

Sem vložte zadání Vaší práce.



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNologiÍ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Arbitrážní příležitosti kryptoměn

Čeněk Žid

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

7. 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 7. 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

V několika větách shrňte obsah a přínos této práce v češtině. Po přečtení abstraktu by se čtenář měl mít čtenář dost informací pro rozhodnutí, zda chce Vaši práci číst.

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

Abstract

Sem doplňte ekvivalent abstraktu Vaší práce v angličtině.

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

Obsah

| | |
|---|----------|
| Úvod | 1 |
| 1 Cíl práce | 3 |
| 2 Současný stav řešení problému | 5 |
| 2.1 Kryptoměny | 5 |
| 2.1.1 Bitcoin - BTC | 5 |
| 2.1.1.1 Blockchain | 6 |
| 2.1.1.2 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 | 13 |
| 2.3 Arbitrážní příležitosti | 13 |
| 2.3.1 Efektivita trhu | 13 |
| 2.3.2 Arbitráž | 14 |
| 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 vytěžováním arbitrážních příležitostí | 15 |
| 3 | Realizace | 17 |
| 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 | 20 |
| 3.2 | Zpracování dat | 20 |
| 3.2.1 | Filtrování surových dat | 20 |
| 3.2.1.1 | Struktura filtrovaných dat | 21 |
| 3.2.2 | Arbitrážní příležitosti | 23 |
| 3.2.2.1 | Detekce trojúhelníkové arbitrážní příležitosti | 24 |
| 3.2.2.2 | Reálná detekce arbitrážní příležitosti | 25 |
| 4 | Analýza dat | 27 |
| 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 neefektivit trhu | 34 |
| 4.3 | Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků | 35 |
| 4.3.1 | Selekce | 35 |
| 4.3.2 | Bližší statistiky | 35 |
| 4.3.2.1 | Trojúhelník USDT/BCH/BNB | 36 |
| 4.3.2.2 | Trojúhelník USDT/LTC/BNB | 37 |
| 4.3.2.3 | Trojúhelník USDT/BNB/XMR | 37 |
| 4.3.2.4 | Trojúhelník USDT/EOS/BNB | 37 |
| 4.3.2.5 | Zhodnocení nejlepších trojúhelníků | 41 |
| | Závěr | 43 |
| | Literatura | 45 |
| | A Seznam použitých zkratk | 49 |
| | B Obsah příloženého CD | 51 |

Seznam obrázků

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Poplatky na burze Coinmate (taker - odběratel, maker - dodavatel) | |
| [1] | | 10 |
| 2.2 | Poplatky na burze Coinmate (taker - odběratel, maker - dodavatel) | |
| [1] | | 10 |
| 2.3 | Výběrové poplatky na burze Binance [2] | 11 |
| 2.4 | Výběrové poplatky na burze MXC [3] | 12 |
| 2.5 | Výběrové poplatky na burze BitForex [4] | 13 |
| 2.6 | Trojúhelníková arbitráž | 16 |
| 3.1 | Porovnání parametrů jednotlivých burz | 18 |
| 3.2 | Ukázka csv souboru jednoho dne dat dvojice kryptoměn | 19 |
| 3.3 | Ukázka JSON formátu struktury dat | 22 |
| 3.4 | Tabulka různých kombinací trojúhelníků | 23 |
| 3.5 | Odlišné způsoby detekce arbitrážních příležitostí | 23 |
| 3.6 | Distribuce indexů obsahující nejlepší hodnoty pro získání nejvyššího absolutního zisku v rámci arbitrážní příležitosti | 24 |
| 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/BCH/BNB | 37 |
| 4.8 | Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/LTC/BNB | 38 |
| 4.9 | Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BNB/XMR | 39 |
| 4.10 | Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/EOS/BNB | 40 |
| 4.11 | Vývoj arbitrážních příležitostí vybraných trojúhelníků | 41 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Tabulka průměrných hodnot týkajících se arbitrážních příležitostí | 29 |
| 4.2 | Tabulka potenciálního výnosu arbitrážních příležitostí | 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/BCH/BNB | 36 |
| 4.6 | Základní statistiky trojúhelníku USDT/LTC/BNB | 38 |
| 4.7 | Základní statistiky trojúhelníku USDT/BNB/XMR | 39 |
| 4.8 | Základní statistiky trojúhelníku USDT/EOS/BNB | 40 |
| A.1 | Příklad tabulky | 49 |

Úvod

V této práci se budu zabývat 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 moc stabilní. Díky této labilitě na burzách s kryptoměnami vzniká velké množství arbitrážních příležitostí, jejichž analýze se budu v této práci věnovat.

Význam této práce spočívá v analyzování jednotlivých burz jako takových. Zabývá se také 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 i mezi jednotlivými burzami.

Toto téma jsem si vybral především z toho důvodu, 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 kryptoměnných burz a možnostmi ukládání těchto dat. Dále se v práci zabývám analýzou dat, analýzou výskytů korelací, které nastávají v rámci burz.

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

trzí. Já narozdíl od něho se více zaměřuji na analýzu dat jako takových pomocí informatických a matematických metod a výstupů, které z nich vyplývají.

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 arbitrážních příležitostí na kryptoměnových burzách.

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 tyto 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 části své bakalářské práce se zabývám teorií týkající se kryptoměn, popisují základní funkcionalitu transakcí a technologie blockchainu. Zaměřuji se na zmapování jednotlivých kryptoměnových burz. Zabývám se zde také arbitrážemi, 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 i ostatními 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 pravidel 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, z čehož plyne, že s ním nikdo nemůže manipulovat tak, jako s běžnými měnami (například pro českou korunu je centrální autoritou Česká národní banka).

Jednu 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, toto je zajištěno díky tomu, že 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.

Dalším velkým mínusem bitcoinu a celkově všech kryptoměn je to, že uživatelé jsou neustále vystavováni riziku krádeží jejich měn. Z toho důvodu je nutné využívat nějaké kryptoměnové peněženky, které však také nikdy nemohou zaručit 100% bezpečnost.[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. Tyto záznamy jsou propojeny pomocí kryptograficky zabezpečených peer-to-peer uzlů. 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. [8]

2.1.1.2 Transakce

Transakce jsou volně předávány od uzlu k uzlu. Těžaři se mezitím snaží vytvořit blok, který se zajistí o to, aby byly transakce potvrzeny a začleněny do dalšího bloku.

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

- je v ní obsažen správný elektronický podpis uživatele,
- je v peněžence patrný finanční pohyb,
- 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, což v překladu znamená alternativa k bitcoinu. Některé altcoiny jsou svojí technologií a principem hodně podobné bitcoinu, jsou ale i takové, které se poměrně výrazně liší. [9]

V následujících podkapitolách se zaměřím na nejvýznamnější zástupce altcoinů a vypíši zde všechny altcoiny, kterým 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. [10] Dokonce i celý kód je pouze úpravou bitcoinu. [11]

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 na menší transakce. Tyto všechny charakteristiky jsou založeny na tom, že jsou bloky přidávány čtyřikrát rychleji, než je tomu u bitcoinu. [10]

Cena za jeden litecoin dosahuje hodnoty (údaj k datu 4.4. 2020 na burze Binance) 40,63 \$. [12]

2.1.2.2 Ethereum - ETH

Ethereum je stejně jako litecoin open source kryptoměna založená na technologii blockchainu. Vznik etherea se datuje na 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. [13]

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. [14]

Na platformě Ethereum je možné si vytvářet tyto vlastní programy, které provádějí přesně to, co je jim nastaveno. [14] Výhoda Etherea je ta, že, na rozdíl od bitcoinu, nikdy nedojde k vytěžení všech mincí, nýbrž budou mince stále emitovány. [11]

Cena za jedno Ethereum dosahuje hodnoty (údaj k datu 4.4. 2020 na burze Binance) 142,82 \$. [12]

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), avšak je úplně unikátní.

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 a stav konta.

Tento efekt je u Monera zajištěn tím, že stejně jako ostatní kryptoměny, má také dvojici privátního a veřejného klíče, má však ještě druhou dvojici privátního a veřejného klíče a to takzvaného klíče k prohlížení (view key). Tento 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.

Posledním důležitým rozdílem oproti bitcoinu je ten, že celkový počet Monera není omezen a má tedy teoreticky neomezený počet mincí. Emitování mincí stále nepoběží stejnou rychlostí, ale postupně se bude snižovat, nikdy však ne na úplnou nulu. [11]

Cena za jednu minci Monera dosahuje hodnoty (údaj k datu 4.4. 2020 na burze Binance) 54,59 \$. [12]

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 jakékoliv třetí strany. [15]

Díky tomu, že se transakce uzavírají na základě koncesu a také díky tomu, že velké množství ověřovacích serverů tvoří světové banky a finanční instituce, probíhají transakce řádově rychleji, v řádech několika vteřin. Poplatky jsou taktéž minimální, většinu času méně než 0.001 USD. [16] [17]

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 si 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. [18]

EOS je kryptoměna, která se podobně jako Ethereum zaměřuje na využití chytrých kontraktů, kde každý uživatel v držení EOS tokenu může využívat příslušnou část výpočetní síly a uložště. [19]

Binance Coin (BNB) je interní kryptoměna platformy a burzy Binance, která vychází ze standardu platformy Ethera. Binance Coin je dostupný téměř pouze na jeho domovské platformě, kde však zaujímá svůj účel. [20]

TRON (TRX) je kryptoměna vytvořena za cílem 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. [21]

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 stable coinem, který je využíván velkým množstvím burz (například Binance, Huobi, Okex) a jeho celková kapitalizace je více než 2 miliardy amerických dolarů. [22]

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 [23]) se burza neřadí ani mezi 100 nejlepších. [24] Burza ani nenabízí velké množství obchodovatelných párů, pouze 20, na druhou stranu umožňuje obchodování přímo s Korunou českou.

Coinmate se dále pyšní tím, že má nadprůměrně nízké poplatky. Pro dodavatele (maker) činí poplatek 0,12 % až 0 % (viz obrázky 2.1 a 2.2, zatímco pro odběratele (taker) 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 dodavatele, se snaží burza podpořit likviditu na trhu. [25] [1]

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Standard

BTC/EUR, BTC/CZK, LTC/EUR, LTC/CZK, LTC/BTC, BTC/\$DAI, \$DAI/EUR, ETH/\$DAI

| 30 DAY TRADING VOLUME | TAKER | MAKER |
|-----------------------|-------|-------|
| < 10,000 EUR | 0.25% | 0.12% |
| < 100,000 EUR | 0.23% | 0.11% |
| < 250,000 EUR | 0.21% | 0.1% |
| < 500,000 EUR | 0.2% | 0.08% |
| < 1,000,000 EUR | 0.15% | 0.05% |
| < 3,000,000 EUR | 0.13% | 0.03% |
| < 15,000,000 EUR | 0.1% | 0.02% |
| >= 15,000,000 EUR | 0.05% | 0% |

Obrázek 2.1: Poplatky na burze Coinmate (taker - odběratel, maker - dodavatel) [1]

Promotional

ETH/EUR, ETH/CZK, ETH/BTC, XRP/EUR, XRP/CZK, XRP/BTC, DASH/EUR, DASH/CZK, DASH/BTC, BCH/EUR, BCH/CZK, BCH/BTC

| 30 DAY TRADING VOLUME | TAKER | MAKER |
|-----------------------|-------|-------|
| < 10,000 EUR | 0.15% | 0.05% |
| < 100,000 EUR | 0.14% | 0.04% |
| < 250,000 EUR | 0.13% | 0.03% |
| < 500,000 EUR | 0.12% | 0.02% |
| < 1,000,000 EUR | 0.11% | 0% |
| < 3,000,000 EUR | 0.1% | 0% |
| < 15,000,000 EUR | 0.08% | 0% |
| >= 15,000,000 EUR | 0.05% | 0% |

Obrázek 2.2: Poplatky na burze Coinmate (taker - odběratel, maker - dodavatel) [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 dodavatelů 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 s 158 302 486 366 amerických dolarů. [24] Burza podporuje obchodování s 1320 odlišnými měnami,

| 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 |

Obrázek 2.3: Výběrové poplatky na burze Binance [2]

což silně převyšuje běžný standard.

Binance je také specifická tím, že všechny obchodovatelné dvojice se stávají pouze z kryptoměn a ne z běžných měn. Například americké dolary jsou nahrazeny stable coinsy, 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 dodavatele, tak i pro odběratele. 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 Binance patří k jedněm z nejnižších.

Co se týče výběrových a vkladových poplatků, tak vkladové poplatky jsou zadarmo pro veškeré měny. Na druhou stranu výběrové poplatky se liší pro každou měnu (viz 2.3). [26]

2.2.3 MXC

Burza MXC je jednou z novějších burz, která vznikla v dubnu roku 2018 a od svého vzniku je registrována v Singapuru. Podle statistik serveru CoinMarketCap je tato burza druhou největší z pohledu obchodovaného objemu za posledních 30 dní s objemem 101 249 688 459 amerických dolarů. [24] MXC podobně jako burza Binance podporuje velké množství altcoinů, celkově je zde možné obchodovat s 264 měnami. [27]

Burza se snaží nalákat uživatele na základě těchto tří propagovaných vlastností: velkým výkonem, super nodem a velmi pokročilým zabezpečením. Super node je distribuované decentralizované uložště, které má zajistit adekvátní autonomii.

Co se týče poplatků, patří burza MXC se svými poplatky o velikosti 0,2 % v průměru stále mezi nadprůměrné. Poplatek pro dodavatele i odběratele je

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLÉMU

| 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 |

Obrázek 2.4: Výběrové poplatky na burze MXC [3]

totožný. Tím, že tato burza patří mezi špičku, co se týče zobchodovaného objemu, je tím zaručena i dostatečná likvidita. [28]

Burza MXC stejně jako Binance nezpłatňuje vklad jakékoliv měny, zpoplatňuje také výběry jednotlivých měn. Tyto výběrové poplatky se mohou periodicky měnit na základě situace jednotlivých bloků. [3] Na základě tabulek 2.4 a 2.3 je možné vidět, že jsou výběrové poplatky velmi podobné jako na burze Binance, jediný znatelný rozdíl je u TetherUS (USDT). [28]

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. [24] BitForex svým více jak 3 milionům uživatelům umožňuje obchodování na 92 měnových párech. [29]

BitForex má oproti odhadovanému průměru ostatních burz (0,25 %) velmi zajímavé poplatky, pouze 0,1 % stejný pro dodavatele i odběratele. Burza 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 jakékoliv vklady jednotlivých kryptoměn, ale stejně jako Binance nebo MXC zpoplatňuje výběry víceméně podobnými poplatky (viz tabulka 2.5). [29]

| 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 |

Obrázek 2.5: Výběrové poplatky na burze BitForex [4]

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 obchodovaném objemu za posledních 30 dní na deváté místo s objemem 71 679 777 662 amerických dolarů. [24] [30]

Co se týče poplatků, tak burza LBank využívá takzvaně plochý model poplatků, poplatky pro odběratele i dodavatele jsou totožné, ve výši 0,1 %. Jedná se o nadprůměrně nízké poplatky. LBank je oproti svým konkurentům velmi zajímavá tím, že nezaplatí ani vklad ani výběr jakýchkoliv měn.

Malou nevýhodou LBank je, že neumožňuje vklad pomocí kreditní karty. [30]

2.3 Arbitrážní příležitosti

2.3.1 Efektivita trhu

Efektivní je takový trh, kdy jsou všechny dostupné informace zpracovávány a zohledněny v ceně aktiv (měn, akcií, dluhopisů, komodit). Na dokonale efektivním trhu ovlivňuje výnosnost jednotlivých investic pouze náhoda a není možné ji zlepšit za pomoci jakýchkoliv technických prostředků ani technickou analýzou. [31]

Reálné trhy nikdy dokonale efektivní nejsou. Na těchto neefektivních trzích je pak možné sledovat arbitrážní příležitosti, které vznikají právě z neefektivity trhu. [32]

2.3.2 Arbitráž

Arbitráž je obchodní strategie, která má za cíl vytěžit na neefektivitě trhu. Arbitráž je založena na principu nakoupit levně a prodat draze. Principem arbitráže je vytvořit zisk na malých rozdílech v ceně aktiv téměř bez jakéhokoli rizika. Nejčastěji se jedná o nákup na jednom místě a téměř instantní prodej na místě jiném za vyšší cenu. [33]

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. [34]

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. Zatímco 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 dražší, 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 stíhat. [35]

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. [36]

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. [36]

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. [37] [38]

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, které mohou mít jednotlivé burzy zavedené.

2.3.7 Trojúhelníkové arbitrážní příležitosti

Trojúhelníková arbitráž na kryptoměnových burzách je takový obchod, kdy dojde k nákupu a prodeji mezi třemi měnami za cílem zisku. K této arbitráži může docházet, buď v rámci jedné burzy nebo mezi několika odlišnými (v následující části se budu věnovat arbitrážní příležitosti na jedné burze). [39]

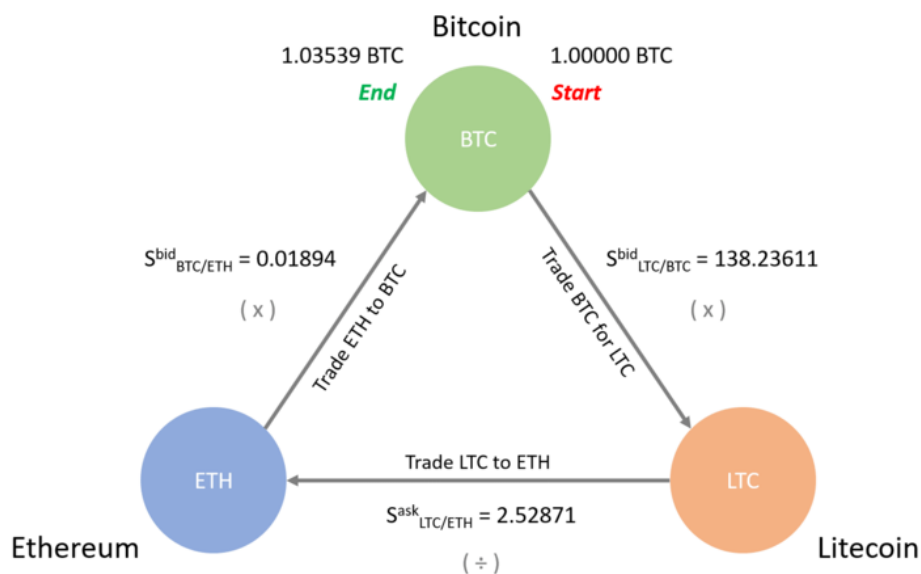
Cílem je mít nějakou obchodovatelnou měnu A, kterou směníme na měnu B, tu následně na měnu C a nakonec opět zpátky na původní měnu A. Pokud máme měny A na konci více než na začátku, je možné detekovat arbitrážní příležitost.

Příklad trojúhelníkové arbitrážní příležitosti: na burze jsou sledovanými páry LTC/BTC, LTC/ETH, ETH/BTC. V prvním kroku nakoupím za 1 bitcoin odpovídající množství litecoinů (podle LTC/BTC). Toto množství v dalším kroku prodám za odpovídající množství etherea (podle LTC/ETH) a za zakoupenou sumu etherea koupím znovu bitcoin (podle ETH/BTC). Pokud mám na konci více než bitcoinů, než kolik do trojúhelníku vstoupilo, vydělal jsem rozdíl mezi těmito dvěma obnosy (viz obr. 2.6).

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 vytěžováním arbitrážních příležitostí

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



Obrázek 2.6: Trojúhelníková arbitráž

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 vytěžit arbitrážní příležitost nebo může proběhnout pouze část transakcí, které mohou skončit v záporných číslech.

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. [35]

Realizace

V této sekci se zabývám praktickou částí své bakalářské práce, ve které se ze začátku zaměřuji na problémy se získáváním relevantních dat. Dále na to navazuji záznamem o svém počínání v rámci analýzy těchto získaných dat.

V poslední podkapitole se poté věnuji praktickým výstupům své práce, ve kterých se zaměřuji na to jaké druhy arbitrážních příležitostí jsou vhodné, diskutuji na jaké trojúhelníky je nejvýhodnější se zaměřit a naopak, které jsou úplně nezajímavé.

3.1 Získání dat

V této kapitole se zaměřuji na problémy, na které jsem narazil při získávání dat. Zabývám se zde také dostupností dat na jednotlivých burzách a jiných serverech, které tato data poskytují.

Obecně jsem pro svou práci potřeboval získat taková data, která by mi byla schopna poskytnout informaci v konkrétním čase, týkající se aktuálních nabídek a poptávek pro jednotlivé dvojice měn, 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 velmi 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. Co se týče historických dat, tak bylo možné získat data o všech provedených obchodech, kde bylo vždy uvedeno minimálně množství, cena a

3. REALIZACE

| Burza | Obchodovaný objem | Taker fee | Maker fee |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------|
| CoiMate | 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 % |

Obrázek 3.1: Porovnání parametrů jednotlivých burz

čas provedení obchodu. Dále bylo možné získat data k vytvoření svícnových grafů. Všechna tato historická data byla pro mě však irelevantní.

3.1.2 Vlastní sběr dat

Z důvodu, že jsem nebyl schopen nikde sehnat odpovídající historická data, která jsem potřeboval pro svou práci, byl jsem přinucen si data začít sbírat z burz sám. Díky tomuto rozhodnutí zmizel problém s dostupností dat, protože všechny zmiňované burzy poskytovaly order book pro všechny své dvojice měn.

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 v požadovaném formátu,
- jak velkými poplatky zpoplatňuje burza jednotlivé transakce,
- jak velký objem se na burze zobchoduje,
- s kolika různými měnami je možné obchodovat.

Z toho důvodu, že 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 obchodovaný 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 si jako burzu, ze které jsem

| | id | demand | supply | timestamp |
|-------|----------|--|--|--------------|
| 0 | 22996042 | [[['16.90700000', '1.28400000'], ['16.90600000'... | [[['16.95600000', '1.28400000'], ['16.95700000'... | 1.582729e+09 |
| 1 | 22996043 | [[['16.90700000', '1.28400000'], ['16.90600000'... | [[['16.95600000', '1.28400000'], ['16.95700000'... | 1.582729e+09 |
| 2 | 22996044 | [[['16.90700000', '1.28400000'], ['16.90600000'... | [[['16.95700000', '0.11800000'], ['16.97100000'... | 1.582729e+09 |
| 3 | 22996046 | [[['16.90700000', '1.28400000'], ['16.90600000'... | [[['16.95600000', '1.28400000'], ['16.95700000'... | 1.582729e+09 |
| 4 | 22996054 | [[['16.90700000', '1.28400000'], ['16.90600000'... | [[['16.95600000', '1.28400000'], ['16.95700000'... | 1.582729e+09 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 28661 | 23163569 | [[['16.91500000', '0.35800000'], ['16.91400000'... | [[['16.95800000', '0.79400000'], ['16.96500000'... | 1.582762e+09 |
| 28662 | 23163573 | [[['16.91500000', '0.35800000'], ['16.91400000'... | [[['16.95800000', '0.79400000'], ['16.96500000'... | 1.582762e+09 |
| 28663 | 23163583 | [[['16.91500000', '0.35800000'], ['16.91400000'... | [[['16.95800000', '0.79400000'], ['16.96400000'... | 1.582762e+09 |
| 28664 | 23163609 | [[['16.90600000', '0.16600000'], ['16.90300000'... | [[['16.95700000', '0.09100000'], ['16.95800000'... | 1.582762e+09 |
| 28665 | 23163619 | [[['16.90600000', '0.16600000'], ['16.90300000'... | [[['16.95500000', '1.57800000'], ['16.95600000'... | 1.582762e+09 |

Obrázek 3.2: Ukázka csv souboru jednoho dne dat dvojice kryptoměn

sbíral data, vybral server Binance. Tato burza má nejlepší obchodovaný objem za posledních 30 dní ze všech kryptoměnových burz [24] a také má ze všech 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. [40] Tímto způsobem mi při každé změně chodila data ve formě order book, ohledně aktuální nabídky a poptávky sledované dvojice měn. [40]

3.1.5 Sběr dat

Data, která mi 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 údaj o časového záznamu ve formátu unix timestamp (viz obrázek 3.2). Identifikační číslo jsem si ukládal jako celé číslo. Výpis nabídek a poptávek jsem ponechával jako dvourozměrné pole, kde v prvním sloupci byla uvedena prodejní (resp. nákupní) cena a v druhém sloupci bylo uvedeno množství.

Z toho důvodu, že může mít order book hloubku až několika stovek objednávek a poptávek, 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.

Neboť 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 uložení musel data stahovat a ukládat i na lokální disk.

3.1.5.1 Kontrola správnosti dat

Z toho důvodu, že mi data chodila z cizího serveru přes websocket a nebylo stoprocentně zaručené, že data 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 dvojice měn 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 výjimky (kde byla data duplikovaná), nebyly programem modifikovány, protože data chodila v korektním formátu.

3.1.5.2 Sledované měny

Díky tomu, že je na serveru Binance možné obchodovat s 1320 různými měnami (údaj k 29.3. 2020), mohl jsem si 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 39 dvojic kryptoměn (obchody mezi některými dvojicemi na serveru Binance nebylo možné provádět). Všechna tato data nabývala velikosti v průměru téměř 1 GB za den.

3.2 Zpracování dat

V této podkapitole se budu věnovat tématu se zpracováním nasbíraných dat.

3.2.1 Filtrování surových dat

V prvním kroku bylo mým cílem pouze vyfiltrovat všechny potenciální arbitrážní příležitosti, které se na vybraném trojúhelníku objevily.

Nejdříve jsem tento filtrační skript napsal v jazyce Python. Zde však probíhalo filtrování moc pomalu, řádově několik minut pro provedení jednoho trojúhelníku za jeden den, což se po přemnožení 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 řádů hodin denně na řady minuty.

3.2.1.1 Struktura filtrovaných dat

Vyfiltrovaná data jsem nyní ukládal v JSON formátu. Tento formát jsem si vybral z toho důvodu, že je zde možné přehledněji strukturovat data (viz 3.3).

Na nejnižší úrovni JSON formátu jsem si ukládal tyto informace:

- `arbitrages_count` – celé číslo popisující počet nalezených arbitrážních příležitostí,
- `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 součet záznamů v kontrolovaných třech souborech).
- `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 3.5),
- `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 3.5), pokud nedojde žádnému zisku je hodnota ponechána na 0,
- `calculation_type_linear` – popisuje typ výpočtu (viz modré a zelené kombinace na obrázku 3.4)
- `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 3.2).

3. REALIZACE

```
▼ object {4}
  ▼ arbitrage_stats [3]
    ▼ 0 {7}
      score : 1.00351
      ▼ supply_gain_index [3]
        0 : 0
        1 : 0
        2 : 0
      ▼ demand_gain_index [3]
        0 : 0
        1 : 0
        2 : 0
      supply_gain : 0
      demand_gain : 5.16572e-14
      calculation_type_linear : 0
    ▼ pairs [3]
      ▼ 0 {3}
        id : 315740955
        timestamp : 1580983444.196699
        currency : TRXBTC
      ▼ 1 {3}
        id : 71573789
        timestamp : 1580983443.763735
        currency : TRXBNB
      ▼ 2 {3}
        id : 563223072
        timestamp : 1580983443.265968
        currency : BNBBTC
    ► 1 {7}
    ► 2 {7}
  arbitrages_count : 3
  without_fees_count : 3878
  all_count : 240781
```

Obrázek 3.3: Ukázka JSON formátu struktury dat

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| AAABBB | AAABBB | AAABBB | AAABBB | BBBAAA | BBBAAA | BBBAAA | BBBAAA |
| AAACCC | AAACCC | CCCAAA | CCCAAA | AAACCC | AAACCC | CCCAAA | CCCAAA |
| BBBCCC | CCCB BB | BBBCCC | CCCB BB | BBBCCC | CCCB BB | BBBCCC | CCCB BB |

Obrázek 3.4: Tabulka různých kombinací trojúhelníků

| | Nákup | | Prodej | |
|--------|-------|---|--------|---|
| AAABBB | x | / | y | * |
| AAACCC | x | / | y | * |
| BBBCCC | x | / | y | * |

| | Nákup | | Prodej | |
|--------|-------|---|--------|---|
| AAABBB | x | / | y | * |
| BBBCCC | x | / | y | * |
| CCCAAA | x | / | y | * |

Obrázek 3.5: Odlišné způsoby detekce arbitrážních příležitostí

3.2.2 Arbitrážní příležitosti

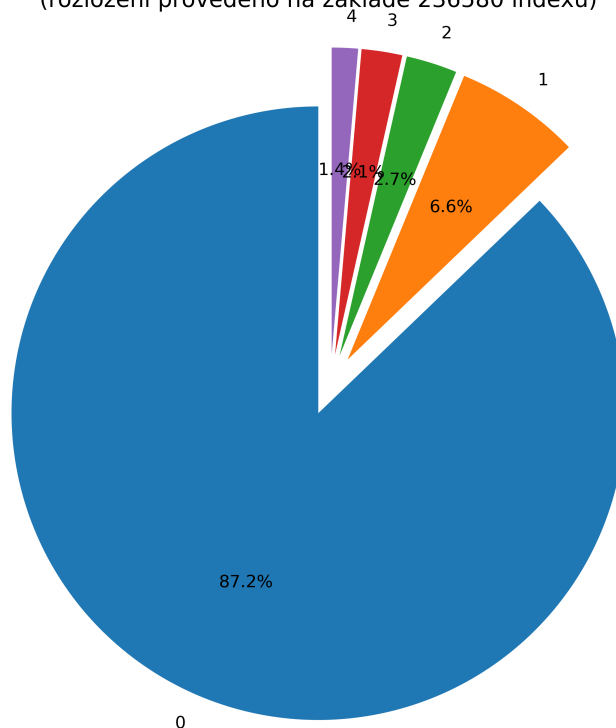
Ve své práci se věnuji pouze trojúhelníkovým arbitrážním příležitostem, tedy vždy příležitostem pro 3 odlišné měny. Neboť mám pro libovolnou obchodovatelnou dvojici kryptoměn (AAA a BBB) vždy údaj pouze z jedné strany (poptávka i nabídka je pouze z pohledu jedné z kryptoměn) může docházet v trojúhelníku k následujícím možnostem (viz tabulka 3.4). Těchto osm možností je však možné pouhým přeházením dostat do dvou odlišných kombinací (viz zelené a modré možnosti ve stejné tabulce 3.4).

Z výsledných dvou různých kombinací je ještě nutné rozlišit, jakým způsobem bude docházet k detekci arbitrážní příležitosti. To je opět naznačeno pomocí znaků dělena (‘/’) a násobení (‘*’) a pomocí barev v tabulce 3.5. Tato tři čísla se mezi sebou vždy příslušně vynásobí nebo vydělí a pokud je výsledné číslo vyšší než 1, pak je detekována potenciální arbitrážní příležitost.

Dalším krokem v rámci detekce ideální příležitosti je projít několika 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.

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 81 % případech (statistika byla prováděna na reálných arbitrážních příležitostech získaných v mé praktické části, celkově bylo vzato v potaz více než 24 milionů indexů). Využití dalších indexů v pořadí je využito o poznání méně řádově v jednotkách procent, které

Rozložení nejlepších indexů z pohledu absolutního zisku
(rozložení provedeno na základě 236580 indexů)



Obrázek 3.6: Distribuce indexů obsahující nejlepší hodnoty pro získání nejvyššího absolutního zisku v rámci arbitrážní příležitosti

se snižují s každým dalším indexem (viz koláčový graf 3.6).

3.2.2.1 Detekce trojúhelníkové arbitrážní příležitosti

Nechť máme tři odlišné měny C_1, C_2, C_3 a necht' existují směnné kurzy mezi každou dvojicí měn. Necht' $x_i(t)$ reprezentuje směnný kurz mezi C_i a C_{i+1} . 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 , tedy $\frac{1}{\text{nákupní cena}}$.

Dále definujme f_i jako poplatek mezi měnami C_i a C_{i+1} , kde pro zjed-

nodušení notace $C_1 = C_4$.

Následně definujeme

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

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,
- 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 $D_{C_1, C_2, C_3}(t) = 1$, poté není nutné trojúhelník obchodovat, protože by nedošlo k žádnému výdělku.

3.2.2.2 Reálná detekce arbitrážní příležitosti

Ve své praktické části detekuji arbitrážní příležitosti stejným způsobem, jaký je popsán v předchozí sekci.

Protože se na data koukám později a analýzu provádím na historických datech, je nutné určit, co považuji za novou arbitrážní příležitost.

Problém totiž 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 obchodovatelném objemu arbitrážní příležitosti. Tudiž 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 vlastních grafů vytvořených na základě průběžně získávaných reálných dat. Data jsou vyhodnocena na základě více než dvou měsíční sbírky dat.

4.1 Selektce 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 moc velká pravděpodobnost na včasné vytěžení reálně existuje,
- kolik je možné průměrně vydělat na úspěšném vytěžení jednotlivé arbitrážní příležitosti,
- k jak velkému potenciálnímu zisku mohlo dojít.

Jak je možné vidět v tabulce 4.1, tak průměrný počet pozitivních arbitrážních příležitostí se poměrně 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 60 arbitrážních příležitostí denně. Je zde také možné si všimnout, že průměrná neefektivita arbitrážní příležitosti (jedná se o hodnotu zisku bez zahrnutí poplatků, s odečtením poplatků by tato čísla byla ještě menší) v žádném případě nedosahuje ani jednotek procent, v nejlepších případech je to pouze několik promile, většina trojúhelníků nepřesahuje ani 3 promile.

Z toho důvodu, že vyšší procentuální zisk z tabulky 4.1 a grafu 4.1 nemusí nutně znamenat vysoký reálný zisk, je nutné se podívat do tabulky 4.2. V této tabulce jsou uvedeny průměrné denní potenciální zisky, jak v hodnotách jedné z kryptoměn daného trojúhelníku, tak v hodnotách přepočtených na americké dolary USD (podle tabulky kurzů 4.3), z důvodu lepšího porovnání mezi sebou. V tabulce potenciálních zisků 4.2 je vidět, že se hodnoty liší mezi jednotlivými trojúhelníky znatelněji, než tomu tak bylo 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 21 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 a v sobotu. 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. Je zde spíše možné vidět, že je graf velice plochý s pár výkyvy, které naprosto převáží všechny ostatní výskyty.

Z tohoto důvodu 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

4.2. Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy

Tabulka 4.1: Tabulka průměrných hodnot týkajících se arbitrážních příležitostí

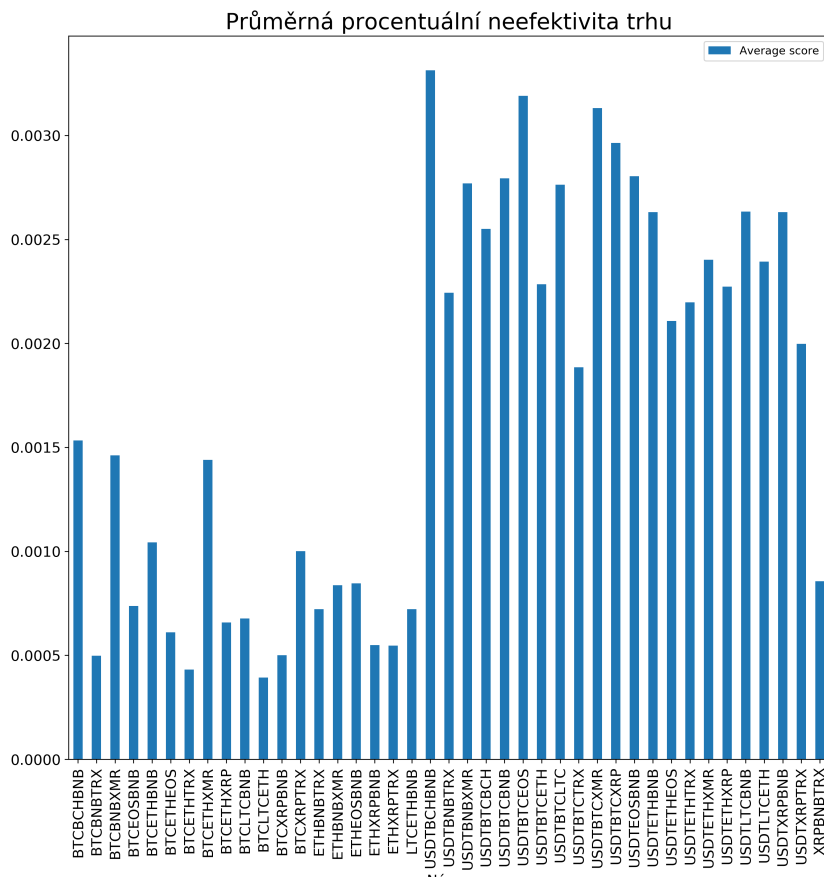
| Trojúhelník | Průměrný denní počet | Průměrná % neefektivita |
|--------------|----------------------|-------------------------|
| BTC/BCH/BNB | 2,4651 | 1,0015 |
| BTC/BNB/TRX | 0,2500 | 1,0005 |
| BTC/BNB/XMR | 1,3864 | 1,0015 |
| BTC/ETH/BNB | 0,7500 | 1,0010 |
| BTC/ETH/EOS | 0,7500 | 1,0006 |
| BTC/ETH/TRX | 3,5070 | 1,0004 |
| BTC/ETH/XRP | 12,1127 | 1,0007 |
| BTC/LTC/BNB | 0,6364 | 1,0007 |
| BTC/LTC/ETH | 18,8310 | 1,0004 |
| BTC/XRP/BNB | 0,2045 | 1,0005 |
| BTC/XRP/TRX | 25,3662 | 1,0010 |
| ETH/BNB/TRX | 0,4545 | 1,0007 |
| ETH/BNB/XMR | 12,6761 | 1,0008 |
| ETH/EOS/BNB | 0,6136 | 1,0008 |
| ETH/XRP/BNB | 4,6479 | 1,0005 |
| ETH/XRP/TRX | 6,1972 | 1,0005 |
| LTC/ETH/BNB | 5,7746 | 1,0007 |
| USDT/BCH/BNB | 33,5857 | 1,0033 |
| USDT/BNB/TRX | 2,4091 | 1,0022 |
| USDT/BNB/XMR | 65,1549 | 1,0028 |
| USDT/BTC/BCH | 4,8636 | 1,0026 |
| USDT/BTC/BNB | 6,5227 | 1,0028 |
| USDT/BTC/EOS | 49,5000 | 1,0032 |
| USDT/BTC/ETH | 3,9545 | 1,0023 |
| USDT/BTC/LTC | 22,0563 | 1,0028 |
| USDT/BTC/TRX | 11,8310 | 1,0019 |
| USDT/BTC/XMR | 47,7042 | 1,0031 |
| USDT/BTC/XRP | 35,4930 | 1,0030 |
| USDT/EOS/BNB | 47,3239 | 1,0028 |
| USDT/ETH/BNB | 3,2273 | 1,0026 |
| USDT/ETH/EOS | 2,0227 | 1,0021 |
| USDT/ETH/TRX | 1,0909 | 1,0022 |
| USDT/ETH/XMR | 3,1364 | 1,0024 |
| USDT/ETH/XRP | 2,2955 | 1,0023 |
| USDT/LTC/BNB | 32,1268 | 1,0026 |
| USDT/LTC/ETH | 1,9318 | 1,0024 |
| USDT/XRP/BNB | 20,2394 | 1,0026 |
| USDT/XRP/TRX | 49,0141 | 1,0020 |
| XRP/BNB/TRX | 0,2727 | 1,0009 |

4. ANALÝZA DAT

Tabulka 4.2: Tabulka potenciálního výnosu arbitrážních příležitostí

| Trojúhelník | Denní neefektivita | Denní neefektivita (USD) |
|--------------|--------------------|--------------------------|
| BTC/BCH/BNB | 4,419113e-05 BCH | 9,853739e-03 |
| BTC/BNB/TRX | 2,333645e-15 TRX | 2,939693e-17 |
| BTC/BNB/XMR | 3,016967e-06 XMR | 1,610155e-04 |
| BTC/ETH/BNB | 2,927920e-08 BNB | 4,547059e-07 |
| BTC/ETH/EOS | 5,985557e-09 EOS | 1,460476e-08 |
| BTC/ETH/TRX | 3,725827e-12 TRX | 4,693424e-14 |
| BTC/ETH/XRP | 2,107271e-10 XRP | 3,918787e-11 |
| BTC/LTC/BNB | 1,410859e-06 LTC | 5,784524e-05 |
| BTC/LTC/ETH | 3,891696e-05 LTC | 1,595595e-03 |
| BTC/XRP/BNB | 2,366390e-11 XRP | 4,400656e-12 |
| BTC/XRP/TRX | 1,593265e-07 TRX | 2,007036e-09 |
| ETH/BNB/TRX | 2,850354e-11 TRX | 3,590590e-13 |
| ETH/BNB/XMR | 4,112905e-04 XMR | 2,195057e-02 |
| ETH/EOS/BNB | 2,634973e-06 EOS | 6,429333e-06 |
| ETH/XRP/BNB | 8,860329e-08 XRP | 1,647711e-08 |
| ETH/XRP/TRX | 8,227061e-07 TRX | 1,036363e-08 |
| LTC/ETH/BNB | 3,780171e-04 LTC | 1,549870e-02 |
| USDT/BCH/BNB | 2,230023e+00 BCH | 4,972506e+02 |
| USDT/BNB/TRX | 2,015034e-05 TRX | 2,538338e-07 |
| USDT/BNB/XMR | 3,422176e-01 XMR | 1,826415e+01 |
| USDT/BTC/BCH | 4,916836e-03 BCH | 1,096356e+00 |
| USDT/BTC/BNB | 5,541003e-04 BNB | 8,605178e-03 |
| USDT/BTC/EOS | 2,394959e-03 EOS | 5,843701e-03 |
| USDT/BTC/ETH | 6,044486e-03 ETH | 9,471709e-01 |
| USDT/BTC/LTC | 1,036748e-01 LTC | 4,250665e+00 |
| USDT/BTC/TRX | 7,487126e-08 TRX | 9,431532e-10 |
| USDT/BTC/XMR | 1,522814e-02 XMR | 8,127257e-01 |
| USDT/BTC/XRP | 1,309092e-05 XRP | 2,434452e-06 |
| USDT/EOS/BNB | 4,491558e+00 EOS | 1,095940e+01 |
| USDT/ETH/BNB | 3,840955e-02 BNB | 5,965003e-01 |
| USDT/ETH/EOS | 3,878244e-03 EOS | 9,462915e-03 |
| USDT/ETH/TRX | 6,624806e-08 TRX | 8,345268e-10 |
| USDT/ETH/XMR | 9,329797e-03 XMR | 4,979313e-01 |
| USDT/ETH/XRP | 1,067932e-04 XRP | 1,985980e-05 |
| USDT/LTC/BNB | 4,070549e+00 LTC | 1,668925e+02 |
| USDT/LTC/ETH | 9,101869e-03 LTC | 3,731766e-01 |
| USDT/XRP/BNB | 2,448773e-01 XRP | 4,553861e-02 |
| USDT/XRP/TRX | 2,215846e-01 TRX | 2,791302e-03 |
| XRP/BNB/TRX | 4,067842e-07 TRX | 5,124261e-09 |

4.2. Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy



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

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 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.

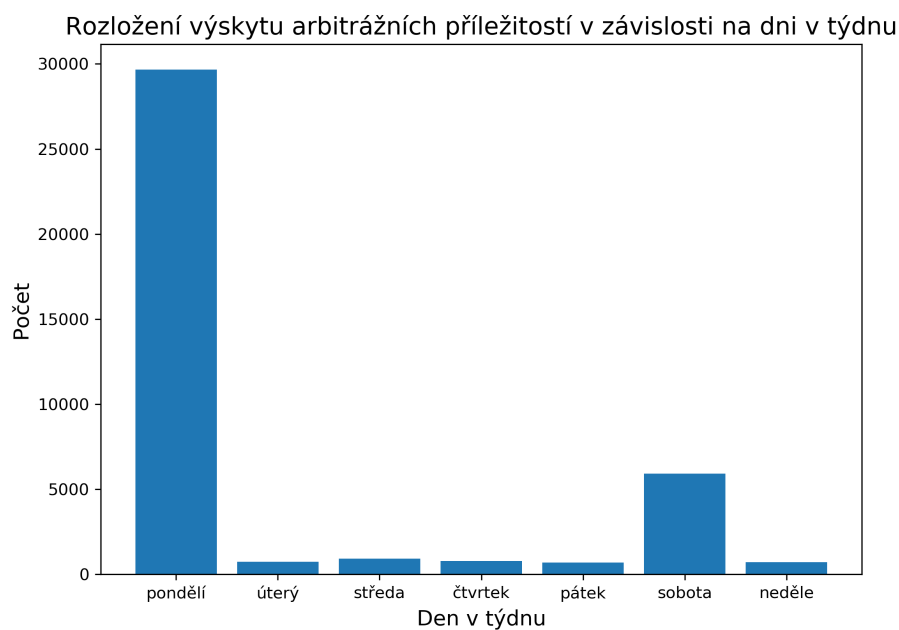
4.2.3 Závislost na počtu provedených transakcí

Počet transakcí je číslo, které by také mohlo ovlivňovat počet výskytu arbitrážních příležitostí, protože za předpokladu, že nebudou prováděny žádné

4. ANALÝZA DAT

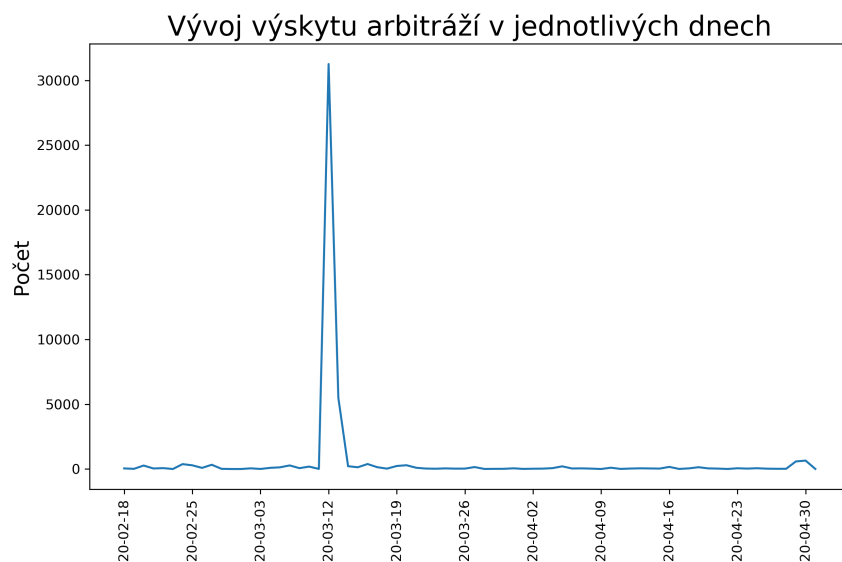
Tabulka 4.3: Tabulka kurzů využitých na přepočet na americké dolary (údaj z burzy Binance ze dne 13.4.2020)

| 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 |

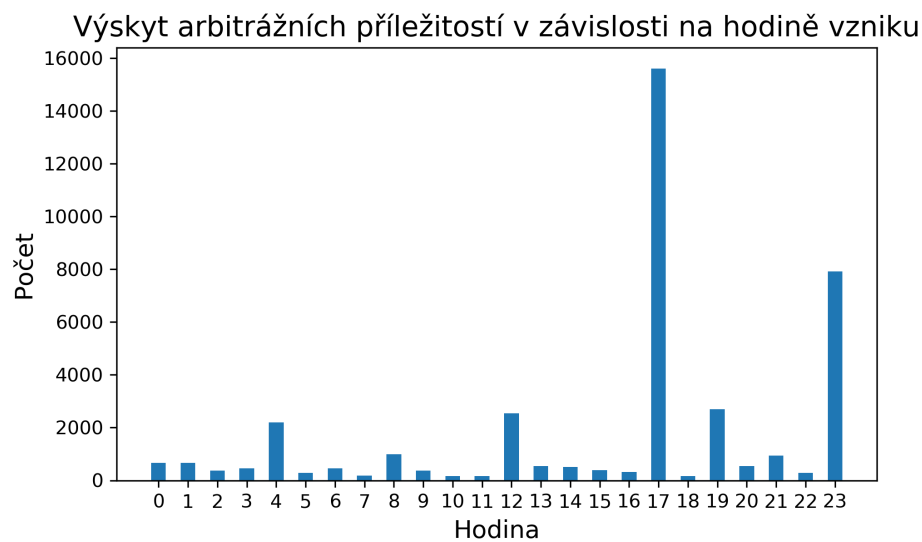


Obrázek 4.2: Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na dni v týdnu

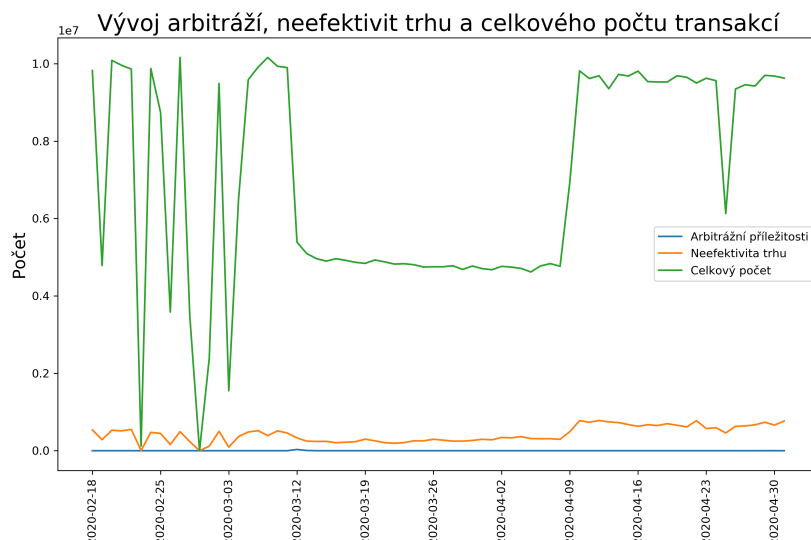
4.2. Korelace mezi výskytem arbitrážních příležitostí a vnějšími jevy



Obrázek 4.3: Rozložení arbitrážních příležitostí v jednotlivých sledovaných dnech



Obrázek 4.4: Rozložení arbitrážních příležitostí v závislosti na hodině výskytu



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

transakce, se nemohou vytvářet ani nové arbitrážní příležitosti.

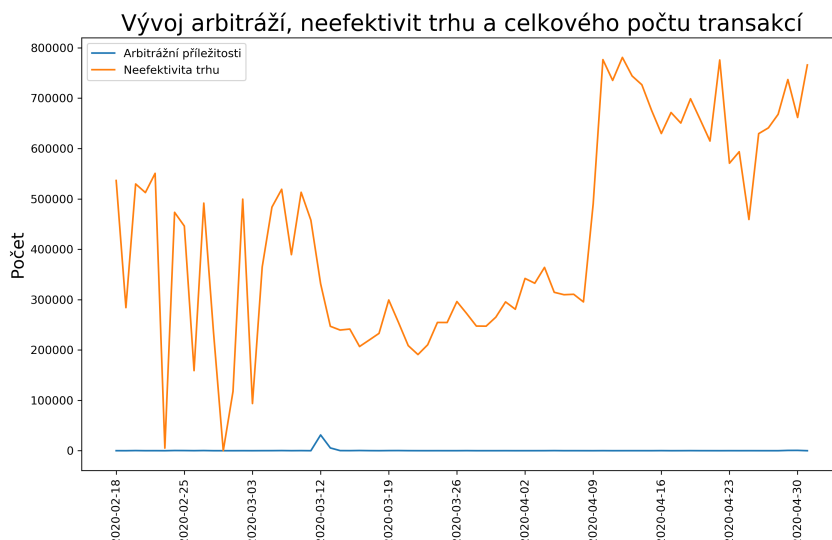
Pearsonův korelační koeficient diskretních hodnot s četností po jednotlivých dnech těchto dvou veličin vyšel $\sim -0,071$, z čehož vyplývá, že tyto dvě veličiny spolu téměř vůbec nekorelují, a proto není možné mluvit o jakékoliv závislosti jedné na druhé. 4.5.

4.2.4 Závislost na počtu 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 bráných 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



Obrázek 4.6: Vývoj rozložení výskytu arbitrážních příležitostí a neefektivit trhu

4.3 Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

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

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 celkového potenciálního zisku.

V tabulce 4.4 jsou ponechány pouze záznamy, u kterých je možné v průměru každý den vydělat alespoň 1 americký dolar. V této sekci se však nevěnuji všem, ale pouze čtyřem nejlukrativnějším trojúhelníkům (USDT/BCH/BNB, USDT/BNB/XMR, USDT/EOS/BNB, USDT/LTC/BNB). Je zajímavé si povšimnout, že ve všech nejzajímavějších trojúhelnících figurují USDT Tether a Binance coin.

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. ANALÝZA DAT

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

| Trojúhelník | Průměrný denní počet | Denní neefektivita (USD) |
|--------------|----------------------|--------------------------|
| USDT/BCH/BNB | 33,585714 | 497,250595 |
| USDT/BNB/XMR | 65,154930 | 18,264153 |
| USDT/BTC/BCH | 4,863636 | 1,096356 |
| USDT/BTC/LTC | 22,056338 | 4,250665 |
| USDT/EOS/BNB | 47,323944 | 10,959402 |
| USDT/LTC/BNB | 32,126761 | 166,892515 |

Tabulka 4.5: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BCH/BNB

| Název | Hodnota |
|--------------------------------------|---------------------|
| Name | USDT/BCH/BNB |
| Days | 70 |
| Average count | 33,58571428571429 |
| Average score | 1,0033129439959507 |
| The best score | 1,11494 |
| The best gain | 3,072660 BCH |
| Total inefficiency | 127,035890 BCH |
| Average daily inefficiency | 2,230023 BCH |
| Average daily inefficiency (USD) | 497,2505954591991 |
| The best gain (USD) | 685,1417267999999 |
| Total inefficiency (USD) | 28326,46277302901 |
| Median of daily number of arbitrages | 2,0 |
| Average deltetime | 0,36364725282858357 |

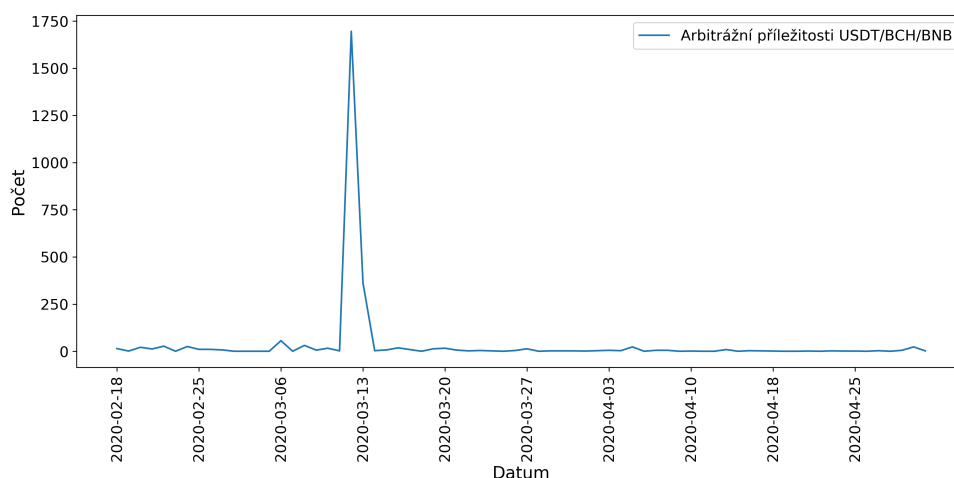
4.3.2.1 Trojúhelník USDT/BCH/BNB

Trojúhelník USDT/BCH/BNB je z pohledu potenciálního zisku nejlepší, je však nutné podotknout, že pro zobchodování nějakých trojúhelníků by bylo nutné provést nějaké velmi velké transakce. Například na nejvýhodnější příležitosti bylo možné vydělat 3,07 BCH (685,14 USD). Pro uskutečnění takto velké transakce je však nutné zobchodovat obrovské množství peněz, které většina běžných obchodníků na kontě připravené nemá.

Jednou z negativních vlastností, kterou tento trojúhelník má je nadprůměrně krátká doba trvání arbitrážních příležitostí, která činí 0,36 s a je o 20 % menší než průměr 0,45 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 denně.

4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků



Obrázek 4.7: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USD/BCH/BNB

4.3.2.2 Trojúhelník USD/LTC/BNB

Trojúhelník USD/LTC/BNB je z pohledu velikosti celkového potenciálního zisku druhý nejlepší. Trpí však podobnými problémy jako předchozí trojúhelník USD/BCH/BNB. Denně se také průměrně objevuje přes 30 arbitrážních příležitostí, avšak medián výskytu je pouze 1. Tento vysoký rozdíl je taktéž způsoben velkým výkyvem z 12. a 13. března 2020 (viz graf 4.8 a tabulka 4.6).

Trojúhelník USD/LTC/BNB i přes své vysoké hodnoty trpí problémem krátké doby výskytu příležitostí 0,38 s, která je o téměř pětinu horší než je průměr 0,45 s.

4.3.2.3 Trojúhelník USD/BNB/XMR

Tento trojúhelník i přes to, že je třetím potenciálně nejvýnosnějším trojúhelníkem, je více než desetkrát méně výnosný než předchozí dva (USD/LTC/BNB a USD/BCH/BNB).

Trojúhelník USD/BNB/XMR si drží své prvenství v průměrném denním počtu arbitrážních příležitostí s počtem 65 denně (viz tabulka 4.7). Stejně jako oba výše uvedené trojúhelníky má daleko nižší medián (pouze 2), což je z velké části způsobeno výkyvem kolem 12. a 13. března (viz 4.9).

Průměrná doba výskytu trojúhelníku (0,43 s) je těsně pod průměrem a mělo by být tedy lehčí vytěžit jednotlivé arbitrážní příležitosti.

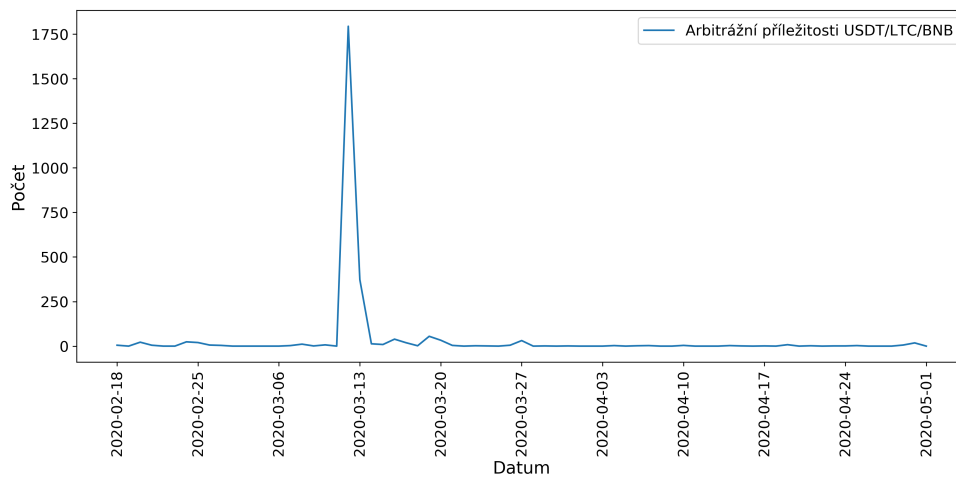
4.3.2.4 Trojúhelník USD/EOS/BNB

Posledním detailně zmiňovaným trojúhelníkem je trojúhelník USD/EOS/BNB, který je s průměrným denním ziskem 10,96 amerických dolarů na čtvrtém

4. ANALÝZA DAT

Tabulka 4.6: Základní statistiky trojúhelníku USDT/LTC/BNB

| Název | Hodnota |
|--------------------------------------|--------------------|
| Name | USDT/LTC/BNB |
| Days | 71 |
| Average count | 32,12676056338028 |
| Average score | 1,0026345366400011 |
| The best score | 1,10417 |
| The best gain | 5,287220 LTC |
| Total inefficiency | 271,416401 LTC |
| Average daily inefficiency | 4,070549 LTC |
| Average daily inefficiency (USD) | 166,89251517863386 |
| The best gain (USD) | 216,77602 |
| Total inefficiency (USD) | 11128,072420842758 |
| Median of daily number of arbitrages | 1,0 |
| Average deltatime | 0,3801442620780359 |

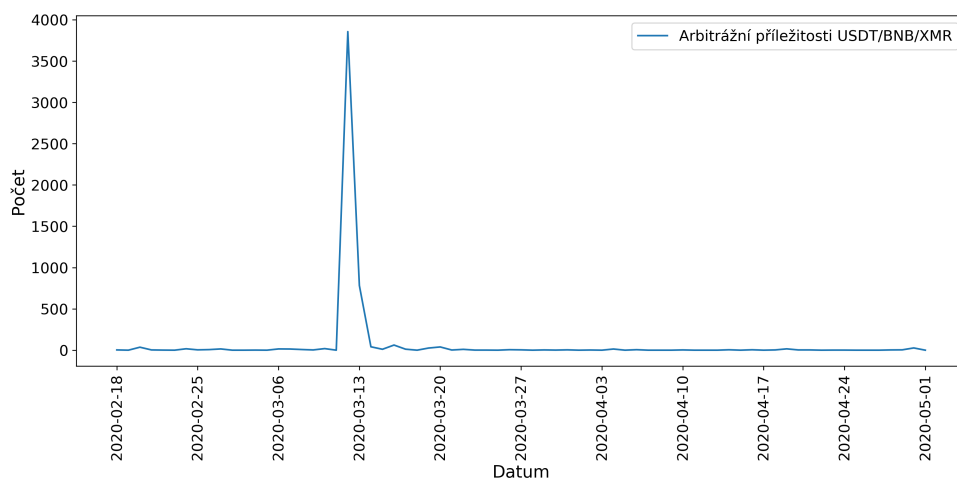


Obrázek 4.8: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/LTC/BNB

4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků

Tabulka 4.7: Základní statistiky trojúhelníku USDT/BNB/XMR

| Název | Hodnota |
|--------------------------------------|--------------------|
| Name | USDT/BNB/XMR |
| Days | 71 |
| Average count | 65,15492957746478 |
| Average score | 1,0027695375481962 |
| The best score | 1,142 |
| The best gain | 0,638322 XMR |
| Total inefficiency | 15,715245 XMR |
| Average daily inefficiency | 0,342218 XMR |
| Average daily inefficiency (USD) | 18,26415328406365 |
| The best gain (USD) | 34,06724514 |
| Total inefficiency (USD) | 838,7226380208457 |
| Median of daily number of arbitrages | 2,0 |
| Average deltatime | 0,4303405440553394 |

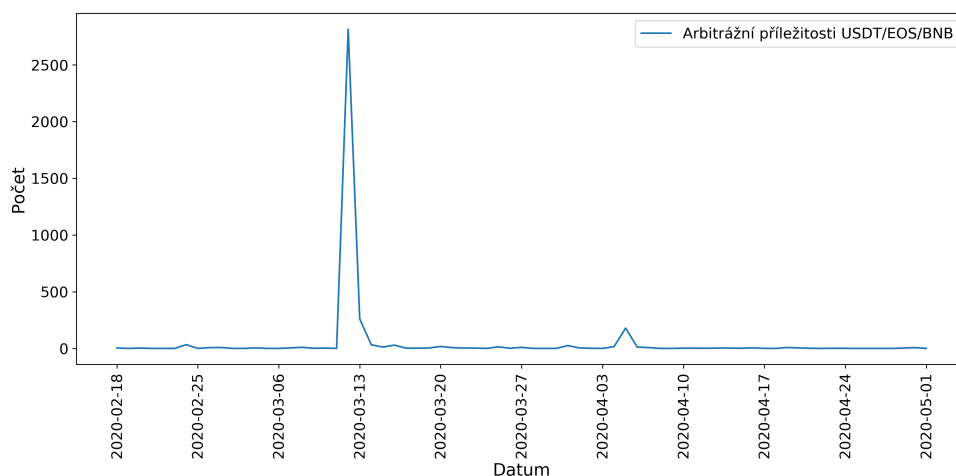


Obrázek 4.9: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/BNB/XMR

4. ANALÝZA DAT

Tabulka 4.8: Základní statistiky trojúhelníku USDT/EOS/BNB

| Název | Hodnota |
|--------------------------------------|--------------------|
| Name | USDT/EOS/BNB |
| Days | 71 |
| Average count | 47,32394366197183 |
| Average score | 1,0028038318996786 |
| The best score | 1,10479 |
| The best gain | 8,431420 EOS |
| Total inefficiency | 282,708477 EOS |
| Average daily inefficiency | 4,491558 EOS |
| Average daily inefficiency (USD) | 10,95940151230556 |
| The best gain (USD) | 20,5726648 |
| Total inefficiency (USD) | 689,8086828571521 |
| Median of daily number of arbitrages | 2,0 |
| Average deltatime | 0,5672579938988095 |

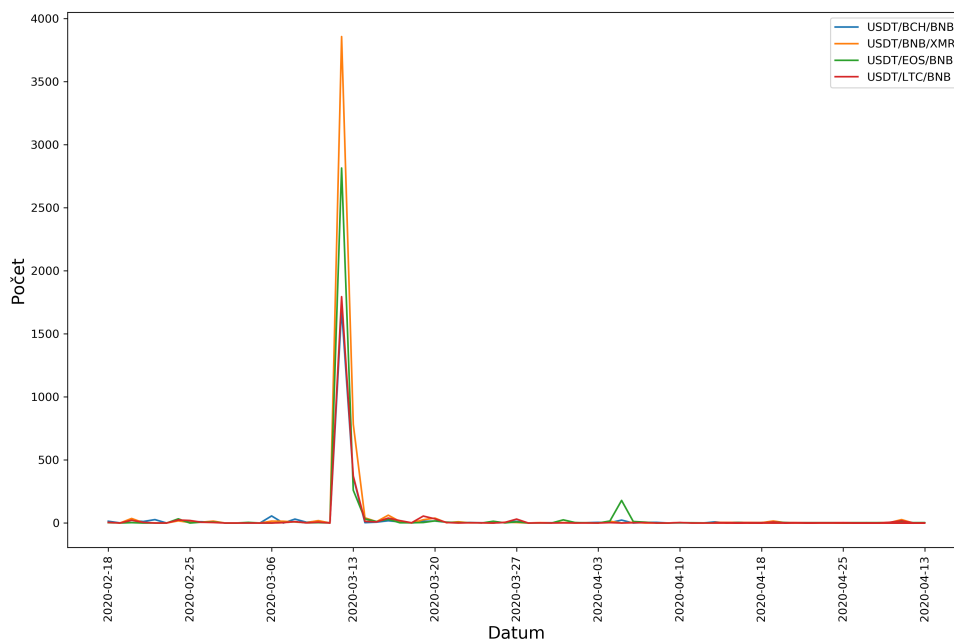


Obrázek 4.10: Vývoj arbitrážních příležitostí na trojúhelníku USDT/EOS/BNB

místě z pohledu výnosnosti. Stejně jako všechny ostatní trojúhelníky má i tento o poznání vyšší průměr než medián (viz tabulka 4.10 a graf 4.8).

Trojúhelník USDT/EOS/BNB je zajímavý z toho pohledu, že jeho arbitrážní příležitosti mají v průměru o téměř 25 % delší životnost než je celkový průměr všech tjištěných arbitrážních příležitostí, a proto by jejich vytěžování mělo být jednodušší.

4.3. Konkrétní hodnoty nejzajímavějších trojúhelníků



Obrázek 4.11: Vývoj arbitrážních příležitostí vybraných trojúhelníků

4.3.2.5 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 4.11). Tento jev může být částečně způsobený tím, že ve všech trojúhelnících figurují USD Tether (USDT) a Binance coin (BNB).

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 jakéhokoliv bota, který by se staral o detekci a následné vytěžování.

Závěr

V práci jsem zatím úspěšně implementoval program v programovacím jazyce Python, který se stará o sběr dat. Tento program jsem nasadil na cloudovou službu Amazon Web Services, kde běží bez přerušení.

V teoretické části jsem zatím napsal velmi stručnou rešerši, kterou mám ještě v plánu značně rozšiřovat. Našel jsem si již zdroje i k následujícím částem teoretické části. Plánuji se zde ještě více věnovat kryptoměnám podrobněji a popsat více jejich charakteristiky. Dále zde plánuji zpracovat rešerši týkající se dosavadních prací, které se také zabývají otázkou arbitrážních příležitostí.

Mým dalším krokem je napsání programu, který bude analyzovat nasbíraná data. Na tomto úkolu mohu pracovat i s prozatímními daty, neboť se na programu nic nezmění, pouze se změní výstupní statistiky. Tato část bude stěžejní částí mé celkové bakalářské práce.

Úplně nakonec se budu věnovat výstupům, které zjistím v části analýzy dat. Tyto data zpracuji jako celek a zaměřím se na výstupy, které je možné na datech pozorovat.

Literatura

- [1] Coinmate - Aggregated 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
- [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] Rouse, M.: Altcoin. *WhatIs* [online]., 2017, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://whatis.techtarget.com/definition/altcoin>
- [10] 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>

- [11] 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>
- [12] Binance exchange market. *Binance* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.binance.com/en/markets>
- [13] 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/>
- [14] 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/>
- [15] Ripple (VŠE, CO CHCETE VĚDĚT). *Alza* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/ripple-xrp>
- [16] XRP Avg. Transaction Fee historical chart. *bitinfocharts* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://bitinfocharts.com/comparison/xrp-transactionfees.html#1y>
- [17] 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/>
- [18] Bitcoin Cash - BCH/Bitcoin Cash kurz. *kurzy.cz* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kryptomeny/bitcoin-cash/>
- [19] EOS (EOS) – Kurz, graf ceny, kde koupit. *Finex* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://finex.cz/kryptomena/eos/>
- [20] Šístek, M.: Binance coin (BNB). *Martin Šístek* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.martinsistek.cz/binance-coin/>
- [21] TRON (TRX) – Kurz, graf ceny, kde koupit kryptoměnu. *Finex* [online]., 2020, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://finex.cz/kryptomena/tron/>
- [22] Šístek, M.: Stable coin – token stálé hodnoty. *Mladý Investor* [online]., 2019, [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.martinsistek.cz/binance-coin/>
- [23] CoinMate exchange: fees, volume, charts and market trading. *Coin360* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://coin360.com/exchange/coinmate>

-
- [24] Top 100 Cryptocurrency Exchanges by Trade Volume. *CoinMarketCap* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/rankings/exchanges/reported/>
- [25] EXCHANGE REVIEW CoinMate. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/coinmate/>
- [26] Dob, D.: Binance Review: The World's Leading Cryptocurrency Exchange? *Blockonomi* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://blockonomi.com/binance-review/>
- [27] Exchange spot ě MXC. *CoinGecko* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.coingecko.com/en/exchanges/mxc>
- [28] EXCHANGE REVIEW MXC. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/mxc/>
- [29] EXCHANGE REVIEW BitForex. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/bitforex/>
- [30] EXCHANGE REVIEW LBank. *Crypto Wisser* [online]., 2020, [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.cryptowisser.com/exchange/lbank/>
- [31] Efektivita trhu. *ITBIZ* [online]., 2015, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/slovník/ekonomie/efektivita-trhu>
- [32] LIOUDIS, N. K.: What Is Arbitrage? *Investopedia* [online]., 2019, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/ask/answers/what-is-arbitrage/>
- [33] Arbitráž. *Capital* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://capital.com/cs/arbitraz-definice>
- [34] Chen, J.: Currency Arbitrage. *Investopedia* [online]., 4. 2020, [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/c/currency-arbitrage.asp>
- [35] Falk, T.: The straightforward guide to cryptocurrency arbitrage. *Finder* [online]., 2019, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.finder.com/ca/cryptocurrency-arbitrage>
- [36] Měnový pár. *Capital* [online]., 2020, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://capital.com/cs/menovy-par-definice>

- [37] 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>
- [38] 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>
- [39] Cryptocurrency Arbitrage: A Lucrative Trading Strategy. *Shrimpy* [online]., 2019, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://blog.shrimpy.io/blog/cryptocurrency-arbitrage-a-lucrative-trading-strategy>
- [40] 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 ^A T _E Xovská zkratka | T _E 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 ^A T _E X |
| | text | text práce |
| | thesis.pdf | text práce ve formátu PDF |
| | thesis.ps | text práce ve formátu PS |