



Ekonomická
fakulta
Faculty
of Economics

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Ekonomická fakulta

Katedra účetnictví a financí

Diplomová práce

Efektivita finančního trhu

Vypracovala: Bc. Petra Horká

Vedoucí práce: Ing. Petr Zeman, Ph.D.

České Budějovice 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petra HORKÁ**
Osobní číslo: **E17533**
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Účetnictví a finanční řízení podniku**
Název tématu: **Efektivita finančního trhu**
Zadávající katedra: **Katedra účetnictví a financí**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Cílem této práce je posoudit chování cen finančních aktiv a ověřit hypotézu náhodné procházky na vybraném finančním trhu.

Rámcová osnova:

- 1) Charakteristika vybraného finančního trhu.
- 2) Teorie efektivity trhu, její formy a důsledky.
- 3) Teorie behaviorálních financí jako alternativní teorie vysvětlující chování cen na finančních trzích.
- 4) Výběr statistických testů pro ověření hypotézy náhodné procházky.
- 5) Testování efektivity vybraného finančního trhu.
- 6) Závěr.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50-60

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Fama, E. F., (1969). *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work.* *The Journal of Finance*, (25) 2, 383-417.

Gujarati, D. N., (2003). *Basic Econometrics (4th ed.)*, New York, NY: The McGraw Hill Companies.

Jílek, J., (2008). *Finanční trhy a investování (1. vyd.)*, Praha: Grada Publishing.

Malkiel, B.G., (2003). *The Efficient Market hypothesis and Its Critics*, *Journal of Economic Perspectives*, 17(1), 59-82.

Musílek, P. (2011). *Trhy cenných papírů (2. vyd.)*, Praha: Ekopress.

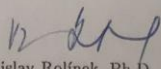
Veselá, J. (2011). *Investování na kapitálových trzích (2. vyd.)*, Praha: ASPI.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Zeman, Ph.D.

Katedra účetnictví a financí


Datum zadání diplomové práce: 1. února 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 13. dubna 2019


doc. Ing. Ladislav Rolínek, Ph.D.

děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
EKONOMICKÁ FAKULTA
Studentská 13 (1)
370 05 České Budějovice


doc. Ing. Milan Jílek, Ph.D.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 1. února 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 28. 2. 2020

.....

Bc. Petra Horká

Poděkování

Na tomto místě bych velice ráda poděkovala Ing. Petru Zemanovi, PhD. za cenné rady, zapůjčenou literaturu, a především za vstřícný přístup při zpracování mé diplomové práce.

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 3 |
| 2 | Finanční trh | 5 |
| 2.1 | Subjekty na finančním trhu..... | 5 |
| 2.2 | Funkce finančního trhu | 6 |
| 3 | Charakteristika trhu KRYPTOMĚN..... | 8 |
| 3.1 | Historie kryptoměn | 10 |
| 3.2 | Obchodování s kryptoměnami..... | 11 |
| 4 | Efektivnost finančních trhů..... | 13 |
| 4.1 | Vývoj teorie efektivnosti | 13 |
| 4.2 | Předpoklady efektivního trhu | 14 |
| 4.3 | Formy teorie efektivnosti..... | 15 |
| 4.3.1 | Slabá forma efektivnosti..... | 16 |
| 4.3.2 | Středně silná forma efektivnosti..... | 16 |
| 4.3.3 | Silná forma efektivnosti | 16 |
| 4.4 | Podstata a model hypotézy efektivního trhu..... | 17 |
| 4.5 | Charakteristiky efektivního trhu | 20 |
| 4.6 | Testování teorie efektivnosti | 24 |
| 4.6.1 | Testy slabé formy efektivnosti | 24 |
| 4.6.2 | Testy středně silné efektivnosti | 25 |
| 4.6.3 | Testy silné formy efektivnosti..... | 26 |
| 4.7 | Anomálie na efektivním trhu | 26 |
| 4.8 | Novodobé důkazy neefektivnosti trhu | 29 |
| 5 | Behaviorální finance | 30 |
| 6 | Metodika | 33 |
| 6.1 | Cíl práce..... | 33 |
| 6.2 | Data..... | 33 |
| 6.3 | Statistické testy | 33 |
| 6.3.1 | Runs test | 33 |
| 6.3.2 | Testy poměru rozptylů | 35 |
| 6.3.3 | Autokorelační analýza..... | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.3.4 | Testování jednotkového kořene (test stacionarity)..... | 38 |
| 7 | Vlastní práce (empirické výsledky) | 40 |
| 7.1 | Základní statistiky..... | 40 |
| 7.2 | Runs test | 43 |
| 7.3 | Test poměru rozptylů..... | 44 |
| 7.4 | Autokorelační analýza | 47 |
| 7.5 | Testování jednotkového kořene (test stacionarity)..... | 49 |
| 8 | Shrnutí výsledků | 51 |
| 9 | Závěr | 54 |
| I. | Summary | 56 |
| II. | Seznam použitých zdrojů | 57 |
| III. | Seznam tabulek | |
| IV. | Seznam obrázků | |
| V. | Seznam příloh | |
| VI. | Přílohy | |

1 Úvod

Cílem této práce je posoudit chování cen finančních aktiv a ověřit hypotézu náhodné procházky na vybraném finančním trhu. Pro analýzu efektivnosti finančního trhu byl pro tuto práci zvolen trh, na kterém se obchoduje s kryptoměny. Kryptoměny jsou zařazeny hned do několika oborů: financí, ekonomie, práva a informačních technologií. Jejich potenciál zůstává v současné době skryt, jelikož jen malé procento lidí si je vědomo jejich existence či možného způsobu užití. V moderním světě, ve kterém žijeme, se postupně životní styl ubírá digitalizovanějším směrem. Od výukových metod až po online transakce je každý malý aspekt našeho života čím dál více dotčen technologiemi. V takovém případě ani "peníze" nezůstávají. Přístup k digitalizaci peněz vedl k vytvoření kryptoměn. Potřeba digitálních peněz tak bude v blízké budoucnosti rozsáhlá. Kryptoměny se v posledních letech těší velké popularitě a vstoupily do masového povědomí s představou rychlého zbohatnutí, ačkoliv jejich prvotním účelem nebylo investování, nýbrž nahrazení klasické měny, aby její množství nebylo ovlivňováno centrálními bankami. Rostoucí hodnota digitálních měn láká nové investory a stále vznikají nové a nové kryptoměny, ale na trhu se uchytí jen malý zlomek z nich.

Hypotéza náhodné procházky ověřuje efektivitu trhu. Za efektivní trh lze označit takový, který plně a přesně zohledňuje veškeré kurzotvorné informace. O finančním trhu lze říci, že je to fenomén, o který se zajímají investoři, regulátoři a akademici již po celá staletí. Očekávání investorů, že budoucí hodnota jejich vložených finančních prostředků bude vyšší než jejich současná hodnota, je hlavní podstatou investování, a zároveň i jejím motivem. Nicméně tento cíl není vždy na finančním trhu zcela zaručen. Investoři se tak vzdávají svých finančních prostředků v naději a očekávání, že v budoucnu obdrží za svou oběť své investované prostředky zpět, navíc ještě navýšené o výnos.

První část diplomové práce se týká charakteristiky finančního trhu a následně charakteristiky vybraného finančního trhu, trhu kryptoměn. Kapitola o finančním trhu kryptoměn se zaměřuje na problematiku elektronických peněz a její historii. Následující kapitoly se týkají teorie efektivity finančních trhů, jejich forem, předpokladů, podstaty a případným anomáliím. Poslední část literární rešerše je věnována behaviorálním financím, které s teorií efektivních trhů souvisejí.

Praktická část se zabývá metodikou vyhodnocení efektivity vybraného trhu a popisuje vybrané statistické testy, pomocí nichž je vyhodnocen cíl diplomové práce o hypotéze

náhodné procházky. Výsledky ověření, zda se kurzy vybraných kryptoměn chovají náhodně v souvislosti s teorií efektivy trhů, jsou popsány v následující kapitole.

2 Finanční trh

Finanční trh je jedním z několika trhů, které v rámci tržní ekonomiky fungují. V tržní ekonomice je rozeznáván trh výrobků a služeb, trh práce a půdy, a nakonec trh kapitálu, tedy trh finanční. Tyto trhy se navzájem doplňují, podmiňují a ovlivňují. Na finanční trh přicházejí finanční prostředky od domácností, firem a vlády, k nimž se pak následně z finančního trhu navracejí.

„Finanční trh se vymezuje především jako souhrn investičních instrumentů¹, postupů, vztahů a institucí, při nichž dochází k přemísťování volných finančních zdrojů mezi subjekty trhu na smluvním základě.“ Veselá (2011) v užším pojetí finanční trh chápe jako trh krátkodobých a dlouhodobých cenných papírů, finančních derivátů a dalších tržních částí, jako je devizový trh a trh reálných aktiv. V širším pojetí je do okruhu zařazován trh krátkodobých a dlouhodobých úvěrů.

2.1 Subjekty na finančním trhu

Veselá (2011) na finančním trhu rozděluje několik subjektů s různými motivy a záměry. Prvními subjekty vystupujícími na finančním trhu jsou přebytkové jednotky. Tyto jednotky mají přebytek volných finančních prostředků, které jsou ochotny investovat a jsou tedy zdrojem úspor. Přebytkové jednotky vystupují jak v podobě domácností, tak i bank, pojišťoven, firem, aj., a je možné je označovat jako investory či věřitele.

Další skupinou subjektů existujících na finančním trhu jsou deficitní jednotky. Oproti přebytkovým jednotkám mají jednotky deficitní nedostatek volných finančních prostředků. Deficitní jednotky přicházejí na finanční trh s cílem získat finanční prostředky a realizovat tak jejich investiční záměry. Důležitým kritériem pro získání finančních prostředků, které deficitní jednotky zohledňují, jsou náklady spojené se získáním finančních prostředků a časový horizont, na který finanční prostředky získávají.

Poslední skupina, která se na finančních trzích objevuje, jsou bankovní a nebankovní zprostředkovatelé (poskytovatelé finančních služeb). Jejich hlavní činností je pomáhat v přesunu volných finančních prostředků od přebytkových jednotek k jednotkám deficitním,

¹ Investiční instrument je aktivum, které investorovi přináší nárok na budoucí příjem buď v podobě dividend, kuponových plateb, kurzových zisků, nebo úroků a splátek jistín.

a to s minimálními transakčními² a informativními náklady. Zapojením těchto jednotek by mělo docházet ke snižování rizik zejména pro přebytkové jednotky.

Podle Revendy&kol. (2015) existují dva základní uzly alokace finančních prostředků mezi deficitními a přebytkovými jednotkami, které se nazývají trh cenných papírů a zprostředkovatelský finanční trh. Na trhu cenných papírů jsou prostřednictvím různých cenných papírů alokovány finanční prostředky od přebytkových jednotek k jednotkám deficitním. Přebytkové jednotky investují své úspory do různých krátkodobých a dlouhodobých cenných papírů, jež emitují jednotky deficitní. Tyto emitované instrumenty deficitními jednotkami jsou označovány jako primární finanční instrumenty. Naopak na zprostředkovatelském trhu jsou emitovány finančním zprostředkovatelem sekundární finanční instrumenty. Finanční zprostředkovatelé alokují shromážděné zdroje na svůj účet a na vlastní riziko a jejich služeb využívají přebytkové jednotky při alokaci svých přebytečných finančních prostředků.

2.2 Funkce finančního trhu

Fungující finanční trh sehrává v tržní ekonomice několik základních funkcí. Veselá (2011) za nejdůležitější považuje:

- Alokační funkci, která zajišťuje přesun volných finančních prostředků mezi přebytkovými a deficitními jednotkami. Volné finanční prostředky by měla získat ta jednotka, která nabídne co nejvyšší výnos při co nejvyšší likviditě a co nejnižším riziku.
- Shromažďovací funkci, jež má za úkol dočasně shromažďovat finanční prostředky předtím, než se dostanou k deficitním jednotkám.
- Funkci obchodní (likvidity), která na finančním trhu zabezpečuje obchodovatelnost finančního instrumentu a investor má tak možnost přeměnit nelikvidní aktivum v podobě akcie, dluhopisu či podílového listu na hotovost.
- Cenotvornou funkci, která umožňuje, aby na finančním trhu docházelo ke střetu nadídky s poptávkou po finančním instrumentu. Výsledkem je stanovení ceny za určitý instrument, což přináší důležitou informaci jak pro makroekonomické subjekty (vláda), tak pro mikroekonomické subjekty

² Transakční náklady jsou nezbytné náklady k tomu, aby bylo možné uskutečnit ekonomickou transakci (např. emisní náklady, zprostředkovatelské poplatky, poplatky za administrativní a právní služby).

(investory, emitenty). Tyto subjekty pak mohou na základě stanovené ceny odhadnout budoucí výnos a úroveň rizika.

- Funkce diverzifikace rizika, jež spočívá v rozptýlení investičního rizika. K diverzifikaci rizika dochází v případě, že investor své volné finanční prostředky investuje do většího množství finančních instrumentů.
- Funkci uchovatele hodnot, která vysvětluje dopad inflace na uchování kupní síly vložených finančních prostředků a částečně se snaží snížit její negativní dopad na investora.

3 Charakteristika trhu KRYPTOMĚN

Pojem elektronické peníze vymezuje Smejkal (2001) jako digitální ekvivalent skutečných peněz, který je uložen na elektronických zařízeních, nebo na vzdáleném serveru. Digitální peníze lze uložit na mobilní telefon, který umožňuje zároveň i platbu, nebo na platebních účtech na internetu. První platební systémy (EPS) se začaly objevovat již v době vzniku internetu a mezi nejznámější patří zejména Ecash, Mondex, Cybercash nebo Milicent. Tyto systémy se snažily v reálném čase převést platby mezi subjekty, a to bez ohledu na jejich polohu. Jedinou podmínkou pro tento převod peněz bylo připojení k internetu. Hlavním cílem nebylo nahradit skutečné peníze, šlo především o náhradu skutečných peněz při tzv. mikro platbách z důvodu vysokých nákladů při transakci.

V moderních ekonomikách se většina transakcí provádí spíše prostřednictvím elektronických plateb než ve formě fyzické měny. Většina z těchto elektronických plateb jsou elektronické převody z vkladových a úvěrových účtů. Tyto převody usnadňují finanční instituce, jako jsou komerční banky a společnosti poskytující kreditní karty, a používají k tomu soukromé elektronické sítě.

Smith a Kumar (2018) rozdělují elektronické peníze do dvou odlišných kategorií: centralizované a decentralizované. Centralizované elektronické peníze se především spoléhají na centrální instituci, která spravuje emisi elektronických peněz a usnadňuje transakce. Decentralizované elektronické peníze nás přivádějí do říše kryptoměn. Decentralizace peněz znamená, že zde není žádná soustředěná státní moc, která by jakkoliv zasahovala nebo kontrolovala tok peněz prostřednictvím centrální banky a peníze se převádějí bez jakýchkoliv prostředníků v podobě bank, takže existuje jen přímá komunikace mezi uživateli. To znamená ušetření nákladů, času a také je zajištěna větší anonymita finanční transakce, jelikož šifrování je těžko prolomitelné. Neexistují zde žádné transakční poplatky, poplatky jsou pouze symbolické. Mezi další znak patří také celosvětová působnost.

Smith a Kumar (2018) uvádějí, že v současné době existuje ohromné množství kryptoměn, kterých je již přes 2000. Mezi nejznámější a nejrozšířenější zástupce patří již zmíněný Bitcoin. Další kryptoměny jsou pak například Litecoin, Ethereum, Ripple, Bitcoin Cash atd. Mnoho z nich funguje na stejném principu neboli na stejné kódové bázi, a liší se pouze určitými parametry. Počet kryptoměn se stále rychle zvyšuje, částečně proto že programový kód lze kopírovat a měnit, tudíž vytvořit nové kryptoměny lze poměrně snadno.

Greenberg (2011) představuje kryptoměnu jako typ měny, kterou lze považovat za novodobý druh peněz. Tato měna používá kryptografické metody³, ve kterých se používají pro šifrování a dešifrování odlišné klíče⁴. Kryptoměny nemají žádnou hmatatelnou existenci, jelikož jsou to elektronické signály a záznamy, které sledují transakce zprostředkované měnou. Vzhledem k jejich elektronické reprezentaci se kryptoměny označují také jako "digitální" nebo "virtuální" měny. Předpona *krypto* znamená "skryté" nebo "tajné" a je odvozena z řeckého slova *kryptos*.

Kryptoměna je tzv. digitální **P2P měna**. „Peer-to-peer“ je označení typu počítačových sítí, kde jsou všechny uzly rovnocenné a klienti spolu mohou komunikovat přímo bez existence centrálního uzlu (serveru). Na rozdíl od asymetrického modelu klient-server, v P2P roste s rostoucím počtem uživatelů i přenosová kapacita sítě. Nevýhodou P2P je obtížné prvotní navázání komunikace. Podle D. Stroukala a J. Skalického (2018) nemají kryptoměny, na rozdíl od současných peněz, žádnou centrální autoritu, jež by se za ně zaručovala či umožňovala „tisknout“ nové peníze. White (2015) označuje kryptoměny jako konkurenční soukromé nezapomenutelné peníze. Kryptoměny jsou decentralizovaná technologie, navržená pro usnadnění transakcí bez využití prostředků od centrální instituce.

Již od počátku vzniku internetu existovaly tendence k vytvoření digitální měny. Ekonomové, kryptografové a podnikatelé se pokoušeli přijít s úspěšným konceptem, ale jen minimum pokusů by se dalo považovat za úspěšné. Zásadním problémem digitální měny je totiž možnost **dvojitě útraty** (double spend). Dvojitá útrata znamená útok na bitcoinovou síť, při kterém útočník používá stejné Bitcoiny vícekrát (přesněji stejný výstup již existující transakce). Tento útok je možné snadno realizovat, jestliže příjemce platby nepožaduje potvrzení dané transakce. Čím větší počet potvrzených transakcí příjemce požaduje, tím hůře lze útok zrealizovat. Útočník musí následně vytěžit alternativní bloky⁵, čím zatěžuje svůj výpočetní výkon k útoku. Problém dvojitě útraty by byl standardně řešen prostřednictvím centrální autority.

Nebezpečí dvojitě útraty se podařilo decentralizovaně odstranit vynálezem "Blockchain" - univerzální distribuovaná kniha umožňující potvrzení transakcí a sledující jednotlivé transakce zabraňující podvodům. Blockchain je databáze finančních záznamů

³ Kryptografie je matematická disciplína zabývající se šifrováním (převodem zpráv do/z utajené podoby, kterou lze přečíst pouze se znalostí šifrovacího klíče.

⁴ Klíč je v oblasti kryptografie informace, která určuje průběh kryptografického algoritmu.

⁵ Blok je nejvýznamnější datová struktura bitcoinového protokolu, jež kóduje množinu transakcí, který svým zahrnutím potvrzuje.

"distribuovaných" přes více uzlů počítačové sítě. Žádná instituce, jako je banka, nenesou odpovědnost za údržbu uzlů a knih. D. Stroukal a J. Skalický (2018) nazývají blockchain jako tzv. „účetní knihu“, která je všem uživatelům dostupná a všichni mají možnost vidět historii všech transakcí. Jestliže uživatel nakopíruje bankovku a příjemce kopii nerozezná, může zaplatit jak novou, tak i původní bankovkou. K takové kontrole není třeba centrální autorita, pokud by byly všechny záznamy o platbách klasickými bankovkami u mnoha uživatelů, je snadné zjistit, že se podvodník snaží zaplatit něčím, co nemá.

Vznikající virtuální toky ovšem také představují neprobádané etické otázky. Krugman (2013) považuje celý tento platební systém za "zlo" a je toho názoru, že by měl být zakázán. Krugman (2013) zpochybňuje hodnotu Bitcoinu, ale vůbec nebere v potaz jeho elementární vlastnosti, které jsou základem jeho hodnoty. Jde především o jeho nemožnost zneužití a jeho soběstačný transakční systém, který nepotřebuje žádnou třetí stranu. Krugman (2013) vidí Bitcoin pouze jako prostředek směny a jeho hodnota je pouze spekulativní. Dále tvrdí, že tvorba nových Bitcoinů je drahá, protože vyžaduje těžbu, která je energeticky náročná a je toho názoru, že by se Bitcoin využíval v obchodu a mezi lidmi jen minimálně, což podle něj dokazuje snižování jeho hodnoty.

Angel a McCable (2014) porovnávají formy platebních, plastových a virtuálních měn – a dospěli k závěru, že mezi plátcem a příjemcem existuje často asymetrický mocenský vztah, který zpochybňuje spravedlnost těchto platebních forem. Platební nástroje jako takové jsou podle jejich názoru eticky neutrální, ale mohou být používány etickým nebo neetickým způsobem. Existují také etické problémy týkající se propojených datových iniciativ, jejichž cílem je publikovat strukturované údaje ve standardizovaném formátu, který lze vzájemně propojit a využívat společnými webovými technologiemi. Tato iniciativa souvisí s koncepcí Big Data (technologie vyvinuté pro řešení extrémně velkého množství dat) a pokroky v algoritmech strojového učení. Komplexní etický výzkum v této oblasti stále chybí.

3.1 Historie kryptoměn

Pokusy o zavedení elektronických peněz vznikly již ve 20. století, když docházelo k postupnému rozšiřování internetu. Požadavkem bylo přivést na trh elektronický platební nástroj, který by provedl rychlé platby bez ohledu na geografickou polohu či hranice státu. Začalo vznikat hned několik platebních internetových systémů, jako byly například

Ecash⁶ nebo Cybercash⁷. Hlavní funkcí těchto systémů měla být úhrada menších finančních částek, tzv. mikroplateb, za účelem úspory nákladů doprovázejících platební transakce. O úplnou náhradu skutečných peněz nešlo, ale spíše byla snaha o konkurenci šeků, směnek či platebních karet.(Martinák, 2015)

První kryptoměna, která vznikla v roce 2009, se nazývá Bitcoin. Je to doposud nejznámější a nejrozsáhlejší kryptoměna v historii digitální měny. Bitcoin je decentralizovaná forma online měny a je široce přijímaná pro internetové transakce po celém světě. Odstraní rušení jakékoli třetí strany, která sleduje tok peněz. Hlavní nevýhodou je ovšem vysoká volatilita.

Důvodů, které vedly ke vzniku kryptoměn, je mnoho a každý z nich má svůj význam. Prvotní potřeba jejich vzniku se odráží od klasických peněz. Klasické převody peněz jsou drahé, a navíc trvají až několik dní, což se s kryptoměnami stát nemůže, a to donutilo lidi se zamyslet nad lepší formou. Dalším důvodem vzniku je hlavně bezpečnost a transparentnost. U převodů přes bankovní účet není zřejmé, co se v daný okamžik s penězi právě děje a zároveň jsou někomu poskytnuty citlivé údaje.

Tyto zmíněné problémy v případě kryptoměn zcela zanikají. Převody i přes celý svět jsou rychlé, náklady minimální, transparentnost maximální a osobní údaje téměř žádné. (Kryptoměny - seznam, kurzy, investice)

3.2 Obchodování s kryptoměnami

Kryptoměny je možné koupit ve směnárnách, a to buď online, nebo ve speciálních automatech, které se nacházejí po celém světě. Nevýhodu nákupu v automatech představuje relativně méně výhodný kurz v porovnání s velkými burzami. Kryptoměnové směnárny (jako např. CoinMate, Coinbase, či Changelly) fungují na stejném principu jako klasické směnárny. Stačí si zdarma založit účet v této směnárně a na základě aktuálního kurzu lze koupit či prodat danou kryptoměnu s velmi nízkými poplatky (poplatek za transakci).

Nyní se již některé kryptoměny považují za plnohodnotnou alternativu ke klasickým měnám. Např. vlastník Bitcoinu může platit i v některých kamenných a internetových

⁶Ecash byl v roce 1982 pojat jako anonymní kryptografická elektronická peněženka nebo elektronický hotovostní systém.

⁷Cybercash byla internetová platební služba pro elektronický obchod se sídlem v Reston ve Virginii.

obchodech v ČR (např. Alza) pomocí QR kódu⁸. Na serveru coinmap.org jsou představena všechna místa, kde je možné platit kryptoměny, a ta se pohybují v řádu tisíců.

⁸ QR kód je čárový kód (spíše „čtverečkový“ kód) sloužící pro optické zpracování. Tvoří ho černé čtverečky v přesně rozměrné matici na bílém pozadí. Kód obsahuje 4úrovňové zabezpečení Reed-Solomon, který zabraňuje chybám (ustřižený roh, znečištění plochy).

4 Efektivnost finančních trhů

Samuelson & Nordhaus (1991) ve své publikaci uvádějí, že obecná definice efektivnosti je: „...*takové použití ekonomických zdrojů, které přináší maximální úroveň uspokojení dosažitelnou při daných vstupech a technologii...*“.

Na efektivnost z pohledu finančního trhu, které může být za určitých podmínek dosaženo, je možné pohlížet z několika hledisek a různých úhlů. Proto lze na finančním trhu dle Veselé (2011) posuzovat:

1. **Alokační efektivnost**, která požaduje, aby se volné finanční prostředky přesunuly k té deficitní jednotce, která nabízí ten nejvyšší výnos očištěný od rizika, tedy nejvyšší zhodnocení finančních prostředků při respektování rizika.
2. **Operační efektivnost**, které je dosaženo, pokud jsou volné finanční prostředky alokovány od přebytkových jednotek k jednotkám deficitním s minimálními transakčními náklady.
3. **Informační efektivnost** znamená, že kurzy investičních instrumentů okamžitě (skokově či prudce) reagují na novou, neočekávanou informaci a kurz se tedy dokáže okamžitě přizpůsobit.

Musílek (2011) předpokládá, že teorie efektivního trhu platí, jestliže jsou kurzy finančního instrumentu ovlivňovány očekávanými zisky, dividendami, rizikem, vznikem finančních panik, kolapsem firem a dalšími kurzotvornými informacemi. Trh, jenž lze označit jako efektivní, je takový, který velmi rychle dokáže absorbovat neočekávané informace, zároveň se všechny nejnovější a dostupné informace dostávají ke všem účastníkům trhu a současně zohledňují riziko, výnos a likviditu. V případě, kdy jsou všechny kurzotvorné informace pohlcovány kurzem finančního instrumentu, potom nedochází k nesouladu mezi kurzem finančního instrumentu a vnitřní hodnotou. Jestliže jsou finanční instrumenty správně oceněny, tak tržní cena udává jeho správnou hodnotu a na trhu pak není možné najít podhodnocené nebo nadhodnocené tituly. Pojem efektivnost se tedy uvádí ve smyslu efektivního zpracování nových informací.

4.1 Vývoj teorie efektivnosti

Veselá (2011) uvádí, že efektivní chování kurzů finančních instrumentů bylo již v minulosti prozkoumáno velkým množstvím ekonomů. Jako první zkoumal teorii efektivního trhu Louis Bachelier, který ve své práci v roce 1900 tuto teorii matematicky popsal. V té době

byla tato práce zcela nedoceněna a nebyla jí věnována téměř žádná pozornost, i když byla naprosto originální. Hlavní náplní jeho práce bylo vysvětlení teorie náhodných procesů cen komodit. Louis Bachelier došel k závěru, že změny cen jsou na sobě nezávislé.

Ve 30. letech minulého století objevili ekonomové (jako byl například H. Workink, A. Cowes a H. Jones), že korelační závislost cen britských a amerických akcií se různě přibližovaly k nule. Se skutečně systematickým přístupem ke zkoumání efektivního chování akciových kurzů přišel až Maurice G. Kendall v roce 1953. Ve své práci „The Analysis of Economic Time Series“ Kendall (1953) zkoumal chování krátkodobých změn akciových kurzů na londýnském a na americkém trhu komodit (ceny bavlny a pšenice), přičemž předpokládal, že se objeví pravidelné cenové cykly. Dospěl však k závěru, že se časové řady pohybují bez cíle. Z toho usoudil, že do procesu vstupuje „náhoda“, která se přidává k současné ceně a stanoví tak cenu na příští týden. Pro chování kurzů finančních instrumentů na efektivních trzích je charakteristické, že ceny konají „náhodnou procházku“⁹.

Stěžejní význam pro teorii efektivních trhů měla práce E. Famy (1965) „The Behavior of Stock Market Prices“, který taktéž dospěl k závěru, že se akciové kurzy chovají náhodně, jelikož toky informací přicházejí na trh nahodile a ihned se projevují v cenách cenných papírů. Tato práce byla pro vznik teorie efektivních trhů zlomová. Základy teorie efektivních trhů zformuloval podle vlastních výsledků a pozorování, a proto je E. Fama nazýván „otcem“ teorie efektivních trhů.

Na teorii efektivních trhů se E. Fama (1970) zaměřil i ve svém dalším zásadním díle „Efficient Capital Markets“. Podle dostupnosti informací zavedl tři typy efektivnosti trhu, a definoval efektivní trh jako trh, na kterém jsou již v ceně zahrnuty všechny dostupné informace.

4.2 Předpoklady efektivního trhu

Podle Veselé (2011) je praktické fungování efektivního trhu založeno na splnění několika nevyhnutelných předpokladů. Jestliže nejsou tyto předpoklady naplněny, jakékoliv formy efektivnosti na trhu nelze očekávat.

1. V první řadě k efektivnosti přispívá ziskový motiv investorů, a s jeho pomocí jsou během několika minut či sekund identifikovány a eliminovány odchylky kurzů od jejich vnitřní hodnoty.

⁹ Angl. Random Walk Hypothesis.

2. Efektivní trh se snaží co nejvíce přiblížit k tvrdě konkurečnímu trhu s velkým počtem nezávislých investorů, kteří mají rovnocenný přístup k informacím, technologiím a obchodním systémům.
3. Pro informační efektivnost trhu je zcela nezbytný volný, nepřetržitý tok informací o firmách, odvětvích, domácí ekonomice, ale i o zahraničních trzích a ekonomikách. Předpokládá se, že tyto informace jsou včasné, adekvátní, všem dostupné, korektní, kompletní a souvztažné.
4. Nutným technickým předpokladem pro fungování efektivního trhu je vybudování kvalitní infrastruktury na trhu, tj. zejména pružné, likvidní, bezchybné a transparentní pracování obchodního systému na burze, systému vypořádání obchodů, systému zabezpečujícího zpracování a šíření informací, ale i systému regulace a kontroly.
5. Hovoří-li se o efektivním trhu, musí to být trh likvidní, jelikož pouze na likvidním trhu je možné zabezpečit nepřetržité, prudké a adekvátní promítání nových, neočekávaných informací do kurzů investičních instrumentů.
6. Pro fungování trhu operujícího na určitém stupni efektivnosti je víceméně samozřejmostí, že musí být podpořen kvalitní právní legislativou, jenž vytvoří korektní právní prostředí pro všechny aktivity na tomto trhu a přesně vymezí práva a povinnosti subjektů a institucí na trhu.

4.3 Formy teorie efektivnosti

Intenzitu efektivnosti trhu lze měřit podle druhu informací, jež jsou velmi prudce, rychle a téměř okamžitě kurzy absorbovány. Finanční trhy mohou mít však různou formu efektivnosti. Všechny závislé informace, které na se na trhu a v ekonomice utváří, rozdělil E. Fama (1970) do tří skupin s ohledem na jejich publicitu. Do první skupiny seřadí veřejné informace s historickým charakterem, do druhé pak aktuální, současné, právě zveřejněné informace a třetí skupina zahrnuje informace neveřejné, důvěrné neboli inside informace. Podle rychlosti a prudkosti absorbování informací do kurzů formuloval E. Fama (1970) a také H. Roberts (1967) tyto tři stupně efektivnosti trhu:

1. Slabá forma efektivnosti
2. Středně silná forma efektivnosti
3. Silná forma efektivnosti

4.3.1 Slabá forma efektivity

Jedná se o takovou situaci na trhu, kdy kurzy finančních instrumentů téměř okamžitě vstřebají všechny minulé (historické) informace, které je možné získat ze souboru historických dat. Investor díky tomu nemůže z historických dat odhadovat další vývoj kurzu v budoucnu a změna kurzu je náhodná. Jestliže nelze použít minulý trend pro predikování budoucího vývoje, potom ani teorie Dow¹⁰ nemůže objasnit podstatu chování kurzů. F. S. Mishkin (1991) uvádí, že technická analýza, která se používala k předpovídání cen finančních instrumentů je založena na studiu minulých údajů o cenách a na hledání vzorců v podobě trendů a pravidelných cyklů ve vývoji cen. Podle vzorce jsou pak určena pravidla pro prodej a nákup finančních instrumentů. Teorie efektivních trhů ukazuje, že technická analýza je plýtváním času a tudíž minulé údaje o cenách nemohou pomoci v odhadování budoucího vývoje cen. Kurzové pohyby jsou zcela nezávislé, náhodné, stejně jako výskyt informací, na které reagují. Náhodný a nezávislý pohyb kurzů popírá na trhu existenci jakýchkoliv trendů.

4.3.2 Středně silná forma efektivity

Jde o vyšší stupeň efektivity, než je slabá forma. Podle E. Fama (1970) nastává tehdy, pokud kurzy téměř okamžitě odrážejí nejen veškeré minulé (historické) informace, ale také všechny aktuální (současné) veřejně dostupné informace. Ty jsou na středně silně efektivním trhu rychle, téměř okamžitě absorbovány kurzy, a proto žádná analýza na tomto trhu nemůže zabezpečit dosažení vyšších než rovnovážných výnosů. Pokud se finanční trhy chovají efektivně ve středně silné formě, potom nelze objevit špatně oceněné finanční instrumenty. Při této úrovni efektivity nemá význam nejen technická analýza, ale ani psychologická analýza, nebo fundamentální analýza, jejíž jádro tvoří teorie vnitřní hodnoty finančního instrumentu. K nadprůměrnému výnosu na tomto typu trhu mohou investorovi pomoci pouze inside informace.

4.3.3 Silná forma efektivity

Silná forma efektivity vystihuje skutečnost, kdy aktuální kurz finančního instrumentu obsahuje všechny veřejné a neveřejné informace tvořící kurz. Jedná se o nejvyšší stupeň efektivity a kurz absorbuje téměř okamžitě veškeré informace, které je možné

¹⁰Charles Dow rozdělil trend podle horizontu na primární, sekundární a terciární. Vychází z předpokladu, že se většina akcií na trhu chová na trhu stejným či podobným způsobem a jen málo z nich vykazuje jiné chování. Více viz Musílek (2011), str. 391.

jakkoliv a kdekoliv získat. Tento trh bývá také označován jako trh perfektní a kurz pak v každé chvíli odpovídá jeho vnitřní hodnotě. Podle E. Famy (1970) je na efektivním trhu díky okamžité reakci finanční instrument správně oceněn, tudíž žádný druh informací nezajistí nadprůměrné výnosy, které jsou vyšší než ty rovnovážné. Kurzy finančních instrumentů konají náhodnou procházku, což zcela potlačuje existenci jakýchkoliv trendů v jejich vývoji.

4.4 Podstata a model hypotézy efektivního trhu

Veselá (2011) datuje počátky koncepce efektivního trhu již v 60. letech minulého století. V této době vzniklo hned několik modelů hypotézy efektivního trhu. Každý model vycházel z předpokladu, že kurzy finančních instrumentů okamžitě a úplně absorbují všechny dostupné relevantní informace. V tomto případě tržní kurz finančního instrumentu odpovídá jeho pravdivé (vnitřní) fundamentální hodnotě. Nastává tzv. stochastická rovnováha, při níž není možné, jakkoliv vydělat na rozdílu mezi tržním kurzem a pravdivou fundamentální hodnotou finančního instrumentu.

S ohledem na skutečnost, že každá reakce na novou a neočekávanou informaci je na efektivním trhu okamžitá, se reakce neposouvá do dalších dní. Potom nemůže na takovém trhu nastat rozdíl mezi skutečnou a očekávanou výnosovou měrou. Trh nyní pracuje jako „fair hra“ - Fair game. Pokud jsou plně absorbovány informace a není rozdíl mezi skutečnou a očekávanou výnosovou měrou, pak E. Fama (1970) matematicky vyjadřuje skutečnou výnosovou míru jako:

$$r_{i,t+1} = E(r_{i,t+1}/\theta_t) + \varepsilon_{i,t+1}$$

kde $r_{i,t+1}$ je skutečná výnosová míra z finančního instrumentu i v období $t+1$,

θ_t je soubor dostupných informací v čase t ,

$E(r_{i,t+1}/\theta_t)$ je očekávaná výnosová míra z finančního instrumentu i v čase $t+1$ za podmínek informačního souboru dostupného v čase t (pouze soubor minulých informací),

$\varepsilon_{i,t+1}$ je predikční chyba v čase $t+1$ u výnosové míry z i -tého finančního instrumentu.

Jestliže je predikční chyba chybou nesystematickou, musí pro podmínky Fair Game modelu splňovat tyto tři vlastnosti:

- a) být nestranná ve vztahu k očekávané výnosové míře, tzn., že v průměru všech pozorování dohromady musí být hodnota této predikční chyby 0,
- b) být nezávislá na očekávané výnosové míře,
- c) být efektivní (pokud je predikční chyba i -tého finančního instrumentu současně sériově nekorelovaná s predikční chybou j -tého finančního instrumentu).

E. Fama (1970) odvozuje vztahy mezi očekávaným a běžným kurzem a očekávanou výnosovou měrou i -tého finančního instrumentu, jestliže jsou splněny podmínky pro platnosti Fair Game modelu. Potom nic nebrání fungování hypotézy efektivního trhu v její slabé formě:

$$E(P_{i,t+1}/\theta_t) = [1 + E(r_{i,t+1}/\theta_t)]P_{i,t}$$

- kde
- $E(P_{i,t+1})$ je očekávaný kurz finančního instrumentu i v období $t+1$,
 - $E(r_{i,t+1})$ je očekávaná výnosová míra z finančního instrumentu i v období $t+1$,
 - $P_{i,t}$ je kurz finančního instrumentu v období t ,
 - θ_t je soubor dostupných informací v období t .

Očekávaný kurz finančního instrumentu i v období $t+1$ je stanoven na základě kompletního souboru informací dostupných v období t , běžného kurzu finančního instrumentu i v období t a očekávané výnosové míry finančního instrumentu i v období $t+1$, která je určena souborem všech dostupných informací. (Veselá, 2011)

Na trhu, kde se v kurzu odráží všechny dostupné informace souboru θ_t , platí pro rozdíl mezi skutečným kurzem v období $t+1$ a očekávaným kurzem finančního instrumentu i v období $t+1$ následující vztahy:

$$x_{i,t+1} = P_{i,t+1} - E(P_{i,t+1}/\theta_t)$$

- kde $x_{i,t+1}$ je rozdíl mezi očekávaným a skutečným výnosem kurzem finančního instrumentu i v období $t+1$.

Veze-li se v úvahu, že všechny dostupné informace ze souboru θ_t jsou okamžitě absorbovány kurzem, bude očekávaný kurz finančního instrumentu v období $t+1$ roven

skutečnému kurzu finančního instrumentu v období $t+1$ při respektování informací známých v období t , tak následně platí, že:

$$E(x_{i,t+1}/\theta_t) = 0$$

kde $E(x_{i,t+1}/\theta_t)$ je očekávaný rozdíl mezi očekávaným a skutečným výnosem kurzem finančního instrumentu i v období $t+1$.

Při respektování těchto podmínek Veselá (2011) uvádí, že neexistuje možnost dosáhnout jakéhokoliv zisku z rozdílu mezi očekávaným a skutečným kurzem na základě souboru informací θ_t . Při odhadování očekávané výnosové míry je příhodné vyjít z aktuální výnosové míry. Je to z toho důvodu, že nově uvolněné informace jsou nepředvídatelné a neočekávané. Kdy bude nová informace zveřejněna, není možné dopředu predikovat. Jestliže je stanovena tato hypotéza efektivního trhu, tak platí:

$$E(x_{i,t+1}/\theta_t) = r_{i,t}$$

Podle Campbell, Lo, & MacKinlay (1997) je snad nejčasnějším modelem cen finančních aktiv Martingale model, jehož původ spočívá v historii hazardních her a zrození teorie pravděpodobnosti. Přední italský matematik Girolamo Cardano navrhl elementární teorii hazardních her ve svém rukopise Liber de Ludo Aleale z roku 1665, ve kterém napsal, že nejzákladnějším principem všech hazardních her jsou jednoduše stejné podmínky.

Model náhodné procházky obecně sleduje, jak se náhodně mění ceny finančních aktiv a předpokládá, že se ceny mění nahodile, tedy že nejsou nijak ovlivňovány historickými cenami. Náhodná procházka představuje pravděpodobnost, že cena finančního instrumentu vzroste a je stejná jako pravděpodobnost, že cena finančního instrumentu klesne. Tato teorie nepředvídá budoucí pohyby cen, ačkoliv teorie přiznává v dlouhém období akcie vykazují růstový trend. Rovnice náhodné procházky, nebo-li Random Walk Modelu, vypadá v základním tvaru takto:

$$p_t = p_{t-1} + \varepsilon_t \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2)$$

Tato rovnice vyjadřuje náhodnou procházku, jelikož jsou cenové změny ε_t stochastickým procesem. Gujarati & Porter (2009) označují chyby bílého šumu jako ε_t a jedná se o sérii náhodných veličin se stejným rozdělením, konstantním rozptylem a nulovou

střední hodnotou. Rovnice p_t představuje současnou cenu, která se rovná součtu ceny minulé p_{t-1} a změny ceny investičního instrumentu ε_t . IID je pravděpodobnostní rozdělení, z něhož vycházejí výnosy, jejichž změny cen jsou za dané časové období nezávislé, jejich střední hodnota je rovna nule a rozptyl je v čase konstantní.

$$E(\varepsilon_t) = 0$$

$$var(\varepsilon_t) = \sigma^2$$

$$cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = 0, kde k \neq 0$$

Jestliže jsou splněny výše uvedené podmínky (nenáhodné veličiny) první diference cenových změn, lze hovořit o náhodné procházce typu RW1. Ovšem tento model omezuje příliš mnoho podmínek, které se vylučují s realitou používání dat a modelů, a z toho důvodu vznikl model náhodné procházky RW2. Tento model udržuje pouze předpoklad pro nezávislost cenových diferencí, jež se nepřekrývají v časových intervalech. V modelu RW2 není překážka, ani změna střední hodnoty, ani nehomogenní rozptyl.

Širší koncept náhodné procházky nabízí model RW3, který neakceptuje pouze lineární závislosti, přičemž dovoluje i ostatní formy závislosti. Model udává, že cenové diference na sobě nemusí být závislé, ale nesmí být korelované. (Gujarati & Porter, 2009)

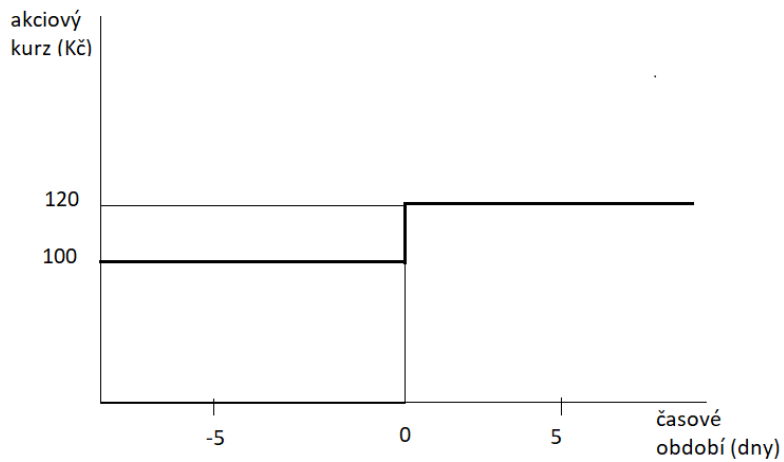
4.5 Charakteristiky efektivního trhu

Tyto charakteristiky dosahují veškerých podstatných rysů, důsledků a aspektů efektivního trhu. R. A. Haugen (1993) vymezil podstatu efektivního trhu do čtyř základních charakteristik, konkrétně se jedná o:

1. Reakce kurzů cenných papírů na novou, neočekávanou informaci je okamžitá a skoková.

Novou a neočekávanou informaci absorbuje na efektivním trhu kurz finančního instrumentu velmi rychle, prudce a během několika minut či dokonce sekund. Kurzy na efektivním finančním trhu odpovídají na neočekávanou informaci pouze skokem. Přijatelná reakce na efektivním trhu je pouze okamžitá, skoková reakce na souvztažnou novou, neočekávanou informaci.

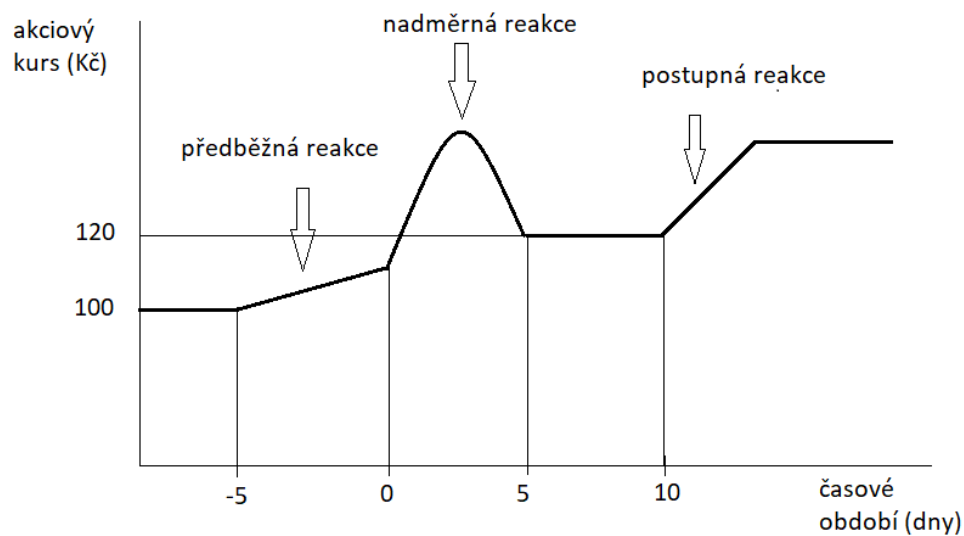
Obrázek 1: Okamžitá, skoková reakce kurzu finančního instrumentu na novou, neočekávanou informaci oznámenou ke dni 0



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselé (2011)

Jiné druhy reakcí kurzů na novou, neočekávanou informaci jsou naprosto v rozporu s efektivním trhem. Jedná se o reakci postupnou, nebo také zpožděnou trvajícím vždy několik dní a její existenci předpokládá finanční analýza. Dále je to reakce předběžná, uskutečněná postupně ještě před dnem oznámení nové, neočekávané souvztažné informace a je spojována s Insider obchody na trhu. V poslední řadě jde o reakci nadměrnou, přehnanou, jež je obvykle způsobena psychologickými faktory a atributy.

Obrázek 2: Postupná, předběžná a nadměrná reakce kurzu finančního instrumentu na novou, neočekávanou informaci oznámenou ke dni 0



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselé (2011)

2. Kurzy cenných papírů jsou nezávislé z období na období a konají náhodnou procházku.

V případě oznámení nové, neočekávané informace na efektivním trhu je reakce kurzů ukončena ještě ten daný týden. Jelikož jsou změny v kurzech vyvolávané různými informacemi nezávislé a zároveň jsou reakce vyvolávané těmito informacemi náhodné. K náhodnému pohybu kurzů přispívá skutečnost, že oznámená informace je nová, neočekávaná a nelze ji dopředu odhadnout. Pokud by bylo možné tento odhad realizovat, kurzy by již nevykazovaly žádný pohyb v souvislosti s danou informací.

3. Na efektivním trhu není žádný investor schopen opakovaně a dlouhodobě získávat nadprůměrný výnos.

Na efektivním trhu stále dochází k tomu, že jsou kurzy neustále a velice rychle tlačeny ke své rovnováze, a to díky ziskovému motivu. Důsledkem neustálé aktivity investorů se velice rychle eliminují možné ziskové a ztrátové příležitosti. Celkový dlouhodobý výnos jednotlivých investorů na trhu se potom statisticky nijak významně neodchýlí od tržního průměru. Tato charakteristika netvrdí, že investor nemůže za sledované období na efektivním trhu zcela výjimečně dosáhnout vyššího než průměrného výnosu. Naopak ale tvrdí, že nadprůměrného výnosu není nikdo schopný na efektivním trhu dosáhnout opakovaně a trvale. Alfa

faktor, měřící odchylky skutečně dosaženého výnosu od výnosu rovnovážného, by se neměl na efektivním trhu nijak výrazně vzdalovat od nuly. Tyto instrumenty přináší výnosovou míru, která se podstatně neodchyluje od rovnovážné výnosové míry, odvozené od míry rizika spojeného s daným instrumentem.

4. Veškeré obchodní a investiční strategie na efektivním trhu ve snaze o dosažení nadprůměrného výnosu selhávají.

Všechny investiční a obchodní strategie jsou předurčeny k neúspěchu, jelikož žádná z nich není schopna investorovi přinášet z dlouhodobého hlediska nadprůměrný výnos. Při pokusu dosáhnout vyššího, než průměrného výnosu pak všechny strategie selhávají. Efektivní trh je schopen adekvátně a bezchybně ocenit každý finanční instrument a ve svém ocenění se neplete. Na efektivním trhu odpovídá kurz vnitřní hodnotě finančního instrumentu. Jakákoliv aktivní investiční strategie zaměřená na rozpoznávání špatně oceněných instrumentů, musí být na tomto typu trhu neúčinná a neúspěšná.

Praktické fungování teorie efektivních trhů ověřují testy a empirické studie, které se často vrací k uvedeným charakteristikám efektivního trhu. Pomocí nejrůznějších metod se ekonomové snaží ověřit, zda je nějaká charakteristika v praxi naplněna. Pokud se empirické studie a testy efektivnosti odrážejí od historické kurzové řady (nejčastěji), testují naplnění pouze slabé formy efektivnosti trhu. Zpravidla se testy efektivnosti a souvztažné studie zabývají druhou a čtvrtou charakteristikou, jejichž splnění lze prověřit relativně nejsnáze. Pokud je prověřována druhá charakteristika, je hledán jakýkoliv trend či závislost pohybu kurzů a to pomocí např. korelačních testů, simulačních testů, distribučních modelů nebo runs testů. Ovšem jejich vypovídací schopnost je velice omezená a často zkreslená. Proto je možné se odrazit od složitějších modelů, např. od deterministických modelů časových řad, Box-Jenkinsovy metody neboli stochastických modelů časových řad. Nejvíce se pozornost vztahuje k fungování čtvrté charakteristiky efektivního trhu. Její studie se zaměřují na výnosové míry nejrůznějších obchodních a investičních strategií a tyto výnosové míry následně porovnávají s výnosovou měrou finančního indexu, který je obvykle zástupce tržního portfolia a v tomto případě plní funkci benchmarku¹¹. O slabé formě efektivnosti lze hovořit, pokud není čtvrtá charakteristika naplněna. To znamená, že výnosová míra je

¹¹ Benchmark = nástroj strategického managementu, jde o nepřetržitý a systematický proces, který porovnává a měří produkty za účelem definovat cíle zlepšování vlastních aktivit.

vyprodukována jakoukoliv investiční či obchodní strategií se zahrnutými transakčními náklady vyššími, než je průměrná výnosová míra. (Veselá, 2011)

4.6 Testování teorie efektivnosti

Musílek (1999) se zmiňuje o tom, jak teorie efektivnosti odpovídají realitě. K potvrzení či vyvrácení efektivností slouží:

1. Testy slabé formy efektivnosti
2. Testy středně silné formy efektivnosti
3. Testy silné formy efektivnosti

4.6.1 Testy slabé formy efektivnosti

Neexistence žádného vztahu mezi historickými a budoucími kurzy značí slabou formu efektivnosti. Z jejich nezávislého chování tudíž nelze vypožorovat žádný trend a je testována za pomoci dvou rozdílných metod:

- metody kurzové závislosti a
- metody zkoumání úspěšnosti používání technických indikátorů.

Testování nezávislosti je především založeno na pozorování korelační závislosti kurzů v čase. Zásadní analýzu provedl E. Fama (1965) a v letech 1957 až 1962 zkoumal denní výnos, který byl obsažen v indexu Dow-Jones-Industrial-Average. Každé společnosti bylo vypočteno 10 korelačních koeficientů na základě denních dat. Prvním korelačním koeficientem byla měřena závislost výnosu dosaženého ve dne 0 s výnosem v den 1 a druhým korelačním koeficientem pak vztah mezi výnosem ze dne 0 s výnosem ze dne 2 atd. Výsledky korelačních koeficientů se ve většině případů blíží k nule, a proto E. Fama (1965) vypočetl tyto korelační koeficienty i pro delší období. Výsledky byly bohužel stejné a ve svých dalších analýzách pokračoval ve svých dalších (již zmíněných) dílech. Závěry jeho prací lze shrnout takto:

1. Výnos z finančního instrumentu nemá žádný vztah k minulému výnosu.
2. Dowova teorie vysvětlující chování kurzů finančních instrumentů je naprosto chybná, jelikož neexistuje žádné trendové chování těchto kurzů.
3. I přesto, že se korelační koeficienty blíží k nule, vykazují většinou kladnou hodnotu. Je to z toho důvodu, že rizikové instrumenty přinášejí pozitivní výnos.
4. Výnosy z pokladničních poukázek a finančních derivátů se rovněž chovají náhodně.

Analýzu efektivnosti dále prováděl B. Solnik (1973) na evropských akciových trzích a testování prováděl při použití jednodenních, týdenních a měsíčních dat. Dospěl ke stejnému závěru, že kurzy konají náhodnou procházku. Avšak u jednodenních závislostí zjistil určité poruchy v náhodném pohybu. Tuto skutečnost vysvětluje především nízkou likviditou evropských akciových trhů.

Jiní ekonomové, stejně jako E. Fama a B. Solnik, prokázali, že se korelační koeficienty mezi akciovými kurzy na nejlíkvnějších trzích přibližují nule. Což napovídá, že neexistují trendy vysvětlující chování kurzů podle teorie Dowa.

Druhá metoda umožňující testování kurzové nezávislosti je založena na zkoumání úspěšnosti použití technických indikátorů. Pro určení výsledků je nejčastěji využívána filtrovací technika, klouzavé průměry a relativní síla. Filtrovací technika se zakládá na stanovení určitých hranic a po jejich překročení jsou realizovány nákupy, nebo naopak při poklesu pod stanovenou hranici dochází k prodejem finančních instrumentů. E. Fama a M. Blume (1966) empirickými testy prokázali, že při používání filtrovací techniky nejsou dosahovány lepší výsledky než na základě strategie „kup a drž“¹². Stejně tak testy založené na klouzavých průměrech¹³ neprokázaly dosažení nadprůměrných výnosů. Ovšem R. Levy (1967) dokázal, že za použití indikátoru relativní síly¹⁴ lze oproti strategii „kup a drž“ dosahovat nadprůměrných výnosů. Jeho výsledky zpochybnili investiční ekonomové (např. M. Jensen (1967) nebo M. Jensen a G. Bennington (1970)), kteří svou kritiku zaměřili na nezohlednění rizikových faktorů. I s ohledem na riziko většina empirických studií dokázala, že k dodatečnému výnosu investorům nepomůže ani indikátor relativní síly.

4.6.2 Testy středně silné efektivnosti

Středně silná efektivnost ve zkratce říká, že nové informace jsou absorbovány tržními kurzy pouze s malým zpožděním. Testy středně silné efektivnosti se zaměřují na to, jak rychle jsou vstřebávány nové informace. Především sledují reakce akciových kurzů na štěpení akcií, zisk, účetní změny, změny dividend a změny peněžní nabídky. Reakce akciových kurzů na štěpení akcií sledovali především E. Fama, M. Fisher, M. Jensen a R. Roll (1969)

¹² „Kup a drž“ je investiční strategie, která je založena na nákupu finančních instrumentů na velmi dlouhé období.

¹³ Klouzavé průměry slouží ke zjištění směru a míry pohybu kurzů. Ze vztahu mezi aktuálním kurzem a průměrným (klouzavým) kurzem finančního instrumentu jsou odvozeny nákupní a prodejní signály.

¹⁴ Indikátor relativní síly pozoruje chování kurzu jednoho finančního instrumentu v časové řadě k jiným finančním instrumentům. Jestliže se zvýší kurz jednoho finančního instrumentu více než kurz jiného finančního instrumentu, nebo klesne méně, je finanční instrument považován za relativně silný.

a odhalili, že akciové kurzy nejvíce rostou před veřejným ohlášením, předtím než dojde ke štěpení akcií. Na tuto informaci už akciové kurzy po ohlášení štěpení nereagují. Jejich výzkum potvrzuje středně silnou formu efektivnosti, protože akcionář nemůže získat nadprůměrný výnos ze štěpení, když nakoupí akcie po veřejném oznámení. (Musílek, 1999)

4.6.3 Testy silné formy efektivnosti

Základem silné formy efektivnosti je, že kurzy finančních aktiv ihned absorbují a berou v úvahu všechny kurzotvorné informace (věřejné i neveřejné). Na finančním trhu vzniká nerovnost investorů, kteří se liší přístupem k novým informacím. Ale podle silné formy efektivnosti by v dlouhém období měli jak špatně, tak dobře informovaní investoři dosahovat stejné výnosové míry. Testy silné formy efektivnosti sledují, zda osoby s monopolním přístupem k informacím dosahují nadprůměrných výsledků. Chování finančních trhů při silné formě efektivnosti empirické důkazy nepotvrzují, neboť velmi dobře informované osoby (manažeři podniků nebo burzovní zprostředkovatelé) mohou dosahovat i v dlouhém období nadprůměrných investičních výsledků.

Závěrem teorie efektivních trhů je objasnění chování kurzů finančních instrumentů a je hlavním směrem současné moderní investiční ekonomie. Ta si jako předního zástupce zvolila americký akciový trh jako největší, nejlikvidnější a nejrozvinutější finanční trh na světě. Převážná většina světových investičních ekonomů souhlasí s názorem, že se nejlikvidnější finanční instrumenty na světovém trhu chovají poměrně efektivně. L. Pastor a P. Veronesi (2009) tvrdí, že efektivnost není konstantní, ale mění se v čase a to z důvodu kolísání likvidity finančních trhů. Zároveň dochází ke změnám v investičním prostředí, což může mít za následek nepřesné vstřebávání zcela nových informací.

4.7 Anomálie na efektivním trhu

Odpověď na otázku, zda a v jaké formě je finanční trh efektivní, není bohužel do dnešní doby zcela vyřešena a zodpovězena, přestože byly publikovány studie potvrzující naplnění slabé formy efektivnosti na vybraných finančních trzích ve vyspělých zemích (např. v USA a Velké Británii). Naopak jiné výzkumy a studie vyvrátily naplnění středně silné, v některém případě dokonce slabé formy efektivnosti. Tyto studie stále dokazují existenci určitých anomálií (efektů narušujících efektivnost trhu) či situací, které se na trhu pravidelně vyskytují a jejich existence investory podporuje pravidelně a dlouhodobě v dosažení

nadprůměrného výnosu, a to je v rozporu zejména s druhou a čtvrtou charakteristikou trhu. Podle Veselé (2011) k nejznámějším, nejzkoumanějším či nejsilnějším anomáliím patří:

1. Lednový efekt (The January Effect)

Lednový efekt se týká zejména malých firem, a jak je zřejmé z jeho názvu, působí v měsíci lednu. Pohyb kurzů je v lednu větší než v ostatních měsících roku a růst kurzů znamená vysoké kapitálové zisky. D. B. Keim (1983) konkrétně sledoval výnos amerických akcií malých a velkých firem za prvních pět dní v lednu za období 1963-1979 a zaznamenal průměrný rozdíl +8,16%. Lednový efekt je vysvětlován za prvné chováním investorů a manažerů, kteří vyhodnocují výkonnost svého portfolia a následně portfolio upravují a doplňují o akcie malých firem, a za druhé snažením investorů o daňovou optimalizaci.

2. Pondělní (týdenní) efekt (The Day of the Week Effect)

Pondělní efekt je vyvolán tím, že se kurzy finančních instrumentů v průběhu týdne pohybují podle jakéhosi stálého vzoru. Lze říci, že existuje určitá sezónnost v časové řadě kurzů. To je ovšem v rozporu s předpokladem efektivního trhu, tedy náhodným pohybem kurzů. Výsledky testů provedených na amerických datech, jež provedli M. R. Gibbons a P. Hess (1981), vypovídají, že pondělní změny kurzů byly největší a negativní (pravidelně klesaly). Pondělní efekt je zejména vysvětlován pondělními reakcemi investorů na zásadní negativní informace, informace přicházející v pátek, či motivy a náladami investorů a dalšími psychologickými vlivy. Keef (2009) uvádí, že existují dva druhy pondělních efektů. První definice je, že průměrný výnos je vždy v pondělí nižší než nula a druhá definice říká, že jsou pondělní výnosy v průměru statisticky nižší než v ostatních dnech.

3. Efekt velikosti (The Size Effect)

Efekt velikosti, je možné též označovat jako efekt malých firem či efekt s nízkou kapitalizací. Podle R. W. Banze (1981) je základem fakt, že akcie firem s nízkou kapitalizací přináší investorům nadprůměrný výnos. Investování do akcií malých firem je spojené s problémem většího rizika a nižší likviditou. Vzhledem k tomu, že o těchto firmách jsou informace těžko dostupné, nejsou úplné a existují zde vysoké transakční náklady.

4. Efekt nízkého P/E ratio (The Low P/E Ratio Effect)

Jedná se o jednu z nejúspěšnějších strategií v souvislosti s nákupem finančních instrumentů. Finanční instrumenty by se měly nakupovat s nejnižšími hodnotami ukazatele Price/Earnings ratio, tyto finanční instrumenty následně mohou přinést investorům značně nadprůměrné výnosy v různých časových periodách. Efekt je vysvětlován především závislostí investorů na minulých datech a událostech nebo propletením efektu nízkého P/E ratio s jinými efekty, např. efekt velikosti a zanedbaných firem.

Mezi ostatní efekty patří efekt nízkého P/BV ratio, efekt nízkého P/S ratio, efekt zanedbaných firem, efekt překvapujících výnosů, efekt fúzí a akvizic, efekt akcií uzavřených fondů, efekt emise nových akcií a efekt kótace.

Výše uvedené anomálie a efekty narušující silnou, středně silnou, a dokonce i slabou formu efektivnosti trhu, nejsou zdaleka konečné. Empirické výzkumy, které jsou spojeny s problematikou fungování efektivních trhů, přinášejí stále další, méně známé a významné anomálie či efekty působící na trhu za určitých okolností. Jde např. o měsíční efekt, denní efekt, efekt hospodářských cyklů, prázdninový efekt, efekt nákladů zastoupení nebo efekt hotovostních dividend.

Mimo anomálií, které prokazatelně působí na kapitálových trzích, se ve prospěch naplnění efektivnosti trhu v USA a Velké Británii objevily také události a jevy, jako např. velmi silná a rychlá reakce kurzů finančních instrumentů na globální světové události, reakce na oznámení účetních změn ve společnosti souvisejících se středně silnou formou efektivnosti nebo prudká reakce kurzu na oznámení změny diskontní sazby. (Fama, Fisher, Jensen, & Roll, 1969)

Veselá (2011) je toho názoru, že pokud není na finančním trhu z důvodu existence různých anomálií naplněna středně silná forma efektivnosti, není možné, aby bylo dosaženo naplnění formy silné efektivnosti. Spolu s problémem zneužívání inside informací bylo provedeno několik studií se zajímavými výsledky. Se silnou formou efektivnosti na finančním trhu jsou v rozporu aktivity burzovních specialistů a firemních manažerů v USA, a naopak podporu poskytují svými často podprůměrnými výsledky analytici, manažeři a správci portfolií.

4.8 Novodobé důkazy neefektivnosti trhu

Konec 20. století vnesl převratné důkazy o neefektivnosti od několika ekonomů. R. J. Schiller (1981) poukazuje na výrazný rozdíl mezi vnitřní hodnotou akcií z indexů S a P 500 a DJIA, a jejich tržním akciovým kurzem za období delší než 50 let, který je v rozporu v jakoukoliv formou efektivnosti. S. F. Le Roy a W. R. Parke (1990) upozorňují u zkoumaného vzorku akcií na značné změny skutečné výnosové míry a skutečné míry růstu dividend. Podle obou ekonomů je kolísavost těchto veličin příliš vysoká na to, aby bylo možné potvrdit hypotézu o slabé formě efektivnosti trhu. Značná kolísavost zisků, kurzů, výnosových měr a dividend je zapříčiněna zvýšenou reakcí investorů na novou, neočekávanou a související informaci či reakcí investorů na informaci nesouvisející s finančním instrumentem.

L. H. Summers (1986) zdůrazňuje skutečnost, že kurzy obchodovaných akcií neodpovídají z pohledu fundamentální analýzy správně vnitřní hodnotě. Další ekonom, jenž rovněž zpochybňoval fungování efektivního trhu v praxi, byl autor charakteristik efektivního trhu R. A. Haugen (1999). Ten přišel s příklady nadměrných a nepřiměřených reakcí kurzů na novou a neočekávanou informaci. Je zřejmé, že v názorech, zda je trh efektivní či neefektivní, se ekonomové neshodují. Výzkum a testování se nejspíše potáhne i do dalších let a výsledky mohou být velice překvapující.

5 Behaviorální finance

Poměrně novým teoretickým směrem v investiční ekonomii, jež využívá poznatky z psychologie, jak se chovají investoři na trzích s finančními aktivy, jsou behaviorální finance. Zajímavostí je, že někteří významní představitelé tohoto investičního směru se rekrutují nejen z oblasti ekonomie, ale dokonce i z oblasti psychologie. Hlavními představiteli jsou především A. Tversky nebo D. Kahneman, kteří společně s V. L. Smithem v roce 2002 obdrželi Nobelovu cenu za ekonomii, a to za sjednocení poznatků psychologického výzkumu do ekonomických věd.

Musílek (2011) definuje behaviorální finance, jako interdisciplinární teorii studující vliv psychologie na rozhodování investorů a fungování trhů s finančními instrumenty. Tato teorie přináší poznatky, že se investoři nechovají vždy racionálně. Ovšem teorie efektivního trhu tento předpoklad má, ale podléhá ekonomickým vlivům.

D. Kahneman a A. N. Tversky (1979) vytvořili základ pro teorii behaviorálních financí, neboli prospektovou teorii. V dalších letech prospektovou teorii dále formulovali, a v roce 1992 nesla název kumulativní prospektová teorie. Obě zmíněné teorie mapují chování investorů v podmínkách rizika a nejistoty při výběru mezi investičními alternativami a zkoumají jejich chování. Předpokládají, že investoři jsou nejen averzní k riziku, ale i ztrátově averzní. Na rozdíl od klasického pojetí financí, které vychází z užitkové funkce, D. Kahneman a A. N. Tversky vycházejí z hodnotové funkce investorů. Na základě svých poznatků dospěli k výsledku, že užitek z dosažených výnosů má pomalejší růst než klesající užitek vznikající ztrátou z investičního instrumentu.

Teorie nadměrného sebevědomí se opírá o myšlenku, že někteří investoři a správci aktiv věří, že disponují nadprůměrnými investičními schopnostmi a obratností, a neustále převrstvují spravované portfolio, tudíž vykazují vysoce nadprůměrnou frekvenci obchodování. B. Barber a T. Odean (2000) potvrdili, že výsledkem nadprůměrného obchodování je značně podprůměrná výnosová míra v porovnání se strategií „kup a drž“.

Nadměrné reakce investorů na neočekávané informace a na nové dramatické události sleduje teorie přehánění. Předními představiteli teorie přehánění jsou W. F. De Bondt a R. H. Thaler (1995), kteří analyzují přehnané reakce investorů na neočekávané události a kurzotvorné informace. Jejich základní myšlenkou je, že pokud ceny finančních instrumentů pravidelně „přestřelují“ správné hodnoty po zveřejnění nových informací, musí nastávat i jejich opačný pohyb. Po nadměrné reakci je snadné zpětnou korekci úspěšně predikovat.

Další myšlenku do postupně se formulující teorie behaviorálních financí přináší teorie zarámování. Autory této teorie jsou D. Kahneman a A. Tversky (1981). Základem teorie je chování investorů při stejné kurzotvorné informaci, která je předložena odlišnými způsoby.

Myšlenka chování cen finančních instrumentů se objevila již v dřívějších letech a to v díle J. M. Kneise (1936) „Obecná teorie zaměstnanosti, úroku a peněz“. Modernější verzi investiční psychologie na něj navázali v 80. letech A. Shleifer a L. H. Summers (1990). V poslední dekádě díky globální finanční krizi vzniká rozpor mezi teorií efektivních trhů a behaviorálních financí, která má stále více přívrženců.

Tabulka 1: Srovnání teorie efektivních trhů a behaviorálních financí ⁽¹⁾

| | Teorie efektivních trhů ⁽²⁾ | Behaviorální finance ⁽³⁾ |
|---|---|--|
| Racionalita investora ⁽⁴⁾ | Investor se chová racionálně. | Chování investora může být ovlivněno psychologickými faktory a jeho chování není úplně racionální. |
| Očekávání investora ⁽⁵⁾ | Je v souladu s teorií očekávaného užtku. | Očekávání je ovlivněno rozdílným vnímáním kurzotvorných informací. |
| Trendy ⁽⁶⁾ | Neexistují, vývoj je náhodný. | Existují a vytváří je chování investorů. |
| Forma efektivnosti finančních trhů ⁽⁷⁾ | Trhy jsou převážně ekonomicky efektivní. | Trhy nejsou efektivní. |
| Chování cen finančních instrumentů ⁽⁸⁾ | Chovají se na základě náhodné procházky. | Řídí se především podle „investiční nálady“, podle očekávaných kurzotvorných faktorů, ale i chováním stáda (herding effect). |
| Dostupnost nových informací ⁽⁹⁾ | Spravedlivý a rovnocenný přístup. | Různá dostupnost informací pro každého investora. |
| Rovnováha na trhu a arbitráž ⁽¹⁰⁾ | Arbitráž zabezpečuje rovnováhu na trhu | Arbitráž často selhává, nemusí nutně směřovat |

| | | |
|---|--|--|
| | v každém okamžiku. | k cenové rovnováze. |
| Tržní anomálie ⁽¹¹⁾ | Anomálie se vyskytují náhodně a občas, a po jejich objevení zase zaniknou díky konkurenci na trhu. | Vyskytují se dlouhodobě a jsou způsobeny podobným rozhodováním významné části skupiny investorů. |
| Nadprůměrné výnosové míry ⁽¹²⁾ | Je možné dosahovat dlouhodobé nadprůměrné výnosy na rizikově očištěné bázi na základě nepoctivých praktik. | Dlouhodobé nadprůměrné výnosy na rizikově očištěné bázi lze dosahovat na základě správného odhadu chování na trhu. |
| Empirické důkazy ⁽¹³⁾ | Nelineární a lineární metody analýzy závislosti či nezávislosti časových řad při použití měsíčních, denních nebo vysokofrekvenčních dat. | Psychologické testy a využití empirických testů investičních ekonomů, jež objevili anomálie na finančních trzích. |

⁽¹⁾ Comparison of effective market theory and behavioral finance; ⁽²⁾ Theory of effective markets; ⁽³⁾ Behavioral finance; ⁽⁴⁾ Investor's rationality; ⁽⁵⁾ Investor expectations; ⁽⁶⁾ Trends; ⁽⁷⁾ Form of efficiency of financial markets; ⁽⁸⁾ Price behavior of financial instruments; ⁽⁹⁾ Availability of new information; ⁽¹⁰⁾ Market balance and arbitration; ⁽¹¹⁾ Market anomalies; ⁽¹²⁾ Above-average rate of return; ⁽¹³⁾ Empirical evidence. Zdroj: vlastní zpracování dle Musílka (2011)

6 Metodika

6.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je pomocí vybraných statistických testů posoudit chování vybraného finančního aktiva a ověřit či popřít hypotézu náhodné procházky vybraného finančního trhu.

6.2 Data

K analýze náhodné procházky byla použita data nejvíce známé kryptoměny, Bitcoin (BTC), vůči americkému dolaru (USD). Dále byly pro analýzu vybrány kryptoměny Ethereum (ETH) a Litecoin (LTC) ve vztahu k USD. Data jsou volně dostupná na internetové stránce www.yahoofinance.com.

Pro analýzu efektivit u denních dat byla stanovena časová přímka od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019. U měnových párů BTC/USD, ETH/USD, LTC/USD je počet pozorování 1 368. Časová přímka pro analýzu efektivit týdenní dat je stanovena od 1.1.2016 do 30.9.2019 a počet pozorování u týdenní časové přímky je 196. Analýza denních i týdenních kurzů poslouží k potvrzení efektivnosti vybraných měnových párů.

Data jsou zpracována ve statistickém programu EViews 10 a budou vyhodnocena pomocí vybraných statistických testů. Kurzy vybraných kryptoměn byly následně pro analýzu náhodné procházky transformována na logaritmické výnosy, a to pomocí logaritmické transformace podle vzorce:

$$\log \text{výnos}_t = \log \text{výnos}_t - \log \text{výnos}_{t-1}$$

6.3 Statistické testy

6.3.1 Runs test

Runs test je statistický test, který se používá k poznání náhodnosti v datech. Jedná se o neparametrický test. Na finančním trhu se provádí test náhodnosti, aby se zjistilo, zda se cena finančního instrumentu konkrétní společnosti chová náhodně, nebo zda existuje nějaký vzorec. Runs test vyjadřuje kladný nebo záporný běh a je to v podstatě posloupnost jednoho symbolu, jako je + nebo -. Narozdíl od parametrického testu je takový, že lze testovat rozdělení nejen číselných hodnot, ale i slovních hodnot. Hodnoty výnosů ε_t jsou tedy

vyjádřeny symboly + (růst ceny) a – (pokles ceny). Run je pojmenování nepřerušované řady jednoho či druhého symbolu jako je například:

+ + + + - - - - - - - - - - + + + + + +

Podle Čámského (2005) je prvním krokem Runs testu stanovení počtu runů v datovém výběru. V uvedeném příkladu nastane run 4 kladných cenových změn, následně run 9 záporných cenových změn a naposled run 6 kladných cenových změn. Počet runů v uvedené sérii jsou 3.

Pro určení, zda jsou cenové změny v časové řadě náhodné, je potřeba stanovit nulovou a alternativní hypotézu. Pro testování nezávislosti prvků v časové řadě je očekávaný počet runů $E(R)$, neboli střední hodnota, porovnán se skutečným počtem runů R . Hypotézy jsou stanoveny takto:

$$H_0 = R = E(R)$$

$$H_1 = R \neq E(R)$$

H_0 říká, že byla sekvence vytvořena náhodným způsobem a H_1 tuto hypotézu vyvrací, tudíž že sekvence nebyla vytvořena náhodně.

Kladná časová změna je označena jako N_1 a záporná změna je označena jako N_2 . Celková velikost vybraného souboru (počet pozorování) je tedy $N = N_1 + N_2$. (Gujarati & Porter, 2009)

$E(R)$ je očekávaný počet runů (střední hodnota), který lze vypočítat podle vztahu:

$$E(R) = \frac{2N_1N_2}{N} + 1$$

Jestliže je počet vzorků menší než 10, určují se kritické hodnoty ze speciálních tabulek, které závisí na hodnotách N_1 a N_2 . U vzorku, jehož hodnota $N_1 + N_2$ je větší než 10, je hodnota rozptylu runů následující:

$$\sigma_R^2 = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{N^2(N - 1)}$$

Vyhodnocení náhodnosti či nenáhodnosti cenových změn lze určit pomocí testové statistiky:

$$K = \frac{R - E(R)}{\sigma_R^2}$$

V návaznosti na uvedené vztahy lze stanovit u výběrového souboru střední hodnotu a směrodatnou odchylku, a následně vyjádřit interval spolehlivosti:

$$ER - z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma_R}{\sqrt{N}} \leq R \leq ER + z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma_R}{\sqrt{N}}$$

Výraz $\frac{\sigma_R}{\sqrt{N}}$ je standardní chyba výběru. Následně je možné snadno zjistit výpočtem hodnot normovaného normálního rozdělení, jestli leží hodnota v požadovaném intervalu spolehlivosti a poté zjistit pravděpodobnost, zda odpovídá vybraná časová řada hypotéze náhodné procházky. V praxi může nastat i situace tzv. nulové změny. Nulová změna znamená, že je pokles a růst cen v čase doplněn změnou 0. S takovou změnou se lze setkat na trhu, kde během dne nedojde vůbec k žádným obchodům nebo se cena změní tak bezvýznamně, že po jejím zaokrouhlení je tak malá, že ji lze považovat za nulovou. K těmto změnám dochází především na velmi málo likvidních trzích, proto budou v této práci užity metody, které nulovou změnu nezohledňují.

Náhodnost je jedním z klíčových předpokladů. Bohužel nevýhodou neparametrických testů je skutečnost, že neodhalí neplatnost nulové hypotézy. Proto je třeba využít větší vzorek dat pro větší sílu testu než u testů parametrických. (Gujarati & Porter, 2009)

6.3.2 Testy poměru rozptylů

Lo & MacKinley (1988) navazují na definici náhodné procházky a domnívají se, že je rozptyl výnosů lineární funkcí času. Aby se jednalo o náhodnou procházku, musí být rozptyl výnosů ve dvou dnech dvojnásobkem rozptylu denních výnosů. Poměr rozptylů má potom tvar:

$$VR(q) = \frac{\sigma^2(q)}{\sigma^2(1)},$$

kde je $\sigma^2(q)$ rozptyl q -tých diferencí dělený q a $\sigma^2(1)$ je rozptyl prvních diferencí.

Jestliže se poměr rozptylů $VR(q)$ rovná jedné, tak hypotézu náhodné procházky není možné zamítnout. Hypotézy náhodné procházky vypadají následovně:

$$H_0: \hat{V}R(q) = 1$$

$$H_1: \hat{V}R(q) \neq 1$$

Test poměru rozptylu je možné použít pro jakoukoliv formu náhodné procházky, ale je nutné uvažovat dvě různé testové statistiky. První testová statistika $z^*(q)$ je pro variabilní rozptyl cenových změn a druhá testová statistika $z(q)$ je pro konstantní rozptyl cenových změn. Obě statistiky sledují normální rozdělení a Lo & MacKinley (1988) je definuje následovně:

$$z(q) = \frac{(VR(q) - 1)}{\sqrt{\varphi(q)}} \sim N(0,1),$$

kde

$$\varphi(q) = \frac{2(2q - 1)(q - 1)}{3q(nq)}$$

$$z^*(q) = \frac{\sqrt{nq}(VR(q) - 1)}{\sqrt{\varphi^*(q)}} \sim N(0,1),$$

kde

$$\varphi^*(q) = \sum_{j=1}^{q-1} \left[\frac{2(q-j)}{q} \right]^2 * \hat{\delta}(j)$$

$$\hat{\delta}(j) = \frac{\sum_{t=j+1}^{nq} [(\ln p_t - \ln p_{t-1}) - \hat{\mu}]^2 [(\ln p_{t-j} - \ln p_{t-j-1}) - \hat{\mu}]^2}{\sum_{t=1}^{nq} [(\ln p_t - \ln p_{t-1}) - \hat{\mu}]^2}$$

Je nutné otestovat, zda cenové změny vycházejí z pravděpodobnostního rozdělení IID a testová statistika $z(q)$ vychází z hypotézy náhodné procházky RW1. Testová statistika $z^*(q)$ je odvozena pro hypotézu náhodné procházky RW2 a RW3, které předpokládají pouze nezávislost případně nekorelovanost cenových změn.

6.3.3 Autokorelační analýza

S autokorelací je možné se nejčastěji setkat v časových řadách a zkoumá, zda cenové změny finančních instrumentů uspořádané v časové posloupnosti na sobě nějakým způsobem

zavisí. Podle Gujarati & Porter (2009) lze tuto závislost ověřovat pomocí testů autokorelace, které jsou součástí autokorelační analýzy, a díky nimž lze testovat i sílu závislosti. Zásadním předpokladem pro korelační analýzu je, že data jsou náhodná a mají normální rozdělení. Lineární závislost členů časové řady zkoumá autokorelační funkce. Těsnost vztahu současné a minulé výnosové míry (r_t a r_{t-k}), kde k vyjadřuje časové zpoždění, udává korelační koeficient podle tvaru:

$$\rho_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (r_t - \bar{r})(r_{t-k} - \bar{r})}{\sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2}$$

Jestliže dochází ke zvyšování závislosti mezi současnými a minulými členy časové řady, předpokládá se vyšší hodnota korelačního koeficientu a zároveň se zvyšuje pravděpodobnost, že je daný trh neefektivní a naopak. Efektivitu trhu lze potvrdit v případě, pokud neexistuje lineární závislost cenových změn finančních instrumentů a hypotézy pro testování. V takovém případě mají tvar:

$$H_0: \rho_k = 0$$

$$H_1: \rho_k \neq 0$$

Následující vztah je hranicí pro rozptyl autokorelační funkce pro k :

$$\sigma^2 \rho \approx \frac{1}{N}$$

Pro každý individuální korelační koeficient je potřeba posoudit charakter časové řady a to určením testové statistiky a intervalem spolehlivosti. Pokud se nachází korelační koeficient sledovaného souboru dat mimo interval spolehlivosti, tak se nulová hypotéza zamítá. Interval spolehlivosti vymezují kvantily standardizovaného normálního rozdělení. Hodnota korelačního koeficientu efektivitu trhu bohužel určuje nejednoznačně. Ljung & Box (1978) vyvinuli testovou statistiku pro testování hypotézy, zda jsou všechny korelační koeficienty s různou délkou zpoždění k nacházející se ve stejné časové řadě současně rovny nule. Testová statistika se porovnává s chi-kvadrát rozdělením s m stupni volnosti a má tvar:

$$Q = N(N + 2) \sum_{k=1}^m \left(\frac{\hat{p}_k^2}{N - k} \right),$$

kde N značí velikost souboru, m vyjadřuje počet sledovaných zpoždění a $\hat{\rho}_k$ je individuální autokorelační koeficient pro k zpoždění. Leží-li testová statistika v následujícím kritickém oboru, zamítá se nulová hypotéza náhodnosti:

$$Q > \chi_{1-\alpha, m}^2$$

Hypotézy u souhrnného Ljung-Boxova testu vypadají následovně:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_1: \text{některý } \rho_k \neq 0$$

Testovat efektivnost za pomoci autokorelačních testů lze jedině v případě její slabé formy, jelikož výpočty vycházejí pouze z historických časových řad. Autokorelačními testy je možné testovat pouze hypotézu náhodné procházky RW3. (Gujarati & Porter, 2009)

6.3.4 Testování jednotkového kořene (test stacionarity)

Dle Huška (2007) stacionarita znamená, že časová řada má ustálené chování, nedochází k žádným poklesům či růstu úrovně a ani ke změně variability. Pro odhad budoucího vývoje na základě minulých dat, je tato vlastnost časové řady důležitým předpokladem. Časová řada je nestacionární v případě, pokud neobsahuje jednotkový kořen. Nestacionární časová řada vykazuje proměnlivý rozptyl, a proto dochází ke značným odchylkám od průměru. Nestacionární řady tedy nelze predikovat ani modelovat. Pro testování stacionarity časových řad se využívají testy jednotkového kořene, což je Dickey-Fullerův (DF) test a rozšířený Dickey-Fullerův (ADF) test a pomocí nich je možné testovat efektivitu trhu.

Gujarati & Porter (2009) doplnili do rovnice náhodné procházky parametr ε a rovnice je nyní ve tvaru:

$$p_t = \varepsilon p_{t-1} + u_t$$

Parametr ε leží v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$ a vyjadřuje autoregresivní koeficient. Pokud se parametr ε v absolutné hodnotě rovná jedné, časová řada je nestacionární a jde o rovnici s jednotkovým kořenem. Jestliže je parametr ε v jeho absolutní hodnotě menší než jedna, jedná se o časovou řadu stacionární.

Následující rovnice vyjadřuje změnu ceny v čase t po transformaci na stacionární řadu:

$$\Delta p_t = (\varepsilon - 1)p_{t-1} + u_t \rightarrow \Delta p_t = \delta p_{t-1} + u_t$$

Výraz $\varepsilon - 1$ nahradil parametr δ . O náhodné procházce lze hovořit, jestliže se parametr δ rovná nule a hypotézy pro testování jsou zapsány ve tvaru:

$$H_0: \delta = 0$$

$$H_1: \delta \neq 0$$

Hušek (2007) říká, že základní test Dickeyho a Fullera nemá význam, pokud náhodné složky v časové řadě projevují autokorelaci. Dickey a Fuller proto základní autoregresní model prvního řádu rozšířili na model řádu m , aby problém s autokorelací odstranili. Změna ceny v čase t vypadá takto:

$$\Delta p_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta p_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta p_{t-1} + u_t$$

β_1 vyjadřuje změnu hodnoty Δp_t , jež není bílým šumem. Nabývá jak kladných, tak i záporných hodnot. $\beta_2 t$ vyjadřuje deterministický trend s tendencí divergovat k nekonečnu s časovým růstem t při konstantní hodnotě β_1 . Koeficient α_i značí závislost prvních diferencí pro jednotlivá zpoždění i a m udává celkový počet těchto zpoždění, který bývá určován empiricky.

7 Vlastní práce (empirické výsledky)

7.1 Základní statistiky

Před testováním efektivity je vhodné uvést některé základní statistiky pro pozorovaná data za období od 1.1.2016 do 30.9.2019. Tyto statistiky jsou uvedeny pro kurzy měnových párů po logaritmické transformaci. Logaritmické výnosy jsou důležité pro všechny testovací metody a transformují se podle jednoduchého vzorce, a to rozdílu přirozeného logaritmu výnosu finančního instrumentu v čase t a $t+1$. Logaritmické výnosy zobrazují histogramy, které jsou pro denní časovou řadu zobrazeny v příloze 1-3. V následující tabulce 2 jsou pro tyto výnosy stanoveny popisné statistiky, a to jak pro denní kurzy, tak pro týdenní kurzy.

Tabulka 2: Popisné statistiky logaritmovaných výnosů ⁽¹⁾

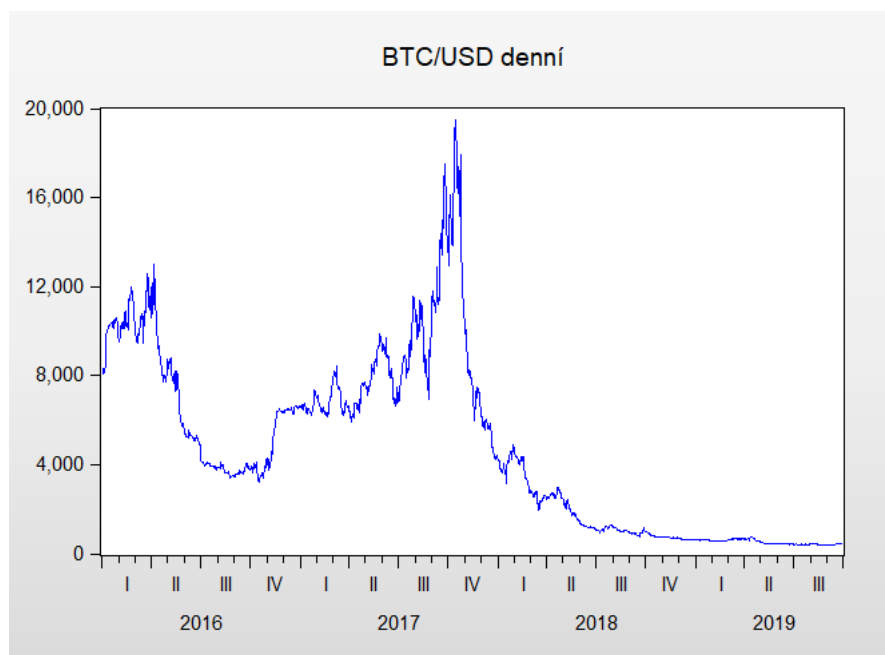
| Měnový pár ⁽²⁾ | BTC/USD ⁽³⁾ | | ETH/USD ⁽⁴⁾ | | LTC/USD ⁽⁵⁾ | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | denní ⁽⁶⁾ | týdenní ⁽⁷⁾ | denní | týdenní | denní | týdenní |
| Počet pozorování ⁽⁸⁾ | 1368 | 196 | 1368 | 196 | 1368 | 196 |
| Průměr ⁽⁹⁾ | -0,0022 | -0,0151 | -0,0038 | -0,0266 | -0,0025 | -0,0142 |
| Medián ⁽¹⁰⁾ | -0,0023 | -0,0165 | 0 | -0,0159 | 0 | -0,0090 |
| Směrodatná odchylka ⁽¹¹⁾ | 0,0400 | 0,1136 | 0,0619 | 0,1827 | 0,0611 | 0,1542 |
| Šikmost ⁽¹²⁾ | 0,1464 | 0,2408 | -0,2168 | -0,5580 | -1,6846 | -1,2532 |
| Špičatost ⁽¹³⁾ | 7,3259 | 4,0185 | 7,0239 | 4,4106 | 19,0671 | 7,8442 |
| JB test ⁽¹⁴⁾ | 1071,532 | 10,367 | 933,683 | 26,422 | 15361,68 | 242,944 |
| p-value ⁽¹⁵⁾ | 0,0000 | 0,0056 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

⁽¹⁾ Descriptive statistics of logarithmic revenue; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁴⁾ Ethereum/American dollar; ⁽⁵⁾ Litecoin/American dollar; ⁽⁶⁾ Daily data; ⁽⁷⁾ Weekly data; ⁽⁸⁾ Number of observations; ⁽⁹⁾ Mean; ⁽¹⁰⁾ Median; ⁽¹¹⁾ Standard deviation; ⁽¹²⁾ Skewness; ⁽¹³⁾ Kurtosis; ⁽¹⁴⁾ Jarque-Berův test; ⁽¹⁵⁾ p-value. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Šikmost a špičatost nám pomáhají určovat, jak moc se rozdělení dat podobá či se naopak odlišuje od normálního rozdělení. Šikmost udává, zda jsou hodnoty symetricky rozloženy okolo průměru, špičatost pak porovnává koncentraci hodnot blízko průměru a dále od něho. JB test určující nulovou hypotézu pomocí šikmosti a špičatosti, že data pocházejí z normálního rozdělení, podtrhuje, že na hladině významnosti $\alpha=0,05$ je nulová hypotéza

zamítnuta u všech měnových párů kryptoměn. Je jednoznačné, že výnosy pozorovaných finančních instrumentů nemají normální rozdělení.

Obrázek 3: Graf vývoj ceny BTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾

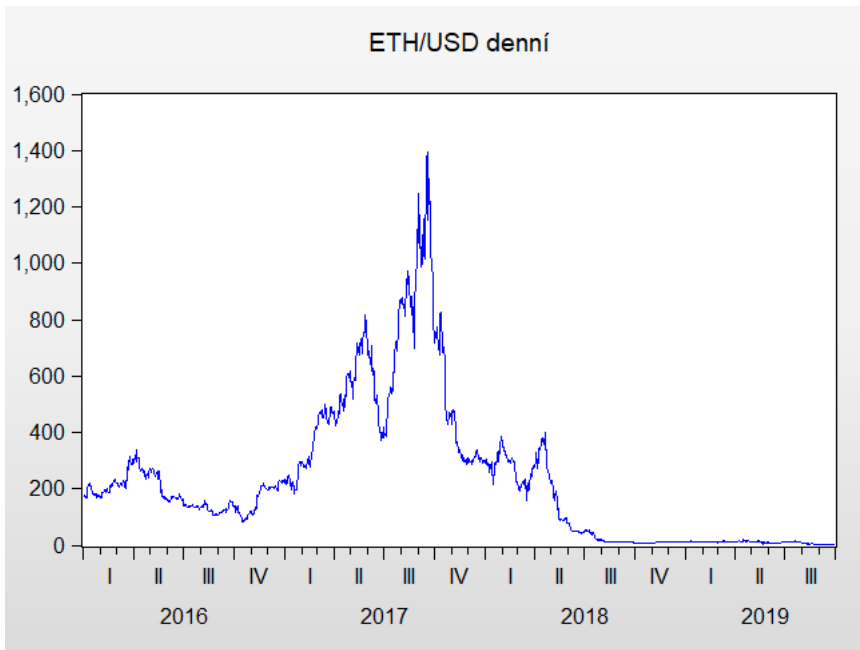


⁽¹⁾ Graph of the BTC/USD price development daily data (from 1 January 2016 to 30 September 2019).

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Z obrázků 3-5 zobrazujících vývoj ceny kryptoměn je možné pozorovat, že u všech párů dochází ke značnému kolísání hodnot a to hlavně v roce 2017. Výkyv v roce 2017 způsobila tzv. kryptománie, která vyhnala kurzy kryptoměn do rekordních výšin. Ovšem na začátku roku 2018 se situace na trhu kryptoměn prudce otočila a začaly se objevovat spekulace o zákazu obchodování s kryptoměnami v Jižní Koreji, Indii nebo Číně. Varování pocházela především od renomovaných ekonomů Paula Krugmana či Nouriel Roubiniho, kteří předpovídali, že Bitcoin a jiné kryptoměny mohou klesnout až na nulu. Na začátku roku 2018 se cena dominantní kryptoměny Bitcoinu propadla na méně než na polovinu hodnoty a v očích kritiků se tak naplnily dřívější domněnky o vysoké rizikovosti investování do kryptoměn především z důvodu kolísání kurzů. Na trhu digitálních měn platí rovnice, která říká, že pokud klesá kurz Bitcoinu, cena u ostatních digitálních měn jde rovněž dolů a to ještě mnohem výrazněji. V době své existence prošel Bitcoin hned několika prudkými vzestupy a pády, ale někteří ekonomové tvrdí, že má Bitcoin pozitivní budoucnost a tyto pády nemusejí být úplně fatální, a těm kdo Bitcoinu věří, přináší vhodnou příležitost pro doplnění investičního portfolia.

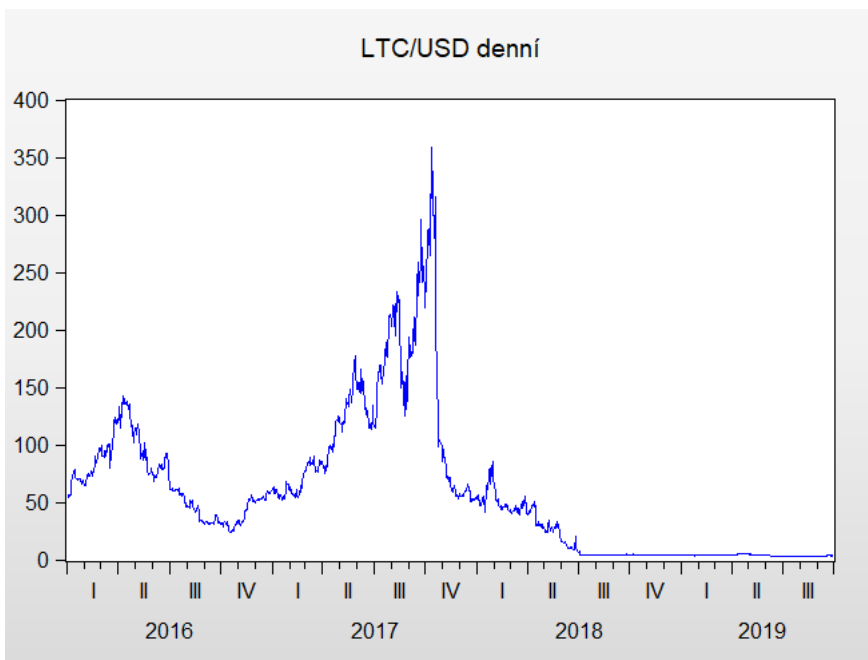
Obrázek 4: Graf vývoj cen ETH/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾



⁽¹⁾ Graph of the ETH/USD price development daily data (from 1 January 2016 to 30 September 2019).

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Obrázek 5: Graf vývoj cen LTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾



⁽¹⁾ Graph of the LTC/USD price development daily data (from 1 January 2016 to 30 September 2019).

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Kryptoměny Ethereum i Litecoin mají velmi podobný vývoj jako přední kryptoměna Bitcoin. Tyto dvě kryptoměny dosahovaly v roce 2017 taktéž rekordních hodnot z důvodu

kryptománie, která začátkem roku 2018 začala ustupovat a ceny všech kryptoměn začaly pomalu klesat dolů. Prudké výkyvy kurzů nezaskočí pouze investory, kteří jsou na ně připraveni a mají s nimi zkušenosti. Tyto propady mohou nezkušeného investora značně vyděsit, ale volatilita kryptoměn je přirozená věc, proto je třeba při obchodování nepanikařit, jelikož z dlouhodobého hlediska by podle komunity zabývající se kryptoměnami měla hodnota jen stoupat.

7.2 Runs test

Již zmíněný Runs test, který je popsán v metodice práce, je označován jako neparametrický test pozorující nezávislost kladných a záporných hodnot a sleduje pouze růst nebo pokles hodnot.

Runs test byl proveden v MS Excel, jelikož statistický program Eviews tento test nenabízí a testovací metoda nebere v úvahu nulové změny.

Tabulka 3: Runs test – výsledky⁽¹⁾

| Měnový pár ⁽²⁾ | BTC/USD ⁽³⁾ | | ETH/USD ⁽⁴⁾ | | LTC/USD ⁽⁵⁾ | |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | denní ⁽⁶⁾ | týdenní ⁽⁷⁾ | denní | týdenní | denní | týdenní |
| Kladné změny N1⁽⁸⁾ | 591 | 85 | 509 | 73 | 532 | 77 |
| Záporné změny N2⁽⁹⁾ | 778 | 112 | 860 | 124 | 837 | 120 |
| Počet pozorování N⁽¹⁰⁾ | 1 369 | 197 | 1 369 | 197 | 1 369 | 197 |
| Skutečný počet runů R | 6 | 4 | 29 | 9 | 25 | 13 |
| z-stat⁽¹²⁾ | -36,739 | -13,636 | -35,395 | -12,851 | -35,649 | -12,275 |
| p-value⁽¹³⁾ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

⁽¹⁾ Runs test – results; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁴⁾ Ethereum/American dollar; ⁽⁵⁾ Litecoin/American dollar; ⁽⁶⁾ Daily data; ⁽⁷⁾ Weekly data; ⁽⁸⁾ Positive changes N1; ⁽⁹⁾ Negative changes N2; ⁽¹⁰⁾ Number of observations; ⁽¹¹⁾ The actual number of runs; ⁽¹²⁾ z-statistics; ⁽¹³⁾ p-value; ⁽¹⁴⁾. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Podle testové statistiky Z a hodnot p-value uvedených v tabulce 3 je nulová hypotéza o nezávislosti cenových změn na hladině významnosti $\alpha=0,05$ zamítnuta a tímto testem nedochází k potvrzení náhodné procházky a k potvrzení ani slabé formy efektivnosti u finančního trhu kryptoměn. Efektivní chování nevykazuje žádný z pozorovaných měnových párů.

7.3 Test poměru rozptylů

Testy poměru rozptylů umožňují testovat náhodnou procházku pomocí testovacího kritéria, které má asymptoticky normované normální rozdělení. Tento test umožňuje v časové řadě testovat i nelineární formy závislosti, tudíž lze pomocí tohoto testu formu náhodné procházky jak RW2 i širší náhodnou procházku RW3 nezahrnující podmínku homoskedasticity (konstantního rozptylu), tak i RW1, která s touto podmínkou počítá. V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky testu poměru rozptylu pro obě formy náhodné procházky vycházející z logaritmických výnosů.

Tabulka 4: Test poměru rozptylů – výsledky RW1 ⁽¹⁾

| Měnový pár (2) | Časová osa (3) | Statistika VR (4) | RW1 (IID) ⁽⁵⁾ | | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|----------|---------|
| | | | 2 | 4 | 8 | 16 |
| BTC/USD ⁽⁶⁾ | denní ⁽⁷⁾ | VR(q) ⁽⁹⁾ | 0,4891 | 0,2528 | 0,1236 | 0,0623 |
| | | z(q) ⁽¹⁰⁾ | -18,8893 | -14,7677 | -10,9545 | -7,8766 |
| | | p-value ⁽¹¹⁾ | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní ⁽⁸⁾ | VR(q) | 0,4860 | 0,2939 | 0,1357 | 0,0832 |
| | | z(q) | -7,1773 | -5,2704 | -4,0801 | -2,9085 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0036 |
| ETH/USD ⁽¹²⁾ | denní | VR(q) | 0,4924 | 0,2577 | 0,1269 | 0,0618 |
| | | z(q) | -18,7679 | -14,6691 | -10,9133 | -7,8803 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | VR(q) | 0,4787 | 0,2954 | 0,1427 | 0,0741 |
| | | z(q) | -7,2793 | -5,2596 | -4,0470 | -2,9374 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0033 |
| LTC/USD ⁽¹³⁾ | denní | VR(q) | 0,5080 | 0,2446 | 0,1316 | 0,0636 |
| | | z(q) | -18,1903 | -14,9283 | -10,8541 | -7,8657 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | VR(q) | 0,5109 | 0,2902 | 0,1416 | 0,0790 |
| | | z(q) | -6,8305 | -5,2985 | -4,0523 | -2,9220 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0035 |

⁽¹⁾ Variance Ratio Test – Results of Random walk 1; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Period; ⁽⁴⁾ Variance ratio statistics; ⁽⁵⁾ Random walk 1 (independent and identically distributed); ⁽⁶⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁷⁾ Daily data;

(⁸) Weekly data; (⁹) Variance Ratio; (¹⁰) z-statistics; (¹¹) p-value; (¹²) Ethereum/American dollar; (¹³) Litecoin/American dollar. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

V tabulkách 4 a 5 jsou hodnoty poměru rozptylů $VR(q)$ převedeny do testové statistiky $z(q)$ pro RW1 a transformované testové statistiky $z^*(q)$ pro RW2 a RW3, která je normálního rozdělní. Hodnoty poměru rozptylů a testové statistiky jsou vypočítány pro čtyři různá období $q(2; 4; 8; 16)$, které byly automaticky v programu EViews nastaveny.

Tabulka 5: Test poměru rozptylů – výsledky RW2 a RW3 (¹)

| Měnový pár (²) | Časová osa (³) | Statistika VR (⁴) | RW2 a RW3 (⁵) | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 2 | 4 | 8 | 16 |
| BTC/USD (⁶) | denní (⁷) | VR(q) (⁹) | 0,4891 | 0,2528 | 0,1236 | 0,0623 |
| | | $z^*(q)$ (¹⁰) | -10,7107 | -9,0576 | -7,2483 | -5,5820 |
| | | p-value (¹¹) | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní (⁸) | VR(q) | 0,4860 | 0,2939 | 0,1357 | 0,0832 |
| | | $z^*(q)$ | -4,7746 | -3,8296 | -3,1527 | -2,3386 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0001 | 0,0016 | 0,0194 |
| ETH/USD (¹²) | denní | VR(q) | 0,4924 | 0,2577 | 0,1269 | 0,0618 |
| | | $z^*(q)$ | -10,8069 | -8,9545 | -7,3245 | -5,8368 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | VR(q) | 0,4787 | 0,2954 | 0,1427 | 0,0741 |
| | | $z^*(q)$ | -5,3251 | -4,1293 | -3,3674 | -2,5898 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0008 | 0,0096 |
| LTC/USD (¹³) | denní | VR(q) | 0,5080 | 0,2446 | 0,1316 | 0,0636 |
| | | $z^*(q)$ | -8,3210 | -7,5941 | -6,3454 | -4,9798 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | VR(q) | 0,5109 | 0,2902 | 0,1416 | 0,0790 |
| | | $z^*(q)$ | -4,8001 | -4,0877 | -3,3699 | -2,5280 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 | 0,0008 | 0,0115 |

(¹) Variance Ratio Test – Results of Random walk 2 and Random walk 3; (²) Currency pair; (³) Period; (⁴) Variance ratio statistics; (⁵) Random walk 2 and Random walk 3; (⁶) Bitcoin/American dollar; (⁷) Daily data; (⁸) Weekly data; (⁹) Variance Ratio; (¹⁰) Transformed z-statistics; (¹¹) p-value; (¹²) Ethereum/American dollar; (¹³) Litecoin/American dollar. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Na základě výsledků se zamítá na hladině významnosti $\alpha=0,05$ nulová hypotéza o náhodné procházce pro všechny testované kryptoměny u všech diferencí. Výsledek testování udává, že žádná z testovaných měnových párů kryptoměn netvoří náhodnou procházku a finanční trh, na kterém je obchodováno je neefektivní.

Další podnět pro rozhodnutí o přijetí či zamítnutí nulové hypotézy slouží souhrnný Chow-Denningův test, který udává hodnoty testové statistiky a p-value pro nulovou hypotézu pro všechny spojené periody. Hodnota testové statistiky je uvedena v přílohách 4-15 jako $\text{Max } |z|$ pro obě formy náhodné procházky a hodnota p-value je vyjádřena pomocí t-testu, jež má nekonečno stupňů volnosti. Výsledkem tohoto testu je potvrzení či vyvrácení, že výnosy časové řady jsou na sobě nezávislé při stanoveném počtu dní zpoždění.

Tabulka 6: Chow-Denningův test (souhrnný) ⁽¹⁾

| Měnový pár ⁽²⁾ | Časová osa ⁽³⁾ | Testová statistika ⁽⁴⁾ | RW1 (IID) ⁽⁵⁾ | RW2, RW3 ⁽⁶⁾ |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| BTC/USD ⁽⁷⁾ | denní ⁽⁸⁾ | $\text{Max } z $ ⁽¹⁰⁾ | 18,8893 | 10,7107 |
| | | p-value ⁽¹¹⁾ | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní ⁽⁹⁾ | $\text{Max } z $ | 7,1773 | 4,7746 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 |
| ETH/USD ⁽¹²⁾ | denní | $\text{Max } z $ | 18,7679 | 10,8069 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | $\text{Max } z $ | 7,2793 | 5,3251 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 |
| LTC/USD ⁽¹³⁾ | denní | $\text{Max } z $ | 18,193 | 8,3210 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 |
| | týdenní | $\text{Max } z $ | 6,8305 | 4,8001 |
| | | p-value | 0,0000 | 0,0000 |

⁽¹⁾ Chow-Denning test (summary); ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Period; ⁽⁴⁾ Test statistics; ⁽⁵⁾ Random walk 1 (independent and identically distributed); ⁽⁶⁾ Random walk 2, Random walk 3; ⁽⁷⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁸⁾ Daily data; ⁽⁹⁾ Weekly data; ⁽¹⁰⁾ Test statistics $\text{Max } |z|$; ⁽¹¹⁾ p-value; ⁽¹²⁾ Ethereum/American dollar; ⁽¹³⁾ Litecoin/American dollar. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Na základě výsledků Chow-Denningova testu se opět na hladině významnosti $\alpha=0,05$ zamítá nulová hypotéza o náhodnosti u všech testovaných měnových párů kryptoměn. Chow-

Denningův test potvrdil, že u vybraných kryptoměn existuje závislost, a tím pádem netvoří na finančním trhu náhodnou procházku a nelze potvrdit efektivitu finančního trhu.

7.4 Autokorelační analýza

Test korelačních koeficientů odhaluje, zda a jak se korelační koeficienty odchylují od nuly. Autokorelace znamená závislost hodnot jedné veličiny na sobě samé a její nejčastější formou je autokorelace prvního řádu, což znamená, že hodnoty náhodné složky jsou závislé na jejich předcházejících hodnotách. Nulová hypotéza pro testování autokorelační analýzy stanovuje, že je hodnota korelačního koeficientu nulová (existuje tzn. nulová korelace).

Jestliže je na hladině významnosti $\alpha=0,05$ hodnota korelačního koeficientu různá od nuly, potom existuje negativní nebo pozitivní závislost vznikající mezi jednotlivými pozorováními. Na základě toho je možné potvrdit, že sledovaná časová řada neodpovídá charakteristice efektivního trhu a mezi sledovanými veličinami existuje závislost. Trh je možné označit za neefektivní, jestliže nelze zamítnout nulovou hypotézu o nulových hodnotách korelačních koeficientů.

Průběh autokorelační funkce zobrazují tzv. korelogramy. Uprostřed korelogramu je středová vodorovná čára zobrazující nulovou hodnotu. Na pravo od středové čáry jsou zobrazeny hodnoty s kladnou hodnotou pozorování a na levo od středové čáry jsou naopak hodnoty autokorelační funkce záporné. Nulovou hypotézu lze zamítnout, jestliže autokorelační koeficient leží mimo interval spolehlivosti. Interval spolehlivosti u cenových změn pro počet pozorování 1368 pro denní intervaly s hladinou významnosti $\alpha=0,05$ má hodnotu:

$$CI = \mp 1,96 / \sqrt{1368} = \pm 0,053$$

Interval spolehlivosti pro týdenní intervaly cenových změn pro počet pozorování 196 se stejnou hladinou významnosti má hodnotu:

$$CI = \mp 1,96 / \sqrt{196} = \pm 0,140$$

V příloze 16-21 vycházející z programu EViews jsou zobrazeny hodnoty korelačních koeficientů AC a mimo jiné zobrazují autokorelační koeficienty graficky. Na obrázcích jsou také uvedeny hodnoty PAC, které vyjadřují hodnoty pro parciální koeficienty a hodnoty jsou rovněž graficky znázorněny ve sloupci Partial Correlation. V posledních dvou sloupcích jsou zobrazeny výsledky Ljung-Boxova testu (hodnota Q-statistiky a p-value). Ljung-Boxův test vyvrací či potvrzuje nulovou hypotézu, že jsou korelační koeficienty nulových hodnot pro stanovený počet zpoždění 15, ale tímto testem lze testovat pouze lineární závislost, tudíž

ověřuje náhodnou procházku cenových změn typu RW3. K posouzení pro přijetí či zamítnutí nulové hypotézy poslouží opět hodnota p-value a všechny výsledky Ljung-Boxova testu jsou uvedeny souhrnně pro všechny vybrané kryptoměny a časové řady v tabulce 8. Všechny hodnoty korelačních koeficientů pro všechny měnové páry jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7: Souhrnná tabulka autokorelačních koeficientů pro zpoždění $k=1-15$ ⁽¹⁾

| Korelační koeficienty pro zpoždění k ⁽²⁾ | BTC/USD ⁽³⁾ | | ETH/USD ⁽⁴⁾ | | LTC/USD ⁽⁵⁾ | |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | denní ⁽⁶⁾ | týdenní ⁽⁷⁾ | denní | týdenní | denní | týdenní |
| AC, $k=1$ | 0,038 | -0,000 | 0,043 | -0,069 | 0,061 | 0,024 |
| AC, $k=2$ | -0,026 | -0,104 | -0,004 | 0,093 | -0,055 | -0,123 |
| AC, $k=3$ | 0,009 | 0,211 | 0,014 | 0,175 | 0,064 | 0,219 |
| AC, $k=4$ | -0,053 | -0,135 | -0,072 | -0,249 | -0,022 | -0,171 |
| AC, $k=5$ | 0,100 | -0,094 | 0,077 | -0,079 | 0,016 | -0,180 |
| AC, $k=6$ | -0,059 | 0,186 | 0,156 | 0,138 | 0,175 | 0,035 |
| AC, $k=7$ | -0,032 | -0,101 | -0,022 | -0,110 | 0,014 | -0,166 |
| AC, $k=8$ | 0,032 | -0,086 | -0,056 | 0,078 | 0,010 | 0,000 |
| AC, $k=9$ | 0,022 | 0,073 | -0,078 | -0,054 | -0,058 | 0,200 |
| AC, $k=10$ | 0,150 | -0,069 | -0,083 | -0,143 | -0,094 | 0,096 |
| AC, $k=11$ | 0,016 | 0,136 | 0,072 | -0,017 | 0,024 | 0,114 |
| AC, $k=12$ | -0,026 | 0,000 | -0,064 | -0,115 | -0,031 | -0,111 |
| AC, $k=13$ | -0,092 | -0,114 | -0,043 | -0,027 | -0,108 | -0,130 |
| AC, $k=14$ | -0,034 | -0,057 | 0,022 | 0,051 | 0,097 | -0,018 |
| AC, $k=15$ | -0,017 | 0,019 | 0,064 | 0,041 | -0,019 | -0,052 |

⁽¹⁾ Summary table of autocorrelation coefficients for delay $k=1-15$; ⁽²⁾ Correlation coefficients for delay k ; ⁽³⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁴⁾ Ethereum/American dollar; ⁽⁵⁾ Litecoin/American dollar; ⁽⁶⁾ Daily data; ⁽⁷⁾ Weekly data; ⁽¹⁰⁾ . Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Výsledky korelačních koeficientů přesahují vypočtený interval spolehlivosti a tudíž je nulová hypotéza o nulových hodnotách korelačních koeficientů při zvolené hladině významnosti $\alpha=0,05$ zamítnuta. Zamítnutí nulové hypotézy znamená, že mezi znaky existuje statisticky zjištělná lineární závislost a finanční kurzy se chovají neefektivně. Z hodnot z tabulky korelačních koeficientů lze soudit, že výnosy jsou autokorelované. Hodnoty korelačních koeficientů jsou na hladině $\alpha=0,05$ statisticky významné. Prvních pět zpoždění je

nejdůležitějších, protože hodnotu zpoždění více jak 5 dní lze ovlivnit i jinými faktory než těmi, co ovlivňují efektivitu trhu. Řády zpoždění 6 až 15 tedy nelze úplně brát jako určující.

Tabulka 8: Ljung-Boxův test – souhrnné výsledky ⁽¹⁾

| Měnový pár ⁽²⁾ | Časová osa ⁽³⁾ | Q-stat, k=15 ⁽⁴⁾ | p-value ⁽⁵⁾ |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| BTC/USD ⁽⁶⁾ | denní ⁽⁷⁾ | 75,055 | 0,000 |
| | týdenní ⁽⁸⁾ | 36,812 | 0,001 |
| ETH/USD ⁽⁹⁾ | denní | 96,005 | 0,000 |
| | týdenní | 39,140 | 0,001 |
| LTC/USD ⁽¹⁰⁾ | denní | 106,94 | 0,000 |
| | týdenní | 50,984 | 0,000 |

⁽¹⁾ Ljung-Box test - summary results; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Period; ⁽⁴⁾ Q-statistics, k=15; ⁽⁵⁾ p-value; ⁽⁶⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁷⁾ Daily data; ⁽⁸⁾ Weekly data; ⁽⁹⁾ Ethereum/American dollar; ⁽¹⁰⁾ Litecoin/American dollar. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Výsledky Ljung-Boxova testu potvrzují zamítnutí nulové hypotézy na hladině významnosti $\alpha=0,05$ o neexistenci lineární závislosti. Je znovu potvrzeno, že finanční trh je neefektivní a kurzy netvoří náhodnou procházku. Autokorelace neumožňuje potvrzení ani efektivnosti pro žádný měnový pár sledovaných kryptoměn. Výpočet Ljung-Boxova test z programu EViews zobrazuje příloha 16-21.

7.5 Testování jednotkového kořene (test stacionarity)

Test jednotkového kořene zkoumá stacionaritu cenových změn a vychází z regresní funkce, která byla zvolena pomocí Schwarzova kritéria (SIC¹⁵). Základem testu jednotkového kořene je parametr δ , podle jehož hodnoty se stanovuje nulová a alternativní hypotéza. Jestliže je hodnota tohoto koeficientu rovna 0, tak sledovaná časová řada obsahuje jednotkový kořen, což znamená, že se jedná o časovou řadu nestacionární a cenové změny nelze předvídat, jelikož jejich hodnoty jsou nahodilé. Nulová hypotéza říká, že časová řada je nestacionární, cenové změny nelze odhadnout. Zamítnutí nulové hypotézy znamená, že je časová řada stacionární, cenové změny lze dopředu odhadnout.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty testové statistiky a hodnoty p-value. Počet zpoždění pro denní i týdenní časové přímky je nastaveno na hodnotu maximálně 23, které

¹⁵ SIC = Schwarz Info Criterion

bylo v automatickém nastavení pro výpočet ADF testu (Augmented Dickey–Fuller test) v programu EViews. Tabulka obsahuje, jak výsledky ADF test nezohledňující trendovou složku, tak ADF testu rozšířeného o trend. Podrobnější výsledky testování jsou uvedeny v přílohách 22-33.

Tabulka 9: ADF – test jednotkového kořene ⁽¹⁾

| Měnový pár ⁽²⁾ | Časová osa ⁽³⁾ | Konstanta bez trendu ⁽⁴⁾ | | | Konstanta s trendem ⁽⁸⁾ | | |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------|----------|
| | | t-stat ⁽⁵⁾ | p-value ⁽⁶⁾ | Zpoždění ⁽⁷⁾ | t-stat | p-value | Zpoždění |
| BTC/USD ⁽⁹⁾ | denní ⁽¹⁰⁾ | -37,3081 | 0,0000 | 0 | -37,3158 | 0,0000 | 0 |
| | týdenní ⁽¹¹⁾ | -13,5787 | 0,0000 | 0 | -13,5921 | 0,0000 | 0 |
| ETH/USD ⁽¹²⁾ | denní | -36,1799 | 0,0000 | 0 | -36,3866 | 0,0000 | 0 |
| | týdenní | -12,4695 | 0,0000 | 0 | -12,8546 | 0,0000 | 0 |
| LTC/USD ⁽¹³⁾ | denní | - | 0,0000 | 0 | -38,1679 | 0,0000 | 0 |
| | týdenní | -12,5300 | 0,0000 | 0 | -12,5607 | 0,0000 | 0 |

⁽¹⁾ Augmented Dickey-Fuller Test – Unit root test; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Period; ⁽⁴⁾ Constant without trend; ⁽⁵⁾ t-statistics; ⁽⁶⁾ p-value; ⁽⁷⁾ Delay; ⁽⁸⁾ Constant with trend; ⁽⁹⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽¹⁰⁾ Daily data; ⁽¹¹⁾ Weekly data; ⁽¹²⁾ Ethereum/American dollar; ⁽¹³⁾ Litecoin/American dollar. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Z výsledků v tabulce 9 je jasné, že je na hladině významnosti $\alpha=0,05$ zamítnuta u všech testovaných měnových párů nulová hypotéza pro denní i týdenní časovou řadu a výsledky testu potvrzují ve všech případech stacionaritu časové řady. O testovaných časových řadách lze tvrdit, že jejich hodnoty v důsledku stacionarity mají konstantní střední hodnotu a rozptyl, a proto mají sklon se vracet k určité hodnotě. Zamítnutí nulové hypotézy znamená, že se ceny netvoří náhodně a jejich změny nelze dopředu předvídat, proto není možné potvrdit efektivitu finančního trhu.

8 Shrnutí výsledků

Testovány byly kurzy tří nejvíce známých kryptoměn Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) a Litecoin (LTC) vůči americkému dolaru (USD). Bitcoin je nejrozšířenější a nejvíce obchodovaná kryptoměna na tomto finančním trhu. Kryptoměna Litecoin je po Bitcoinu druhou nejznámější kryptoměnou, která je na Bitcoinu založena a je jeho alternativou. Ethereum se od těchto dvou kryptoměn liší především tím, že je založena na bázi blockchainu (zmíněn v kapitole 3), který chrání kryptoměnu před neoprávněným zásahem jak z vnitřní, tak z vnější strany. Kryptoměny neboli digitální peníze jsou moderním tématem dnešního světa a tato problematika má jak mnoho příznivců, tak ale i mnoho odpůrců. Stěžejním zájmem této práce bylo zjištění, zda tyto kryptoměny potvrzují slabou formu efektivnosti, a to pomocí testování hypotézy o náhodné procházce.

Základ pro testování daly hodnoty základních statistik vybraných kryptoměn pro dvě časové řady (denní a týdenní časová řada za období od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019). V tomto časovém úseku se dostaly kryptoměny nejvíce do podvědomí investorů a cílem práce bylo prostřednictvím testování náhodné procházky zjistit, zda chování kurzů těchto kryptoměn harmonizuje s teorií efektivního trhu.

Před provedením statistických testů náhodné procházky prošly výnosy kryptoměn logaritmickou transformací a vypočítány základní statistiky, které daly podklad pro posouzení normality výnosů u obou časových řad. Jarque-Berův test u všech měnových párů potvrdil zamítnutím nulové hypotézy, že data nepocházejí z normálního rozdělení. Výsledky JB testu jsou uvedeny v tabulce 2, viz kapitola 7.1. Vysokou špičatost zapříčiňuje velký počet cenových změn a špičatost je velmi citlivá na odlehlé hodnoty (výkyvy). Kladná špičatost znamená, že většina pozorovaných hodnot leží blízko její střední hodnoty. Kapitulu 7.1 doplňují grafy, které zobrazují vývoj cen měnových párů kryptoměn.

Po zjištění, že data sledovaných kryptoměn nemají normální rozdělení, následovalo ověření náhodné procházky a posouzení chování kurzů na vybraném finančním trhu. K analýze náhodné procházky bylo ve statistickém programu EViews a programu MS Excel provedeno několik statistických testů, díky kterým je možné potvrdit či vyvrátit, zda jsou na sobě cenové změny finančních instrumentů závislé. Závislost cenových změn určuje efektivnost vybraného finančního trhu, která byla analyzována pomocí hypotézy náhodné procházky (Random Walk) ve všech jejích formách (RW1, RW2, RW3).

Prvním provedeným testem byl Runs test, který prokázal neefektivitu chování cenových změn u všech měnových párů pro obě časové řady. Runs test není přímo typickým testem náhodné procházky, ale jedná se o test náhodnosti, který sleduje růst, nebo pokles hodnot a určuje, zda jsou cenové změny v časové řadě náhodné. Test zamítnul náhodnost cenových změn, což znamená, že zamítnul rovněž i hypotézu náhodné procházky. Souhrnné výsledky Runs testu obsahuje tabulka č. 3, viz kapitola 7.2.

Pro samotné testování a ověření hypotézy náhodné procházky byl proveden test poměru rozptylu pro formy náhodné procházky RW1 a RW2, RW3, viz kapitola 7.3. Výsledky obou forem jsou uvedeny v tabulkách č. 4 a 5. Testování hypotézy náhodné procházky pomocí testu poměru rozptylu ve formě RW1 dalo podklad k ověření, zda cenové změny pochází z identického rozdělení (IID). Pro všechny testované měnové páry byla tato hypotéza zamítnuta a náhodná procházka nebyla potvrzena. Forma RW2, RW3 už nevyžaduje homoskedasticitu časových řad, a aby byly střední hodnoty konstantní. I tato forma zamítnula hypotézu náhodné procházky a bylo prokázáno, že mezi kurzy všech sledovaných měnových párů existuje závislost u denní i týdenní časové řady. Další potvrzení neefektivnosti podal spojený Chow-Denningův test, jehož výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 6. Na základě tohoto testu poměru rozptylu byla opět u všech pozorovaných kryptoměn nulová hypotéza náhodné procházky zamítnuta, jak pro formu RW1, tak i pro RW2, RW3. Závislost cenových změn byla i tímto testem potvrzena pro všechny kurzy u obou časových řad, což znovu nepotvrdilo efektivitu a náhodnou procházku.

Poslední analýzou náhodné procházky byla autokorelační analýza, viz kapitola 7.4. Základem autokorelační analýzy jsou autokorelační koeficienty, které byly vypočítány pro zpoždění $k=1$ až 15. Výsledky korelačních koeficientů zobrazuje tabulka č. 7 a autokorelační analýzu doplnil souhrnný Ljung-Boxův test, jehož výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8. Test prokázal, že mezi výnosy existuje lineární závislost, a že mezi nimi existuje negativní korelace cenových změn. Autokorelační analýza znovu zamítnula hypotézu náhodné procházky a o trhu kryptoměn lze hovořit, jako o neefektivním trhu.

Doplnění a potvrzení hypotézy náhodné procházky podal test jednotkového kořene (Augmented Dickey-Fuller Test). ADF test je často s testováním náhodné procházky zaměňován, ale jeho podstatou je posouzení stacionarity časové řady. Někteří autoři totiž nepředpokládají nestacionaritu za důkaz efektivnosti finančního trhu, jelikož kurz ovlivňuje celá řada faktorů (změny úrokových sazeb, makroekonomické vlivy, zásahy centrálních bank, množství měny v ekonomice atd.). ADF test proto posloužil jen jako doplnění analýzy

náhodné procházky a v práci bylo u všech testovaných kryptoměn prokázáno, že jsou všechny časové řady stacionární, tudíž neexistuje přítomnost jednotkového kořene. Výsledky testování přítomnosti jednotkového kořene jsou uvedeny v tabulce č. 9. ADF test potvrdil zamítnutí hypotézy náhodné procházky, a proto není možné ani tímto testem potvrdit slabou efektivitu u pozorovaného trhu kryptoměn.

Všechny uvedené testy byly provedeny na hladině významnosti $\alpha=0,05$ a pro přijetí či zamítnutí nulových hypotéz sloužila především hodnota p-value. V následující tabulce je zobrazeno vyhodnocení všech provedených statistických testů, které byly pro analýzu náhodné procházky u měnových párů kryptoměn BTC/USD, ETH/USD a LTC/USD u dvou časových přímk použity. Přijetí H_0 znamená náhodnou procházku a efektivní trh a zamítnutí H_0 (přijetí H_A) náhodnou procházku vyvrací a jedná se o trh neefektivní.

Tabulka 10: Souhrnné vyhodnocení statistických testů ⁽¹⁾

| Měnový pár ⁽²⁾ | | BTC/USD ⁽³⁾ | | ETH/USD ⁽⁴⁾ | | LTC/USD ⁽⁵⁾ | |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | | denní ⁽⁶⁾ | týdenní ⁽⁷⁾ | denní | týdenní | denní | týdenní |
| Runs test ⁽⁸⁾ | | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |
| Chow-Denningův test ⁽⁹⁾ | RW1 ⁽¹⁰⁾ | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |
| | RW2, RW3 ⁽¹¹⁾ | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |
| Ljung-Boxův test ⁽¹²⁾ | | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |
| ADF test ⁽¹³⁾ | S trendem ⁽¹⁴⁾ | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |
| | Bez trendu ⁽¹⁵⁾ | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A | H_A |

⁽¹⁾ Summary evaluation of statistical tests; ⁽²⁾ Currency pair; ⁽³⁾ Bitcoin/American dollar; ⁽⁴⁾ Ethereum/American dollar; ⁽⁵⁾ Litecoin/American dollar; ⁽⁶⁾ Daily data; ⁽⁷⁾ Weekly data; ⁽⁸⁾ Runs test; ⁽⁹⁾ Chow-Denning test; ⁽¹⁰⁾ Random walk 1; ⁽¹¹⁾ Random walk 2, Random walk 3; ⁽¹²⁾ Ljung-Box test; ⁽¹³⁾ Augmented Dickey-Fuller Test; ⁽¹⁴⁾ With trend; ⁽¹⁵⁾ Without trend. Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Neefektivní chování kryptoměn vysvětluje především již zmíněná kryptománie v roce 2017, kdy se kurzy kryptoměn rekordně zvýšily. Na začátku roku 2018 začaly kurzy pro změnu prudce klesat, a to na méně než na polovinu hodnoty, což vyvolalo nejistotu a spekulace s obchodováním s kryptoměnami.

9 Závěr

Kryptoměny jsou v současné době stále novou technologií, která ještě zažívá obrovský boom. I když existují již několik let, jejich poznání je pořád ještě poměrně v začátcích a jejich plný potenciál stále čeká na odhalení. Někteří ekonomové zabývající se kryptoměnami, jsou toho názoru, že kryptoměny mají před sebou slibnou a pozitivní budoucnost. Kryptoměny vnesly do světa financí i do světa obecně obrovskou změnu. I přesto, že někteří lidé jejich existenci prozatím nezaznamenali, jiní je už dávno používají jako finanční prostředek v obchodech i mezi sebou, nebo mají kryptoměny už dávno zařazeny ve svém investičním portfoliu a vydělávají jim peníze. Kryptoměny ovšem neslouží pouze jako novodobé platidlo, ale spousta z nich má mnohem hlubší smysl. Kryptoměny se vyznačují minimálními transakčními náklady, rychlostí přenosu, transparentností a snahou o decentralizaci. Ve světě kryptoměn se každý den objevují technologické novinky, které je důležité sledovat. Kryptoměny jsou velmi diskutovaným tématem a každý den přicházejí nové informace a vycházejí články, které informují o aktuálním dění. Novinky ze světa kryptoměn je možné sledovat na nespočetně internetových stránkách.

Předním cílem práce bylo ověření hypotézy náhodné procházky na vybraném finančním trhu a posoudit tak následně chování cen vybraných finančních instrumentů. Náhodná procházka znamená efektivnost finančního trhu, která byla testována a ověřována vybranými statistickými testy.

V teoretické části práce byly položeny základy finančnímu trhu obecně, další kapitoly byly věnovány především kryptoměnám, efektivnosti fungování trhu a behaviorálním financím. Finanční trhy se stále zlepšují díky novým inovacím moderní doby. Vybraným finančním trhem byl trh kryptoměn a analyzované kryptoměny byly Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) a Litecoin (LTC) porovnány s měnou amerického dolaru (USD). Bitcoin je první a zároveň nejznámější kryptoměna, se kterou se na trhu s digitálními penězi nejvíce obchoduje.

Praktická část byla věnována testování efektivity měnových párů BTC/USD, ETH/USD a LTC/USD pro denní a týdenní cenové změny v období od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019. Ve výsledcích práce, ve zvoleném období, nebyla potvrzena u žádného měnového páru náhodná procházka.

Neefektivní chování kurzů potvrdily všechny použité statistické testy (Runs test, test poměru rozptylu, autokorelační analýzy a test jednotkového kořene). Neefektivní chování je

zapříčiněno především tzv. kryptománií, která nastala v roce 2017. Tato situace vyhnala kurzy kryptoměn do rekordních výšin. Na začátku roku 2018 se situace na trhu kryptoměn prudce otočila a přišly varovné signály především od renomovaných ekonomů Paula Krugmana či Nourieho Roubiniho, kteří předpovídali klesnutí kurzů kryptoměn až na samotné dno. Na začátku roku 2018 kurzy kryptoměn podle předpokladů klesly až na méně než polovinu hodnoty, a v očích kritiků se tak naplnily dřívější domněnky o vysoké rizikovosti investování do kryptoměn, především z důvodu kolísání kurzů. Trh kryptoměn se řídí především podle kurzu přední kryptoměny Bitcoin a pokud jeho kurz klesne, u ostatních kryptoměn klesne ještě mnohem výrazněji. Vysoké riziko představuje likvidita, která je mizivá. To je problém v případě, že kurzy prudce klesají, pak se jich chce investor rychle zbavit, ale nemusí se najít nikdo, kdo by je koupil.

V práci byla jasně prokázána neefektivnost trhu s kryptoměnami, ale někteří ekonomové jsou stále toho názoru, že digitální peníze mají před sebou slibnou budoucnost a přinese vhodnou příležitost pro investování. Mnohé firmy, korporace či jedinci vidí v kryptoměnách velkou budoucnost a investují do nich obrovské peníze.

I. Summary

This thesis is focused on the analysis of the hypothesis of financial market efficiency for chosen cryptocurrencies Bitcoin, Litecoin and Ethereum in currency pair with USD. The main aim of this thesis is to verify the hypothesis of a random walk in a chosen financial market and to monitor the price behavior of chosen financial assets. The basis of the random walk hypothesis is that there is no relationship between historical prices and future prices. This means that prices can't be predicted beforehand and prices are random.

Price behavior, whether they make a random walk, is tested by chosen statistical tests (runs test, variance ratio test, test of autocorrelation and unit root test) in the statistical software EViews. Data for testing were obtained from the website www.finance.yahoo.com for the period from 1 January 2016 to 30 September 2019 and data are used daily and weekly.

The results of the thesis proved the inefficiency of the chosen cryptocurrencies BTC, LTC, ETH in comparison with USD in chosen period for both daily and weekly changes. Cryptocurrencies inefficiencies were confirmed by the runs test, the scattering ratio test, the Chow-Denning comprehensive test, the AD unit root test, the extended ADF test, and finally the autocorrelation tests. The main reason for ineffectiveness is a large fluctuation of values in all currency pairs. In 2017, the so-called cryptomania occurred, which raised the rates of cryptocurrencies to record heights. At the beginning of 2018, the price of the dominant cryptocurrency Bitcoin fell to less than half the value, and the critics' eyes were filled with earlier assumptions about the high risk of investing in cryptocurrencies, mainly because of exchange rate fluctuations. But in the digital currency market some economists are of the opinion that Bitcoin has a positive future and provides a good opportunity to complement the investment portfolio.

Keywords:

Financial market efficiency, Random walk, Cryptocurrencies, Bitcoin

II. Seznam použitých zdrojů

- [1] Angel, J., & McCabe, D. (2014). The Ethics of Payments: Paper, Plastic, or Bitcoin? *Journal of Business Ethics*.
- [2] Banz, R. W. (1981). The Relationship Between Return and Market Value of Common Stocks . *Journal of Financial Economics*.
- [3] Barber, B., & Odean, T. (2000). Trading is hazardous to your wealth: the common stock investment performance of individual investors . *Journal of Finance* .
- [4] Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). *Econometrics Financial Markets* . New Jersey: Copyright by Princeton University Press.
- [5] Čámský, F. (2005). Testování efektivnosti trhu. *Odborný měsíčník*. Načteno z Odborný měsíčník: www.derivat.sk
- [6] De Bondt, W. F., & Thaler, R. H. (1995). *Financial decision-making in markets and firms: a behavioral perspective*. North Holland, Amsterdam: Handbooks in OR and MS.
- [7] Fama, E. (1965). The Behavior of Stock Market Prices. *Journal of Business*.
- [8] Fama, E. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical. *The Journal of Finance*.
- [9] Fama, E., & Blume, M. (1966). Filter rules and stock market trading profits . *Journal of Business*.
- [10] Fama, E., Fisher, M., Jensen, M., & Roll, R. (1969). The adjustment of stock prices to new information. *International Economic Review*.
- [11] Gibbons, M. R., & Hess, P. (1981). Day of the Week Effects and Asset Returns . *Journal of Business*.
- [12] Greenberg, A. (2011). Crypto Currency. *Forbes*.
- [13] Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics*. New York: McGraw Hill Companies.
- [14] Haugen, R. A. (1993). Modern Investment Theory. *Englewood Cliffs: Prentice*.
- [15] Haugen, R. A. (1999). *The new finance. The Case Against Efficient Markets*. New Jersey: Prentice Hall.

- [16] Hušek, R. (2007). *Ekonomická analýza*. Praha: Oeconomica.
- [17] Jensen, M. (1967). Random walks: reality or myth - comment. *Financial Analysts Journal*.
- [18] Jensen, M., & Bennington, G. (1970). Random walks and technical theories: some additional evidence. *Journal of Finance*.
- [19] Kahneman, D., & Tversky, A. (1981). The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. *Science*.
- [20] Kahneman, D., & Tversky, A. N. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*.
- [21] Keef, S. (2009). *The dynamics of the Monday effect in international stock indices*. Načteno z www.sciencedirect.com
- [22] Keim, D. B. (1983). Size-related anomalies and stock return seasonality. *Journal of Financial Economics*.
- [23] Kendall, M. (1953). The Analysis of Economic Time Series. *Journal of the Royal*.
- [24] Kneys, J. M. (1936). *Obecná teorie nezaměstnanosti, úroku a peněz*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.
- [25] Krugman, P. (2013). Bitcoin is evil. *New York Times*.
- [26] *Kryptoměny - seznam, kurzy, investice*. (nedatováno). Načteno z Finex: <https://finex.cz/rubrika/kryptomeny/>
- [27] Le Roy, S. F., & Parke, W. R. (1990). *Stock Price Volatility: Test Based on Geometric Random Walk*. Santa Barbara: University of California.
- [28] Levy, R. (1967). Random walks: reality or myth. *Financial Analysts Journal*.
- [29] Ljung, G. M., & Box, G. E. (1978). On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*.
- [30] Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks. *Review of Financial Studies*.
- [31] Martinák, T. a. (2015). *Bezhotovostní peníze versus elektronické peníze*. Olomouc: Iuridicum Olomoucense, s.r.o.

- [32] Mishkin, F. S. (1991). *Ekonomie peněz, bankovníctví a finančních trhů*. Praha: Economia.
- [33] Musílek, P. (1999). *Finanční trhy a investiční bankovníctví*. Praha: ETC Publishing Praha.
- [34] Musílek, P. (2011). *Trhy cenných papírů*. Praha: Ekopress, s.r.o.
- [35] Pastor, L., & Veronesi, P. (2009). Technological revolutions and stock prices . *Americal Economy Review* .
- [36] Revenda, Z., Mandel, M., Kodera, J., Musílek, P., & Dvořák, P. (2015). *Peněžní ekonomie a bankovníctví* . Praha: Management Press.
- [37] Roberts, H. (nedatováno). Statistical versus clinical prediction of the sock market. *Unpublished manuscript* , 1976.
- [38] Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (1991). *Ekonomie*. Praha: Nakladatelství Svoboda.
- [39] Shleifer, A., & Summers, L. H. (1990). The noise trader approach to finance. *Journal of Economic Perspectives* 4.
- [40] Schiller, R. J. (1981). Do stock prices move too much to be justified by subsequent change in dividends? . *American Economic Review*.
- [41] Smejkal, L. (2001). *Elektronické peníze*. Načteno z Ikaros: <http://ikaros.cz/node/10800>
- [42] Smith, C., & Kumar, A. (2018). Crypto-currencies – An introduction to not-so-funny moneys. *Journal of economic surveys*.
- [43] Solnik, B. (1973). Note on the validity of the random walk for European stock prices. *Journal of Finance*.
- [44] Stroukal, D., & Skalický, J. (2018). *Bitcoin a jiné krypto peníze budoucnosti* . Praha: GRADA Publishing, a.s.
- [45] Summers, L. H. (1986). Does the Stock Market Rationally Reflect Fundamental Values? . *Journal of Finance* 3.
- [46] Veselá, J. (2011). *Investování na kapitálových trzích*. Praha: Wolters Kluwer ČR, a. s.

[47] White, L. (2015). The market for cryptocurrencies. *Cato Journal*.

III. Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Srovnání teorie efektivních trhů a behaviorálních financí ⁽¹⁾ | 31 |
| Tabulka 2: Popisné statistiky logaritmovaných výnosů ⁽¹⁾ | 40 |
| Tabulka 3: Runs test – výsledky ⁽¹⁾ | 43 |
| Tabulka 4: Test poměru rozptylů – výsledky RW1 ⁽¹⁾ | 44 |
| Tabulka 5: Test poměru rozptylů – výsledky RW2 a RW3 ⁽¹⁾ | 45 |
| Tabulka 6: Chow-Denningův test (souhrnný) ⁽¹⁾ | 46 |
| Tabulka 7: Souhrnná tabulka autokorelačních koeficientů pro zpoždění k=1-15 ⁽¹⁾ | 48 |
| Tabulka 8: Ljung-Boxův test – souhrnné výsledky ⁽¹⁾ | 49 |
| Tabulka 9: ADF – test jednotkového kořene ⁽¹⁾ | 50 |
| Tabulka 10: Souhrnné vyhodnocení statistických testů ⁽¹⁾ | 53 |

IV. Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Okamžitá, skoková reakce kurzu finančního instrumentu na novou, neočekávanou informaci oznámenou ke dni 0 | 21 |
| Obrázek 2: Postupná, předběžná a nadměrná reakce kurzu finančního instrumentu na novou, neočekávanou informaci oznámenou ke dni 0 | 22 |
| Obrázek 3: Graf vývoj ceny BTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾ .. | 41 |
| Obrázek 4: Graf vývoj cen ETH/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾ | 42 |
| Obrázek 5: Graf vývoj cen LTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019) ⁽¹⁾ | 42 |

V. Seznam příloh

Příloha 1: Histogram log. výnosů BTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)

Příloha 2: Histogram log. výnosů ETH/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)

Příloha 3: Histogram log. výnosů LTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)

Příloha 4: Test poměru rozptylů BTC/USD denní data – RW1

Příloha 5: Test poměru rozptylů BTC/USD týdenní data – RW1

Příloha 6: Test poměru rozptylů ETH/USD denní data – RW1

Příloha 7: Test poměru rozptylů ETH/USD týdenní data – RW1

Příloha 8: Test poměru rozptylů LTC/USD denní data – RW1

Příloha 9: Test poměru rozptylů LTC/USD týdenní data – RW1

Příloha 10: Test poměru rozptylů BTC/USD denní data – RW2 a RW3

Příloha 11: Test poměru rozptylů BTC/USD týdenní data – RW2 a RW3

Příloha 12: Test poměru rozptylů ETH/USD denní data – RW2 a RW3

Příloha 13: Test poměru rozptylů ETH/USD týdenní data – RW2 a RW3

Příloha 14: Test poměru rozptylů LTC/USD denní data – RW2 a RW3

Příloha 15: Test poměru rozptylů LTC/USD týdenní data – RW2 a RW3

Příloha 16: Autokorelační analýza BTC/USD denní data

Příloha 17: Autokorelační analýza BTC/USD týdenní data

Příloha 18: Autokorelační analýza ETH/USD denní data

Příloha 19: Autokorelační analýza ETH/USD týdenní data

Příloha 20: Autokorelační analýza LTC/USD denní data

Příloha 21: Autokorelační analýza LTC/USD týdenní data

Příloha 22: Test jednotkového kořene BTC/USD denní data

Příloha 23: Test jednotkového kořene BTC/USD denní data – s konstantou i trendem

Příloha 24: Test jednotkového kořene BTC/USD týdenní data

Příloha 25: Test jednotkového kořene BTC/USD týdenní data – s konstantou i trendem

Příloha 26: Test jednotkového kořene LTC/USD denní data

Příloha 27: Test jednotkového kořene LTC/USD denní data - s konstantou i trendem

Příloha 28: Test jednotkového kořene LTC/USD týdenní data

Příloha 29: Test jednotkového kořene LTC/USD týdenní data – s konstantou i trendem

Příloha 30: Test jednotkového kořene ETH/USD denní data

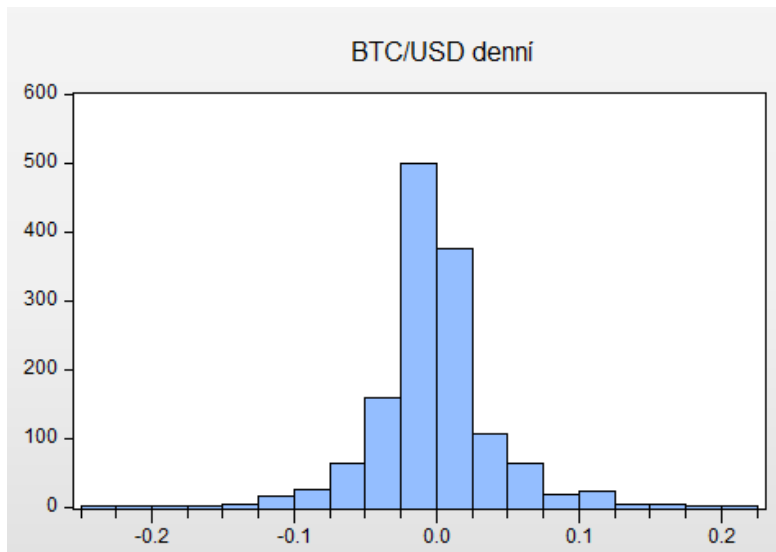
Příloha 31: Test jednotkového kořene ETH/USD denní data – s konstantou i trendem

Příloha 32: Test jednotkového kořene ETH/USD týdenní data

Příloha 33: Test jednotkového kořene ETH/USD týdenní data – s konstantou i trendem

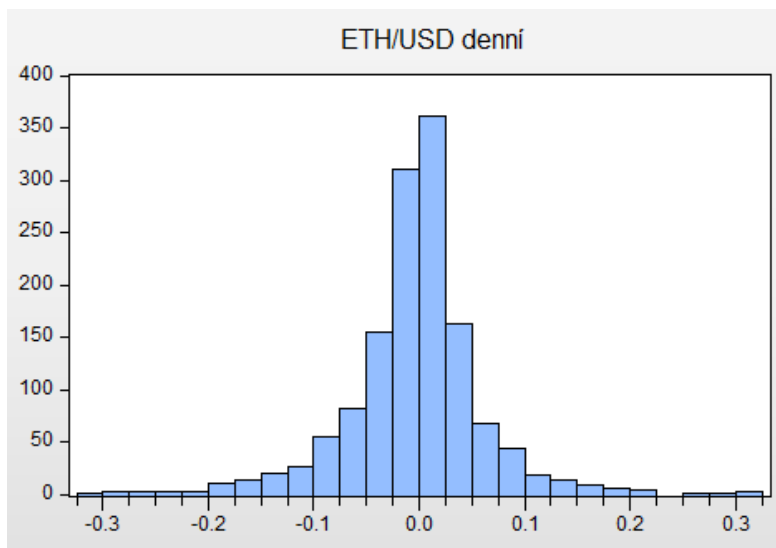
VI. Přílohy

Příloha 1: Histogram log. výnosů BTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)



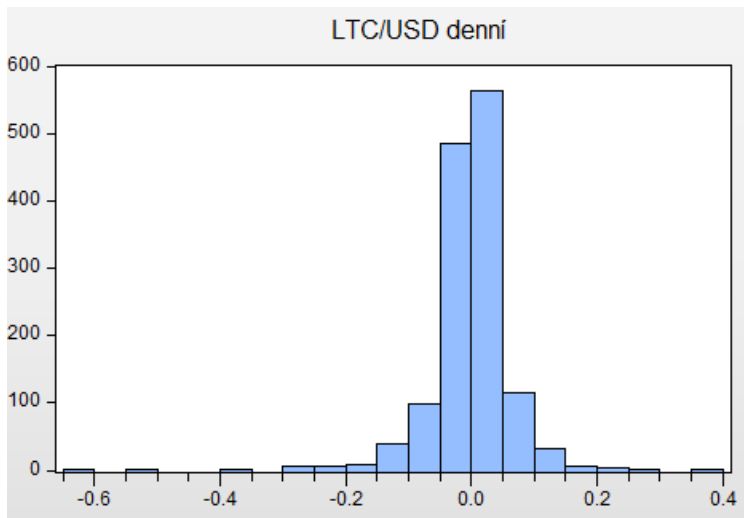
Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 2: Histogram log. výnosů ETH/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)



Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 3: Histogram log. výnosů LTC/USD denní data (od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2019)



Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 4: Test poměru rozptylů BTC/USD denní data – RW1

Variance Ratio Test on BTC

Null Hypothesis: BTC is a random walk

Date: 03/19/20 Time: 18:08

Sample: 1 1368

Included observations: 1367 (after adjustments)

Standard error estimates assume no heteroskedasticity

User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | | Value | df | Probability |
|------------------------|--|----------|------|-------------|
| Max z (at period 2)* | | 18.88926 | 1367 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | | 357.3689 | 4 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.489106 | 0.027047 | -18.88926 | 0.0000 |
| 4 | 0.252758 | 0.050600 | -14.76766 | 0.0000 |
| 8 | 0.123581 | 0.080005 | -10.95448 | 0.0000 |
| 16 | 0.062271 | 0.119052 | -7.876637 | 0.0000 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 5: Test poměru rozptylů BTC/USD týdenní data – RWI

Variance Ratio Test on BTC

Null Hypothesis: BTC is a random walk

Date: 03/19/20 Time: 18:15

Sample: 1 196

Included observations: 195 (after adjustments)

Standard error estimates assume no heteroskedasticity

User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | Value | df | Probability |
|------------------------|----------|-----|-------------|
| Max z (at period 2)* | 7.177348 | 195 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | 52.82286 | 4 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.486019 | 0.071611 | -7.177348 | 0.0000 |
| 4 | 0.293907 | 0.133973 | -5.270422 | 0.0000 |
| 8 | 0.135723 | 0.211830 | -4.080059 | 0.0000 |
| 16 | 0.083213 | 0.315213 | -2.908471 | 0.0036 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 6: Test poměru rozptylů ETH/USD denní data – RWI

Variance Ratio Test on ETH

Null Hypothesis: ETH is a random walk

Date: 03/19/20 Time: 18:26

Sample: 1 1368

Included observations: 1367 (after adjustments)

Standard error estimates assume no heteroskedasticity

User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | Value | df | Probability |
|------------------------|----------|------|-------------|
| Max z (at period 2)* | 18.76789 | 1367 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | 352.8454 | 4 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.492389 | 0.027047 | -18.76789 | 0.0000 |
| 4 | 0.257745 | 0.050600 | -14.66910 | 0.0000 |
| 8 | 0.126876 | 0.080005 | -10.91330 | 0.0000 |
| 16 | 0.061839 | 0.119052 | -7.880264 | 0.0000 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 7: Test poměru rozptylů ETH/USD týdenní data – RWI

| Variance Ratio Test on ETH | | | | |
|---|------------|------------|-------------|-------------|
| Null Hypothesis: ETH is a random walk | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 18:28 | | | | |
| Sample: 1 196 | | | | |
| Included observations: 195 (after adjustments) | | | | |
| Standard error estimates assume no heteroskedasticity | | | | |
| User-specified lags: 2 4 8 16 | | | | |
| Joint Tests | | Value | df | Probability |
| Max z (at period 2)* | | 7.279309 | 195 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | | 54.51584 | 4 | 0.0000 |
| Individual Tests | | | | |
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.478718 | 0.071611 | -7.279309 | 0.0000 |
| 4 | 0.295351 | 0.133973 | -5.259643 | 0.0000 |
| 8 | 0.142722 | 0.211830 | -4.047018 | 0.0001 |
| 16 | 0.074098 | 0.315213 | -2.937389 | 0.0033 |
| *Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom | | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 8: Test poměru rozptylů LTC/USD denní data – RWI

| Variance Ratio Test on LTC | | | | |
|---|------------|------------|-------------|-------------|
| Null Hypothesis: LTC is a random walk | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 18:35 | | | | |
| Sample: 1 1368 | | | | |
| Included observations: 1367 (after adjustments) | | | | |
| Standard error estimates assume no heteroskedasticity | | | | |
| User-specified lags: 2 4 8 16 | | | | |
| Joint Tests | | Value | df | Probability |
| Max z (at period 2)* | | 18.19031 | 1367 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | | 331.6580 | 4 | 0.0000 |
| Individual Tests | | | | |
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.508010 | 0.027047 | -18.19031 | 0.0000 |
| 4 | 0.244631 | 0.050600 | -14.92827 | 0.0000 |
| 8 | 0.131609 | 0.080005 | -10.85414 | 0.0000 |
| 16 | 0.063568 | 0.119052 | -7.865745 | 0.0000 |
| *Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom | | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 9: Test poměru rozptylů LTC/USD týdenní data – RW1

Variance Ratio Test on LTC

Null Hypothesis: LTC is a random walk
 Date: 03/19/20 Time: 18:50
 Sample: 1 196
 Included observations: 195 (after adjustments)
 Standard error estimates assume no heteroskedasticity
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | Value | df | Probability |
|------------------------|----------|-----|-------------|
| Max z (at period 2)* | 6.830515 | 195 | 0.0000 |
| Wald (Chi-Square) | 46.94873 | 4 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.510857 | 0.071611 | -6.830515 | 0.0000 |
| 4 | 0.290150 | 0.133973 | -5.298464 | 0.0000 |
| 8 | 0.141593 | 0.211830 | -4.052346 | 0.0001 |
| 16 | 0.078939 | 0.315213 | -2.922030 | 0.0035 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 10: Test poměru rozptylů BTC/USD denní data – RW2 a RW3

Variance Ratio Test on BTC

Null Hypothesis: BTC is a martingale
 Date: 03/19/20 Time: 18:02
 Sample: 1 1368
 Included observations: 1367 (after adjustments)
 Heteroskedasticity robust standard error estimates
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | Value | df | Probability |
|------------------------|----------|------|-------------|
| Max z (at period 2)* | 10.71068 | 1367 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.489106 | 0.047699 | -10.71068 | 0.0000 |
| 4 | 0.252758 | 0.082499 | -9.057609 | 0.0000 |
| 8 | 0.123581 | 0.120914 | -7.248304 | 0.0000 |
| 16 | 0.062271 | 0.167989 | -5.582083 | 0.0000 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 11: Test poměru rozptylů BTC/USD týdenní data – RW2 a RW3

Variance Ratio Test on BTC

Null Hypothesis: BTC is a martingale
 Date: 03/19/20 Time: 18:16
 Sample: 1 196
 Included observations: 195 (after adjustments)
 Heteroskedasticity robust standard error estimates
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | | Value | df | Probability |
|------------------------|--|----------|-----|-------------|
| Max z (at period 2)* | | 4.774606 | 195 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.486019 | 0.107649 | -4.774606 | 0.0000 |
| 4 | 0.293907 | 0.184380 | -3.829564 | 0.0001 |
| 8 | 0.135723 | 0.274135 | -3.152746 | 0.0016 |
| 16 | 0.083213 | 0.392026 | -2.338587 | 0.0194 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 12: Test poměru rozptylů ETH/USD denní data – RW2 a RW3

Variance Ratio Test on ETH

Null Hypothesis: ETH is a martingale
 Date: 03/19/20 Time: 18:24
 Sample: 1 1368
 Included observations: 1367 (after adjustments)
 Heteroskedasticity robust standard error estimates
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | | Value | df | Probability |
|------------------------|--|----------|------|-------------|
| Max z (at period 2)* | | 10.80687 | 1367 | 0.0000 |

| Individual Tests | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.492389 | 0.046971 | -10.80687 | 0.0000 |
| 4 | 0.257745 | 0.082892 | -8.954504 | 0.0000 |
| 8 | 0.126876 | 0.119198 | -7.324964 | 0.0000 |
| 16 | 0.061839 | 0.160733 | -5.836766 | 0.0000 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 13: Test poměru rozptylů ETH/USD týdenní data – RW2 a RW3

Variance Ratio Test on ETH

Null Hypothesis: ETH is a martingale
 Date: 03/19/20 Time: 18:27
 Sample: 1 196
 Included observations: 195 (after adjustments)
 Heteroskedasticity robust standard error estimates
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | | Value | df | Probability |
|------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Max z (at period 2)* | | 5.325078 | 195 | 0.0000 |
| Individual Tests | | | | |
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.478718 | 0.097892 | -5.325078 | 0.0000 |
| 4 | 0.295351 | 0.170645 | -4.129329 | 0.0000 |
| 8 | 0.142722 | 0.254580 | -3.367426 | 0.0008 |
| 16 | 0.074098 | 0.357519 | -2.589798 | 0.0096 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 14: Test poměru rozptylů LTC/USD denní data – RW2 a RW3

Variance Ratio Test on LTC

Null Hypothesis: LTC is a martingale
 Date: 03/19/20 Time: 18:36
 Sample: 1 1368
 Included observations: 1367 (after adjustments)
 Heteroskedasticity robust standard error estimates
 User-specified lags: 2 4 8 16

| Joint Tests | | Value | df | Probability |
|------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Max z (at period 2)* | | 8.320997 | 1367 | 0.0000 |
| Individual Tests | | | | |
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.508010 | 0.059126 | -8.320997 | 0.0000 |
| 4 | 0.244631 | 0.099467 | -7.594135 | 0.0000 |
| 8 | 0.131609 | 0.136854 | -6.345369 | 0.0000 |
| 16 | 0.063568 | 0.188048 | -4.979758 | 0.0000 |

*Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 15: Test poměru rozptylů LTC/USD týdenní data – RW2 a RW3

| Variance Ratio Test on LTC | | | | |
|---|------------|------------|-------------|-------------|
| Null Hypothesis: LTC is a martingale | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 18:38 | | | | |
| Sample: 1 196 | | | | |
| Included observations: 195 (after adjustments) | | | | |
| Heteroskedasticity robust standard error estimates | | | | |
| User-specified lags: 2 4 8 16 | | | | |
| Joint Tests | | Value | df | Probability |
| Max z (at period 2)* | | 4.800051 | 195 | 0.0000 |
| Individual Tests | | | | |
| Period | Var. Ratio | Std. Error | z-Statistic | Probability |
| 2 | 0.510857 | 0.101904 | -4.800051 | 0.0000 |
| 4 | 0.290150 | 0.173654 | -4.087737 | 0.0000 |
| 8 | 0.141593 | 0.254730 | -3.369870 | 0.0008 |
| 16 | 0.078939 | 0.364340 | -2.528027 | 0.0115 |
| *Probability approximation using studentized maximum modulus with parameter value 4 and infinite degrees of freedom | | | | |

Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 16: Autokorelační analýza BTC/USD denní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|-----------------|---------------------|-----------|--------|--------|-------|
| | | 1 0.038 | 0.038 | 1.9747 | 0.160 |
| | | 2 -0.026 | -0.028 | 2.9360 | 0.230 |
| | | 3 0.009 | 0.011 | 3.0397 | 0.386 |
| | | 4 -0.053 | -0.055 | 6.8867 | 0.142 |
| | | 5 0.100 | 0.105 | 20.533 | 0.001 |
| | | 6 -0.059 | -0.072 | 25.312 | 0.000 |
| | | 7 -0.032 | -0.019 | 26.743 | 0.000 |
| | | 8 0.032 | 0.025 | 28.115 | 0.000 |
| | | 9 0.022 | 0.032 | 28.809 | 0.001 |
| | | 10 0.150 | 0.135 | 59.998 | 0.000 |
| | | 11 0.016 | 0.013 | 60.334 | 0.000 |
| | | 12 -0.029 | -0.018 | 61.457 | 0.000 |
| | | 13 -0.092 | -0.103 | 73.063 | 0.000 |
| | | 14 -0.034 | -0.015 | 74.648 | 0.000 |
| | | 15 -0.017 | -0.044 | 75.055 | 0.000 |

Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 17: Autokorelační analýza BTC/USD týdenní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
|-----------------|---------------------|----|--------|--------|--------|-------|
| | | 1 | -0.000 | -0.000 | 3.E-05 | 0.995 |
| | | 2 | -0.104 | -0.104 | 2.1766 | 0.337 |
| | | 3 | 0.211 | 0.214 | 11.171 | 0.011 |
| | | 4 | -0.135 | -0.159 | 14.837 | 0.005 |
| | | 5 | -0.094 | -0.041 | 16.625 | 0.005 |
| | | 6 | 0.186 | 0.125 | 23.697 | 0.001 |
| | | 7 | -0.101 | -0.077 | 25.807 | 0.001 |
| | | 8 | -0.086 | -0.042 | 27.335 | 0.001 |
| | | 9 | 0.073 | -0.019 | 28.427 | 0.001 |
| | | 10 | -0.069 | -0.015 | 29.406 | 0.001 |
| | | 11 | 0.136 | 0.186 | 33.274 | 0.000 |
| | | 12 | 0.000 | -0.101 | 33.274 | 0.001 |
| | | 13 | -0.114 | -0.046 | 36.035 | 0.001 |
| | | 14 | -0.057 | -0.121 | 36.737 | 0.001 |
| | | 15 | 0.019 | 0.053 | 36.812 | 0.001 |































Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 18: Autokorelační analýza ETH/USD denní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
|-----------------|---------------------|----|--------|--------|--------|-------|
| | | 1 | 0.043 | 0.043 | 2.5207 | 0.112 |
| | | 2 | -0.004 | -0.006 | 2.5427 | 0.280 |
| | | 3 | 0.014 | 0.014 | 2.8082 | 0.422 |
| | | 4 | -0.072 | -0.074 | 9.9756 | 0.041 |
| | | 5 | 0.077 | 0.084 | 18.072 | 0.003 |
| | | 6 | 0.156 | 0.150 | 51.598 | 0.000 |
| | | 7 | -0.022 | -0.033 | 52.251 | 0.000 |
| | | 8 | -0.056 | -0.064 | 56.561 | 0.000 |
| | | 9 | -0.078 | -0.069 | 64.939 | 0.000 |
| | | 10 | -0.083 | -0.061 | 74.416 | 0.000 |
| | | 11 | 0.072 | 0.056 | 81.495 | 0.000 |
| | | 12 | -0.064 | -0.097 | 87.100 | 0.000 |
| | | 13 | -0.043 | -0.031 | 89.674 | 0.000 |
| | | 14 | 0.022 | 0.044 | 90.371 | 0.000 |
| | | 15 | 0.064 | 0.111 | 96.005 | 0.000 |































Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 19: Autokorelační analýza ETH/USD týdenní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
|---|---|----|--------|--------|--------|-------|
|  |  | 1 | -0.069 | -0.069 | 0.9530 | 0.329 |
|  |  | 2 | 0.093 | 0.089 | 2.7017 | 0.259 |
|  |  | 3 | 0.175 | 0.190 | 8.8900 | 0.031 |
|  |  | 4 | -0.249 | -0.243 | 21.421 | 0.000 |
|  |  | 5 | -0.079 | -0.159 | 22.703 | 0.000 |
|  |  | 6 | 0.138 | 0.171 | 26.578 | 0.000 |
|  |  | 7 | -0.110 | 0.029 | 29.068 | 0.000 |
|  |  | 8 | 0.078 | 0.002 | 30.330 | 0.000 |
|  |  | 9 | -0.054 | -0.170 | 30.939 | 0.000 |
|  |  | 10 | -0.143 | -0.106 | 35.217 | 0.000 |
|  |  | 11 | -0.017 | 0.010 | 35.281 | 0.000 |
|  |  | 12 | -0.115 | -0.061 | 38.067 | 0.000 |
|  |  | 13 | -0.027 | -0.027 | 38.218 | 0.000 |
|  |  | 14 | 0.051 | -0.019 | 38.771 | 0.000 |
|  |  | 15 | 0.041 | 0.087 | 39.140 | 0.001 |































Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 20: Autokorelační analýza LTC/USD denní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
|---|---|----|--------|--------|--------|-------|
|  |  | 1 | 0.061 | 0.061 | 5.0742 | 0.024 |
|  |  | 2 | -0.055 | -0.059 | 9.1839 | 0.010 |
|  |  | 3 | 0.064 | 0.072 | 14.852 | 0.002 |
|  |  | 4 | -0.022 | -0.034 | 15.496 | 0.004 |
|  |  | 5 | 0.016 | 0.028 | 15.832 | 0.007 |
|  |  | 6 | 0.175 | 0.166 | 57.941 | 0.000 |
|  |  | 7 | 0.014 | -0.003 | 58.222 | 0.000 |
|  |  | 8 | 0.010 | 0.028 | 58.372 | 0.000 |
|  |  | 9 | -0.058 | -0.085 | 63.048 | 0.000 |
|  |  | 10 | -0.094 | -0.078 | 75.125 | 0.000 |
|  |  | 11 | 0.024 | 0.021 | 75.953 | 0.000 |
|  |  | 12 | -0.031 | -0.068 | 77.320 | 0.000 |
|  |  | 13 | -0.108 | -0.097 | 93.348 | 0.000 |
|  |  | 14 | 0.097 | 0.100 | 106.43 | 0.000 |
|  |  | 15 | -0.019 | -0.013 | 106.94 | 0.000 |

Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 21: Autokorelační analýza LTC/USD týdenní data

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
|---|---|----|--------|--------|--------|-------|
|  |  | 1 | 0.024 | 0.024 | 0.1164 | 0.733 |
|  |  | 2 | -0.123 | -0.123 | 3.1322 | 0.209 |
|  |  | 3 | 0.219 | 0.229 | 12.811 | 0.005 |
|  |  | 4 | -0.171 | -0.220 | 18.726 | 0.001 |
|  |  | 5 | -0.180 | -0.104 | 25.292 | 0.000 |
|  |  | 6 | 0.035 | -0.051 | 25.547 | 0.000 |
|  |  | 7 | -0.166 | -0.135 | 31.238 | 0.000 |
|  |  | 8 | 0.000 | 0.056 | 31.238 | 0.000 |
|  |  | 9 | 0.200 | 0.118 | 39.503 | 0.000 |
|  |  | 10 | 0.096 | 0.146 | 41.413 | 0.000 |
|  |  | 11 | 0.114 | 0.095 | 44.130 | 0.000 |
|  |  | 12 | -0.111 | -0.232 | 46.747 | 0.000 |
|  |  | 13 | -0.130 | -0.104 | 50.328 | 0.000 |
|  |  | 14 | -0.018 | -0.056 | 50.399 | 0.000 |
|  |  | 15 | -0.052 | 0.090 | 50.984 | 0.000 |

Zdroj: program EViews, vlastní zpracování

Příloha 22: Test jednotkového kořene BTC/USD denní data

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on BTC

Null Hypothesis: BTC has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

| | t-Statistic | Prob.* |
|--|-------------|--------|
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -37.30801 | 0.0000 |
| Test critical values: | | |
| 1% level | -3.434924 | |
| 5% level | -2.863447 | |
| 10% level | -2.567834 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(BTC)
 Method: Least Squares
 Date: 03/19/20 Time: 19:00
 Sample (adjusted): 2 1368
 Included observations: 1367 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| BTC(-1) | -1.009657 | 0.027063 | -37.30801 | 0.0000 |
| C | -0.002216 | 0.001085 | -2.043168 | 0.0412 |
| R-squared | 0.504876 | Mean dependent var | | 1.84E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.504514 | S.D. dependent var | | 0.056889 |
| S.E. of regression | 0.040045 | Akaike info criterion | | -3.596179 |
| Sum squared resid | 2.188883 | Schwarz criterion | | -3.588542 |
| Log likelihood | 2459.989 | Hannan-Quinn criter. | | -3.593321 |
| F-statistic | 1391.888 | Durbin-Watson stat | | 1.999188 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 23: Test jednotkového kořene BTC/USD denní data – s konstantou i trendem

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on BTC | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: BTC has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant, Linear Trend | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -37.31584 | 0.0000 |
| Test critical values: | 1% level | | -3.964772 | |
| | 5% level | | -3.413101 | |
| | 10% level | | -3.128559 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(BTC) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 19:01 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 1368 | | | | |
| Included observations: 1367 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| BTC(-1) | -1.010221 | 0.027072 | -37.31584 | 0.0000 |
| C | -0.000544 | 0.002168 | -0.250995 | 0.8019 |
| @TREND("1") | -2.45E-06 | 2.75E-06 | -0.891116 | 0.3730 |
| R-squared | 0.505165 | Mean dependent var | | 1.84E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.504439 | S.D. dependent var | | 0.056889 |
| S.E. of regression | 0.040048 | Akaike info criterion | | -3.595298 |
| Sum squared resid | 2.187609 | Schwarz criterion | | -3.583842 |
| Log likelihood | 2460.386 | Hannan-Quinn criter. | | -3.591011 |
| F-statistic | 696.2360 | Durbin-Watson stat | | 1.999210 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 24: Test jednotkového kořene BTC/USD týdenní data

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on BTC | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: BTC has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -13.57874 | 0.0000 |
| Test critical values: | | | | |
| | 1% level | | -3.463924 | |
| | 5% level | | -2.876200 | |
| | 10% level | | -2.574663 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(BTC) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 19:06 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 196 | | | | |
| Included observations: 195 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| BTC(-1) | -0.977285 | 0.071972 | -13.57874 | 0.0000 |
| C | -0.014718 | 0.008242 | -1.785715 | 0.0757 |
| R-squared | 0.488582 | Mean dependent var | | -9.14E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.485932 | S.D. dependent var | | 0.159150 |
| S.E. of regression | 0.114108 | Akaike info criterion | | -1.493136 |
| Sum squared resid | 2.512990 | Schwarz criterion | | -1.459567 |
| Log likelihood | 147.5808 | Hannan-Quinn criter. | | -1.479545 |
| F-statistic | 184.3822 | Durbin-Watson stat | | 1.978579 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on BTC

Null Hypothesis: BTC has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

| | t-Statistic | Prob.* |
|--|-------------|--------|
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -13.59213 | 0.0000 |
| Test critical values: | | |
| 1% level | -4.005809 | |
| 5% level | -3.433036 | |
| 10% level | -3.140335 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(BTC)
 Method: Least Squares
 Date: 03/19/20 Time: 19:08
 Sample (adjusted): 2 196
 Included observations: 195 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| BTC(-1) | -0.980709 | 0.072153 | -13.59213 | 0.0000 |
| C | -0.003049 | 0.016422 | -0.185678 | 0.8529 |
| @TREND("1") | -0.000120 | 0.000146 | -0.821783 | 0.4122 |
| R-squared | 0.490375 | Mean dependent var | | -9.14E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.485066 | S.D. dependent var | | 0.159150 |
| S.E. of regression | 0.114204 | Akaike info criterion | | -1.486391 |
| Sum squared resid | 2.504182 | Schwarz criterion | | -1.436037 |
| Log likelihood | 147.9231 | Hannan-Quinn criter. | | -1.466004 |
| F-statistic | 92.37369 | Durbin-Watson stat | | 1.978395 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 26: Test jednotkového kořene LTC/USD denní data

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on LTC | | |
|---|-------------|--------|
| | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -36.14720 | 0.0000 |
| Test critical values: | | |
| 1% level | -3.434924 | |
| 5% level | -2.863447 | |
| 10% level | -2.567834 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LTC)

Method: Least Squares

Date: 03/19/20 Time: 20:06

Sample (adjusted): 2 1368

Included observations: 1367 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| LTC(-1) | -0.978068 | 0.027058 | -36.14720 | 0.0000 |
| C | -0.002456 | 0.001654 | -1.484610 | 0.1379 |
| R-squared | 0.489074 | Mean dependent var | | 2.52E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.488700 | S.D. dependent var | | 0.085451 |
| S.E. of regression | 0.061102 | Akaike info criterion | | -2.751079 |
| Sum squared resid | 5.096184 | Schwarz criterion | | -2.743441 |
| Log likelihood | 1882.362 | Hannan-Quinn criter. | | -2.748220 |
| F-statistic | 1306.620 | Durbin-Watson stat | | 1.999839 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on LTC

Null Hypothesis: LTC has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

| | t-Statistic | Prob.* |
|--|-------------|--------|
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -36.16795 | 0.0000 |
| Test critical values: 1% level | -3.964772 | |
| 5% level | -3.413101 | |
| 10% level | -3.128559 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LTC)
 Method: Least Squares
 Date: 03/19/20 Time: 20:07
 Sample (adjusted): 2 1368
 Included observations: 1367 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| LTC(-1) | -0.978993 | 0.027068 | -36.16795 | 0.0000 |
| C | 0.000754 | 0.003307 | 0.227891 | 0.8198 |
| @TREND("1") | -4.70E-06 | 4.19E-06 | -1.120732 | 0.2626 |
| R-squared | 0.489544 | Mean dependent var | | 2.52E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.488796 | S.D. dependent var | | 0.085451 |
| S.E. of regression | 0.061096 | Akaike info criterion | | -2.750536 |
| Sum squared resid | 5.091495 | Schwarz criterion | | -2.739080 |
| Log likelihood | 1882.991 | Hannan-Quinn criter. | | -2.746248 |
| F-statistic | 654.0606 | Durbin-Watson stat | | 1.999818 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 28: Test jednotkového kořene LTC/USD týdenní data

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on LTC | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: LTC has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -12.53004 | 0.0000 |
| Test critical values: | | | | |
| | 1% level | | -3.463924 | |
| | 5% level | | -2.876200 | |
| | 10% level | | -2.574663 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(LTC) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 20:11 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 196 | | | | |
| Included observations: 195 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| LTC(-1) | -0.897117 | 0.071597 | -12.53004 | 0.0000 |
| C | -0.012634 | 0.011090 | -1.139260 | 0.2560 |
| R-squared | 0.448574 | Mean dependent var | | 7.40E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.445717 | S.D. dependent var | | 0.207134 |
| S.E. of regression | 0.154212 | Akaike info criterion | | -0.890775 |
| Sum squared resid | 4.589793 | Schwarz criterion | | -0.857206 |
| Log likelihood | 88.85054 | Hannan-Quinn criter. | | -0.877183 |
| F-statistic | 157.0019 | Durbin-Watson stat | | 1.991526 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 29: Test jednotkového kořene LTC/USD týdenní data – s konstantou i trendem

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on LTC | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: LTC has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant, Linear Trend | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -12.56066 | 0.0000 |
| Test critical values: | | | | |
| | 1% level | | -4.005809 | |
| | 5% level | | -3.433036 | |
| | 10% level | | -3.140335 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(LTC) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 20:12 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 196 | | | | |
| Included observations: 195 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| LTC(-1) | -0.902018 | 0.071813 | -12.56066 | 0.0000 |
| C | 0.005308 | 0.022183 | 0.239289 | 0.8111 |
| @TREND("1") | -0.000184 | 0.000197 | -0.934029 | 0.3515 |
| R-squared | 0.451069 | Mean dependent var | | 7.40E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.445351 | S.D. dependent var | | 0.207134 |
| S.E. of regression | 0.154263 | Akaike info criterion | | -0.885052 |
| Sum squared resid | 4.569032 | Schwarz criterion | | -0.834698 |
| Log likelihood | 89.29256 | Hannan-Quinn criter. | | -0.864664 |
| F-statistic | 78.88526 | Durbin-Watson stat | | 1.990079 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 30: Test jednotkového kořene ETH/USD denní data

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on ETH | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: ETH has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -36.17997 | 0.0000 |
| Test critical values: | | | | |
| | 1% level | | -3.434924 | |
| | 5% level | | -2.863447 | |
| | 10% level | | -2.567834 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(ETH) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 19:13 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 1368 | | | | |
| Included observations: 1367 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| ETH(-1) | -0.978838 | 0.027055 | -36.17997 | 0.0000 |
| C | -0.003680 | 0.001679 | -2.191395 | 0.0286 |
| R-squared | 0.489527 | Mean dependent var | | 4.69E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.489153 | S.D. dependent var | | 0.086707 |
| S.E. of regression | 0.061973 | Akaike info criterion | | -2.722788 |
| Sum squared resid | 5.242419 | Schwarz criterion | | -2.715150 |
| Log likelihood | 1863.025 | Hannan-Quinn criter. | | -2.719929 |
| F-statistic | 1308.991 | Durbin-Watson stat | | 2.000827 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on ETH

Null Hypothesis: ETH has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=23)

| | t-Statistic | Prob.* |
|--|-------------|--------|
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -36.38655 | 0.0000 |
| Test critical values: 1% level | -3.964772 | |
| 5% level | -3.413101 | |
| 10% level | -3.128559 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(ETH)
 Method: Least Squares
 Date: 03/19/20 Time: 19:15
 Sample (adjusted): 2 1368
 Included observations: 1367 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| ETH(-1) | -0.984838 | 0.027066 | -36.38655 | 0.0000 |
| C | 0.004591 | 0.003348 | 1.371311 | 0.1705 |
| @TREND("1") | -1.21E-05 | 4.25E-06 | -2.853436 | 0.0044 |
| R-squared | 0.492556 | Mean dependent var | | 4.69E-05 |
| Adjusted R-squared | 0.491812 | S.D. dependent var | | 0.086707 |
| S.E. of regression | 0.061811 | Akaike info criterion | | -2.727276 |
| Sum squared resid | 5.211311 | Schwarz criterion | | -2.715820 |
| Log likelihood | 1867.093 | Hannan-Quinn criter. | | -2.722988 |
| F-statistic | 661.9908 | Durbin-Watson stat | | 2.000329 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Příloha 32: Test jednotkového kořene ETH/USD týdenní data

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on ETH | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Null Hypothesis: ETH has a unit root | | | | |
| Exogenous: Constant | | | | |
| Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14) | | | | |
| | | | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | | | -12.46953 | 0.0000 |
| Test critical values: | | | | |
| | 1% level | | -3.463924 | |
| | 5% level | | -2.876200 | |
| | 10% level | | -2.574663 | |
| *MacKinnon (1996) one-sided p-values. | | | | |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation | | | | |
| Dependent Variable: D(ETH) | | | | |
| Method: Least Squares | | | | |
| Date: 03/19/20 Time: 19:16 | | | | |
| Sample (adjusted): 2 196 | | | | |
| Included observations: 195 after adjustments | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| ETH(-1) | -0.892307 | 0.071559 | -12.46953 | 0.0000 |
| C | -0.023641 | 0.013211 | -1.789448 | 0.0751 |
| R-squared | 0.446181 | Mean dependent var | | 0.000118 |
| Adjusted R-squared | 0.443311 | S.D. dependent var | | 0.244679 |
| S.E. of regression | 0.182559 | Akaike info criterion | | -0.553284 |
| Sum squared resid | 6.432257 | Schwarz criterion | | -0.519715 |
| Log likelihood | 55.94521 | Hannan-Quinn criter. | | -0.539692 |
| F-statistic | 155.4893 | Durbin-Watson stat | | 2.017545 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on ETH

Null Hypothesis: ETH has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

| | t-Statistic | Prob.* |
|--|-------------|--------|
| Augmented Dickey-Fuller test statistic | -12.85462 | 0.0000 |
| Test critical values: | | |
| 1% level | -4.005809 | |
| 5% level | -3.433036 | |
| 10% level | -3.140335 | |

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(ETH)
 Method: Least Squares
 Date: 03/19/20 Time: 19:17
 Sample (adjusted): 2 196
 Included observations: 195 after adjustments

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| ETH(-1) | -0.924749 | 0.071939 | -12.85462 | 0.0000 |
| C | 0.030823 | 0.026030 | 1.184128 | 0.2378 |
| @TREND("1") | -0.000565 | 0.000233 | -2.418098 | 0.0165 |
| R-squared | 0.462549 | Mean dependent var | | 0.000118 |
| Adjusted R-squared | 0.456950 | S.D. dependent var | | 0.244679 |
| S.E. of regression | 0.180309 | Akaike info criterion | | -0.573027 |
| Sum squared resid | 6.242157 | Schwarz criterion | | -0.522674 |
| Log likelihood | 58.87017 | Hannan-Quinn criter. | | -0.552640 |
| F-statistic | 82.62081 | Durbin-Watson stat | | 2.005165 |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |

Zdroj: program Eviews, vlastní zpracování