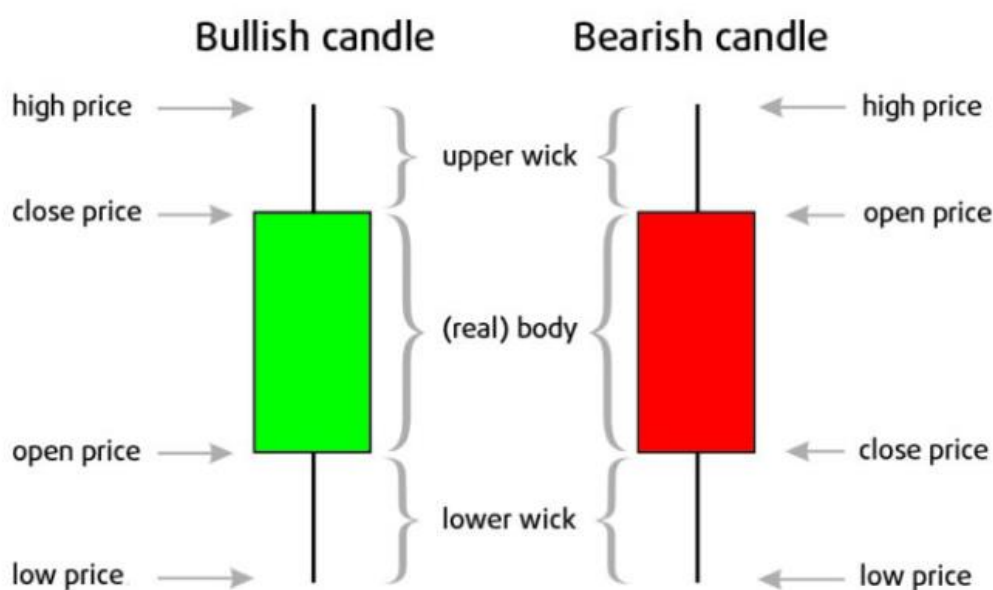
```
[
  [
    1607444700000, // Otvárací čas
    "18879.99",    // Otvorenie
    "18900.00",    // Maximum
    "18878.98",    // Minimum
    "18896.13",    // Zatvorenie (alebo aktuálna cena)
    "492.363",     // Objem
    1607444759999, // Zatvárací čas
    "9302145.66080", // Objem cenovej ponuky
    1874,          // Počet obchodov
    "385.983",     // Taker nákupný objem
    "7292402.33267", // Taker objem nákupnej ponuky
    "0"           // Ignorovať
  ]
]
```

a z týchto dát nás budú zaujímať hlavne hodnoty ceny aktíva, ktoré predstavujú cenu pri otvorení v danom časovom rámci, maximálnu a minimálnu dosiahnutú hodnotu počas časového rámca a uzatváraciu cenu aktíva časového rámca. V odbornej literatúre sa tieto hodnoty označujú ako OHLC (Open, High, Low, Close). Z týchto hodnôt sme následne počítali hodnoty pre vybrané indikátory. Pre získanie všetkých hodnôt všetkých časových rámcov počas zvoleného obdobia sme použili cyklus, ktorý prechádzal po všetkých časových rámcoch a ukladal hodnoty do polí.

```
for ($i = 0; $i < $number_of_candles; $i++) {
  $ac = $data[$i];
  array_push($opens, $ac[1]);
  array_push($highs, $ac[2]);
  array_push($lows, $ac[3]);
  array_push($closes, $ac[4]);
  ...
}
```

Použili sme tu, ako sme spomínali vyššie, celkový počet dát, ktorý predstavoval dĺžku cyklu a v ňom premenná  $\$ac$  predstavovala vždy aktuálny časový rámeček, a potom sme postupne priradzovali dáta podľa indexu do príslušných polí. Následne v tomto cykle boli počítané indikátory a určené podmienky pre stratégie, ku ktorým sa dostaneme neskôr.

Dáta, s ktorými sme pracovali majú aj vizuálnu podobu, ktorú môžeme vidieť na obrázku 3 nižšie. V odbornej literatúre má takéto vizuálne znázornenie hodnôt cien aktíva názov sviečka (candle) a takéto sviečky tvoria grafy pohybu cien pre dané aktívum v daný časový rámeček.



Obrázok 3 Vizualna podoba dát<sup>37</sup>

### 3.3 TECHNICKÉ INDIKÁTORY A STRATÉGIE

Následne keď už sme mali získané potrebné dáta sme sa mohli vrhnúť na výpočet hodnôt indikátorov, ktoré budú slúžiť ako podmienky pre otváranie obchodov a teda hľadania príležitostí na trhu kryptomien. Na úvod považujeme za potrebné spomenúť, že jednotlivé indikátory môžu byť použité nie len pri kryptomenách, ale aj už pri spomínaných akciách spoločností či obchodovaní s medzinárodnými menami, na čo odkazuje aj odborná literatúra (Tanaka-Yamawaki a Tokuoka, 2007; Dai et al., 2021) a to z dôvodu, že vzorce pre jednotlivé indikátory sa nelíšia a počítajú sa z OHLC hodnôt, a teda sú použiteľné pre akékoľvek aktívum, ktoré obsahuje tieto hodnoty.

<sup>37</sup> Zdroj Obrázok 3: <https://tradingcryptocourse.com/free/technical-analysis-candlesticks/>



Celkovo sme použili 8 indikátorov pri tvorbe záverečnej práce. Indikátory boli následne spätne testované na rovnakých podmienkach, ktoré si objasníme v nasledujúcej časti záverečnej práce. Taktiež mali vždy indikátory rovnaké nastavenia a našim cieľom bolo nájsť tie najlepšie nastavenia a najvýnosnejší indikátor k čomu nám pomohla štatistická analýza a testovanie hypotéz. Pre jednotlivé indikátory bolo dôležité zvoliť rovnakú dĺžku obdobia, z ktorého sa budú počítať aby sme zabezpečili rovnaké a porovnateľné podmienky pre všetky použité indikátory. Zvolili sme si dve dĺžky a to 8 a 21, čo predstavujú Fibonacciho čísla a ako aj odborná literatúra odkazuje (Shynkevich et al., 2017), práve Fibonacciho čísla sa používajú ako dĺžky indikátorov. Dĺžku 8 sme si zvolili preto, aby indikátory pracovali na relatívne krátkom období a teda sa rýchlejšie prispôbovali zmenám cien aktíva a dĺžka 21 predstavovala presný opak, čo z nášho pohľadu bolo vhodné na porovnanie výsledkov.

Pri indikátoroch si teda vždy vysvetlíme vzorec s ktorým sme pracovali a použili na výpočet, ďalej si objasníme hodnoty, ktoré môže indikátor nadobúdať, ďalej grafické zobrazenie indikátoru pre lepšiu predstavu a taktiež objasnenie podmienok kedy bude indikátor generovať signály pre obchodné stratégie.

### 3.3.1 Relative Strength Index

Prvým indikátorom, ktorý sme si vybrali je Relative Strength Index (RSI) alebo index relatívnej sily, ktorý je medzi obchodníkmi jeden z najpoužívanejších vďaka jeho jednoduchšej interpretácii. Index relatívnej sily sme vypočítali podľa vzorca odbornej literatúry, ktorí použili aj autori v analýze súčasného stavu a má nasledujúci tvar

$$RSI = 100 - \left( \frac{100}{1 + \frac{AvgGain}{AvgLoss}} \right), \quad (23)$$

kde priemerný zisk (*AvgGain*) alebo strata (*AvgLoss*) použité pri výpočte sú priemerný percentuálny zisk alebo strata počas preferovanej dĺžky indikátora, v našom prípade bola dĺžka obdobia buď 8 alebo 21 časových rámcov. Vzorec používa absolútnu hodnotu pre priemernú stratu a ak je *AvgGain* pre určitý časový rámec kladný, potom sa *AvgLoss* pre tento časový rámec nahradí 0 a naopak.

RSI je indikátor hybnosti, ktorý meria veľkosť nedávnych zmien cien na vyhodnotenie podmienok nadhodnotenia (signál pre predaj aktíva) alebo podhodnotenia (signál pre kúpu aktíva) v cene aktíva. RSI sa zobrazuje ako oscilátor, teda ako čiarový

graf, ktorý sa pohybuje medzi dvoma extrémami a môže mať hodnotu od 0 do 100, a tento pohyb môžeme vidieť aj nižšie na obrázku 4.



Obrázok 4 Indikátor RSI spolu s hraničnými bodmi<sup>38</sup>

Šedá prerušovaná čiara na obrázku 4 predstavuje nami zvolené hraničné hodnoty indikátoru, v tomto prípade je vrchná hodnota 70 a spodná 30 a prekročenie tejto hodnoty fialovou čiarou, ktorá predstavuje index relatívnej sily, z vrchu smerom dole pri vrchnej hraničnej hodnote predstavuje signál pre *short* a teda pre predaj aktíva. Prekročenie spodnej hranice smerom z dolu smerom hore predstavuje signál pre *buy* a teda pre nákup aktíva.

<sup>38</sup> Zdroj Obrázok 4: <https://www.tradingview.com/chart/z4f7r5O1/>

Stratégiu, ktorú sme použili s týmto indikátorom spočívala práve s prekročením hraničných bodov, či spodných alebo vrchných. Konkrétne sme testovali hodnoty 20 a 30 pre spodné hraničné body a hodnoty 80 a 70 pre vrchné hraničné hodnoty. Tieto hodnoty boli spárované a teda 20 a 80, respektíve 30 a 70 boli vždy testované spolu pre rôzne obchodné nastavenia, ktoré si priblížime v časti spätné testovanie.

### 3.3.2 Commodity Channel Index

Druhý indikátor, ktorý sme si vybrali a testovali bol Commodity Channel Index (CCI) alebo index komoditného kanála, ktorý predstavuje oscilátor hybnosti používaný v technickej analýze predovšetkým na identifikáciu úrovni prekúpenia (nadhodnotenej ceny aktíva) a prepredania (podhodnotenej ceny aktíva) meraním odchýlok aktíva od jeho štatistického priemeru a vypočíta sa podľa vzorca

$$CCI = \frac{TP - SMA(TP)}{0.015 * MD}, \quad (24)$$

kde  $TP$  predstavuje Typical Price, čo sa rovná priemeru HLC daného časového rámca ( $TP = (High + Low + Close) / 3$ ),  $SMA$  predstavuje jednoduchý kľzavý priemer pre  $TP$  s danou dĺžkou, v našom prípade 8 a 21,  $MD$  predstavuje strednú odchýlku (mean deviation) a 0.015 je konštanta, ktorá zaisťuje, že 70 až 80 percent hodnôt CCI spadajú do rozsahu +100 až -100.

Keď sa hodnota CCI indikátora dostane nad +100, začína sa podľa literatúry nový silný vzostupný trend, ktorý signalizuje nákup a naopak keď sa hodnota CCI indikátora dostane pod -100, začína sa nový, silný klesajúci trend, ktorý signalizuje predaj. Treba však poznamenať, že úrovne prekúpenia alebo prepredania nie sú fixné, pretože indikátor nie je viazaný a teda ohraničený maximálnymi a minimálnymi hodnotami ako napríklad RSI (0 až 100). Pre jedno aktívum môže mať tendenciu obrátiť cena svoj trend v hodnotách napríklad +200 a -200. Ďalšia komodita môže mať medzitým tendenciu obrátiť trend ceny v blízkosti hodnôt +350 a -350. Hodnoty pre podmienky na predaj a nákup aktíva teda nie sú fixné, ale to nie sú pri žiadnom indikátore, inak by existovali len úspešní obchodníci. Budeme sa teda riadiť odbornou literatúrou, ktorá uvádza, ako sme už spomenuli, hraničné hodnoty na úrovni +100 pre nadhodnotenú cenu aktíva a -100 pre podhodnotenú cenu aktíva. Nižšie na obrázku 5 môžeme vidieť vizuálne znázornenie tohto indikátora.



Obrázok 5 Indikátor CCI spolu s hraničnými bodmi<sup>39</sup>

Šedá prerušovaná čiara na obrázku 5 opäť predstavuje nami zvolené hraničné hodnoty indikátoru, v tomto prípade je vrchná hodnota +100 a spodná -100 a prekročenie tejto hodnoty modrou čiarou, ktorá predstavuje index komoditného kanála, z vrchu smerom dole pri vrchnej hraničnej hodnote predstavuje signál pre *short* a teda pre predaj aktíva. Prekročenie spodnej hranice smerom z dolu smerom hore predstavuje signál pre *buy* a teda pre nákup aktíva.

Stratégiu, ktorú sme použili v tomto prípade spočívala práve s prekročením hraničných bodov, či spodných alebo vrchných. Konkrétne sme testovali hodnoty +100, +200, -100 a -200, ktoré boli opäť spárované (+100 s -100 a +200 spolu s -200) a boli spoločne testované pre rôzne obchodné nastavenia.

<sup>39</sup> Zdroj Obrázok 5: <https://www.tradingview.com/chart/z4f7r5O1/>

### 3.3.3 Money Flow Index

Tretí indikátor, ktorý sme si vybrali pre našu analýzu a testovanie je Money Flow Index (MFI) alebo index toku peňazí. Je to indikátor hybnosti, ktorý meria tok peňazí do a z aktíva počas určitého časového obdobia. Súvisí s indexom relatívnej sily (RSI), ale zahŕňa objem, zatiaľ čo RSI zohľadňuje iba cenu a z tohto dôvodu sme si ho aj vybrali. MFI sa počíta akumuláciou kladných a záporných hodnôt peňažného toku a vytvorením peňažného pomeru. Peňažný pomer sa potom normalizuje do formy oscilátora MFI. Money Flow Index má teda nasledujúci vzorec

$$MFI = 100 - \left( \frac{100}{1 + \left( \frac{n \text{ Positive } MF}{n \text{ Negative } MF} \right)} \right), \quad (25)$$

kde  $n$  sa rovná perióde a teda v našom prípade opäť 8 alebo 21 a  $MF$  predstavuje Money Flow a teda peňažný tok, ktorý sa vypočíta ako *Typical Price* ((High + Low + Close) / 3) vynásobená objemom. Pomer týchto kladných a záporných hodnôt peňažného toku potom predstavuje Money Ratio (peňažný pomer).

Úrovne podhodnotenia aktíva sa zvyčajne vyskytujú keď hodnota indikátora klesne pod úroveň 20 a úrovne nadhodnotenia aktíva sa zvyčajne vyskytujú keď indikátor dosiahne hodnoty nad 80. Avšak znovu aj tu ako pri všetkých indikátoroch technickej analýzy, obchodník nemôže považovať tieto hodnoty za fixné a tieto úrovne sa môžu meniť v závislosti od trhových podmienok. Vizualizáciu tohto indikátora môžeme vidieť nižšie na obrázku 6. Rovnako ako pri RSI, aj tu sú maximálne a minimálne hodnoty indikátoru ohraničené od 0 do 100.

Šedá prerušovaná čiara na obrázku 6 predstavuje nami zvolené hraničné hodnoty indikátoru, v tomto prípade je vrchná hodnota 80 a spodná 20 a prekročenie tejto hodnoty fialovou čiarou, ktorá predstavuje index toku peňazí, z vrchu smerom dole pri vrchnej hraničnej hodnote predstavuje signál pre *short* a teda pre predaj aktíva. Prekročenie spodnej hranice smerom z dolu smerom hore predstavuje signál pre *buy* a teda pre nákup aktíva.



Obrázok 6 Indikátor MFI spolu s hraničnými bodmi<sup>40</sup>

Stratégiu, ktorú sme použili bola obdobná ako pri ostatných oscilátoroch a teda spočívala s prekročením hraničných bodov, či už spodných alebo vrchných. Konkrétne sme testovali hodnoty 20, 30, 70 a 80, ktoré boli opäť spárované (20 s 80 a 30 spolu s 70) a boli spoločne testované pre rôzne obchodné nastavenia. Tieto hodnoty boli zvolené na základe preštudovaných výskumov v analýze súčasného stavu a odbornej literatúry, ktorá uvádza práve tieto hodnoty ako hraničné.

<sup>40</sup> Zdroj Obrázok 6: <https://www.tradingview.com/chart/z4f7r5O1/>

### 3.3.4 Bollinger Bands

V poradí štvrtý indikátor, ktorý sme si vybrali je Bollinger Bands (BB) alebo Bollingerove pásma. Bollinger Bands sú definované v odbornej literatúre ako cenové obálky, ktoré dostali meno podľa ich vývojára Johna Bollingera. Cenové obálky a teda Bollingerove pásma sú horné a dolné úrovne cenového rozpätia aktíva na úrovni štandardnej odchýlky nad a pod jednoduchým kĺzavým priemerom ceny aktíva. Pretože vzdialenosť pásiem je založená na štandardnej odchýlke, prispôsobujú sa výkyvom volatility ceny aktíva. Bollingerove pásma sa podľa odbornej literatúry vypočítajú nasledujúcim spôsobom

$$BB = SMA(n) \pm 2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}, \quad (26)$$

kde *SMA* predstavuje jednoduchý kĺzavý priemer daného obdobia, v našom prípade sme ako aj doteraz testovali dve dĺžky a to 8 a 21, a teda *n* predstavovalo jedno z týchto dvoch čísel a ďalej nasleduje výpočet štandardnej odchýlky, ktorá sa buď pripočíta a získame tak vrchnú hodnotu pre Bollingerove pásmo, alebo odpočíta a získame spodnú hodnotu Bollingerovho pásma. V štandardnej odchýlke *x* predstavuje *i*-tu uzatváraciu cenu aktívu a  $\mu$  predstavuje priemer uzatváracích cien aktíva daného obdobia.

Bollingerove pásma pomáhajú určiť, či sú ceny relatívne vysoké alebo nízke a teda nadhodnotené alebo podhodnotené. Podľa literatúry sa cena aktíva považuje za nadhodnotenú keď je jej hodnota väčšia ako hodnota hornej hranice Bollingerovho pásma a nasledujúci časový rámec je uzatváracia hodnota ceny aktíva menšia ako hodnota hornej hranice Bollingerovho pásma, čo obchodníkom naznačuje zmenu trendu na zostupný. Cena aktíva sa považuje za podhodnotenú keď je jej hodnota menšia ako spodná hranica Bollingerovho pásma a nasledujúci časový rámec je hodnota ceny aktíva väčšia ako hodnota spodnej hranice Bollingerovho pásma, čo naznačuje opäť otočenie trendu, tentokrát na vzostupný.

Vizualizáciu Bollingerových pásiem môžeme vidieť nižšie na obrázku 7, kde modré čiary predstavujú hornú a spodnú hranicu Bollingerovho pásma, ktorá je dve štandardné odchýlky od jednoduchého kĺzavého priemeru, ktorý predstavuje oranžová čiara. Na tomto obrázku teda môžeme vidieť, ako cena aktíva zmení trend po prekročení

Bollingerovho pásma, či už zvrchu alebo zospodu, a následnom vrátení sa opäť do pásma.



Obrázok 7 Indikátor BB spolu s hranicami<sup>41</sup>

Stratégiu, ktorú sme použili je možné pozorovať už z obrázka 7, kde sme sa zamerali práve na prekročenie hodnoty ceny aktíva Bollingerovho pásma a následného vrátenia hodnoty ceny aktíva späť do pásma. Keď bola hodnota ceny nad hodnotou hornej hranice Bollingerovho pásma a nasledujúci časový rámec bola cena pod hornou hranicou pásma, predstavovalo to pre náš model signál pre *short* a teda predaj aktíva. Naopak, keď bola hodnota ceny pod hodnotou spodnej hranice Bollingerovho pásma a nasledujúci časový rámec bola cena nad touto spodnou hranicou pásma, predstavovalo to pre nás signál pre *buy* a teda nákup aktíva.

### 3.3.5 Moving Averages

Štvrtý indikátor, ktorý sme sa rozhodli testovať bol kĺzavý priemer a to vďaka jeho širokému použitiu medzi obchodníkmi a jednoduchou interpretáciou, či už na pochopenie v grafoch alebo spozorovanie obchodných príležitostí. Inšpirovali nás výsledky a postupy tretieho výskumu a preto sme sa rozhodli celkovo pre 4 varianty kĺzavých priemerov a to Simple Moving Average (SMA) alebo jednoduchý kĺzavý priemer, Weighted Moving Average (WMA) alebo vážený kĺzavý priemer, Exponential Moving Average (EMA) alebo exponenciálny kĺzavý priemer a Hull Moving Average

<sup>41</sup> Zdroj Obrázok 7: <https://www.tradingview.com/chart/z4f7r5O1/>



(HMA), ktorý predstavuje Hullov kľzavý priemer. Vzorce na výpočet SMA, WMA a EMA boli prevzaté z odbornej literatúry a teda sme použili rovnaké vzorce ako boli opísané v analýze súčasného stavu, konkrétne vzorec (10) pre SMA, vzorec (11) pre WMA a vzorec (12) pre EMA. Čo sa týka Hullovho kľzavého priemeru vyvinutého Alanom Hullom, ide o extrémne rýchly a plynulý kľzavý priemer. V skutočnosti HMA takmer úplne eliminuje oneskorenie a súčasne dokáže zlepšiť vyhladzovanie. Tento indikátor využíva vážené kľzavé priemery na uprednostňovanie novších hodnôt a výrazne znižuje oneskorenie. Výsledný priemer je teda citlivejší a tým pádom by mohol byť aj vhodnejší na identifikáciu vstupných bodov, čo bolo cieľom zistenia nášho testovania. Vzorec pre HMA sme použili nasledovný

$$HMA = WMA \left( 2 WMA \left( \frac{n}{2} \right) - WMA(n), \text{sqrt}(n) \right), \quad (27)$$

kde  $n$  predstavovalo periódu a teda dĺžku nášho obdobia, ktorá v našom prípade bola opäť 8 alebo 21 a ďalej sa v tomto vzorci pracuje s váženým kľzavým priemerom.

Kľzavý priemer je technický indikátor, ktorý môžu analytici trhu a investori použiť na určenie smeru trendu. Nazýva sa „kľzavý“ priemer, pretože sa neustále prepočítava na základe najnovších údajov o cenách aktíva. Je známy ako indikátor oneskorenia, pretože sleduje cenovú akciu podkladového aktíva a mení sa na jej základe s oneskorením. Preto existujú rôzne kľzavé priemery, ktoré znižujú toto oneskorenie, ako napríklad práve Hullov kľzavý priemer.

Vo všeobecnosti sa trend považuje za zostupný, keď je hodnota ceny aktíva pod hodnotou kľzavého priemeru a trend sa považuje za vzostupný keď je hodnota ceny aktíva nad hodnotou kľzavého priemeru. K obráteniu trendu a teda aj generovaniu obchodných signálov dochádza pri prekročení kľzavého priemeru, či už zospodu alebo zvrchu.

Na obrázku 8 nižšie môžeme vidieť vizualizáciu kľzavých priemerov a práve ich jednotlivé oneskorenia. Zelená čiara predstavuje Hullov kľzavý priemer a z obrázka môžeme vidieť, že práve tento kľzavý priemer reaguje na zmeny cien aktíva najrýchlejšie a má teda najmenšie oneskorenie. Červená čiara predstavuje exponenciálny kľzavý priemer, oranžová čiara predstavuje vážený kľzavý priemer a modrá čiara predstavuje jednoduchý kľzavý priemer, a ako môžeme aj vidieť, tieto 3 kľzavé priemery reagujú na zmenu ceny aktíva pomalšie.



Obrázok 8 Kľzavé priemery a ich oneskorenia na zmenu ceny aktíva<sup>42</sup>

Pre všetky kľzavé priemery sme použili rovnakú stratégiu a to už spomínané prekročenie hodnoty kľzavého priemeru. Ak sa cena aktíva pohybuje pod hodnotou kľzavého priemeru a dôjde k prekročeniu a uzavretiu ceny aktíva nad hodnotou kľzavého priemeru, tak stratégia generuje signál pre *buy* a teda nákup aktíva. Ak sa cena aktíva pohybuje nad hodnotou kľzavého priemeru a dôjde k prekročeniu a uzavretiu ceny aktíva pod hodnotou kľzavého priemeru, tak v tomto prípade stratégia generuje signál pre *short* a teda pre predaj aktíva. Podmienky boli nastavené pre všetky kľzavé priemery rovnako a boli spoločne testované pre rôzne obchodné nastavenia.

---

<sup>42</sup> Zdroj Obrázok 8: <https://www.tradingview.com/chart/z4f7r5O1/>

### 3.4 SPÄTNÉ TESTOVANIE

Systematické spätné testovanie obchodných stratégií si vyžaduje znalosti z mnohých oblastí vrátane matematiky, štatistiky, vývoja softvéru, štruktúry trhu/burzy a dokonca aj psychológie ako naznačuje odborná literatúra (Spörer, 2020; Hubrich, 2017). Systematické obchodovanie sa odlišuje od iných typov investičných prístupov, pretože vďaka relatívne bohatej dostupnosti historických údajov môžeme spoľahlivejšie poskytnúť očakávania budúcej výkonnosti zvolenej stratégie z jej minulej výkonnosti. Proces, ktorým sa to vykonáva, je známy ako spätné testovanie. Spätné testovanie sa vykonáva vystavením konkrétneho strategického algoritmu prúdu historických finančných údajov, čo vedie k súboru obchodných signálov.

Každý signál generovaný našimi použitými indikátormi bol definovaný ako spiatočný obchod, ktorý predstavoval otvorenie a zatvorenie obchodnej pozície a bol teda spojený so ziskom alebo stratou. Tieto individuálne zisky a straty sa akumulujú v historickom súbore údajov získaných z API online burzy, čo vedie k equity curve alebo teda akciovej krivke, ktorá je grafom veľkosti účtu v priebehu času pre danú stratégiu. Na tomto súbore údajov sme potom vypočítali rôzne štatistické miery, ktoré poskytujú kvantitatívny prehľad o efektívnosti stratégie. Odborná literatúra (Spörer, 2020) uvádza práve tieto štatistické výpočty umožňujú kvantitatívnym obchodníkom rozhodnúť, či historická simulácia vyzerá dostatočne sľubne na to, aby motivovala ďalší výskum a potenciálnu implementáciu stratégie. Z týchto dôvodov bolo pre nás spätné testovanie dôležitou súčasťou záverečnej práce.

#### 3.4.1 Vstupné premenné

Máme jednu nezávislú premennú a šesť grupovacích premenných. Všetky tieto premenné sú nominálne, z čoho dve sú polytomické (stratégia a buy/sell level) a zvyšných päť je dichotomických.

Stratégia založená na technickom indikátore predstavovala našu nezávislú premennú, konkrétne sme použili nasledujúce technické indikátory ako stratégiu:

- index relatívnej sily (RSI),
- index komoditného kanála (CCI),
- index peňažných tokov (MFI),
- Bollingerove pásma (BB),
- jednoduchý kĺzavý priemer (SMA),
- exponenciálny kĺzavý priemer (EMA),

- vážený kĺzavý priemer (WMA),
- Hullov kĺzavý priemer (HMA).

Premenné, ktoré sme zadávali do nášho spätného testovania pre všetky indikátory boli nasledovné:

- počiatočný kapitál - počiatočný kapitál predstavoval hodnotu, ktorá slúžila na výpočet kvantity daného symbolu, s ktorou sme obchodovali a v našom prípade bola táto hodnota stanovená na 100,
- risk a odmena (risk and reward ratio) - risk a odmena predstavovali podmienky pre úspešný, respektíve neúspešný obchod, napríklad RR ratio 1:2 znamená, že ak sa cena aktíva pohne daným smerom (stúpne pri predaji, alebo klesne pri nákupe) o 1% tak tento obchod bude neúspešný a to teda predstavuje náš risk, reward na druhej strane predstavuje pohyb ceny aktíva smerom, ktorý očakávame a teda pre úspešný obchod, v tomto prípade pohyb ceny o 2% (stúpne pri nákupe, alebo klesne pri predaji) predstavuje našu odmenu a teda výherný obchod, v našom spätnom testovaní sme testovali RR ratio 1:2 a 2:6,
- páka (leverage) - páka v našom prípade spätného testovania znamenala, s akým kapitálom pracujeme, respektíve koľko reálne zaplatíme za daný obchod, čo nemalo vplyv na výsledky testovania,
- risk rozpočtu v % - risk rozpočtu predstavoval, koľko % nášho kapitálu sme ochotní riskovať pri jednotlivom obchode, tu sme pracovali s hodnotami 3 a 5,
- časový rámec (timeframe) - časový rámec predstavoval frekvenciu obchodovania a teda na akej časovej úrovni sme prehľadávali trh, my sme sa rozhodli pre 30 minútový časový rámec, ktorý predstavoval ešte strednofrekvenčné algoritmické obchodovanie a 4 hodinový časový rámec, ktorý spadá do nízkofrekvenčného obchodovania a tým pádom sme pokryli dve možnosti algoritmického obchodovania,
- symboly (kryptomeny) - symboly boli počet kryptomien, na ktorých náš algoritmus hľadal obchodné príležitosti, v našom prípade 1 a 3 symboly,
- dĺžka indikátora – testované boli dĺžky 8 a 21 ako bolo vysvetlené v predchádzajúcej podkapitole,
- podmienky pre nákup a predaj (long and short) – hraničné hodnoty indikátorov a ich prekročenie, čo bolo priblížené opäť v predchádzajúcej kapitole pre jednotlivé indikátory,

- začiatkový a konečný čas testovania - začiatkový a konečný čas testovania bol pevne stanovený rovnako ako všetky ostatné nastavenia pre všetky stratégie a indikátory, konkrétne sme testovali obdobie jedného roku od polnoci 01.10.2021 do polnoci 01.10.2022.

Z týchto vstupných premenných sme si následne zvolili 6 premenných, konkrétne pomer risku a odmeny, risk rozpočtu v %, časový rámeč, počet symbolov, dĺžka indikátora a podmienky pre nákup a predaj, a tieto premenné predstavovali naše grupovacie premenné pri našej analýze stratégií a overovaní hypotéz.

### 3.4.2 Výstupné premenné

Ako sme už v úvode tejto podkapitoly spomenuli, rôzne zdroje uvádzajú rôzne metriky na analýzu výkonnosti spätného testovania a teda stratégie celkovo. V našej analýze sme sa preto rozhodli pre nasledovné metriky:

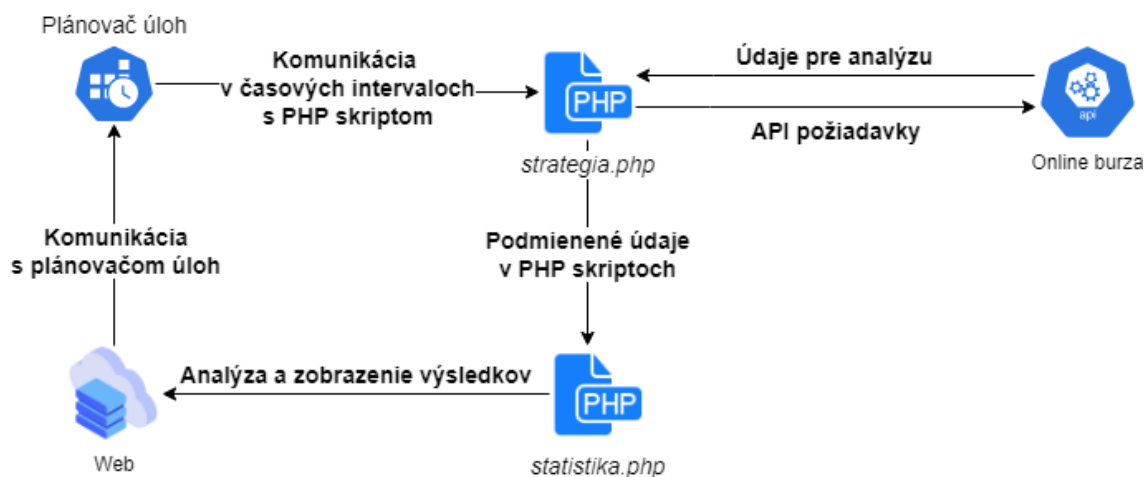
- počet obchodov – reprezentuje celkový počet obchodov za dané časové obdobie, stratégia sa môže javiť ako veľmi zisková s vysokým pomerom výhier, ale počet obchodov môže byť nízky, čo môže byť pre nového obchodníka zavádzajúce a práve preto je počet všetkých obchodov dôležitý,
- počet ziskových obchodov – počet obchodov, ktoré boli ziskové pre danú stratégiu, slúži na výpočet pomeru výhier spoločne s celkovým počtom obchodov,
- pomer výhier – vypočíta sa ak podiel ziskových obchodov a celkového počtu obchodov,
- konečný kapitál – konečný kapitál po spätnom testovaní danej stratégie,
- maximálny dosiahnutý kapitál – informácia pre obchodníka o maximálnom dosiahnutom kapitále počas testovaného obdobia,
- minimálny dosiahnutý kapitál - informácia pre obchodníka o minimálnom dosiahnutom kapitále počas testovaného obdobia,
- výnos – predstavuje celkový výnos alebo stratu pre danú stratégiu,
- drawdown - je mierou poklesu z historického vrcholu v nejakej premennej, v našom prípade výnosu,
- profit faktor – alebo ziskový faktor je definovaný ako podiel hrubého zisku a hrubej straty za celé obdobie obchodovania,

- RoMaD – Return over Maximum Drawdown je metrika, ktorú obchodníci využívajú ako výkonnosť portfólia vo všeobecnosti a vypočíta sa ako podiel výnosu portfólia a maximálneho drawdownu,
- priemerná dĺžka trvania obchodu – obchodník z tohto údaju vie zistiť, ako sa daná stratégia správa, či robí rýchle alebo pomalé obchody a na základe toho prispôbiť iné nastavenia, napríklad risk a odmenu.

Spomenuté vstupné premenné sme použili pri našej analýze stratégií a overovaní hypotéz a predstavovali naše závislé premenné.

### 3.5 MODEL OBCHODNÉHO ROBOTA

Na základe získaných poznatkov a informácií z opísaných odborných výskumov sme navrhli model nášho obchodného robota s funkciou spätného testovania. Tento model je možné vidieť na obrázku 9 nižšie.

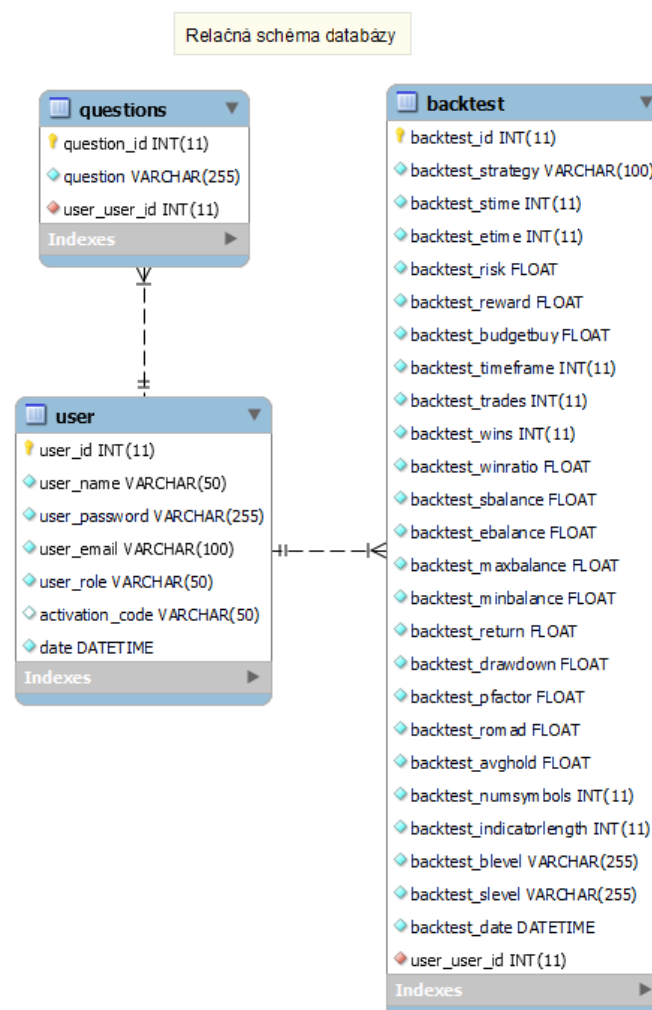


Obrázok 9 Diagram návrhu modelu obchodného robota

Tento model funguje na princípe automatického obnovovania skriptu, v ktorom je definované pripojenie na online burzu pomocou API, následné získanie údajov z burzy, vypočítanie indikátorov a na základe definovaných podmienok hľadání obchodných signál pre zvolenú stratégiu. Tento automatizovaný proces zabezpečuje plánovač úloh na serveri, konkrétne Cron Job, v ktorom si vieme nastaviť v akých časových intervaloch chceme volať skript stratégie a tým pádom teda nastaviť časový rámec a frekvenciu obchodovania.

Čo sa týka funkcionality spätného testovania, to je riešené na rovnakom princípe, len s tým rozdielom, že pri spätnom testovaní stačí zavolať skriptu raz a na základe zadaných vstupných parametrov a podmienok obchodovania sú vypočítané obchodné

štatistiky a metriky testovanej stratégie. Údaje z týchto spätných testovaní následne ukladáme do databázy, ktorej schému môžeme vidieť nižšie na obrázku 10. Databáza obsahuje všetky vyššie spomínané výstupné premenné, ktoré boli následne zozbierané pre všetky stratégie a následne pomocou štatistických metód vyhodnotenú a použité pri overovaní stanovených hypotéz. Na obrázku je ešte možné vidieť aj tabuľku *questions* a tabuľku *user*, ktoré boli použité pre potencionálnych používateľov spätného testovacieho nástroja indikátorov a ich stratégií, pre ktorý sme v rámci záverečnej práce vytvorili dashboard, kde si používatelia môžu po zadaní vstupných premenných a nastaveniach indikátorov otestovať ľubovoľné stratégie. Práve zdroj takýchto dát môže byť prínosom do budúcnosti pre budúce objavovania znalostí.



Obrázok 10 Relačná schéma databázy spätných testovaní

Proces vyhodnotenia výsledkov nášho výskumu a teda štatistická interpretácia spoločne s vecnou interpretáciou výskumu nasleduje v ďalšej kapitole.

## 4 VÝSLEDKY

Celkovo sme v práci vykonali 352 spätných testovaní pre 8 indikátorov spomenutých vyššie. Pre vstupné premenné, ktoré sme si tiež spomenuli vyššie sme použili experimentálny prístup, kedy sme spätne testovali všetky kombinácie vstupných parametrov. Celkovo bolo 6 kategórií s 2 možnosťami v každej teda  $2^6$  riešení, čo predstavuje 64 spätných testovaní pre indikátory index relatívnej sily, index komoditného kanála a index peňažných tokov, a teda toto predstavovalo 192 spätných testovaní z celkových 352. Pre Bollingerove pásma a kľzavé priemery bola premenná pre nákup a predaj zjednodušená len na 1 možnosť, teda celkovo 32 možností, čo predstavovalo zvyšných 160 spätných testovaní. Celkovo 352 spätných testovaní vyhodnotilo 182748 obchodov a uložilo do databázy zaznamenané dáta, ktoré sme následne použili na testovanie výsledkov nášho výskumu.

Naším cieľom bolo nájsť najlepšie možné nastavenia pre indikátor a obchod, a potvrdiť to aj analýzou výsledkov a vyhodnotením stanovených hypotéz. Poďme sa detailnejšie pozrieť na výsledky riešenia nášho výskumu spoločne s ich štatistickou a vecnou interpretáciou.

### 4.1 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV VÝSKUMU

V tabuľke 7 nižšie môžeme vidieť výsledky testovania globálnych nulových hypotéz, ktorých bolo celkovo 11. Poďme si teraz interpretovať výsledky stanovených globálnych hypotéz pre výstupné premenné.

Tabuľka 7 Analýza jednoduchého rozptylu triedenia: Výsledky testovania hypotéz

Premenná	Testovacia štatistika F	p-hodnota
winratio	0.473	0.8537
pfactor	0.386	0.9102
romad	10.096***	0.0000
avghold	0.2258	0.9790
trades	6.9515***	0.0000
wins	4.9429***	0.0000
ebalance	15.48256***	0.0000
maxbalance	2.868**	0.0063
minbalance	14.65553***	0.0000
return	15.501***	0.0000
drawdown	14.667***	0.0000

Poznámka: \* < 0.05, \*\* < 0.01, \*\*\* < 0.001



1. Nezamietame globálnu nulovú hypotézu a to znamená, že nie sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *winratio*, keďže p-hodnota je väčšia ako 0,05.
2. Nezamietame globálnu nulovú hypotézu a to znamená, že nie sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *pfactor*, keďže p-hodnota je väčšia ako 0,05.
3. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *romad*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
4. Nezamietame globálnu nulovú hypotézu a to znamená, že nie sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *avghold*, keďže p-hodnota je väčšia ako 0,05.
5. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *trades*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
6. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *wins*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
7. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *ebalance*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
8. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *maxbalance*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,01.
9. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *minbalance*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
10. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *return*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.
11. Zamietame globálnu nulovú hypotézu s 99,9% spoľahlivosťou a to znamená, že sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnote *drawdown.*, keďže p-hodnota je menšia ako 0,001.

Ďalej v tabuľkách 8 až 18 nižšie môžeme vidieť výsledky Newman-Keulsovho testu, kde sú zobrazené priemery jednotlivých stratégií pre testované výstupné premenné. Tabuľky s výsledkami testu nám taktiež pomohli pri určení tých najefektívnejších stratégií pre jednotlivé výstupné premenné. Tabuľky nám zobrazujú homogénne skupiny, štatisticky významné rozdiely a celkový ranking skúmaných stratégií v sledovaných ukazovateľoch.

V tabuľke 8 môžeme vidieť, že stratégie spadajú do jednej homogénnej skupiny a teda nie je štatisticky významný rozdiel v stratégií v priemerných hodnotách výstupnej premennej winratio. Ďalej z tabuľky môžeme vyčítať, že čo sa týka výstupnej premennej winratio, tak stratégia RSI mala najvyšší priemer víťazných obchodov, kdežto stratégia SMA mala priemer víťazných obchodov najnižší.

V tabuľke 9 môžeme vidieť, že stratégie nepatria do jednej homogénnej skupiny a teda je štatisticky významný rozdiel v stratégií v priemerných hodnotách výstupnej premennej romad, konkrétne vidíme, že je štatisticky významný rozdiel medzi stratégiou RSI a ostatnými stratégiami.

V tabuľke 10 môžeme vidieť, že stratégie nepatria do jednej homogénnej skupiny a teda je štatisticky významný rozdiel v stratégií v priemerných hodnotách výstupnej premennej Ddown, konkrétne vidíme, že je štatisticky významný rozdiel medzi stratégiou RSI a ostatnými stratégiami. Stratégia RSI mala najnižší priemer v hodnotách drawdown a teda ju môžeme považovať za najefektívnejšiu v danej kategórii.

Tabuľka 8 Viacnásobné porovnanie: Winratio

Tabuľka 9 Viacnásobné porovnanie: Romad

Tabuľka 10 Viacnásobné porovnanie: Ddown

Stratégia	winratio Priemer	1	Stratégia	romad Priemer	1	2	Stratégia	drown Priemer	1	2
SMA	24.7931	****	WMA	-0.9937	****		RSI	70.8351		****
WMA	25.1146	****	EMA	-0.9896	****		MFI	86.7554	****	
MFI	25.7671	****	SMA	-0.9859	****		CCI	91.3576	****	
HMA	26.0681	****	HMA	-0.9825	****		BB	94.6487	****	
BB	26.2218	****	BB	-0.9718	****		EMA	96.3571	****	
EMA	26.3621	****	CCI	-0.9123	****		SMA	96.7356	****	
CCI	26.4589	****	MFI	-0.8539	****		WMA	97.4921	****	
RSI	27.0537	****	RSI	-0.7125		****	HMA	98.0996	****	

Poznámka: \*\*\*\* > 0.05

V tabuľke 11 a 13 môžeme vidieť, že stratégie spadajú do jednej homogénnej skupiny a teda nie je štatisticky významný rozdiel v stratégii v priemerných hodnotách výstupnej premennej pfactor, respektíve avghold. Taktiež z tabuliek môžeme vyčítať, že čo sa týka výstupnej premennej pfactor, tak stratégia BB mala najvyšší priemer a je v tomto ohľade najefektívnejšia, kdežto stratégia SMA mala priemer najnižší. Pre hodnoty priemerov avghold mala RSI stratégia najnižšie priemerné držanie obchodu a stratégia CCI mala najdlhšie priemerné držanie obchodu.

V tabuľke 12 môžeme vidieť, že stratégie nepatria do jednej homogénnej skupiny a teda je štatisticky významný rozdiel medzi stratégiou SMA a stratégiami HMA, WMA a MFI v priemerných hodnotách výstupnej premennej maxbal. Takto vieme následne interpretovať všetky výsledky z tabuliek, kde symbol \*\*\*\* znamená štatisticky významný rozdiel na hladine významnosti 0.05.

Tabuľka 11 Viacnásobné porovnanie: Pfactor

Stratégia	pfactor Priemer	1
SMA	0.8396	****
EMA	0.8681	****
MFI	0.8912	****
RSI	0.8995	****
WMA	0.9034	****
HMA	0.9153	****
CCI	0.9279	****
BB	0.9325	****

Tabuľka 12 Viacnásobné porovnanie: Maxbal

Stratégia	maxbal Priemer	1	2
SMA	102.5834		****
EMA	110.6666	****	****
BB	113.0812	****	****
CCI	129.7555	****	****
RSI	133.4519	****	****
HMA	137.4491	****	
WMA	137.9387	****	
MFI	139.5130	****	

Tabuľka 13 Viacnásobné porovnanie: Avhold

Stratégia	avhold Priemer	1
RSI	15.2962	****
HMA	16.7193	****
MFI	16.8275	****
SMA	16.8837	****
WMA	16.8906	****
EMA	17.0131	****
BB	17.1362	****
CCI	17.3143	****

Poznámka: \*\*\*\* > 0.05

V tabuľke 14 a 15 nižšie môžeme vidieť, že stratégie nepatria do jednej homogénnej skupiny, ale až do troch skupín, a teda je štatisticky významný rozdiel v stratégii v priemerných hodnotách výstupnej premennej wins a trades. V rámci homogénnych skupín boli identifikované stratégie s približne rovnakým výkonom z hľadiska ukazovateľov wins a trades.

Tabuľka 14 Viacnásobné porovnanie:

Wins

Stratégia	wins Priemer	1	2	3
RSI	67.7813	****		
MFI	109.4063	****	****	
BB	152.0625	****	****	
CCI	153.6875	****	****	
SMA	176.5625	****	****	****
EMA	179.3125	****	****	****
WMA	198.1250		****	****
HMA	272.3125			****

Tabuľka 15 Viacnásobné porovnanie:

Trades

Stratégia	trades Priemer	1	2	3
RSI	229.1562		****	
MFI	382.4063	****	****	
BB	521.6875	****	****	
CCI	534.3125	****	****	
EMA	609.4375	****		
SMA	630.9375	****		
WMA	713.7500	****		****
HMA	943.3125			****

Poznámka: \*\*\*\* > 0.05

V tabuľke 16 a 17 môžeme opäť vidieť, že stratégie sú rozdelené do troch skupín, a teda je štatisticky významný rozdiel v stratégii v priemerných hodnotách výstupnej premennej minbalance a ebalance. Štatisticky významné rozdiely boli preukázané, napríklad medzi stratégiou RSI a ostatnými v hodnote ukazovateľov minbalance a ebalance.

Tabuľka 16 Viacnásobné porovnanie:

Minbalance

Stratégia	minbalance Priemer	1	2	3
HMA	2.2290	****		
WMA	2.7046	****		
SMA	3.2356	****		
EMA	3.7978	****		
BB	5.7043	****		
CCI	10.3846	****	****	
MFI	18.0840		****	
RSI	32.9753			****

Tabuľka 17 Viacnásobné porovnanie:

Ebalance

Stratégia	ebalance Priemer	1	2	3
WMA	3.0625	****		
HMA	3.5084	****		
SMA	4.3950	****		
EMA	4.5718	****		
BB	7.9387	****		
CCI	14.9167	****	****	
MFI	23.5151		****	
RSI	39.6200			****

Poznámka: \*\*\*\* > 0.05

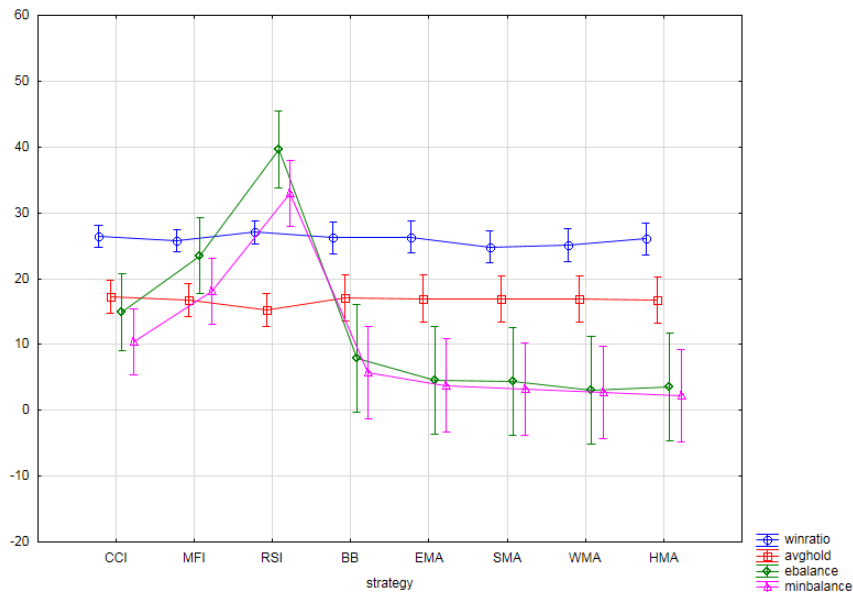
V tabuľke 18 môžeme vidieť, že stratégie sú rozdelené do troch skupín, a teda je štatisticky významný rozdiel v stratégii v priemerných hodnotách výstupnej premennej return. Napríklad vidíme, že je štatisticky významný rozdiel medzi RSI a ostatnými stratégiami v priemere výstupnej premennej return a teda stratégia RSI dosiahla väčší priemerný výnos a bola v tomto hľadisku najefektívnejšou testovanou stratégiou.

Tabuľka 18 Viacnásobné porovnávanie:  
Return

Stratégia	return Priemer	1	2	3
WMA	-96.9572	****		
HMA	-96.4916	****		
SMA	-95.6078	****		
EMA	-95.4619	****		
BB	-92.0950	****		
CCI	-85.0945	****	****	
MFI	-76.4848		****	
RSI	-60.3744			****

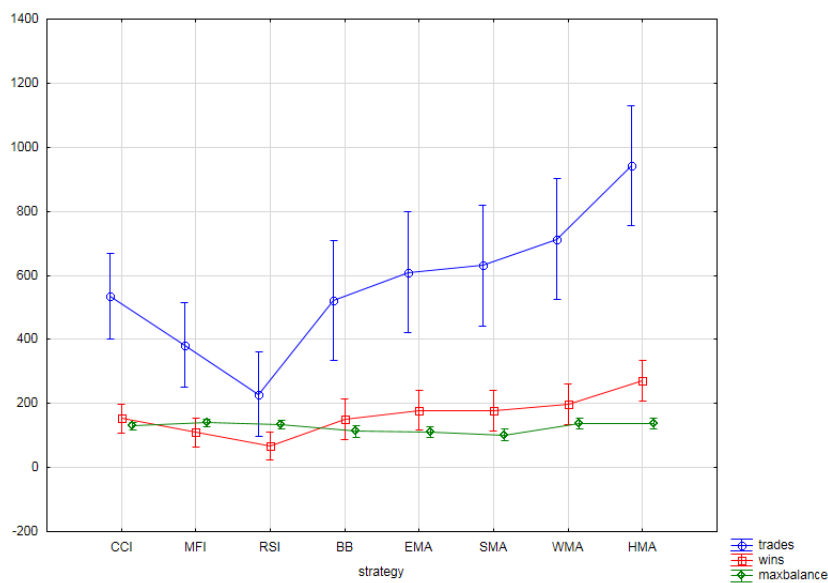
Poznámka: \*\*\*\* > 0.05

Tieto dosiahnuté výsledky sme si následne vizualizovali pomocou bodového a intervalového odhadu priemeru. Ako môžeme vidieť na obrázku 11 nižšie, kde pre výstupné premenné winratio a avghold všetky body spadajú do plusového, respektíve mínusového 95% intervalu a teda nie je štatistický významný rozdiel medzi skúmanými stratégiami v premenných winratio a avghold. Ďalej vidíme, že v premenných ebalance a minbalace už je štatisticky významný rozdiel medzi skúmanými stratégiami.



Obrázok 11 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné winratio, avghold, ebalance a minbalance

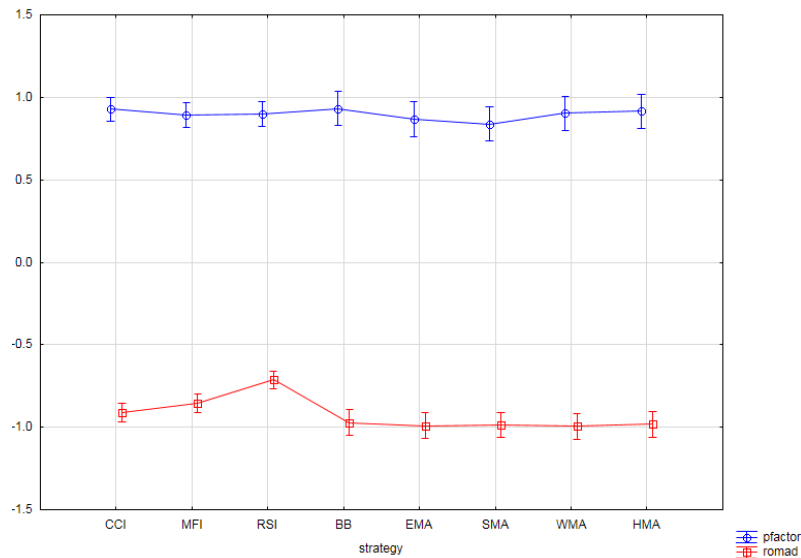
Na obrázku 12 nižšie sú vizualizované bodové a intervalové odhady priemeru pre premenné trades, wins a maxbalance. Vidíme, že sú tam štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami v jednotlivých ukazovateľoch.



Obrázok 12 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné trades, wins a maxbalance

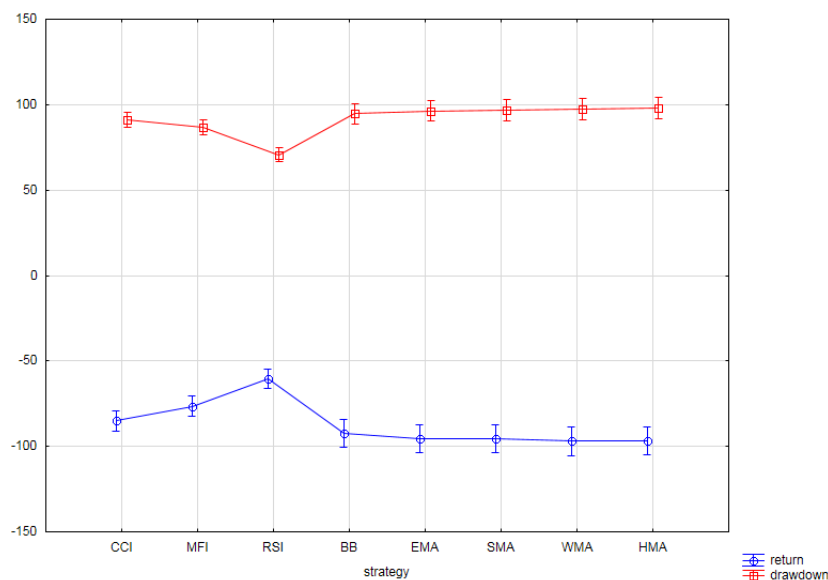
Na obrázku 13 nižšie sú vizualizované bodové a intervalové odhady priemeru pre premenné pfactor a romad. Vidíme, že nie je štatisticky významný rozdiel medzi skúmanými stratégiami v premennej pfactor lebo všetky body spadajú do všetkých

intervalov. Avšak pre premennú romad už zo samotnej vizualizácie vidíme, že sú štatistiky významné rozdiely medzi stratégiami v hodnotách ukazovateľa romad.



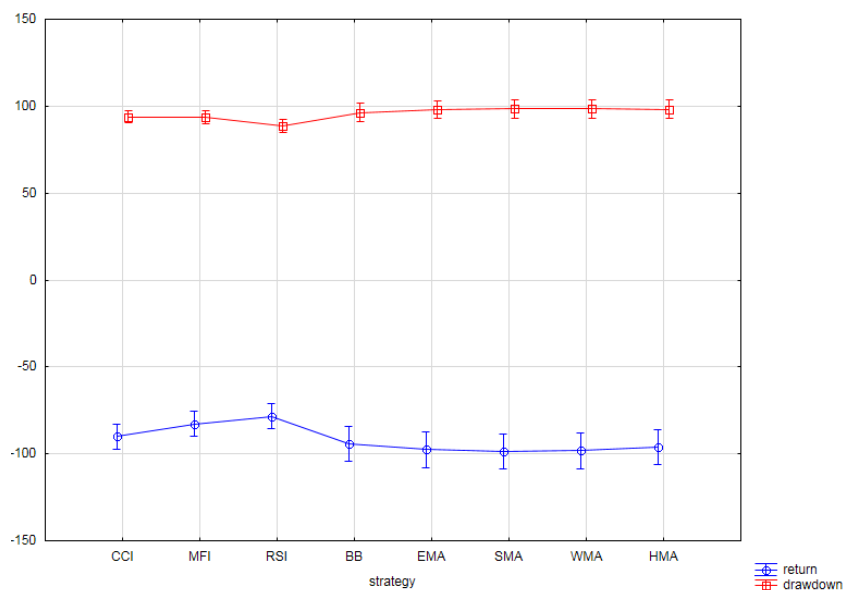
Obrázok 13 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné pfactor a romad

Na obrázku 14 sú vizualizované bodové a intervalové odhady priemeru pre premenné return a drawdown. Pre obe premenné sú štatisticky významné rozdiely medzi stratégiami.

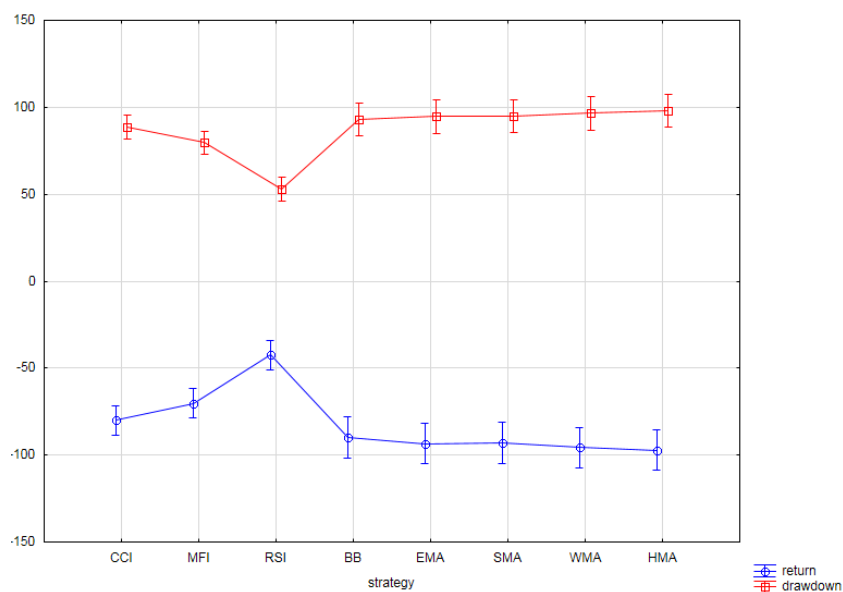


Obrázok 14 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru pre premenné return a drawdown

Na záver interpretácie výsledkov ešte spomenieme vstupnú premennú dĺžka indikátora a ako jej nastavenia ovplyvňujú pozorované výstupné premenné, konkrétne sme sa zamerali na return a drawdown ako môžeme vidieť nižšie na obrázkoch 15 a 16 kde sú znázornené bodové a intervalové odhady priemerov týchto dvoch premenných.



Obrázok 15 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru premenných return a drawdown pre dĺžku indikátora 8



Obrázok 16 Graf bodového a intervalového odhadu priemeru premenných return a drawdown pre dĺžku indikátora 21

Čo nás zaujalo, je porovnanie týchto dvoch bodových a intervalových odhadov priemerov, kde z obrázkov môžeme vidieť značné rozdiely vo výsledkoch pri inom nastavení dĺžky indikátora. Hlavne pri stratégii RSI a dĺžke indikátora 21 sa odhad priemeru pre return značne zvýšil, avšak drawdown sa znížil. Toto z nášho pohľadu pokladáme za odporúčanie pre budúce výskumy, ktoré by sa mohli zaoberať detailnejšie práve nastaveniami indikátorov s využitím experimentálneho prístupu s cieľom nájsť najefektívnejšie nastavenia.



## 5 DISKUSIA

Štúdia stratégií založených na technických indikátoroch (2020) sa venovala výkonnosti indikátorov technickej analýzy v porovnaní so stratégiou nákupu a držania v teheránskych burzových indexoch. Prvou a hlavnou implikáciou je obsiahlosť štúdie a to z dôvodu preskúmania hneď desiatich indikátorov, respektíve oscilátorov od Bollingerových pásiem, cez rôzne druhy kĺzavých priemerov, až po stochastický či Williams R% indikátor. Celý zoznam preskúmaných indikátorov je možné si pozrieť vyššie v tabuľke 2. Práve táto rozmanitosť preskúmaných indikátorov dodala tomuto výskumu výhodu v podobe širšieho prehľadu možných stratégií pre čitateľa. Treba v tomto bode ešte dodať a vyzdvihnúť aktuálnosť výskumu, ktorá nám zabezpečila práve takéto množstvo indikátorov, a teda, že autori nevybrali len bežné indikátory používané od začiatkov obchodovania, ale zahrnul do štúdie aj menej známe avšak medzi novodobými obchodníkmi používané indikátory.

Ako druhú implikáciu tejto štúdie pokladáme prehľadne vysvetlené podmienky vstúpenia do obchodu a vystúpenia z obchodu, či už pre nákup alebo predaj aktíva. Tieto podmienky sú taktiež opísané v tabuľke 2 pre každý indikátor. Spoločne s podmienkami do tohto bodu zaraďujeme aj stanovenie hypotéz, vďaka čomu autori preukázali výnosnosť danej stratégie v porovnaní s bežnou stratégiou nákupu a držania. Práve stanovenie hypotéz a ich následne potvrdenie či zamietnutie dodalo z nášho pohľadu výskumu ešte odbornejší charakter.

Autori výskumu teda dodali práci implikácie nielen v podobe teoretického pozadia pre jednotlivé stratégie a indikátory, ale aj v podobe praktického preukázania výsledkov vďaka stanoveným hypotézam.

Čo sa týka limitácií, tak v tomto výskume sme narazili na dve. Konkrétne nám tu chýbalo zadeklarovanie dĺžky jednotlivých indikátorov, čo považujeme za dôležitý prvok, keďže aj dĺžka indikátora vie výrazne ovplyvniť výsledky a celkovo výnosnosť danej stratégie. Môžeme len odhadovať, či autori použili literatúrou definované dĺžky indikátorov alebo použili vlastné experimentálne nastavenia. Autori mnohých výskumov síce vychádzajú z odbornej literatúry, na ktorú sa aj odkazujú, avšak následne vo svojich výskumoch neuvádzajú aké konkrétne dĺžky obdobia boli použité na výpočet daného indikátora. Dĺžka indikátora zohráva v obchodovaní dôležitú úlohu a je priam nevyhnutnou súčasťou pre prípadnú replikáciu autormi zistených výsledkov,

v opačnom prípade môžu čitatelia či maloobchodníci len hádať, aké parametre použili tvorcovia výskumov pre nimi a prezentované výsledky. Za druhú limitáciu považujeme chýbanie matematického pozadia pri jednotlivých indikátoroch. Práve doplnenie o vzorec na výpočet pre jednotlivé indikátory by z nášho pohľadu dodalo práci ešte širší dosah medzi čitateľmi nakoľko niektoré indikátory môžu byť pre neskúsených alebo začínajúcich maloobchodníkov neznáme a takéto rozšírenie o vzorec na ich výpočet by mohlo byť prospešné pre lepšie zaradenie a oboznámenie sa s indikátorom.

Ďalším výskumom bolo skúmanie indexu relatívnej sily (2011). Autor tejto štúdie sa rozhodol preskúmať jeden konkrétny indikátor, no o to dôkladnejšie. Štúdia začína oboznámením čitateľov s odbornou literatúrou, v ktorej sa autor odkazuje na dôležitosť technickej analýzy pre predpovedanie vývoja trhov a zdôvodňuje výber indexu relatívnej sily ako indikátora pre technickú analýzu spoločne s problémami a cieľmi, ktoré skúmal a objasňoval vo výskume.

Vo výskume autor zachádza aj do detailov indexu relatívnej sily, kde na podrobných vzorcoch opisuje výpočet tohto indikátora. Vzorce (2, 3, 4, 5 a 6) sú spomenuté a priblížené v úvodnej kapitole. Práve takýto matematický podklad považujeme za odborný prínos tohto výskumu a odporúčame pre prax pre ďalšie podobné výskumy.

Ďalšia vec, ktorú odporúčame pre prax a autor využil v tomto výskume je vlastné experimentovanie s nastaveniami indikátora. Konkrétne sa autor rozhodol upraviť výpočet, pretože ako sa vo výskume odvolal, klasická forma RSI berie do úvahy iba cenu podkladového aktíva bez zohľadnenia objemu obchodovania, ktoré viedlo k tejto cene. Preto sa týmto výskumom autor snažil upraviť vzorec výpočtu indexu tak, aby nová metóda výpočtu zohľadňovala objem obchodovania, čo ďalej vysvetľuje ako mimoriadne dôležitý ukazovateľ, pretože ukazuje silu, ktorá riadi trh v jednom alebo druhom smere. Autorom upravené vzorce (7, 8 a 9) sú opäť priblížené v úvodnej kapitole. Autor následne porovnával zistené výsledky tohto klasického a experimentálneho indikátora, kde sa preukázal klasický indikátor ako výnosnejší, či skôr v tomto prípade menej stratovejší. Avšak to nemení nič na fakte, že takýto experimentálny prístup považujeme za jednu z hlavných implikácií tohto výskumu a odporúčania pre prax a budúce výskumy.

Čo sa týka limitácií výskumu, tak v tomto výskume nám chýbalo napríklad stanovenie nulových globálnych hypotéz, ktoré by z nášho pohľadu dodali výskumu odbornejší charakter a teda ciele a výsledky výskumu by boli aj štatisticky podložené.

Na záver sme preskúmali štúdiu o kľzavých priemeroch v algoritmickej obchodovaní (2022), kde autori v úvode nastolili problematiku algoritmických systémov. Uvádzajú aktuálne dôvody využívania takýchto systémov, ako napríklad, že skutoční investori sa rozhodujú podľa základných očakávaní, analýzy trendov, vzorov a ukazovateľov pri manuálnych transakciách. Tieto rozhodnutia môžu ovplyvniť skúsenosti z minulosti a to či už pozitívne alebo negatívne. Ďalej uvádzajú, že autonómne systémy sú zbavené emócií a robia oveľa rýchlejšie rozhodnutia, otvárajú obchody na základe údajov o indikátoroch. Investori využívajú tieto systémy, aby sa vyhli negatívnym faktorom, ako napr. sledovanie obrazoviek, rýchle a správne rozhodovanie v premenlivých podmienkach a v strese pri náhlych cenových zmenách.

Autori v tejto práci spracovali indikátory, ktoré sú založené, respektíve využívajú kľzavé priemery, konkrétne indikátory Konvergencia / divergencia kľzavých priemerov (MACD), Stochastické index relatívnej sily (Stoch RSI), parabolický stop a obrat (Psar) a Bollingerové pásma (BB). K týmto indikátorom poskytli odborný návod, či už v podobe rovníc pre ich výpočet, ale taktiež ku každému indikátoru uviedli jeho grafické znázornenie ako je možné vidieť nižšie na obrázku 17.



Obrázok 17 Xu100 index a PSAR, BB, MACD, RSI a Stoch RSI indikátory<sup>43</sup>

Za ďalšiu implikáciu v tomto výskume považujeme, že autori do práce zahrnuli pseudokód výpočtu kľzavého priemeru a fázy spätného testovania navrhovaného prístupu ako je možné vidieť na obrázku 18 nižšie.

<sup>43</sup> Zdroj Obrázok 11: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1912987>

```

train dataset=read (stock, close, high, low, volume, date)
W-1 ← 0.618
W0 ← 1
Depth ← 9
Smooth ← 3
Bias ← 0.3
TF ← 0
Wsum ← 0
while i ≤ Depth do
    Wn = φn
end while
TF = TF *(100 + bias100 * Wsum)
TFsmooth = EMA(TF)
TFsmooth = TFsmooth (1-bias/100)
#Backtest stage:
i ← 0
while stockdate ≤ Today do
    if crossover(Closei, TFsmooth) then
        Buy()
    end if
    if crossunder(Closei, TFsmooth) then
        Sell()
    end if
end while
#Evalutaion portfolio metrics:
PF,GrossProfit,GrossLoss = Backtest()

```

Obrázok 18 Pseudokód navrhovaného prístupu<sup>44</sup>

Následne autori spravili porovnanie hodnôt profit faktoru (PF) získaných pomocou navrhovaného prístupu a prístupov v literatúre. Tieto výsledky potom porovnali a zistili dosiahnutie lepších výsledkov pomocou navrhovaného prístupu. Použité indikátory mali nižší priemer profitového faktoru, čo autori označili za problém šumu a oneskorenia, čo je ako bežný problém indikátorov používaných na finančných trhoch.

Čo sa týka limitácií, tak v tomto výskume sme žiadne nenašli, pre indikátory boli uvedené všetky nastavenia spoločne aj s dĺžkou obdobia, indikátory boli graficky znázornené spoločne s podmienkami pre obchodovanie a teda tento najaktuálnejší výskum osobne považujeme za najprehľadnejšie spracovaný.

<sup>44</sup> Zdroj Obrázok 12: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1912987>

## ZÁVER

V diplomovej práci sme predstavili niektoré z metód obchodovania na online burzách, konkrétne z oblasti technickej analýzy. Zamerali sme sa na využitie technických indikátorov ako nástrojov na hľadanie príležitostí na finančných trhoch kryptomien.

Výskumy poukazujú na to, že technické indikátory sa v dnešnej dobe bežne používajú v algoritmickom obchodovaní a sú užitočným nástrojom nielen pre maloobchodníkov. Jedným z našich cieľov bolo pokúsiť sa zautomatizovať tento proces obchodovania a to sa nám aj podarilo vďaka nášmu systému, ktorý sme predstavili v tretej kapitole. Výsledky testovaných obchodov zozbieraných našim systémom a ich vecná interpretácia spoločne s výsledkami hypotéz nám poskytli hneď niekoľko dôležitých poznatkov o metódach obchodovania s využitím algoritmov na online burzách.

Samotné indikátory sú len v malom množstve prípadov ziskové. Na toto zistenie poukazujú aj autori odborných výskumov, s ktorými sme prišli do kontaktu pri tvorbe záverečnej práce. Autori odkazujú na fakt, že sa odporúča využívať kombináciu viacerých indikátorov ako potvrdenie pre nákup alebo predaj aktíva. V našej práci sme sa zamerali na testovanie samotných indikátorov a ich výsledky, a takéto testovanie kombinácie viacerých indikátorov predstavuje návrh pre budúce riešenia v danej problematike.

Analýza výsledkov, ich vecná interpretácia a vyhodnotenie hypotéz nám ukázalo, ako veľmi záleží na jednotlivých nastaveniach indikátorov a podmienok obchodovanie samotného, a zároveň sme tým splnili stanovené podciele našej práce. Od pomeru risku a odmeny, cez časový rámec či počet symbolov, až po parametre indikátora ako je jeho dĺžka a extrémne hodnoty. Práve dĺžka indikátorov a jej význam pri výsledkoch je niečo, na čo by sme chceli poukázať a podporiť to našimi dosiahnutými výsledkami v práci.

Početnosť parametrov, od ktorých závisí obchod, analýza ich vplyvu na výsledok obchodu a experimentálny prístup je niečo, čo považujeme za najväčší prínos tejto práce a odporúčanie pre budúcu prax.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ABBASI, Ebrahim, Mohammad Ebrahim SAMAVI a Emad KOOSHA, 2020. *Performance evaluation of the technical analysis indicators in comparison with the buy and hold strategy in tehran stock exchange indices*. [online]. 2020. [cit. 20. december 2022]. Dostupné na: [https://amfa.arak.iau.ir/article\\_672525.html](https://amfa.arak.iau.ir/article_672525.html)
- ABOULOULA, Khalid, Brahim El HABIL a Salahddine KRIT, 2018. *Money Management Limits to Trade by Robot Trader for Automatic Trading*. [online]. 2018. [cit. 3. január 2022]. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/profile/Krit-Salah-Ddine/publication/323685717\\_Money\\_Management\\_Limits\\_to\\_Trade\\_by\\_Robot\\_Trader\\_for\\_Automatic\\_Trading/links/5aa4148ba6fdccd544baa0d7/Money-Management-Limits-to-Trade-by-Robot-Trader-for-Automatic-Trading.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Krit-Salah-Ddine/publication/323685717_Money_Management_Limits_to_Trade_by_Robot_Trader_for_Automatic_Trading/links/5aa4148ba6fdccd544baa0d7/Money-Management-Limits-to-Trade-by-Robot-Trader-for-Automatic-Trading.pdf)
- AHMADI, Elham, Milad JASEMI, Leslie MONPLAISIR, Mohammad Amin NABAVI, Armin MAHMOODI a Pegah Amini JAM, 2018. *New efficient hybrid candlestick technical analysis model for stock market timing on the basis of the Support Vector Machine and Heuristic Algorithms of Imperialist Competition and Genetic*. [online]. 2018. [cit. 19. december 2022]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417417306978>
- ANDERSON, Bing, Li SHUYN, 2015. *An investigation of the relative strength index. Banks & bank systems*. [online]. 2015. [cit. 28. december 2022]. Dostupné na: <https://c.mql5.com/forextd/forum/221/An%20investigation%20of%20the%20relative%20strength%20index.pdf>
- BADRUZAMAN, Jajang, 2019. *Analysis Relative Strength Index and Earning Per Share on Stock Price*. [online]. 2019. [cit. 29. december 2022]. Dostupné na: <http://repositori.unsil.ac.id/1324/1/Analysis%20Relative%20Strength%20Index%20and%20Earning%20Per%20Share%20on%20Stock%20Price.pdf>
- BENINGTON, George, Michael JENSEN, 1970. *Random Walks and Technical Theories: Some Additional Evidence In Security Evaluation and Portfolio*. [online]. 1970. [cit. 20. december 2022]. Dostupné na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-6261.1970.tb00671.x>

- BURGESS, Nicholas, 2019. *An Introduction to Algorithmic Trading: Opportunities & Challenges within the Systematic Trading Industry*. [online]. 2019. [cit. 17. január 2023]. Dostupné na: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3466213](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3466213)
- CANELA, Miguel Angel, Ines ALEGRE a Alberto IBARRA, 2019. *Moving average trends, In Quantitative Methods for Management*. [online]. 2019. [cit. 12. január 2023]. Dostupné na: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-17554-2\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-17554-2_12)
- COHEN, Gil, 2022. *Algorithmic Trading and Financial Forecasting Using Advanced Artificial Intelligence Methodologies*. [online]. 2022. [cit. 16. január 2023]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/18/3302>
- DAI, Zhifeng, Huan ZHU a Jie KANG, 2021. *New technical indicators and stock returns predictability*. [online]. 2021. [cit. 23. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056020302094>
- DE ZWART, Gerben, Thijs MARKWAT, Laurens SWINKELS a Dick van DIJK, 2009. *The economic value of fundamental and technical information in emerging currency markets*. [online]. 2009. [cit. 28. december 2022]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560609000138>
- DUBEY, Ritesh Kumar, 2022. *Algorithmic Trading: The Intelligent Trading Systems and Its Impact on Trade Size*. [online]. 2022. [cit. 17. december 2022]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417422006479>
- GABDRAKHMANOVA, Nailia et al., 2021. *The modeling of forecasting new situations in the dynamics of the economic system on the example of several financial indicators*. [online]. 2021. [cit. 14. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921010589>
- HUBRICH, Stefan, 2017. *'Know When to Hodl 'Em, Know When to Fodl 'Em': An Investigation of Factor Based Investing in the Cryptocurrency Space*. [online]. 2017. [cit. 27. január 2023]. Dostupné na: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3055498](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3055498)
- LEITNER, Talia, 2022. *Algorithmic Trading*. [online]. 2022. [cit. 16. január 2023]. Dostupné na: <https://repository.yu.edu/handle/20.500.12202/8267>

- LESHIK, Edward, Jane CRALLE 2011. *An Introduction to Algorithmic Trading: Basic to Advanced Strategies*. [online]. 2011. [cit. 17. december 2022]. Dostupné na: [https://books.google.com/books?hl=sk&lr=&id=kTyz0SxHp2wC&oi=fnd&pg=PT7&dq=an+introduction+to+algorithmic+trading&ots=XVv9hT\\_AMX&sig=4TRrDZ3RO0Tpls2Ym-rcI2D9CR4](https://books.google.com/books?hl=sk&lr=&id=kTyz0SxHp2wC&oi=fnd&pg=PT7&dq=an+introduction+to+algorithmic+trading&ots=XVv9hT_AMX&sig=4TRrDZ3RO0Tpls2Ym-rcI2D9CR4)
- LUSINDAH, Lusindah, Erman SUMIRAT, 2021. *Implementation of Fibonacci Retracements and Exponential Moving Average (EMA) Trading Strategy in Indonesia Stock Exchange*. [online]. 2021. [cit. 15. január 2023]. Dostupné na: <https://ejbmr.org/index.php/ejbmr/article/view/1033>
- MOROSAN, Adrian, 2011. *The relative strength index revisited*. [online]. 2011. [cit. 29. december 2022]. Dostupné na: <https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-full-text-pdf/D7BE87A24350>
- NAZARIO, Rodolfo, Jessica Lima SILVA, Vinicius Amorim SOBREIRO a Herbert KIMURA, 2017. *A literature review of technical analysis on stock markets*. [online]. 2017. [cit. 20. december 2022]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976917300443?via%3Dihub>
- NTI, Isaac Kofi, Adebayo Felix ADEKOYA a Benjamin Asubam WEYORI, 2019. *A systematic review of fundamental and technical analysis of stock market predictions*. [online]. 2019. [cit. 21. december 2022]. Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-019-09754-z>
- O'HARA, Maureen, 2015. *High frequency market microstructure*. [online]. 2015. [cit. 17. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X15000045>
- PARLIKA, Rizky, Arista PRATAMA, 2021. *Use of the Web API as a basis for obtaining the latest data on bitcoin prices at 30 exchange places*. [online]. 2021. [cit. 21. január 2023]. Dostupné na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1125/1/012035/meta>
- RIORDAN, Ryan, 2011. *Algorithmic Trading and Information*. [online]. 2011. [cit. 17. december 2022]. Dostupné na: <http://faculty.haas.berkeley.edu/hender/ATInformation.pdf>



- SAHALIA, Yacine, Celso BRUNETTI, 2020. *High frequency traders and the price process*. [online]. 2020. [cit. 18. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304407619302428>
- SANTUR, Yunus, Uzeyir AYCEL, 2022. *Deep Learning Based Regression Approach for Algorithmic Stock Trading: A Case Study of the Bist30*. [online]. 2022. [cit. 4. január 2023]. Dostupné na: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gumusfenbil/issue/57242/707088>
- SEZER, Omer Berat, Ahmet Murat OZBAYOGLU, 2018. *Algorithmic financial trading with deep convolutional neural networks: Time series to image conversion approach*. [online]. 2018. [cit. 3. január 2023]. Dostupné na: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gumusfenbil/issue/57242/707088>
- SHYNKEVICH, Yuaheniya et al., 2017. *Forecasting price movements using technical indicators: Investigating the impact of varying input window length*. [online]. 2017. [cit. 24. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231217311074>
- SPÖRER, Jan, 2020. *Backtesting of Algorithmic Cryptocurrency Trading Strategies*. [online]. 2020. [cit. 27. január 2023]. Dostupné na: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3620154](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3620154)
- TANAKA-YAMAWAKI, Mieko, Seiji TOKUOKA, 2007. *Adaptive use of technical indicators for the prediction of intra-day stock prices*. [online]. 2007. [cit. 23. január 2023]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437107005067>
- THAYER, Kyle, Sarah CHASINS a Amy KO, 2021. *A Theory of Robust API Knowledge*. [online]. 2021. [cit. 20. január 2023]. Dostupné na: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3444945>
- WANG, Lijun, Haizhong AN, Xiaohua XIA, Xiaojia LIU, Xiaoqi SUN, Xuan HUANG, 2014. *Generating Moving Average Trading Rules on the Oil Futures Market with Genetic Algorithms*. [online]. 2014. [cit. 4. január 2023]. Dostupné na: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2014/101808>