

Sem vložte zadání Vaší práce.



cvut-logo-bw.pdf

Bakalářská práce

# Arbitrážní příležitosti kryptoměn

*Čeněk Žid*

Katedra aplikované matematiky  
Vedoucí práce: Mgr. Jan Starý, Ph.D.

16. května 2020



---

## Poděkování

Doplňte, máte-li komu a za co děkovat. V opačném případě úplně odstraňte tento příkaz.



---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou, a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 16. května 2020

.....

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta informačních technologií

© 2020 Čeněk Žid. Všechna práva vyhrazena.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.*

### **Odkaz na tuto práci**

Žid, Čeněk. *Arbitrážní příležitosti kryptoměn*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2020.



---

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou arbitrážních příležitostí. Rešeršní část práce se zaměřuje na problematiku bitcoinu, jeho historii, technologie a základní principy. Dále práce popisuje rozdíly mezi několika kryptoměnovými burzami a rozebírá různé druhy arbitrážních příležitostí.

Praktická část práce dále navazuje výběrem nejvhodnější burzy, problematikou dostupností a sběru dat a jejich následným zpracováním.

Analytická část se s pomocí tabulek a grafů, vytvořených z reálných dat, zabývá základními statistikami výskytu a výnosnosti trojúhelníkových arbitrážních příležitostí. Statistiky jsou následně zhodnoceny a jsou vyselektovány nejvýnosnější trojúhelníky.

**Klíčová slova** kryptoměna, analýza dat, arbitrážní příležitost, kryptoměnová burza, Python, Matplotlib, C++

---

## Abstract

This thesis deals with the analysis of arbitrage opportunities. The theoretical part of the thesis focuses on the bitcoin, its history, technologies and basic

principles. The thesis further describes the differences among several cryptocurrency exchanges and narrates about the various types of the arbitrage opportunities.

The practical part follows up with a selection of the suitable cryptocurrency exchange. In the next part the problematic of data availability and its further processing is described.

The analytic part focuses on the basic statistics of the occurrence and profitability of the triangle arbitrage opportunities. These statistics are based on the charts and tables created from the collected data. The statistics are further more evaluated and the most profitable triangles are selected.

**Keywords** cryptocurrency, data analysis, arbitrage opportunities, cryptocurrency exchange, Python, Matplotlib, C++

---

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Cíl práce</b>	<b>3</b>
<b>2 Současný stav řešení problému</b>	<b>5</b>
2.1 Kryptoměny . . . . .	5
2.1.1 Bitcoin - BTC . . . . .	5
2.1.1.1 Blockchain . . . . .	6
2.1.1.2 Těžení . . . . .	6
2.1.1.3 Transakce . . . . .	6
2.1.2 Altcoiny . . . . .	7
2.1.2.1 Litecoin - LTC . . . . .	7
2.1.2.2 Ethereum - ETH . . . . .	7
2.1.2.3 Monero - XMR . . . . .	8
2.1.2.4 Ripple - XRP . . . . .	8
2.1.2.5 Ostatní zpracovávané altcoiny . . . . .	9
2.2 Kryptoměnové burzy . . . . .	9
2.2.1 Coinmate . . . . .	9
2.2.2 Binance . . . . .	10
2.2.3 MXC . . . . .	11
2.2.4 BitForex . . . . .	12
2.2.5 LBank . . . . .	12
2.3 Arbitrážní příležitosti . . . . .	13
2.3.1 Efektivita trhu . . . . .	13
2.3.2 Arbitráž . . . . .	13
2.3.3 Arbitráže na forexových trzích . . . . .	14
2.3.4 Arbitráže v rámci kryptoměnových burz . . . . .	14
2.3.5 Měnový pár v rámci kryptoměnových burz . . . . .	14
2.3.6 Deterministické arbitrážní příležitosti . . . . .	15

2.3.7	Trojúhelníkové arbitrážní příležitosti . . . . .	15
2.3.8	Problémy s vyděláváním na arbitrážních příležitostech . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Realizace</b>	<b>17</b>
3.1	Získání dat . . . . .	17
3.1.1	Data na kryptoměnových burzách . . . . .	17
3.1.2	Vlastní sběr dat . . . . .	18
3.1.3	Výběr burzy . . . . .	18
3.1.4	Burza Binance . . . . .	18
3.1.5	Sběr dat . . . . .	19
3.1.5.1	Kontrola správnosti dat . . . . .	20
3.1.5.2	Sledované měny a trojúhelníky . . . . .	20
3.2	Zpracování dat . . . . .	21
3.2.1	Filtrování surových dat . . . . .	21
3.2.1.1	Struktura filtrovaných dat . . . . .	21
3.2.2	Arbitrážní příležitosti . . . . .	22
3.2.2.1	Detekce trojúhelníkové arbitrážní příležitosti . . . . .	23
3.2.2.2	Reálný příklad arbitrážní příležitosti . . . . .	25
3.2.2.3	Reálná detekce arbitrážní příležitosti . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Analýza dat</b>	<b>27</b>
4.1	Selekce nejlepších trojúhelníků . . . . .	27
4.1.1	Základní statistiky trojúhelníků . . . . .	27
4.2	Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy . . . . .	28
4.2.1	Závislost na dni v týdnu . . . . .	28
4.2.2	Závislost na denní hodině . . . . .	28
4.2.3	Závislost na počtu provedených transakcí . . . . .	31
4.2.4	Závislost na počtu obecných neefektivit trhu . . . . .	34
4.3	Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků . . . . .	34
4.3.1	Selekce . . . . .	35
4.3.2	Bližší statistiky . . . . .	35
4.3.2.1	Trojúhelník USDT/BTC/EOS . . . . .	35
4.3.2.2	Trojúhelník USDT/BTC/XRP . . . . .	36
4.3.2.3	Trojúhelník USDT/EOS/BNB . . . . .	39
4.3.2.4	Trojúhelník USDT/BTC/TRX . . . . .	40
4.3.2.5	Trojúhelník USDT/BTC/LTC . . . . .	41
4.3.2.6	Zhodnocení nejlepších trojúhelníků . . . . .	42
	<b>Závěr</b>	<b>43</b>
	<b>Literatura</b>	<b>45</b>
	<b>A Seznam použitých zkratk</b>	<b>49</b>
	<b>B Obsah příloženého CD</b>	<b>51</b>

---

## Seznam obrázků

2.1	Poplatky na burze Coinmate pro maker i taker) [1] . . . . .	10
2.2	Poplatky na burze Coinmate pro maker i taker) [1] . . . . .	11
3.1	Ukázka csv souboru jednoho dne dat dvojice kryptoměn . . . . .	19
3.2	Ukázka JSON formátu struktury dat . . . . .	23
3.3	Distribuce indexů obsahující nejlepší hodnoty pro získání nejvyššího absolutního zisku v rámci arbitrážní příležitosti . . . . .	24
3.4	Trojúhelníková arbitráž . . . . .	25
4.1	Průměrná procentuální neefektivita jednotlivých trojúhelníků (bez zahrnutí poplatků) . . . . .	31
4.2	Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na dni v týdnu . . .	32
4.3	Rozložení arbitrážních příležitostí v jednotlivých sledovaných dnech	33
4.4	Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na hodině výskytu .	33
4.5	Vývoj rozložení výskytu arbitrážních příležitostí, neefektivit trhu a celkového počtu provedených transakcí . . . . .	34
4.6	Vývoj rozložení výskytu arbitrážních příležitostí a neefektivit trhu	35
4.7	Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/EOS	37
4.8	Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/XRP	38
4.9	Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/EOS/BNB	39
4.10	Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/TRX	40
4.11	Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/LTC	41
4.12	Vývoj arbitrážních příležitostí vybraných trojúhelníků . . . . .	42



---

## Seznam tabulek

2.1	Výběrové poplatky na burze Binance [2] . . . . .	11
2.2	Výběrové poplatky na burze MXC [3] . . . . .	12
2.3	Výběrové poplatky na burze BitForex [4] . . . . .	13
3.1	Porovnání parametrů jednotlivých burz . . . . .	18
4.1	Tabulka porovnávající průměrné denní počty a průměrné neefektivity jednotlivých trojúhelníků . . . . .	29
4.2	Tabulka potenciálních výnosů arbitrážních příležitostí na jednotlivých trojúhelnících . . . . .	30
4.3	Tabulka kurzů využitých na přepočet na americké dolary (údaj z burzy Binance ze dne 13.4.2020) . . . . .	32
4.4	Tabulka průměrných hodnot týkajících se arbitrážních příležitostí na nejlepších trojúhelnících . . . . .	36
4.5	Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/EOS . . . . .	37
4.6	Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/XRP . . . . .	38
4.7	Základní statistiky trojúhelníku USDT/EOS/BNB . . . . .	39
4.8	Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/TRX . . . . .	40
4.9	Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/LTC . . . . .	41
A.1	Příklad tabulky . . . . .	49





---

# Úvod

V této práci se zabývám arbitrážními příležitostmi kryptoměn. Jedná se o téma v dnešní době velmi aktuální a moderní. Za posledních několik let vzniklo velké množství kryptoměn a žádná z nich není stabilní. Díky této volatilitě na burzách s kryptoměnami vzniká velké množství arbitrážních příležitostí, jejichž analýze se budu v této práci věnovat.

Význam této práce spočívá v analýze jednotlivých burz jako takových. Práce se také zabývá otázkami, jak často se reálně objevují arbitrážní příležitosti v rámci jednotlivých burz, jak dlouho trvá, než tyto příležitosti zmizí, a jestli je možné nacházet arbitrážní příležitosti v rámci vybrané burzy.

Toto téma jsem vybral především, protože mě baví analyzovat data a snažit se najít výstupy, které je možné z dat vytěžit. Zároveň z toho důvodu, že dat týkajících se kryptoměn je na internetu k dispozici velké množství, jsou jednoduše dostupná a dají se na nich zjistit zajímavé výstupy. Výhodou arbitrážních příležitostí je to, že se jedná o transakce víceméně bez rizika, na rozdíl od klasického obchodování s kryptoměnami, kde je většinou riziko velké a o jistotě se mluvit nedá. Z toho důvodu mi připadá velice zajímavé tyto arbitráže zkoumat podrobněji.

V práci se zabývám dostupností dat v rámci jednotlivých kryptoměnových burz a možnostmi ukládání těchto dat. Dále se v práci zabývám analýzou dat a analýzou výskytů korelací, které v rámci burz nastávají.

V první části práce se věnuji tomu, co to jsou kryptoměny a co znamenají arbitrážní příležitosti. V následující části se věnuji zkoumání dostupnosti dat na jednotlivých burzách a možnostem jejich získávání. Na to navazuji analýzou získaných dat z pohledu arbitrážních příležitostí. Zabývám se zde převážně otázkami, jak často arbitrážní příležitosti nastávají a jestli je reálně možné a vyplatí se snažit se arbitrážní příležitosti vytěžit.

Tato bakalářská práce volně navazuje na diplomovou práci Adama Pečeva s tématem Cryptocurrencies Exchange Rates Reporting Tool, ve které autor vytvořil program, který zobrazuje data jednotlivých kryptoměn na různých

## Úvod

---

trzí. Já na rozdíl od něho se více zaměřuji na analýzu dat jako takových pomocí informatických a matematických metod.

---

## Cíl práce

Hlavním cílem této práce je najít a analyzovat arbitrážní příležitosti na historických datech z kryptoměnových burz a spočítat statistiky výskytu, obchodovatelnosti a výnosnosti.

V teoretické části se zaměřím na to, kde je možné historická data týkající se kryptoměn najít a získat. Popíšu zde, co jsou to kryptoměny a arbitrážní příležitosti. Dále se budu zabývat tím, jakými matematickými a informa-tickými metodami je možné tato data analyzovat a vyberu ty metody, které se budou na moji problematiku hodit nejvíce.

V praktické části naimplementuji sběr dat na úrovni order book jednotlivých měnových párů. Dále na těchto datech provedu analýzu, kde využiji metody, popsané v teoretické části. Zhodnotím jaké metody byly účinnější a vhodnější pro analýzu dat z kryptoměnových burz a jaké výsledky jsem vypočetl.

V závěru praktické části zhodnotím výsledky z analýzy dat, a z vyhodnocených výsledků spočítám základní statistiky výskytu, obchodovatelnosti a výnosnosti arbitrážních příležitostí.



## Současný stav řešení problému

V této kapitole se zabývám teorií týkající se kryptoměn, popisuji základní funkcionalitu transakcí a technologie blockchainu. Zaměřuji se na zmapování jednotlivých kryptoměnových burz. Zaměřuji se zde také arbitráže, o co se jedná, jaké jsou druhy a jak se projevují na poli kryptoměnových burz.

### 2.1 Kryptoměny

V této kapitole se obecně zabývám kryptoměnami. Zaměřuji se na jejich historii, která je spjatá převážně s první a nejhodnotnější kryptoměnou, kterou je bitcoin. Zabývám se zde také alternativními kryptoměnami. Dalším tématem je krátký úvod do technologií, na kterých jsou kryptoměny založeny. [5]

#### 2.1.1 Bitcoin - BTC

Bitcoin je první kryptoměna, která byla zavedena v roce 2009 anonymní skupinou lidí pod pseudonymem Satoshi Nakamoto. Hlavní myšlenkou bitcoinu je snaha o odstranění všech regulatorních vlastností měn a snaha o zvýšení transparentnosti a bezpečnosti plateb a transakcí v rámci bitcoinové sítě. [6]

Hlavní charakteristikou bitcoinu je to, že nemá žádnou centrální autoritu (například pro českou korunu je centrální autoritou Česká národní banka), z čehož plyne, že s ním nikdo nemůže manipulovat tak, jako s běžnými měnami.

Jednou z předních výhod je to, že transakce trvají řádově desítky minut, což v porovnání s bankami je v průměru rychlejší. Bitcoin také není možné zfalšovat, neboť je vše naprosto transparentně uloženo v blockchainu.

Na druhou stranu má bitcoin i řadu nevýhod oproti běžným měnám, které také vyplývají z toho, že nemá žádnou centrální autoritu. Jednou z hlavních nevýhod je to, že je velice nestabilní oproti běžným měnám a v žádnou chvíli nelze s velkou pravděpodobností předpovídat, jak se bude jeho hodnota vyvíjet. [6]

### 2.1.1.1 Blockchain

Bitcoin je založen na technologii blockchainu. Blockchain je možné si představit jako veřejně sdílenou účetní knihu, ve které jsou zachyceny veškeré transakce, které kdy proběhly. Konkrétně se jedná o distribuovanou decentralizovanou databázi, která uchovává chronologický řetězec záznamů. Principem je, že tyto data jsou v blockchainu uchovány napořád a jsou veřejně dostupná pro všechny, tudíž je není možné nijakým způsobem změnit nebo zfalšovat. [7]

Základní myšlenkou blockchainu je to, že je připraven o jakoukoli centrální autoritu (například banku). Z toho důvodu není možné s ním nijak centrálně manipulovat ani jakkoliv ovlivňovat jeho historii. Blockchain se skládá ze dvou druhů záznamů, z transakcí a z bloků. Transakce jsou tvořeny uživateli, kteří chtějí například převádět kryptoměnu. Bloky tyto transakce potvrzují a shromažďují a řadí do chronologické posloupnosti. [8]

### 2.1.1.2 Těžení

Těžení je velmi důležitým procesem v rámci blockchainu. Nové bloky jsou přidávány periodicky (většinou každých několik minut). Těžaři v rámci těžení přidávají jednotlivé transakce do následujícího bloku. Veškeré transakce, které jsou do bloku přidány jsou tímto procesem potvrzeny.

Těžení je jakási soutěž mezi všemi těžaři, ve které se každý snaží uspět za cílem získání odměny za vytěžení daného bloku včetně s poplatky za přidání jednotlivých transakcí do blockchainu.

Těžení zajišťuje také bezpečnost blockchainu, neboť těžení je matematicky velmi náročný proces a jakýkoliv pokus o zfalšování původních dat se stává s každým blokem o poznání náročnější. [9]

### 2.1.1.3 Transakce

Transakce je převod peněz z jedné adresy na jinou. Transakce jsou volně předávány od uzlu k uzlu. Těžaři se mezitím snaží vytvořit blok, který se zajistí o to, aby byly transakce potvrzeny a považovány za validní.

Adresa je unikátní řetězec znaků jednostranně odvozen z veřejného klíče konkrétního uživatele, není tedy možné zjistit, jaká adresa odpovídá, kterému uživateli. Adresa je poté využita v rámci transakcí v roli odesilatele nebo příjemce. [9]

Za validní transakci je považována taková transakce, která splňuje následující podmínky:

- je v ní obsažen správný elektronický podpis uživatele,
- uběhla adekvátně dlouhá doba od poslední transakce s tímto kusem měny. [8]

Dalším téměř nutným požadavkem je zahrnutí nějakého poplatku pro těžaře za to, aby transakci zahrnul do dalšího bloku. Těžař si ponechává poplatky všech transakcí, které do vytěženého bloku zahrnul, a proto nemá motivaci zahrnovat transakci bez poplatku. [8]

### 2.1.2 Altcoiny

Pojmem altcoin se označují všechny ostatní kryptoměny podobné bitcoinu. Název je odvozen z anglického pojmu alternative to bitcoin. Některé altcoiny jsou svojí technologií a principem hodně podobné bitcoinu, jsou ale i takové, které se poměrně výrazně liší. [10]

V následujících podkapitolách se zaměřím na nejvýznamnější zástupce altcoinů a vypíši zde všechny altcoiny, kterým se ve své praktické části této práce věnuji.

#### 2.1.2.1 Litecoin - LTC

Litecoin je jedním z nejstarších altcoinů. Tato open source měna vznikla v roce 2011 a je svou charakteristikou velmi podobná svému předchůdci. [11] Dokonce i celý kód je pouze úpravou bitcoinu. [12]

Hlavní rozdíl mezi litecoinem a bitcoinem je ten, že litecoin byl od počátku navržen tak, aby lépe zvládal větší počty transakcí a aby transakce probíhaly ještě rychleji. Díky této vlastnosti se stal výhodnější pro menší transakce. Všechny tyto charakteristiky jsou založeny na tom, že jsou bloky přidávány čtyřikrát rychleji, než je tomu u bitcoinu. [11]

Cena za jeden litecoin dosahuje hodnoty 40,63 \$ (údaj ze 4.4. 2020 na burze Binance). [13]

#### 2.1.2.2 Ethereum - ETH

Ethereum je stejně jako litecoin open source kryptoměna založená na technologii blockchainu. Vznik etherea se datuje k 30. 7. 2015.

Hlavním rozdílem oproti bitcoinu je to, že se nejedná o měnu, ale o platformu se svou vlastní měnou Ethereum. Platforma Ethereum tvoří alternativu ke všem klasickým smlouvám a dohodám a snaží se o zdokonalení chytrých kontraktů. [14]

Chytrý kontrakt je zjednodušeně program, který se stará o provedení smlouvy. Tento program tak nahrazuje třetí stranu (například právníky, či notáře) a zajišťuje transparentní převedení peněz, majetku nebo čehokoli jiného. [15]

Na platformě Ethereum je možné vytvářet tyto vlastní programy. [15] Rozdíl Etherea oproti bitcoinu je ten, že nikdy nedojde k vytěžení všech mincí, nýbrž budou mince stále emitovány. [12]

Cena za jedno Ethereum dosahuje hodnoty 142,82 \$ (údaj ze 4.4. 2020 na burze Binance). [13]

### 2.1.2.3 Monero - XMR

Monero po vzoru svého nejstaršího předchůdce vzniklo jako open source projekt. Samotný kód není vůbec založen na bitcoinu (na rozdíl od litecoinu).

Monero se pyšní tím, že zaručuje naprostou anonymitu. Historii a stav konta v případě Monera si může prohlížet pouze majitel účtu. V případě bitcoinu všichni vidí, jaké transakce proběhly a pokud se tedy podaří identifikovat vlastníka nějaké adresy, je jednoduché dohledat si veškerou historii transakcí, které z dané adresy byly provedeny .

Stejně jako ostatní kryptoměny, má Monero také dvojici privátního a veřejného klíče, má však ještě druhou dvojici privátního a veřejného klíče a to takzvaného klíče k prohlížení (view key). View key je možné poskytnout třetí osobě, aby se přes něj byla schopna dozvědět veškerou historii transakcí, které na adrese proběhly, tudíž je možné udělat i transparentní účet.

Poslední důležitý rozdíl oproti bitcoinu je to, že celkový počet Monera není . Emitování mincí stále nepoběží stejnou rychlostí, ale postupně se bude snižovat, dokud nedosáhne spodní nenulové hranice. [12]

Cena za jednu minci Monera dosahuje hodnoty 54,59 \$ (údaj ze 4.4. 2020 na burze Binance). [13]

### 2.1.2.4 Ripple - XRP

Ripple není pouze označení pro kryptoměnu, ale také pro celosvětovou platební síť. Síť Ripple vznikla s předním účelem osvobození internetových plateb od poplatků za směnu, zpracování transakcí a časových prodlev. Ripple nebere rozdíly mezi tradičními měnami a kryptoměnami a tím zlevňuje veškeré výměny mezi nimi.

Ripple je stejně jako výše zmiňované kryptoměny založen na principu blockchainu. Výrazně se oproti ostatním liší tím, že všechny jeho mince byly emitovány při vzniku sítě, tedy se jejich počet nezvyšuje procesem těžení, jako tomu je u ostatních.

Kvůli tomu, že byly všechny mince emitovány při vzniku, vlastní zakládající společnost Ripple Labs více než polovinu veškerých tokenů. Z toho důvodu také velmi odporuje úplně původní myšlence bitcoinu a tedy zásahu jakékoli třetí strany. [16]

Transakce se na rozdíl od ostatních kryptoměn uzavírají na základě konsensu. Síť Ripple však není kontrolována Ripple Labs, ale jedná se o peer-to-peer systém, ve kterém se uživatelé, jakožto uzly, připojují do sítě. Když probíhá transakce mezi některými uzly, ostatní uzly fungují jako validátoři provádějící proces konsensu. Validátoři se pomocí RPCA (Ripple Protocol Consensus Algorithm) algoritmu domluví na aktuálním stavu účetní knihy a přidají validní transakce do sady kandidátů. Následně se o těchto kandidátech hlasuje a ti kandidáti, kteří překročí minimální 80% hranici, jsou přidáni do účetní knihy. [17]



Díky tomu, že se transakce uzavírají na základě konsensu a také díky tomu, probíhají transakce řádově rychleji, v řádech několika vteřin. Poplatky jsou taktéž minimální, většinou méně než 0.001 USD. [18] [19]

#### 2.1.2.5 Ostatní zpracovávané altcoiny

V předchozí části jsem zmínil nějaké dle mého názoru významné a zajímavé altcoiny. Ve své práci však potřebuji více kryptoměn, nad kterými budu pracovat. Proto jsem vybral ještě následující kryptoměny.

Bitcoin Cash (BCH) je kryptoměna, která vznikla odvětvením od bitcoinu, z důvodu obav přehlcení sítě. Je tedy se svým předchůdcem téměř totožná, co se týče základních vlastností. [20]

EOS je kryptoměna, která se podobně jako Ethereum zaměřuje na využití chytrých kontraktů, kde každý uživatel držící EOS token může využívat příslušnou část výpočetní síly a uložistě. [21]

Binance Coin (BNB) je interní kryptoměna platformy a burzy Binance, která vychází ze standardu platformy Etherea. Binance Coin je dostupný téměř výhradně na své domovské platformě, kde však má svůj účel. [22]

TRON (TRX) je kryptoměna vytvořena za účelem decentralizace sdílení informací na internetu převážně multimediálního obsahu (jako jsou například videa, hudba, hry). TRON je schopný zpracovat až 2000 transakcí za sekundu a tím je až osmdesátkrát rychlejší než jeho konkurent Ethereum. [23]

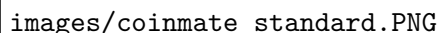
USD Tether (USDT) je zástupce stable coinu (stabilní měny), jeho cena je vázaná na běžnou měnu, v tomto případě na americký dolar. USD Tether je nejznámějším zástupcem stabilní měny, který je využíván velkým množstvím burz (například Binance, Huobi, Okex) a jeho celková kapitalizace je více než 2 miliardy amerických dolarů. [24]

## 2.2 Kryptoměnové burzy

V této podkapitole se zaměřuji na několik kryptoměnových burz. Poukazuji na jejich klady a zápory a věnuji se výběru těch nejlepších mezi nimi.

### 2.2.1 Coinmate

Coinmate je kryptoměnová burza sídlící ve Velké Británii, která vznikla na základě technologií české společnosti Profinit v roce 2014. Burza se zaměřuje na tyto tři základní aspekty: rychlost, spolehlivost a bezpečnost. Coinmate se řadí mezi menší burzy, podle ohlašovaného obchodovaného objemu za posledních 30 dní ve velikosti (21 658 191 amerických dolarů [25]) se burza neřadí ani mezi 100 největších. [26] Burza ani nenabízí velké množství obchodovatelných párů, pouze 20. Dříve do 25.3. 2020 bylo možné na Coinmate obchodovat s Korunou českou a Eurem. Obchodování s Eurem by mělo být možné



images/coinmate\_standard.PNG

Obrázek 2.1: Poplatky na burze Coinmate pro maker i taker) [1]

nejspíš někdy ke konci května nebo v červnu. Coinmate se opět snaží nastavit podmínky tak, aby bylo možné i obchodování s Korunou českou. [27]

Coinmate se dále pyšní tím, že má poměrně nízké poplatky. Pro uživatele v roli "maker", ti kteří aktivně vytvářejí nabídku a poptávku, činí poplatek 0,12 % až 0 % (viz obrázky 2.1 a 2.2). Pro uživatele v roli "taker", ti kteří nevytvářejí nové nabídky a poptávky, pouze obchodují na aktuálních, se poplatek pohybuje v rozmezí 0,25 % až 0,05 % (viz obrázky 2.1 a 2.2. Tímto systémem poplatků, kdy má nižší poplatky pro tvůrce trhu (makers), se snaží burza podpořit likviditu na trhu. [28] [1]

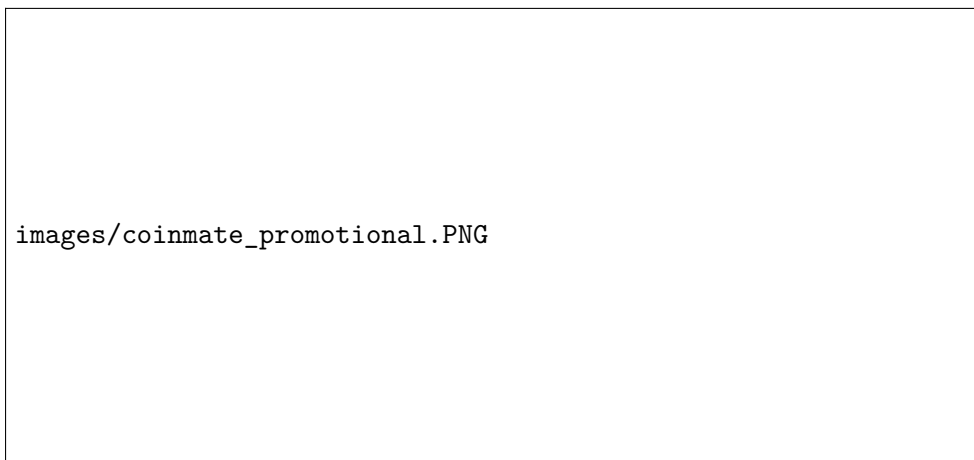
Z obrázků 2.1 a 2.2 je také možné vidět, že poplatky jsou sníženy pro obchodníky, kteří obchodují na burze s vyššími objemy, u maker tak může dojít ke snížení až na hranici nulových poplatků. [1]

### 2.2.2 Binance

Burza Binance byla založena v Číně v roce 2017, avšak později své sídlo přesunula na Maltu. Binance je podle dat z CoinMarketCap největší burzou, co se týče zobchodovaného objemu za posledních 30 dní (158 302 486 366 amerických dolarů). [26] Burza podporuje obchodováním s 1320 odlišnými měnami.

Binance je také specifická tím, že všechny obchodovatelné dvojice se sestávají pouze z kryptoměn a ne z běžných měn. Například americké dolary jsou nahrazeny stable coins, jako je například USDT nebo TUSD.

Burza Binance si v průměru účtuje 0.1 % za provedené obchody s měnami. Tento poplatek je stejný jak pro maker tak pro taker. Pokud se uživatel rozhodne zaplatit tyto poplatky domovskou měnou binance coin (BNB), pak jsou tyto poplatky redukovány o polovinu. Z toho plyne, že poplatky na burze Bi-



Obrázek 2.2: Poplatky na burze Coinmate pro maker i taker) [1]

Tabulka 2.1: Výběrové poplatky na burze Binance [2]

Měna/token	Název	Minimální výběr	Výběrový poplatek
BTC	Bitcoin	0,001	0,0004
LTC	Litecoin	0,002	0,001
ETH	Ethereum	0,02	0,003
XMR	Monero	0,0002	0,0001
XRP	Ripple	0,5	0,25
BCH	Bitcoin Cash	0,002	0,001
EOS	EOS	0,2	0,1
BNB	BNB	0,12	0
TRX	TRON	2,16	1,08
USDT	TetherUS	1,44	0,72

nance patří k jedněm z nejnižších.

Vkladové poplatky jsou nulové pro veškeré měny. Na druhou stranu výběrové poplatky se liší pro každou měnu (viz 2.1). [29]

### 2.2.3 MXC

Burza MXC je jednou z novějších burz. Vznikla v dubnu roku 2018 a je registrována v Singapuru. Podle statistik serveru CoinMarketCap je druhou největší z pohledu obchodovaného objemu za posledních 30 dní s objemem 101 249 688 459 amerických dolarů. [26] MXC podobně jako burza Binance podporuje velké množství altcoinů, celkově je zde možné obchodovat s 264 měnami. [30]

Co se týče poplatků, patří burza MXC se svými poplatky o velikosti 0,2 %

Tabulka 2.2: Výběrové poplatky na burze MXC [3]

Měna/token	Název	Minimální výběr	Výběrový poplatek
BTC	Bitcoin	0,001	0,0005
LTC	Litecoin	0,01	0,001
ETH	Ethereum	0,04	0,005
XMR	Monero	0,1	0,01
XRP	Ripple	50	0,1
BCH	Bitcoin Cash	0,02	0,001
EOS	EOS	2	0,1
BNB	BNB	0,3	0,001
TRX	TRON	600	1
USDT	TetherUS	25	4,8

mezi průměrné. Poplatek pro maker i taker je totožný. Tím, že tato burza patří mezi špičku, co se týče obchodovaného objemu, je zaručena i dostatečná likvidita. [31]

Burza MXC stejně jako Binance nezpłatňuje vklady, zplatňuje ale výběry. Výběrové poplatky se mohou periodicky měnit na základě situace jednotlivých bloků. [3] na základě tabulek 2.2 a 2.1 je možné vidět, že jsou výběrové poplatky velmi podobné jako na burze Binance, jediný znatelný rozdíl je u TetherUS (USDT). [31]

#### 2.2.4 BitForex

Burza BitForex je kryptoměnová burza, která vznikla v červnu roku 2018 a v dnešní době se podle serveru CoinMarketCap řadí na dvanácté místo, co se týče obchodovaného objemu za posledních 30 dní s objemem 66 241 217 666 amerických dolarů. [26] BitForex svým více jak 3 milionům uživatelům umožňuje obchodování na 92 měnových párech. [32]

BitForex má stejné poplatky pro maker i taker o velikosti 0,1 % . BitForex se snaží cílit na větší obchodníky, a proto pro ty, kteří vlastní alespoň 50 bitcoinů v rámci burzy a k tomu mají obchodovaný objem za posledních 30 dní alespoň 1000 bitcoinů (řádově jednotky milionů dolarů), poskytuje burza nulové poplatky.

BitForex nezpłatňuje vklady, ale stejně jako Binance nebo MXC zplatňuje výběry víceméně podobnými poplatky (viz tabulka 2.3). [32]

#### 2.2.5 LBank

LBank je kryptoměnová burza sídlící v Hong Kongu. Jedná se o jednu z největších burz, která se podle statistik z CoinMarketCap řadí v obchodo-

Tabulka 2.3: Výběrové poplatky na burze BitForex [4]

Měna/token	Název	Minimální výběr	Výběrový poplatek
BTC	Bitcoin	0,001	0,0005
LTC	Litecoin	0,1	0,001
ETH	Ethereum	0,01	0,02
XMR	Monero	0,01	0,00005
XRP	Ripple	20	0,15
BCH	Bitcoin Cash	0,012	0,0001
EOS	EOS	10	0,1
BNB	BNB	0,1	0,001
TRX	TRON	250	20
USDT	TetherUS	10	2

vaném objemu za posledních 30 dní na deváté místo s objemem 71 679 777 662 amerických dolarů. [26] [33]

Co se týče poplatků, využívá LBank takzvaně plochý model poplatků, poplatky pro taker i maker jsou totožné, ve výši 0,1 %. Jedná se o nadprůměrně nízké poplatky. LBank je oproti svým konkurentům velmi zajímavá tím, že nezaplatňuje ani vklady ani výběry jakýchkoliv měn. [33]

## 2.3 Arbitrážní příležitosti

### 2.3.1 Efektivita trhu

Efektivní je takový trh, kdy jsou všechny dostupné informace zohledněny v ceně aktiv (měn, akcií, dluhopisů, komodit).[34]

Silně efektivní trh je takový, když kurz obsahuje všechny známé kurzotvorné data, jak veřejné tak i veřejně nedostupné. Trhy poté reagují tak rychle, že pro nikoho, ani pro vlastníky neveřejných dat je nemožné realizovat nadprůměrné zisky. [35]

Reálné trhy nikdy dokonale efektivní nejsou. Na těchto neefektivních trzích je pak možné sledovat arbitrážní příležitosti, které vznikají právě z neefektivity trhu. [36]

### 2.3.2 Arbitráž

Arbitráž je obchodní strategie, která má za cíl vydělat na neefektivitě trhu. Arbitráž je založena na principu nakoupit levně a prodat téměř instantně dražší. Principem arbitráže je vytvořit zisk na malých rozdílech v ceně aktiv téměř bez jakéhokoliv rizika. Nejčastěji se jedná o nákup na jednom místě a téměř instantní prodej na místě jiném za vyšší cenu. [37]

### 2.3.3 Arbitráže na forexových trzích

Ještě předtím než vůbec vznikly kryptoměny, bylo možné se s arbitrážními příležitostmi setkat a to v rámci forexových trhů. Arbitráže se úplně původně začaly objevovat, kdy bylo možné v rámci jednoho měnového páru na jedné burze nakoupit levně a na druhé prodat draze.

Díky počítačům a vysoké rychlosti výpočtů bylo možné se následně věnovat i složitějším trojúhelníkovým arbitrážím a vydělávat na nich. [38]

### 2.3.4 Arbitráže v rámci kryptoměnových burz

Arbitrážní příležitosti na kryptoměnových burzách jsou pouhou obdobou arbitráží vyskytujících se na forexových trzích. Jedná se prakticky o úplně to samé, jediným rozdílem je fakt, že se místo reálných měn obchoduje s kryptoměnami.

Arbitrážní příležitost na kryptoměnových burzách (podobně jako na forexových trzích) vznikne většinou na základě rozdílu cen na dvou odlišných burzách. Důvod, proč arbitráže vznikají právě na kryptoměnových burzách je ten, že na burzách, kde dochází k velkému obchodnímu objemu, vzniká i velká likvidita určité měny, která poté reaguje rychleji na změny cen. Na druhou stranu na burzách, kde je menší nabídka dané měny, je likvidita nižší a cena dané měny bude daleko pomaleji reagovat na změny. Tím, že je možné nakoupit na jedné burze levněji a na druhé prodat draže, vzniká neefektivita a s ní také potenciální zisk.

Tento efekt velice úzce souvisí s tím, že se kryptoměny staly v posledních letech velmi populárními a ceny na velkých burzách velmi rychle kolísají, zatímco menší burzy tomuto tempu nemusí vždy stačit. [39]

### 2.3.5 Měnový pár v rámci kryptoměnových burz

Měnový pár je vztah mezi dvěma měnami určující hodnotu jedné vůči druhé. Například USD/CZK je vztah dolaru vůči koruně. První uváděná měna je vždy označována jako základní měna, zatímco druhá měna se označuje jako kótovaná měna. [40]

Poměr je uváděn ve vztahu k základní měně. Pokud je nákupní cena USD/CZK 22,5, znamená to, že je možné nakoupit 1 dolar za 22,5 Kč českých. Běžně je uváděn i otočený kurz tedy CZK/USD. [40]

V rámci kryptoměnových burz je běžné uvádět pouze jeden kurz například LTC/BTC, ne však otočený BTC/LTC. Z toho důvodu jsou na kryptoměnových burzách u jednotlivých kurzů vždy uváděny dvě hodnoty bid (nabídka) a ask (poptávka).

V rámci kryptoměnových burz se značení mezi měnovými páry často liší, avšak většinou se používá jedna z těchto tří možností (AAA/BBB, AAA-BBB, AAABBB), kde AAA a BBB zastupují zkratku nějaké měny (kryptoměny).

### 2.3.6 Deterministické arbitrážní příležitosti

Deterministické arbitráže jsou základním typem arbitrážních příležitostí, které mohou vznikat na kryptoměnových burzách. Jedná se o nákup a prodej stejných měnových párů na různých burzách v co nejkratším časovém intervalu za účelem výdělku. [41] [42]

Například nakoupím v jednom čase měnu A na burze X za 38,31 \$ a co nejrychleji prodám na burze Y za 38,70 \$ a tím vydělám 0,39 \$. Toto je nejjednodušší příklad a neberu v potaz poplatky.

### 2.3.7 Trojúhelníkové arbitrážní příležitosti

Trojúhelníková arbitráž na kryptoměnových burzách je takový obchod, kdy je proveden nákup nebo prodej prodeji mezi třemi měnami za cílem zisku. Tyto arbitrážní příležitosti se mohou objevovat, buď v rámci jedné burzy nebo mezi několika odlišnými (v následující části se budu věnovat arbitrážní příležitosti na jedné burze). [43]

Cílem je mít nějakou obchodovatelnou měnu A, kterou směníme na měnu B, tu následně na měnu C a nakonec opět zpátky na původní měnu A. Pokud máme měny A a na konci více než na začátku, jedná se o arbitrážní příležitost (pro reálný příklad viz 3.4).

V rámci arbitrážních příležitostí je také nutné brát v potaz nákupní poplatky, které si burzy za každý nákup účtují. Tyto poplatky mohou být pro všechny dvojice stejné nebo se mohou pro každou obchodovatelnou dvojici lišit.

### 2.3.8 Problémy s vyděláváním na arbitrážních příležitostech

O arbitrážních příležitostech se většinou mluví jako o obchodech bez rizika. Existují však nějaké bariéry a rizika, která je nutné brát v potaz.

Jedním z prvních problémů mohou být takzvané KYC regulace (know your customer - poznej svého zákazníka). Tyto regulace mohou například omezovat to, že pro obchodování na burze je nutné mít bankovní účet v zemi, kde je burza situována.

Kvůli tomu, že procentuální zisk arbitrážních příležitostí je většinou velmi nízký, je nutné provést obchod ve velké sumě. Z toho plyne, že je nutné mít poměrně velký obnos kryptoměn uložen na jednotlivých burzách kvůli tomu, aby bylo možné provést obchod co nejrychleji po detekci arbitrážní příležitosti.

Poplatky mezi obchody na burzách mohou výrazně snížit potenciální zisk a i po detekci neefektivity trhu nemusí nutně dojít k okamžitému výdělku.

Dalším problémem je, že se vůbec nemusí podařit provést transakci dostatečně rychle na to, aby ji neprovedl někdo jiný. Tím pádem se vždy nemusí podařit vytěžít arbitrážní příležitost nebo může proběhnout pouze část transakcí, které mohou skončit v záporných číslech.

## 2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLÉMU

---

Na některých burzách se objevovaly i problémy s pomalým proběhnutím transakcí, které mohly také způsobit určitou ztrátu, pokud je někdo závislý na rychlém pohybu mezi kryptoměnami. [39]



## Realizace

V této kapitole se zabývám praktickou částí své bakalářské práce, ve které se ze začátku zaměřuji na problémy se získáváním relevantních dat. Dále na to navazuji analýzou těchto získaných dat, která se sestává ze zpracování dat a vyhledávání arbitrážních příležitostí.

### 3.1 Získání dat

Obecně jsem pro svou práci potřeboval získat taková data, která se týkají aktuálních nabídek a poptávek pro jednotlivé měnové páry, na kterých jsem chtěl provádět analýzu. Tomuto typu dat se běžně říká order book (kniha objednávek).

Problém s tímto typem dat je ten, že tím, že se aktuální nabídka na větších burzách mění klidně až několikrát za sekundu, a proto tato data nabývají poměrně velkých objemů.

#### 3.1.1 Data na kryptoměnových burzách

Nejdříve jsem se snažil získat data na oficiálních stránkách jednotlivých burz, konkrétně Binance, CoinMate, MXC, LBank. Zde jsem se byl schopen po registraci připojit na jednotlivá API. Data zde byla veřejně k dispozici, avšak neodpovídala takovému formátu, který jsem pro svou práci požadoval.

Na všech kryptoměnových burzách byla k dispozici data pouze o aktuálních nabídkách a poptávkách. Historických data, bylo možné získat data o všech provedených obchodech, kde bylo vždy uvedeno minimálně množství, cena a čas provedení obchodu. Dále bylo možné získat data k vytvoření svíčkových grafů. Všechna tato historická data byla pro mě však irelevantní, protože jsem potřeboval historická data ve formátu order book.

### 3. REALIZACE

---

Tabulka 3.1: Porovnání parametrů jednotlivých burz

Burza	Obchodovaný objem	Taker fee	Maker fee
Coimato	21,658,191\$	0,25 % až 0,05 %	0,12 % až 0 %
Binance	158 302 486 366 \$	0,1 % (resp. 0,05 %)	0,1 % (resp. 0,05 %)
MXC	101 249 688 459 \$	0,2 %	0,2 %
BitForex	66 241 217 666 \$	0,1 %	0,1 %
LBank	71 679 777 662 \$	0,1 %	0,1 %

#### 3.1.2 Vlastní sběr dat

Neboť žádná z burz neposkytovala historická data ve formátu order book, která jsem pro svou práci potřeboval, byl jsem nucen si data začít sbírat z burz sám. Díky tomuto rozhodnutí zmizel problém s dostupností dat, protože všechny zmiňované burzy poskytovaly aktuální data ve formátu order book pro všechny své měnové páry.

#### 3.1.3 Výběr burzy

Při výběru burzy bylo nutné zohlednit několik faktorů, které mohou mít vliv na výskyt arbitrážních příležitostí:

- zdali, burza poskytuje data ve formátu order book,
- jak velkými poplatky zpoplatňuje burza jednotlivé transakce,
- jak velký objem se na burze zobchoduje,
- s kolika různými měnami je možné obchodovat.

Jelikož jsem si data sbíral sám, tak zmizel problém s dostupností dat a tedy faktor správného formátu dat se stal irelevantním.

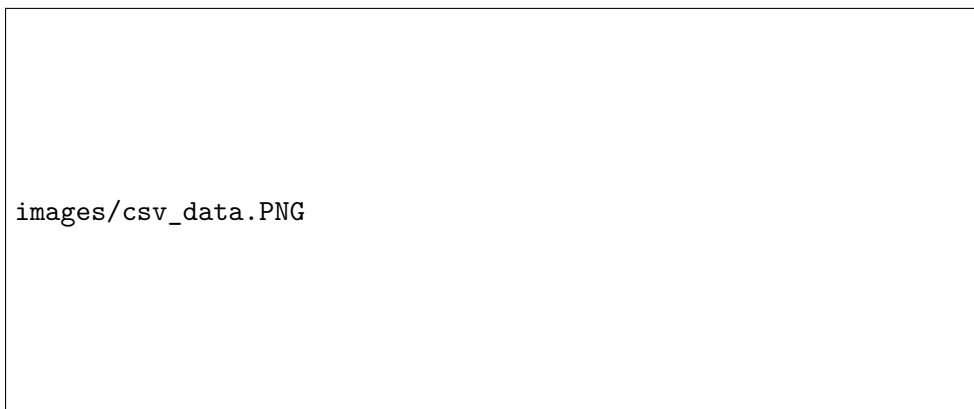
Další faktor, který bylo možné zanedbat, byl počet různých měn, neboť většina burz poskytuje daleko větší počet měn, než kolik jsem byl reálně schopný ukládat.

Nejdůležitějšími faktory při výběru burzy se staly rozdíly mezi obchodovaným objemem a rozdíly ve výši poplatků.

Po porovnání parametrů dvou vybraných parametrů (viz tabulka 3.1)

#### 3.1.4 Burza Binance

Po porovnání vybraných parametrů (viz tabulka 3.1 nebo pro podrobnější informace kapitola Kryptoměnové burzy) jsem jako burzu, ze které jsem sbíral data, vybral server Binance. Tato burza má nejvyšší obchodovaný objem za posledních 30 dní ze všech kryptoměnových burz [26] a také má ze všech



Obrázek 3.1: Ukázka csv souboru jednoho dne dat dvojice kryptoměn

zkoumaných burz nejprívětivější systém poplatků ve výši 0,1 % (respektive 0,05 % při placení poplatků v domovské měně Binance Coin).

Dalšími podpůrnými parametry pro výběr této burzy bylo to, že měla přívětivé API, ke kterému jsem se připojil přes websocket. [44] Tímto způsobem mi při každé změně chodila data ve formě order book ohledně aktuální nabídky a poptávky sledované dvojice měn. Tento formát dat tedy splňoval původní požadavek. [44]

### 3.1.5 Sběr dat

Data, která přicházela přes websocket, ve kterých bylo uvedeno pořadí jako identifikační číslo, cena a množství nabídky a poptávky v order book, jsem si ukládal do souborů ve formátu csv. K těmto datům jsem ještě vždy přidal časové záznam ve formátu unix timestamp (viz obrázek 3.1). Identifikační číslo jsem si ukládal z důvodu kontroly chronologie dat. Výpis nabídek a poptávek jsem zanechal jako dvourozměrné pole, kde v prvním sloupci byla uvedena prodejní (resp. nákupní) cena a v druhém sloupci bylo uvedeno množství.

Order book může mít hloubku až několika stovek objednávek a poptávek, proto jsem si neukládal jeho celou velikost. Naopak jsem si ukládal pouze pět nejvýhodnějších záznamů. To jsem mohl udělat z toho důvodu, že arbitrážní příležitost bude vždy nastávat na nejvýhodnějších nabídkách, protože kdyby nastala na méně výhodné, tak musela nutně nastat i na té nejvýhodnější.

Hloubku sběru dat z order booku je možné si vybrat libovolnou, vyšší hloubka nezvýší počet výskytu arbitrážních příležitostí, může na druhou stranu zlepšit absolutní zisk. Hodnoty ve vyšší hloubce jsou výrazně méně často využívány (viz koláčový graf 3.3).

Jelikož jsem data potřeboval ukládat neustále a ne pouze v konkrétní časové intervaly, tak jsem sběr dat spustil na cloudové službě AWS - Amazon

Web Services. Data jsem kumuloval do souborů po jednom dni, protože jsem kvůli omezenému uložišti musel data stahovat a ukládat i na lokální disk.

#### 3.1.5.1 Kontrola správnosti dat

Data chodila z cizího serveru přes websocket a nebylo stoprocentně zaručené, že budou chodit vždy ve správném tvaru už jen například v závislosti na latenci mezi burzou Binance a mým serverem. Kvůli tomu bylo nutné zavést některá opatření, aby mi jisté chyby nezkreslily statistiky.

První kontrolou bylo to, že při postupném procházení dat kontroluji vždy časový údaj a porovnávám ho s předchozím. Pokud takováto situace nastane, tak řádek jednoduše přeskakují. Pokud by se však tento efekt opakoval častěji chybu mi program nahlásí a je nutné data zkontrolovat ručně.

Tento efekt se objevil, když mi na tři sledované měnové páry začala chodit data po několik dní opakovaně s několika minutovou (až hodinovou) časovou prodlevou. Kvůli tomu jsem si napsal program, který mi celé soubory dat zkontroluje, seřadí podle identifikátoru knihy objednávek (order book) a časového razítka (timestamp) a následně odstraní duplicity.

Tímto kontrolujícím programem jsem zkontroloval všechny soubory a téměř žádné, až na pár výjimek (kde byla data duplikovaná), nebyly programem modifikovány, protože data chodila v korektním formátu.

#### 3.1.5.2 Sledované měny a trojúhelníky

Na serveru Binance je možné obchodovat s 1320 různými měnami (údaj k 29.3. 2020), proto jsem si mohl k obchodování vybrat téměř jakékoliv měny. Z toho důvodu, že pro mě nebylo reálné sledovat všechny různé dvojice, vybral jsem si ke sledování následujících 10 kryptoměn: USDT, BTC, LTC, ETH, XRP, BCH, EOS, BNB, TRX, XMR. Toto celkově znamenalo sběr dat týkající se 30 dvojic kryptoměn (obchody mezi některými dvojicemi na severu Binance nebylo možné provádět). Všechna tato data nabývala velikosti v průměru téměř 1 GB za den.

Celkově je dostupných těchto 30 měnových párů: BCHBNB, BCHBTC, BCHUSDT, BNBBTC, BNBETH, BNBUSDT, BTCUSDT, EOSBNB, EOSBTC, EOSETH, EOSUSDT, ETHBTC, ETHUSDT, LTCBNB, LTCBTC, LTCETH, LTCUSDT, TRXBNB, TRXBTC, TRXETH, TRXUSDT, TRXXRP, XMRBNB, XMRBTC, XMRETH, XMRUSDT, XRPBNB, XRPBTC, XRPETH, XRPUSDT.

Následně zkoumám všech 41 trojúhelníků, které je možné složit, z těchto měnových párů: BTC/BCH/BNB, BTC/ETH/EOS, BTC/LTC/ETH, ETH/EOS/BNB, USDT/BNB/TRX, USDT/BTC/ETH, USDT/EOS/BNB, USDT/ETH/XRP, XRP/BNB/TRX, BTC/BNB/TRX, BTC/ETH/TRX, BTC/XRP/BNB, ETH/XRP/BNB, USDT/BNB/XMR, USDT/BTC/LTC, USDT/ETH/BNB, USDT/LTC/BNB, BTC/BNB/XMR, BTC/ETH/XMR,

BTC/XRP/TRX, ETH/XRP/TRX, USDT/BTC/BCH, USDT/BTC/TRX, USDT/ETH/EOS, USDT/LTC/ETH, BTC/EOS/BNB, BTC/ETH/XRP, ETH/BNB/TRX, LTC/ETH/BNB, USDT/BTC/BNB, USDT/BTC/XMR, USDT/ETH/TRX, USDT/XRP/BNB, BTC/ETH/BNB, BTC/LTC/BNB, ETH/BNB/XMR, USDT/BCH/BNB, USDT/BTC/EOS, USDT/BTC/XRP, USDT/ETH/XMR, USDT/XRP/TRX.

## 3.2 Zpracování dat

### 3.2.1 Filtrování surových dat

V prvním kroku bylo mým cílem pouze vyfiltrovat všechny potenciální arbitrážní příležitosti, které se na jednotlivých trojúhelnících objevovaly.

Nejdříve jsem tento filtrovací skript napsal v jazyce Python. Zde však probíhalo filtrování moc pomalu, řádově několik minut pro provedení jednoho trojúhelníku za jeden den, což se po pře násobení počtem trojúhelníků dostalo na několik hodin denně. Z toho důvodu jsem výběr jazyka Python přehodnotil a rozhodl jsem se využít jazyk C++.

V jazyce C++ se mi podařilo filtrování zrychlit téměř šedesátkrát, tudíž jsem se dostal z řádu hodin denně na řádově minuty.

#### 3.2.1.1 Struktura filtrovaných dat

Vyfiltrovaná data jsem tentokrát ukládal v JSON formátu. Tento formát jsem vybral, protože je zde možné přehledněji strukturovat data (viz 3.2).

Na nejnižší úrovni JSON formátu jsem si ukládal tyto informace:

- `arbitrages_count` – celé číslo popisující počet nalezených arbitrážních příležitostí v konkrétním dni,
- `without_fees_count` – celé číslo popisující počet nalezených neefektivit trhu, (kolikrát by se vyskytla arbitrážní příležitost, kdyby na burze neexistovaly poplatky),
- `all_count` – celé číslo, které udává kolik celkově proběhlo kontrol na výskyt arbitrážní příležitosti (neboli počet záznamů order book na třech příslušných měnových párech).
- `arbitrages_stats` - pole, ve kterém jsou uvedeny bližší informace, ke každé arbitrážní příležitosti.

Co se týče bližších informací k jednotlivým arbitrážním příležitostem, tak jsem zachovával následující data:

- `score` – desetinné číslo popisující teoretický procentuální zisk (bez zahrnutí poplatků),

- `supply_gain_index` (`demand_gain_index`) – pole tří indexů popisující nejlepší kombinaci z order book k získání nejvyššího absolutního zisku na straně trojúhelníku začínajícího nabídkou resp. poptávkou (viz obrázek ??),
- `supply_gain` (`demand_gain`) – hodnota absolutního zisku hlavní měny v první dvojici měn v odrážce `pairs` na straně trojúhelníku začínajícího nabídkou resp. poptávkou (viz obrázek ??), pokud nedojde žádnému zisku je hodnota ponechána na 0,
- `time_delta` – zaznamenává detekovanou dobu výskytu arbitrážní příležitosti,
- `pairs` – jedná se o pole o velikosti 3, na jehož každé položce je uloženo příslušné identifikační číslo, časový záznam a typ měnové dvojice ze čtených csv souborů (viz ukázka csv souboru 3.1).


#### 3.2.2 Arbitrážní příležitosti

Ve své práci se věnuji pouze trojúhelníkovým arbitrážním příležitostem, tedy vždy příležitostem pro 3 odlišné měny. Jelikož mám pro libovolnou obchodovatelnou dvojici kryptoměn (AAA a BBB) vždy údaj pouze z jedné strany (poptávka i nabídka je pouze z pohledu jedné z kryptoměn) může docházet v trojúhelníku k osmi možnostem uskupení měnových párů. Těchto osm možností je však možné přeskupením dostat do dvou odlišných kombinací.

Tyto dvě kombinace je nutné příslušně vynásobit (resp. Vydělit) v závislosti na pořadí měn v měnovém páru. V trojúhelníku nezáleží na pořadí, v jakém jednotlivé hodnoty mezi sebou vynásobeny (vyděleny). Je nutné však vždy v jednom trojúhelníku zkontrolovat obě strany nákupu a prodeje.

Dalším krokem v rámci detekce ideální příležitosti je projít několik dalších nejlepších nabídek (poptávek), v mém případě do hloubky pět, a zjišťovat, jestli není výhodnější provést obchod s menším procentuálním ziskem, avšak s vyšším absolutním ziskem. Snažím se tedy najít takovou možnost, při které dojde k zobchodování většího množství a tím vznikne vyšší zisk (viz 3.4).

Ve většině případů je i k získání největšího absolutního zisku nejvýhodnější využít prvních hodnot v rámci order book. Celkově je v mém případě využita první hodnota z order book ve více než 88 % případech (statistika byla prováděna na reálných arbitrážních příležitostech získaných v mé praktické části, celkově bylo vzato v potaz více než 160 tisíc indexů). Využití dalších indexů v pořadí je využito o poznání méně řádově v jednotkách procent, které se snižují s každým dalším indexem (viz koláčový graf 3.3).



images/json\_data.PNG

Obrázek 3.2: Ukázka JSON formátu struktury dat

#### 3.2.2.1 Detekce trojúhelníkové arbitrážní příležitosti

Nechť máme tři odlišné měny  $C_1, C_2, C_3$  a nechť existují směnné kurzy mezi každou dvojicí měn. Následně definujme  $x_i(t)$  jako výši prodejní ceny (bid) v čase  $t$  mezi  $C_i$  a  $C_{i+1}$  za předpokladu, že  $C_{i+1}$  odpovídá hlavní měně a  $C_i$  odpovídá kótované měně v uvedeném kurzu. V opačném případě, kdy  $C_i$  je hlavní měna a  $C_{i+1}$  je měna kótovaná, nastavíme hodnotu  $x_i(t)$  jako převrácenou hodnotu nákupní ceny (ask) v čase  $t$ .

Dále definujme  $f_i$  jako poplatek mezi měnami  $C_i$  a  $C_{i+1}$ , kde pro zjednodušení notace  $C_1 = C_4$ .

images/index\_distribution.png

Obrázek 3.3: Distribuce indexů obsahující nejlepší hodnoty pro získání nejvyššího absolutního zisku v rámci arbitrážní příležitosti

Následně definujeme

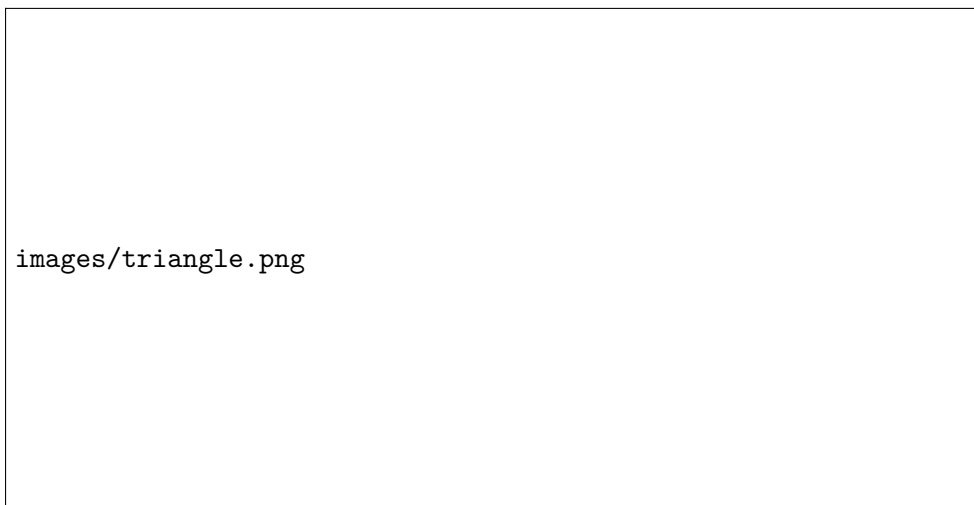
$$D_{C_1, C_2, C_3}(t) = \prod_i^3 \left( x_i(t) * (1 - f_i) \right)$$

jako procentuální efektivitu trojúhelníku v čase  $t$ .

V závislosti na vztahu mezi 1 a  $D_{C_1, C_2, C_3}(t)$  je možné vyhodnotit, zdali se jedná o arbitrážní příležitost. Možnosti jsou následující:

- za předpokladu, že  $D_{C_1, C_2, C_3}(t) < 1$ , není detekována arbitrážní příležitost a při provedení obchodu by došlo ke ztrátě,





Obrázek 3.4: Trojúhelníková arbitráž

- pokud  $D_{C_1, C_2, C_3}(t) > 1$ , poté dochází k detekci arbitrážní příležitosti a je možné vydělat  $(D_{C_1, C_2, C_3}(t) - 1) * m$ , kde  $m$  reprezentuje zobchodované množství,
- pokud  $D_{C_1, C_2, C_3}(t) = 1$ , pak není nutné trojúhelník obchodovat, protože by nedošlo k žádnému výdělku.

### 3.2.2.2 Reálný příklad arbitrážní příležitosti

Na obrázku 3.4 je zachycena reálná arbitrážní příležitost na trojúhelníku USDT/BTC/TRX, která nastala 30. dubna 2020 v 8:30:29.246 středoevropského letního času (čas  $t$  pro výpočet následujícího příkladu).

Na tomto příkladě je počítáno s poplatky 0,1 % pro každý měnový pár. po dosazení do rovnice:

$$D_{C_1, C_2, C_3}(t) = \prod_i^3 (x_i(t) * (1 - f_i))$$

, vyjde:

$$D_{USDT, BTC, TRX}(t) = 0,0164/9180/0,00000177 * (1 - 0,001)^3 = 1,0062928$$

Nejužší částí tohoto trojúhelníku je množství poptávky na straně TRXUSDT, proto tuto hodnotu zvolíme jako maximální obchodovatelný objem arbitrážní příležitosti a vynásobíme upraveným procentuálním ziskem.

$$(D_{USDT, BTC, TRX}(t) - 1) * m = (1,0062928 - 1) * 2219639,3 = 13967,745 \text{ TRX}$$

Na příkladu je vidět, že na této konkrétní arbitrážní příležitosti bylo možné převodu byl využit z obrázku 3.4 na straně poptávky na straně TRXUSDT).

Tato hodnota vypadá velmi zajímavě, je však nutné podotknout, že k vytěžení takovéto arbitrážní příležitosti je nutné zobchodovat objem o velikosti 2 219 639,3 TRX odpovídajících asi 36 402 americkým dolarům.

#### 3.2.2.3 Reálná detekce arbitrážní příležitosti

Ve své praktické části detekuji arbitrážní příležitosti stejným způsobem, jaký je popsán v předchozí sekci. Protože se však na data koukám později a analýzu provádím na historických datech, je nutné určit, co považuji za novou arbitrážní příležitost.

Problém může nastat, pokud se objeví arbitrážní příležitost, která není vytěžena nebo je pouze částečně vytěžena do příchodu dalšího záznamu (order book). S takovýmto efektem nakládám tím způsobem, že pokud se vyskytne několik stejných arbitrážní příležitostí po sobě, považuji je za jednu a pouze zvětšuji dobu trvání výskytu dané arbitrážní příležitosti.

Je nutné ještě zadefinovat, co považuji za stejnou arbitrážní příležitost. Jako stejnou arbitrážní příležitost považuji takovou, která má stejné právě 2 časové razítka (timestamp) a stejný procentuální zisk.

Absolutní zisky neporovnávám z toho důvodu, že může dojít pouze ke změně v obchodovatelnému objemu arbitrážní příležitosti. Tudíž kdybych tyto menší arbitrážní příležitosti detekoval jako nové, došlo by k duplikování stejných hodnot na jiných arbitrážních příležitostech. Další obrácenou možností je to, že by někdo vytvořil podobnou nabídku a tím zvýšil potenciální zisk to by však bylo moc složité na detekci, a proto se tomu ve své práci nevěnuji.

## Analýza dat

V této kapitole se věnuji analýze reálných dat s pomocí vlastních grafů. Data jsou vyhodnocena na základě více než dvou měsíční sbírky dat.

### 4.1 Selekcce nejlepších trojúhelníků

V této sekci se zabývám selekcí těch nejlepších trojúhelníků vzhledem k nejčastějším výskytům arbitrážních příležitostí, největších potenciálních zisků. Tato část je nutná z toho důvodu, že celkově pozoruji 41 odlišných trojúhelníků a velké části z nich není nutné se věnovat, protože nejsou z pohledu vytěžování arbitrážních příležitostí vůbec zajímavé.

#### 4.1.1 Základní statistiky trojúhelníků

V této podkapitole se úzce věnuji nejzákladnějším statistikám jednotlivých trojúhelníků a diskutuji nad tím, jakým se vyplatí se věnovat podrobně v dalších částech této kapitoly.

Nejdůležitějšími faktory jsou:

- jak často se pozitivní arbitrážní příležitosti vyskytují,
- jak dlouho průměrně trvají, jak velká pravděpodobnost na včasné vytěžení reálně existuje,
- kolik je v průměru možné vydělat na úspěšném vytěžení jednotlivé arbitrážní příležitosti,
- k jak velkému potenciálnímu zisku došlo.

Jak je možné vidět v tabulce 4.1, tak průměrný počet pozitivních arbitrážních příležitostí se pro jednotlivé trojúhelníky hodně liší, pohybuje se od ani ne jednotek denně až po několik desítek denně. V případě trojúhelníku

USDT/BNB/XMR je tomu nejvíce a jedná se v průměru o více než 30 pozitivních arbitrážních příležitostí denně. Průměrná neefektivita arbitrážní příležitosti (jedná se o hodnotu procentuálního zisku se zahrnutím poplatků) dosahuje promile pouze u trojúhelníku USDT/BTC/EOS, u všech ostatních sledovaných trojúhelníků se hodnota pohybuje v řádu desetin promile.

Vyšší procentuální zisk z tabulky 4.1 a grafu 4.1 nemusí nutně znamenat vysoký reálný zisk. V tabulce 4.2 jsou uvedeny průměrné denní potenciální zisky, jak v hodnotách jedné z kryptoměn příslušného trojúhelníku, tak v hodnotách přepočtených na americké dolary (podle tabulky kurzů 4.3) kvůli lepšího porovnání. V tabulce potenciálních zisků 4.2 je vidět, že se hodnoty liší mezi jednotlivými trojúhelníky znatelněji, než v tabulce průměrných počtů arbitrážních příležitostí v tabulce 4.1. Průměrné denní potenciální zisky zde kolísají od hodnot blízkých nule až po hodnoty desítek až stovek amerických dolarů (údaje jsou nechány v exponenciálním tvaru, neboť rozdíly mezi nejmenšími a nejvyššími hodnotami jsou až 6 řádů).

### 4.2 Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy

V této sekci se zabývám tím, jaké vnější jevy mohou mít na výskyt arbitrážních příležitostí vliv a jak moc s výskytem korelují nebo nekorelují. Je nutné podotknout, že nějaké vztahy nemusí být úplně vypovídající, protože korelace jsou prováděny pouze na datech o velikosti dvou až tří měsíců.

#### 4.2.1 Závislost na dni v týdnu

Z grafu 4.2 je možné vidět, že se arbitrážní příležitosti vyskytovaly nejvíce v pondělí, v úterý a v neděli. Na druhou stranu při pohledu na graf 4.3 je jasné vidět, že se ve výskytu arbitrážních příležitostí nevyskytuje žádný periodický vzor, který by se opakoval po každých sedmi dnech. Graf je velice plochý s pár výkyvy, které naprosto převáží všechny ostatní výskyty.

Proto si dovoluji tvrdit, že z mých dat není zřejmá žádná korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a dnem v týdnu. Nevyvracím však možnost, že se nějaká vyskytovat může. Velké výkyvy ve výskytu arbitráží ovlivňují data natolik, že ostatní hodnoty mají téměř nulový význam.

#### 4.2.2 Závislost na denní hodině

Z grafu 4.4 je vidět, že nějaké hodiny silně převažují v počtu výskytu arbitrážních příležitostí. Domnívám se však, že je to způsobeno stejným jevem, jako v případě korelace s dny v týdnu a to tím, že se arbitrážní příležitosti neobjevují rovnoměrně v čase (viz 4.3, nýbrž se vyskytují vždy ve velkém množství po krátkou dobu. Tento efekt spojený s faktem, že nemám dostatečné

#### 4.2. Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy

Tabulka 4.1: Tabulka porovnávající průměrné denní počty a průměrné neefektivitu jednotlivých trojúhelníků

Trojúhelník	Průměrný denní počet	Průměrná % neefektivita
BTC/BCH/BNB	1,2353	1,0004
BTC/BNB/TRX	0,2692	1,0001
BTC/BNB/XMR	0,8462	1,0002
BTC/ETH/BNB	0,5192	1,0002
BTC/ETH/EOS	0,5962	1,0001
BTC/ETH/TRX	2,0253	1,0001
BTC/ETH/XRP	6,5190	1,0003
BTC/LTC/BNB	0,4808	1,0001
BTC/LTC/ETH	8,8734	1,0001
BTC/XRP/BNB	0,1731	1,0001
BTC/XRP/TRX	9,6456	1,0003
ETH/BNB/TRX	0,2308	1,0001
ETH/BNB/XMR	5,1266	1,0002
ETH/EOS/BNB	0,3462	1,0002
ETH/XRP/BNB	2,4304	1,0002
ETH/XRP/TRX	3,3797	1,0001
LTC/ETH/BNB	2,8734	1,0002
USDT/BCH/BNB	20,2949	1,0009
USDT/BNB/TRX	1,7692	1,0004
USDT/BNB/XMR	33,6329	1,0006
USDT/BTC/BCH	4,4808	1,0010
USDT/BTC/BNB	5,8269	1,0009
USDT/BTC/EOS	32,9250	1,0012
USDT/BTC/ETH	3,7885	1,0009
USDT/BTC/LTC	15,2278	1,0007
USDT/BTC/TRX	6,9873	1,0006
USDT/BTC/XMR	29,5063	1,0008
USDT/BTC/XRP	25,5949	1,0009
USDT/EOS/BNB	24,3165	1,0006
USDT/ETH/BNB	2,9808	1,0009
USDT/ETH/EOS	1,7308	1,0007
USDT/ETH/TRX	0,9615	1,0009
USDT/ETH/XMR	2,3462	1,0007
USDT/ETH/XRP	2,0000	1,0007
USDT/LTC/BNB	18,3924	1,0006
USDT/LTC/ETH	1,3846	1,0007
USDT/XRP/BNB	12,7215	1,0007
USDT/XRP/TRX	30,2278	1,0004
XRP/BNB/TRX	0,2308	1,0001

#### 4. ANALÝZA DAT

Tabulka 4.2: Tabulka potenciálních výnosů arbitrážních příležitostí na jednotlivých trojúhelnících

Trojúhelník	Denní neefektivita	Denní neefektivita (USD)
BTC/BCH/BNB	2,789278e-03 BCH	6,219532e-01
BTC/BNB/TRX	7,573400e+00 TRX	9,540212e-02
BTC/BNB/XMR	2,626474e-03 XMR	1,401749e-01
BTC/ETH/BNB	6,453608e-02 BNB	1,002245e+00
BTC/ETH/EOS	2,278326e-01 EOS	5,559115e-01
BTC/ETH/TRX	5,277399e+01 TRX	6,647940e-01
BTC/ETH/XRP	4,654306e+01 XRP	8,655381e+00
BTC/LTC/BNB	5,058650e-04 LTC	2,074046e-02
BTC/LTC/ETH	1,644170e-01 LTC	6,741097e+00
BTC/XRP/BNB	3,136049e-01 XRP	5,831954e-02
BTC/XRP/TRX	4,266696e+02 TRX	5,374757e+00
ETH/BNB/TRX	2,591426e+01 TRX	3,264419e-01
ETH/BNB/XMR	5,727905e-02 XMR	3,056983e+00
ETH/EOS/BNB	6,051972e-02 EOS	1,476681e-01
ETH/XRP/BNB	2,834378e+00 XRP	5,270950e-01
ETH/XRP/TRX	1,933581e+01 TRX	2,435733e-01
LTC/ETH/BNB	1,129460e-02 LTC	4,630786e-01
USDT/BCH/BNB	4,236630e-01 BCH	9,446838e+01
USDT/BNB/TRX	5,190934e+01 TRX	6,539020e-01
USDT/BNB/XMR	2,209484e+00 XMR	1,179202e+02
USDT/BTC/BCH	1,038361e-01 BCH	2,315336e+01
USDT/BTC/BNB	1,268093e+00 BNB	1,969348e+01
USDT/BTC/EOS	7,046822e+02 EOS	1,719424e+03
USDT/BTC/ETH	1,591693e-01 ETH	2,494183e+01
USDT/BTC/LTC	3,429549e+00 LTC	1,406115e+02
USDT/BTC/TRX	1,144626e+04 TRX	1,441885e+02
USDT/BTC/XMR	1,360074e+00 XMR	7,258717e+01
USDT/BTC/XRP	2,153838e+03 XRP	4,005385e+02
USDT/EOS/BNB	9,776393e+01 EOS	2,385440e+02
USDT/ETH/BNB	2,918565e-01 BNB	4,532531e+00
USDT/ETH/EOS	1,208823e+00 EOS	2,949528e+00
USDT/ETH/TRX	1,051102e+02 TRX	1,324073e+00
USDT/ETH/XMR	5,186252e-02 XMR	2,767902e+00
USDT/ETH/XRP	1,125902e+01 XRP	2,093783e+00
USDT/LTC/BNB	2,439327e+00 LTC	1,000124e+02
USDT/LTC/ETH	9,987930e-02 LTC	4,095052e+00
USDT/XRP/BNB	6,182105e+02 XRP	1,149655e+02
USDT/XRP/TRX	1,955658e+03 TRX	2,463543e+01
XRP/BNB/TRX	6,924775e-01 TRX	8,723139e-03



Obrázek 4.1: Průměrná procentuální neefektivita jednotlivých trojúhelníků (bez zahrnutí poplatků)

množství dat poté může způsobovat velké výkyvy v grafu rozložení v závislosti na hodině dne 4.4.

Díky tomuto efektu dále není možné z mých dat docházet k jakýmkoliv hlubším závěrům, neboť bych potřeboval, abych měl zaevidovaný vyšší počet výkyvů. Z toho důvodu nemohu potvrdit ani vyvrátit možnost výskytu korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a hodinou ve dni.

### 4.2.3 Závislost na počtu provedených transakcí

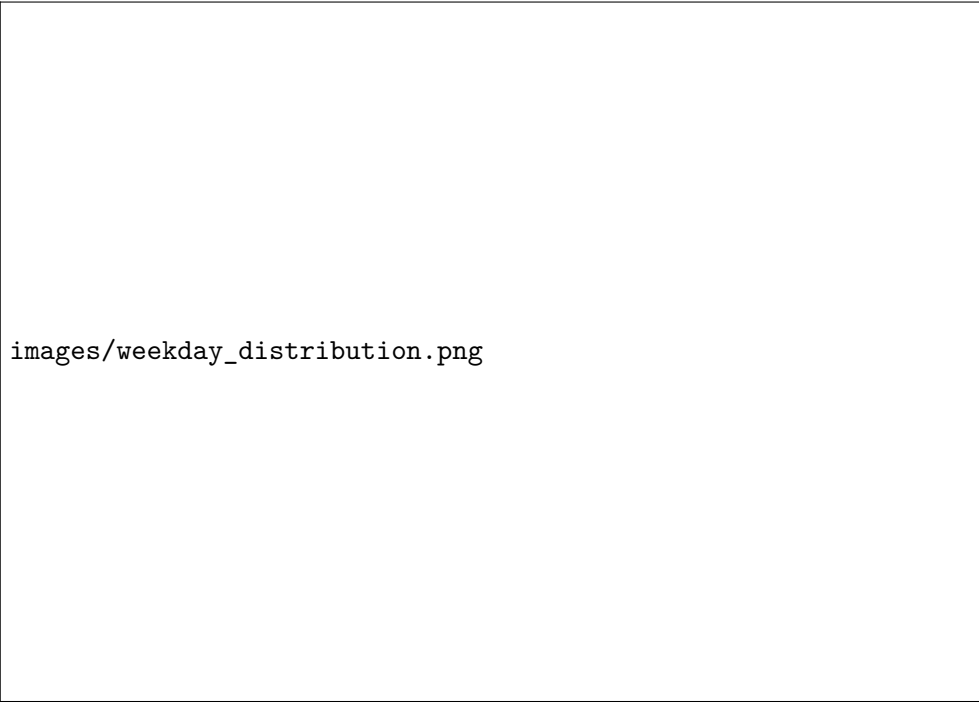
Počet transakcí je číslo, které by také mohlo ovlivňovat počet výskytu arbitrážních příležitostí, protože za předpokladu, že nebudou prováděny žádné transakce, se nemohou vytvářet ani nové arbitrážní příležitosti.

#### 4. ANALÝZA DAT

---

Tabulka 4.3: Tabulka kurzů využitých na přepočet na americké dolary (údaj z burzy Binance ze dne 13.4.2020)

Kryptoměna	Kurz na USD
BTC	6837,51
LTC	41
ETH	156,7
XRP	0,185965
USDT	1
BCH	222,98
BNB	15,53
EOS	2,44
XMR	53,37
TRX	0,012597



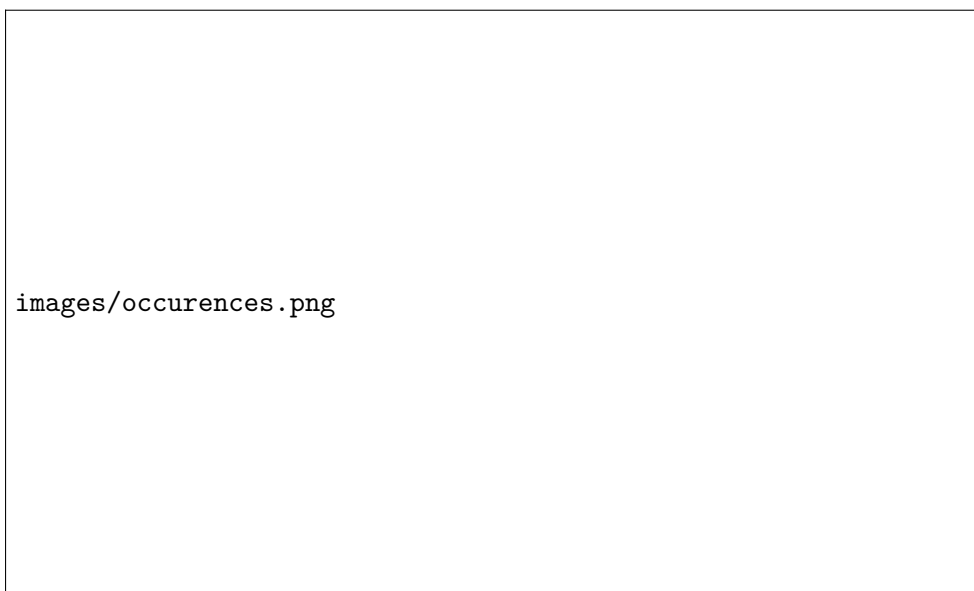
images/weekday\_distribution.png

Obrázek 4.2: Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na dni v týdnu

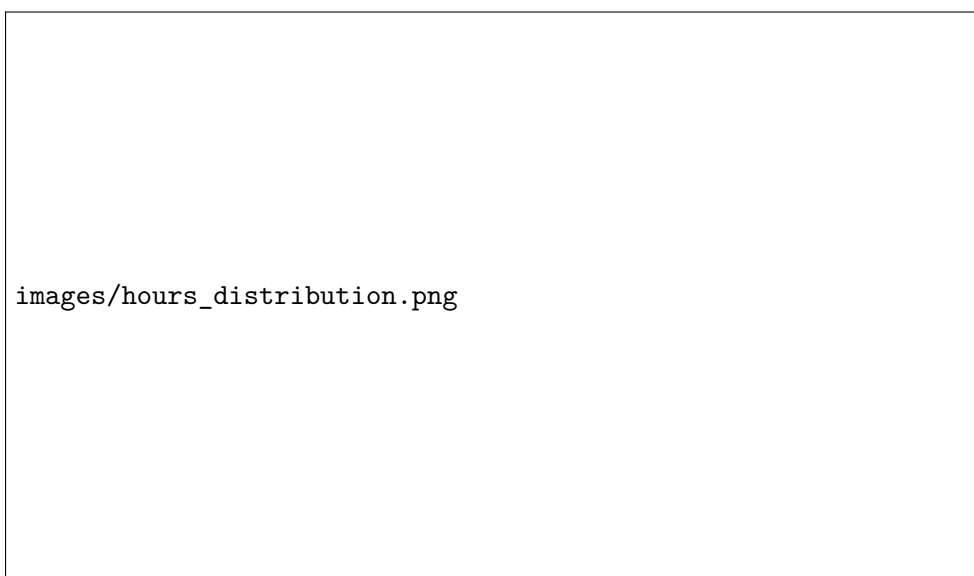


## 4.2. Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy

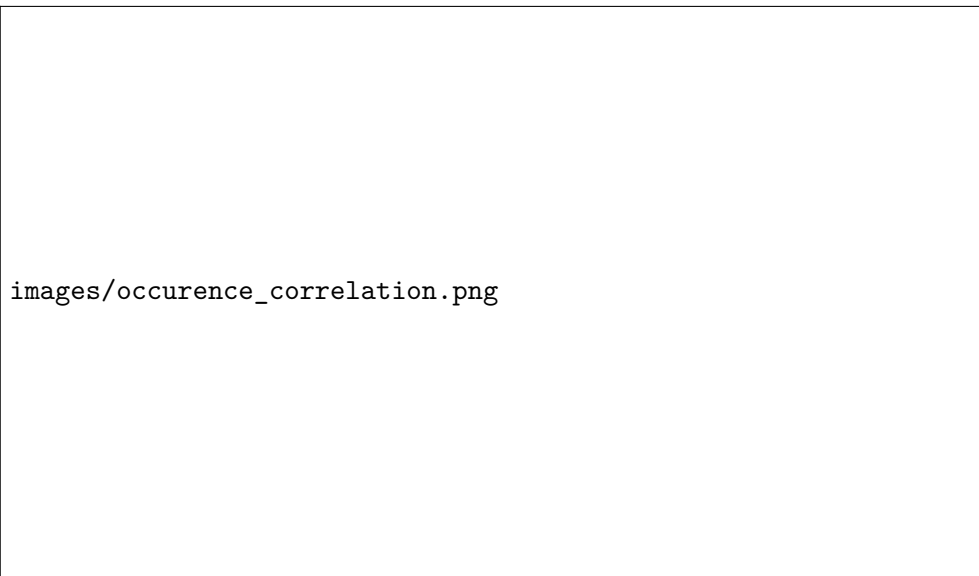
---



Obrázek 4.3: Rozložení arbitrážních příležitostí v jednotlivých sledovaných dnech



Obrázek 4.4: Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na hodině výskytu



images/occurence\_correlation.png

Obrázek 4.5: Vývoj rozložení výskytu arbitrážních příležitostí, neefektivit trhu a celkového počtu provedených transakcí

Pearsonův korelační koeficient diskretních hodnot s četností po jednotlivých dnech těchto dvou veličin vyšel  $\sim -0,067$ , z čehož vyplývá, že tyto dvě veličiny spolu téměř vůbec nekorelují, a proto není možné mluvit o jakékoliv závislosti jedné na druhé. 4.5.

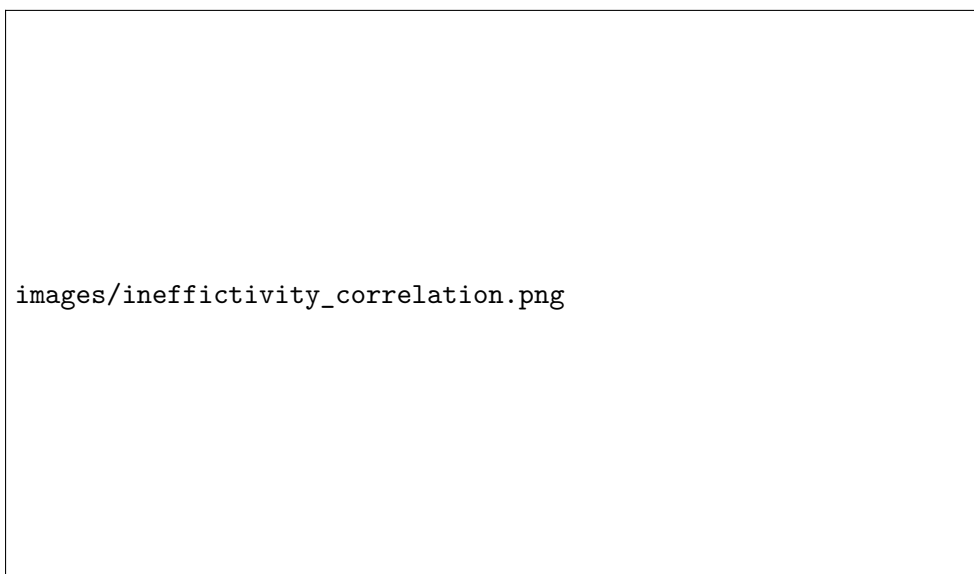
#### 4.2.4 Závislost na počtu obecných neefektivit trhu

Dalším faktorem, na který jsem se zaměřil v souvislosti s otázkou, na čem by mohl být výskyt arbitrážních příležitostí závislý, je počet neefektivit trhu. Jako neefektivitu trhu označuji takovou situaci, kdy by se jednalo o arbitrážní příležitost za předpokladu, že by nemusely být zahrnuty poplatky. Z této definice vyplývá, že každá arbitrážní příležitost je také nutně neefektivitou trhu.

Z grafů 4.6 a 4.3 je poměrně zřejmé, že výskyt arbitrážních příležitostí a neefektivit trhu spolu moc nekorelují. Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu diskretních hodnot braných po jednotlivých dnech to potvrzuje výsledkem  $\sim -0,066$ . Z korelačního koeficientu tedy plyne, že tyto dvě hodnoty spolu téměř nekorelují.

### 4.3 Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

V této sekci se podrobněji věnuji nejzajímavějším trojúhelníkům, které jsem vyselekoval na základě téměř tří měsíců dat.



Obrázek 4.6: Vývoj rozložení výskytu arbitrážních příležitostí a neefektivit trhu

#### 4.3.1 Selektce

Trojúhelníky jsem vybíral převážně na základě hodnot z předchozí sekce (konkrétně z tabulek 4.2 a 4.1). Z toho důvodu, že se většina pozorovaných hodnot mezi jednotlivými měnami moc neliší, bral jsem v potaz převážně faktor průměrného denního potenciálního zisku (ne všechny mají data ze všech dní, proto byl zvolen průměr).

V tabulce 4.4 jsou ponechány pouze záznamy, u kterých je možné v průměru každý den vydělat více než 10 amerických dolarů. V této sekci se však nevěnuji všem, ale pouze pěti nejlukrativnějším trojúhelníkům (USDT/BTC/EOS, USDT/BTC/XRP, USDT/EOS/BNB, USDT/BTC/TRX, USDT/BTC/LTC).

Je zajímavé si povšimnout, že ve všech nejzajímavějších trojúhelnících figuruje USD Tether, zástupce stabilní měny odpovídající americkému dolaru.

#### 4.3.2 Bližší statistiky

V této sekci vypisuji blízké statistiky k vybraným zajímavým trojúhelníkům. Statistiky ve formě tabulek a grafů ve stejném formátu ke všem ostatním trojúhelníkům jsou k dispozici v příloze.

##### 4.3.2.1 Trojúhelník USDT/BTC/EOS

Trojúhelník USDT/BTC/EOS je z pohledu potenciálního zisku nejlepší, je však nutné podotknout, že pro zobchodování nějakých trojúhelníků by bylo

#### 4. ANALÝZA DAT

Tabulka 4.4: Tabulka průměrných hodnot týkajících se arbitrážních příležitostí na nejlepších trojúhelnících

Trojúhelník	Průměrný denní počet	Denní neefektivita (USD)
USDT/BTC/EOS	33,746988	1663,658068
USDT/BTC/XRP	27,158537	394,893844
USDT/EOS/BNB	25,207317	232,091114
USDT/BTC/TRX	7,939024	148,089591
USDT/BTC/LTC	16,987805	142,972325
USDT/BNB/XMR	36,024390	114,359142
USDT/XRP/BNB	13,902439	113,261413
USDT/LTC/BNB	19,195122	96,917559
USDT/BCH/BNB	21,222222	91,773489
USDT/BTC/XMR	32,012195	72,924984
USDT/BTC/ETH	7,509091	41,064461
USDT/BTC/BNB	10,836364	35,080263
USDT/BTC/BCH	8,254545	32,466046
USDT/XRP/TRX	32,329268	25,286052

nutné provést nějaké velmi velké transakce. Například na nejvýhodnější příležitosti bylo možné vydělat 135,37 EOS (330,31 USD) viz 4.5. Pro uskutečnění takto velké transakce je však nutné zobchodovat obrovské množství peněz, které většina běžných obchodníků na kontě připravené nemá.

Tento trojúhelník má i nadprůměrně dlouhou dobu trvání výskytu pozitivní arbitrážní příležitosti 0,41 s (průměr činí 0,38 s a medián 0,30 s).

Průměrně se v každý den vyskytne na tomto trojúhelníku přes 30 arbitrážních příležitostí, toto číslo je však velmi ovlivněno lokálními výkyvy (viz graf 4.7), a proto medián výskytu činí pouhé 2 výskyty za den.

##### 4.3.2.2 Trojúhelník USDT/BTC/XRP

Trojúhelník USDT/BTC/XRP je z pohledu velikosti celkového potenciálního zisku druhý nejlepší. Trpí však podobnými problémy jako předchozí trojúhelník USDT/BTC/EOS. Denně se průměrně objevuje přes 25 arbitrážních příležitostí, avšak medián výskytu je stejně jako u předchozího trojúhelníku pouze 2. Tento vysoký rozdíl je taktéž způsoben velkým výkyvem z 12. A 13. března 2020 (viz graf 4.8 a tabulka 4.6).

Trojúhelník USDT/BTC/XRP má také nadprůměrně dlouhé trvání arbitrážních příležitostí a to 0,43 s. Zajímavou hodnotou je, že se na nejvýdělečnější arbitrážní příležitosti dalo zhodnotit zobchodovaný objem o 12 %.

#### 4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

Tabulka 4.5: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/EOS


Název	Hodnota
Název	USDT/BTC/EOS
Průměrný denní počet arbitráží	33,74698795180723
Medián denního počtu arbitráží	2,0
Průměrný procentuální zisk	1,0012251043875073
Nejvyšší procentuální zisk	1,122481585
Celkový potenciální zisk	55723,309798 EOS
Celkový potenciální zisk (USD)	135964,87590695146
Průměrný denní potenciální zisk	681,827077 EOS
Průměrný denní potenciální zisk (USD)	1663,6580682802976
Nejvyšší potenciální zisk	135,376096 EOS
Nejvyšší potenciální zisk (USD)	330,317673996
Průměrná doba trvání	0,4177635142804336

images/best\_triangles/occurences\_arbitrage\_USDTBTCEOS.png

Obrázek 4.7: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/EOS

Tabulka 4.6: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/XRP

Název	Hodnota
Název	USDT/BTC/XRP
Průměrný denní počet arbitráží	27,158536585365855
Medián denního počtu arbitráží	2,0
Průměrný procentuální zisk	1,0009275743359198
Nejvyšší procentuální zisk	1,057942892
Celkový potenciální zisk	160677,580080 XRP
Celkový potenciální zisk (USD)	29880,40617954193
Průměrný denní potenciální zisk	2123,484765 XRP
Průměrný denní potenciální zisk (USD)	394,8938442881309
Nejvyšší potenciální zisk	1226,628320 XRP
Nejvyšší potenciální zisk (USD)	228,1099355288
Průměrná doba trvání	0,43422859375782613



images/best\_triangles/occurences\_arbitrage\_USDTBTCXRP.png

Obrázek 4.8: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/XRP

#### 4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

Tabulka 4.7: Základní statistiky trojúhelníku USDT/EOS/BNB

Název	Hodnota
Název	USDT/EOS/BNB
Průměrný denní počet arbitráží	25,20731707317073
Medián denního počtu arbitráží	1,0
Průměrný procentuální zisk	1,0006468165496751
Nejvyšší procentuální zisk	1,099279716
Celkový potenciální zisk	7607,870143 EOS
Celkový potenciální zisk (USD)	18563,203148757526
Průměrný denní potenciální zisk	95,119309 EOS
Průměrný denní potenciální zisk (USD)	232,09111380976984
Nejvyšší potenciální zisk	460,426732 EOS
Nejvyšší potenciální zisk (USD)	1123,441226324
Průměrná doba trvání	0,5126168685056676

images/best\_triangles/occurences\_arbitrage\_USDTEOSBNB.png

Obrázek 4.9: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/EOS/BNB

##### 4.3.2.3 Trojúhelník USDT/EOS/BNB

Tento trojúhelník má velmi podobné vlastnosti jako oba výše zmiňované trojúhelníky. Průměrný počet denního výskytu arbitrážních příležitostí je zaokrouhleně 25 a medián se díky velkým výkyvům drží pouze na hodnotě 1 (viz 4.7).

Doba trvání pozitivní arbitrážní příležitosti trojúhelníku USDT/EOS/BNB je něco málo přes půl sekundy.

Na tomto trojúhelníku bylo možné pozorovat nejvyšší potenciální zisk za celou dobu mého počínání a to 460,4 EOS (asi 1123 amerických dolarů).

Tabulka 4.8: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/TRX

Název	Hodnota
Název	USDT/BTC/TRX
Průměrný denní počet arbitráží	7,939024390243903
Medián denního počtu arbitráží	0,0
Průměrný procentuální zisk	1,0006865990830283
Nejvyšší procentuální zisk	1,081229127
Celkový potenciální zisk	765018,639704 TRX
Celkový potenciální zisk (USD)	9636,939804349977
Průměrný denní potenciální zisk	11755,941183 TRX
Průměrný denní potenciální zisk (USD)	148,08959108195072
Nejvyšší potenciální zisk	35482,621400 TRX
Nejvyšší potenciální zisk (USD)	446,97458177580006
Průměrná doba trvání	0,3332981314875493

images/best\_triangles/occurences\_arbitrage\_USDTBTCBTRX.png

Obrázek 4.10: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/TRX

#### 4.3.2.4 Trojúhelník USDT/BTC/TRX

Trojúhelník USDT/BTC/TRX je třetím nejvýnosnějším trojúhelníkem a je některými svými hodnotami velmi zajímavý (viz tabulka 4.8). Denní průměr výdělku je poměrně vysoký (148 USD) na to, že se průměrně za den objeví pouze necelých osm arbitrážních příležitostí. Medián výskytu arbitrážních příležitostí je 0, tedy ve většině dnů se na tomto trojúhelníku nic zajímavého neděje.

I přes to, že není tento trojúhelník moc aktivní, má velmi nízkou průměrnou dobu trvání pozitivní arbitrážní příležitosti, pouze 0,33 s.



#### 4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

Tabulka 4.9: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BTC/LTC

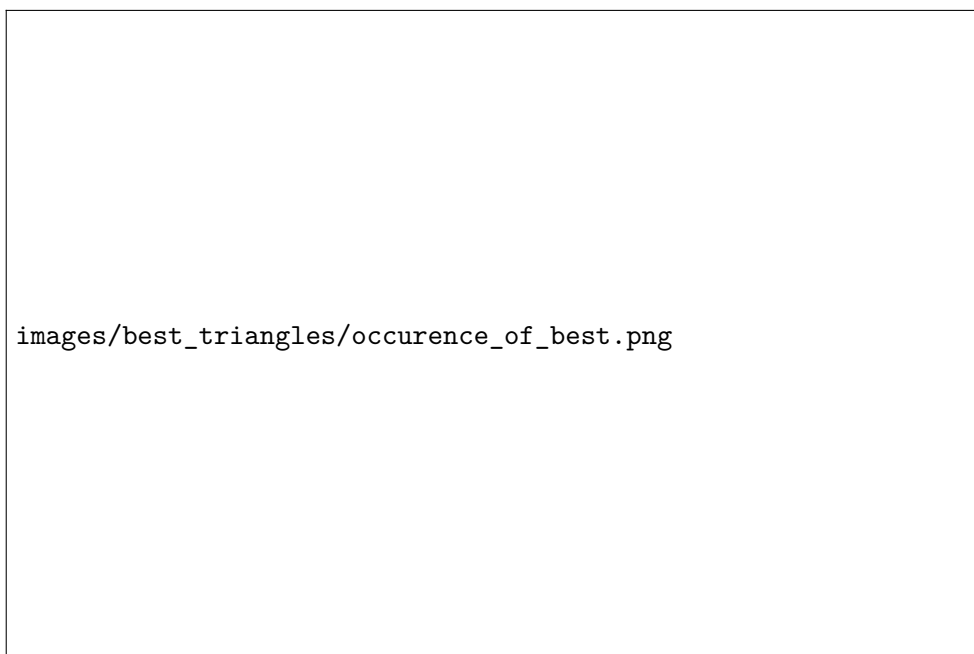
Název	Hodnota
Název	USDT/BTC/LTC
Průměrný denní počet arbitráží	16,98780487804878
Medián denního počtu arbitráží	2,0
Průměrný procentuální zisk	1,0007425863293733
Nejvyšší procentuální zisk	1,044031061
Celkový potenciální zisk	243,101895 LTC
Celkový potenciální zisk (USD)	9967,177694038402
Průměrný denní potenciální zisk	3,487130 LTC
Průměrný denní potenciální zisk (USD)	142,97232477708206
Nejvyšší potenciální zisk	18,062474 LTC
Nejvyšší potenciální zisk (USD)	740,56143359
Průměrná doba trvání	0,3099152460165692

images/best\_triangles/occurences\_arbitrage\_USDTBTCCLTC.png

Obrázek 4.11: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BTC/LTC

##### 4.3.2.5 Trojúhelník USDT/BTC/LTC

Trojúhelník USDT/BTC/LTC má velmi podobné vlastnosti jako všechny výše zmiňované. Má také o poznání vyšší denní průměr výskytu arbitrážních příležitostí než medián (viz 4.9). Celkově má tento trojúhelník poměrně krátkou dobu trvání arbitrážních příležitostí, pouze 0,31 s.



Obrázek 4.12: Vývoj arbitrážních příležitostí vybraných trojúhelníků

##### 4.3.2.6 Zhodnocení nejlepších trojúhelníků

Z předchozích podkapitol, kde se blíže věnuji nejzajímavějším trojúhelníkům je vidět, že všechny mají velmi podobné vlastnosti, co se týče data výskytu i délky výskytu (viz spojený graf nejlepších trojúhelníků 4.12). Tento jev může být částečně způsobený tím, že ve všech trojúhelnících figuruje USD Tether (USDT).

Z toho důvodu, že průměrná doba životnosti arbitrážní příležitosti v žádném případě ani nedosahuje jedné vteřiny, není reálně možné detekovat a vytěžit arbitrážní příležitosti ručně bez jakéhokoli bota, který by se staral o detekci a následné vytěžování.

Dále je nutné podotknout, že pro zobchodování některých arbitrážních příležitostí by bylo nutné zobchodovat jmění o objemech několika desítek tisíc amerických dolarů. Jelikož na většině výdělečných trojúhelnících figuruje USDT stačí mít teoreticky pro vytěžování většiny trojúhelníků velký obnos pouze v této měně.

---

## Závěr

Cílem práce bylo zanalyzovat arbitrážní příležitosti kryptoměn a na základě reálných dat z kryptoměnových burz vyhodnotit základní statistiky výskytu a výdělečnosti.

Do teoretické části jsem popsal historii bitcoinu a rozebral jsem jeho princip a základní technologie. Dále jsem se zaměřil na několik altcoinů a několik kryptoměnových burz a zaobíral jsem se tématem arbitrážních příležitostí.

V praktické části jsem úspěšně implementoval program, který sbíral data s burzy Binance. Na datech jsem následně vyhledával trojúhelníkové arbitrážní příležitosti, které jsem v poslední části své bakalářské práce vyhodnocoval.

Po nalezení arbitrážních příležitostí jsem se v rámci analytické části věnoval statistikám výskytů a výdělečnosti arbitrážních příležitostí, ke kterým jsem využíval tabulky a grafy vytvořené z nasbíraných dat. Zabýval jsem se selekcí těch nejlepších trojúhelníků z pohledu jejich výdělečnosti a potenciální výtěžitelnosti.

Ze statistik jsem zjistil, že problematika trojúhelníkových arbitrážních příležitostí je stále aktuální a je na ni možné vydělat poměrně velké množství peněz. Úkol vydělávání se však nyní stává náročnější z důvodu krátké životnosti arbitrážních příležitostí, kterou člověk nemá šanci sledovat dostatečně rychle bez využití počítačové síly.

Práci je možné dále rozšířit, převážně části závisující na sběru dat. V rámci bakalářské práce jsem neměl dostatek času na vytvoření větší datové kolekce a tři měsíční data nebyla dostatečně rozmanitá k vyhodnocení některých závěrů převážně v částech hodnotících korelace s arbitrážními příležitostmi.

V rámci své práce jsem se nevěnoval reálnému vytěžování pozitivních arbitrážních příležitostí, které si však plánuji na základě zjištěných závěrů v budoucnu vytvořit. Data ze skutečného vytěžování arbitrážních příležitostí by bylo také zajímavé zahrnout do analytické části práce.



---

## Literatura

- [1] Coinmate - Agregated trading fees. *Coinmate* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://coinmate.io/fees>
- [2] Fee Schedule. *Binance* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.binance.com/en/fee/deposit>
- [3] Fees - MXC - Bitcoin, Litecoin and Ethereum Exchange and Margin. *MXC* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.mxct.top/info/fee>
- [4] Withdrawal Fees. *BitForex* [online]., 2020, [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.bitforex.com/en/Fees>
- [5] Škapa, J.: Kryptoměny a budoucnost finančních trhů. 2017, [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=144519](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=144519)
- [6] Bitcoin (BTC) – Kurz, graf ceny, těžba, peněženka, nákup. *Magazín Finex* [online], 2017, [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://finex.cz/kryptomena/bitcoin/>
- [7] How does Bitcoin work? *Bitcoin* [online]., 2020, [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://bitcoin.org/en/how-it-works>
- [8] Blockchain – Co je blockchain a jak funguje? *Magazín Finex* [online], 2018, [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://finex.cz/blockchain/>
- [9] [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://unglueit-files.s3.amazonaws.com/ebf/05db7df4f31840f0a873d6ea14dcc28d.pdf>
- [10] Rouse, M.: Altcoin. *WhatIs* [online]., 2017, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://whatis.techtarget.com/definition/altcoin>

- [11] Malý, V.: Co je to litecoin. *Živě* [online]., 2017, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/co-je-to-litecoin/sc-3-a-190910/default.aspx>
- [12] Galváněk, M.: Monero (VŠE, CO CHCETE VĚDĚT) – Kryptoměna, která nabízí úplnou anonymitu. *Alza* [online]., 2018, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/monero>
- [13] Binance exchange market. *Binance* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.binance.com/en/markets>
- [14] BITCOIN VS ETHEREUM: DIFFERENCES, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES – WHICH IS BETTER? *Bitcoinist* [online]., 2017, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://bitcoinist.com/bitcoin-vs-ethereum/>
- [15] Co je to Ethereum? *Virtual Property* [online]., 2018, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.virtualproperty.cz/detail-clanku/co-je-to-ethereum-%3F/>
- [16] Ripple (VŠE, CO CHCETE VĚDĚT). *Alza* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/ripple-xrp>
- [17] David Schwartz, A. B., Noah Youngs: The Ripple Protocol Consensus Algorithm. 2. 2018, [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: [https://ripple.com/files/ripple\\_consensus\\_whitepaper.pdf](https://ripple.com/files/ripple_consensus_whitepaper.pdf)
- [18] XRP Avg. Transaction Fee historical chart. *bitinfocharts* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://bitinfocharts.com/comparison/xrp-transactionfees.html#1y>
- [19] Bold, D.: Why Is Ripple So Much Faster than Bitcoin? *Coincodex* [online]., 2019, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://coincodex.com/article/3365/why-is-ripple-so-much-faster-than-bitcoin/>
- [20] Bitcoin Cash - BCH/Bitcoin Cash kurz. *kurzy.cz* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kryptomeny/bitcoin-cash/>
- [21] EOS (EOS) – Kurz, graf ceny, kde koupit. *Finex* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://finex.cz/kryptomena/eos/>
- [22] Šístek, M.: Binance coin (BNB). *Martin Šístek* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.martinsistek.cz/binance-coin/>
- [23] TRON (TRX) – Kurz, graf ceny, kde koupit kryptoměnu. *Finex* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://finex.cz/kryptomena/tron/>

- 
- [24] Šístek, M.: Stable coin – token stálé hodnoty. *Mladý Investor* [online]., 2019, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.martinsistek.cz/binance-coin/>
- [25] CoinMate exchange: fees, volume, charts and market trading. *Coin360* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://coin360.com/exchange/coinmate>
- [26] Top 100 Cryptocurrency Exchanges by Trade Volume. *CoinMarketCap* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/rankings/exchanges/reported/>
- [27] FIAT payment options re-establishment. *Coinmate* [online]., 5. 2020, [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/lbank/>
- [28] EXCHANGE REVIEW CoinMate. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/coinmate/>
- [29] Dob, D.: Binance Review: The World's Leading Cryptocurrency Exchange? *Blockonomi* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://blockonomi.com/binance-review/>
- [30] Exchange spot i MXC. *CoinGecko* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.coingecko.com/en/exchanges/mxc>
- [31] EXCHANGE REVIEW MXC. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/mxc/>
- [32] EXCHANGE REVIEW BitForex. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/bitforex/>
- [33] EXCHANGE REVIEW LBank. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/lbank/>
- [34] Efektivita trhu. *ITBIZ* [online]., 2015, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/slovník/ekonomie/efektivita-trhu>
- [35] Zeman, I. P.: Efektivnost trhu a automatické obchodní systémy. 2013, [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/fuzrn6/Disertan\\_prce.pdf](https://theses.cz/id/fuzrn6/Disertan_prce.pdf)
- [36] LIOUDIS, N. K.: What Is Arbitrage? *Investopedia* [online]., 2019, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/ask/answers/what-is-arbitrage/>

- [37] Arbitráž. *Capital* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://capital.com/cs/arbitraz-definice>
- [38] Chen, J.: Currency Arbitrage. *Investopedia* [online]., 4. 2020, [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/c/currency-arbitrage.asp>
- [39] Falk, T.: The straightforward guide to cryptocurrency arbitrage. *Finder* [online]., 2019, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.finder.com/ca/cryptocurrency-arbitrage>
- [40] Měnový pár. *Capital* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://capital.com/cs/menovy-par-definice>
- [41] Arbitráže na kryptoměnách – dají se s nimi vydělávat peníze? *CZInvestor* [online]., 2017, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://czinvestor.cz/forex/kryptomeny/arbitraze-kryptomenach-daji-se-nimi-vydelavat-penize>
- [42] Sánchez, L. M.: Data Science and Cryptocurrency arbitrage: How to profit from it. *Towards Data Science* [online]., 2018, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/cryptocurrency-arbitrage-how-to-profit-from-it-e2d7bf805fde>
- [43] Cryptocurrency Arbitrage: A Lucrative Trading Strategy. *Schrimpy* [online]., 2019, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://blog.shrimpy.io/blog/cryptocurrency-arbitrage-a-lucrative-trading-strategy>
- [44] Public Rest API for Binance (2020-04-25). *GitHub* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://github.com/binance-exchange/binance-official-api-docs/blob/master/rest-api.md>



---

## Seznam použitých zkratek

**GUI** Graphical user interface

**XML** Extensible markup language

$$2^3 + \frac{86}{23}$$

Tabulka A.1: Zadávání matematiky

Typ	Prostředí	L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> Xovská zkratka	T <sub>E</sub> Xovská zkratka
Text	<code>math</code>	<code>\(...\)</code>	<code>\$...\$</code>
Displayed	<code>displaymath</code>	<code>\[...\]</code>	<code>\$\$...\$\$</code>



## Obsah přiloženého CD

	readme.txt .....	stručný popis obsahu CD
	exe .....	adresář se spustitelnou formou implementace
	src	
	impl .....	zdrojové kódy implementace
	thesis .....	zdrojová forma práce ve formátu L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X
	text .....	text práce
	thesis.pdf .....	text práce ve formátu PDF
	thesis.ps .....	text práce ve formátu PS