

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

EKONOMICKÁ FAKULTA

KATEDRA FINANCÍ

Zhodnocení vlivu vybraných faktorů na vývoj ceny Bitcoinu

Evaluation of the Impact of Selected Factors on Bitcoin Price

Student: Bc. Lukáš Krupička

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martina Novotná, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Krupička**

Studijní program: N6202 Hospodářská politika a správa

Studijní obor: 6202T010 Finance

Téma: **Zhodnocení vlivu vybraných faktorů na vývoj ceny Bitcoinu**
Evaluation of the Impact of Selected Factors on Bitcoin Price

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Podstata investování do kryptoměn
3. Popis zvolených ekonometrických přístupů
4. Zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu Bitcoinu
5. Závěr

Seznam použité literatury

Seznam zkratk

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Seznam příloh

Přílohy

Seznam doporučené odborné literatury:

CIPRA, Tomáš. *Finanční ekonometrie*. 2. vyd. Praha: Ekopress, 2013. ISBN 978-80-86929-93-4.

JÍLEK, Josef. *Akciové trhy a investování*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2963-3.

LEE, David. *Handbook of digital currency: bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Amsterdam: Elsevier, 2015. ISBN 978-0-12-802117-0.

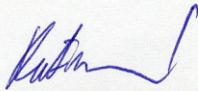
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Novotná, Ph.D.**

Datum zadání: 24.11.2017

Datum odevzdání: 27.04.2018




Ing. Iveta Ratmanová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Dr. Ing. Zdeněk Zmeškal
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně všech příloh, vypracoval samostatně.

V Ostravě dne 24. 4. 2018

..... Lukáš KR
.....

Lukáš Krupička

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Martině Novotné, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a odbornou pomoc při tvorbě této diplomové práce.

Obsah

1	Úvod	6
2	Podstata investování do kryptoměn.....	8
2.1	Charakteristika kryptoměn	8
2.2	Bitcoin.....	9
2.2.1	Obecná charakteristika Bitcoinu.....	9
2.2.2	Vznik Bitcoinu	11
2.2.3	Základní pojmy a princip fungování	12
2.2.4	Historický vývoj ceny bitcoinu	17
2.2.5	Možnosti nákupu a investování do bitcoinu	19
2.2.6	Možnosti zabezpečení kryptoměn.....	22
2.3	Alternativní kryptoměny	24
2.3.1	Ethereum	26
2.3.2	Ripple.....	27
2.3.3	Bitcoin Cash.....	28
2.3.4	Litecoin	29
3	Popis zvolených ekonometrických přístupů.....	31
3.1	Úvod do ekonometrického modelování	31
3.1.1	Historický pohled na ekonometrii	31
3.1.2	Proces ekonometrického modelování	31
3.1.3	Typy dat.....	35
3.2	Model lineární regrese.....	35
3.2.1	Metoda nejmenších čtverců	37
3.2.2	Koeficient determinace	38
3.2.3	Testování hypotéz regresních parametrů	39
3.2.4	Testování statistické významnosti celkového modelu.....	41
3.2.5	Testování normality reziduální složky	43

3.3	Zobecnění lineárních regresních modelů	45
3.3.1	Autokorelace	46
3.3.2	Heteroskedasticita	48
3.3.3	Multikolinearita	50
4	Zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu Bitcoinu	52
4.1	Popis vybraných proměnných.....	52
4.2	Formulace stochastického regresního modelu	58
4.3	Analýza časových řad.....	59
4.3.1	Deskriptivní statistika	59
4.3.2	Analýza chybějících hodnot	60
4.3.3	Analýza odlehých a extrémních hodnot	60
4.3.4	Dekompozice časových řad	61
4.3.5	Korelační analýza	61
4.3.6	Odhady regresních modelů.....	64
4.4	Statistická verifikace	67
4.4.1	T-test.....	67
4.4.2	F-test.....	68
4.5	Ekonometrická verifikace.....	68
4.5.1	Normalita reziduální složky	69
4.5.2	Autokorelace	69
4.5.3	Heteroskedasticita	70
4.6	Shrnutí jednofaktorových modelů	71
4.7	Vícefaktorové modely	73
4.7.1	Vícefaktorový model se základními proměnnými	73
4.7.2	Vícefaktorový model s transformovanými proměnnými.....	78
4.8	Shrnutí vícefaktorových modelů	83
4.9	Shrnutí dosažených výsledků	84

5	Závěr	87
	Seznam použité literatury	89
	Seznam zkratk.....	93
	Prohlášení o využití výsledků diplomové práce	
	Seznam příloh	
	Přílohy	

1 Úvod

Bitcoin a kryptoměny obecně jsou jedním z nejdiskutovanějších fenoménů dnešní doby. O kryptoměnách je diskutováno téměř všude. Svět je ale rozpolcen na dvě strany, které mají protichůdné názory na tato finanční aktiva. Jedna strana vidí kryptoměny jako nástroj k investici či spekulaci a také jako možnou budoucí náhradu současných peněz, druhá pak jako investiční bublinu nebo prostředek pro nelegální obchody. V této diplomové práci je vybráno sedm faktorů v rámci kterých je cílem zjistit, zda existuje vzájemný vztah mezi vývojem ceny bitcoinu a vývojem těchto vybraných ekonomických veličin, nebo je-li cena bitcoinu ovlivněna pouze poptávkou po této kryptoměně.

Cílem této diplomové práce je zhodnocení vlivu vybraných faktorů (množství vytěžených bitcoinů, množství jedinečných transakcí bitcoinu za den, hodnota amerického akciového indexu Standard & Poor's 500, efektivní sazba federálních fondů, cena zlata, hodnota čínského akciového indexu SSE Composite, průměrná cena elektřiny na americkém trhu) na vývoj ceny bitcoinu. Zkoumaným obdobím je zvolené pětileté období od 7. měsíce roku 2012 do 7. měsíce roku 2017. Vliv jednotlivých faktorů je zhodnocen nejprve pomocí jednofaktorových modelů. Dílčím cílem je následně na základě dosažených výsledků jednofaktorových modelů, sestavit modely vícefaktorové.

Tato diplomová práce je rozdělena do pěti kapitol. Tyto kapitoly tvoří úvod, závěr a tři hlavní kapitoly. V druhé kapitole práce jsou popsány základní pojmy a principy fungování kryptoměny bitcoin, které by měl znát každý, kdo zvažuje nakoupit tuto digitální měnu nebo do ní investovat. Dále jsou popsány jednotlivé možnosti, jak lze investovat do bitcoinu a na závěr této kapitoly jsou také stručně popsány nejznámější alternativní kryptoměny.

V třetí kapitole této práce jsou teoreticky popsány metody v rámci ekonometrické analýzy. Je zde teoreticky vymezeno ekonometrické modelování z hlediska jeho historie a také celkový proces ekonometrického modelování. Je zde vymezen model lineární regrese, popis metody nejmenších čtverců a také koeficientu determinace. Následně jsou teoreticky popsány jednotlivé testy, které slouží ke stanovení regresních parametrů, testování statistické významnosti modelu a

normálního rozdělení reziduí. Jsou zde popsány také problémy heteroskedasticity a multikolinearity.

V rámci čtvrté kapitoly je provedena aplikace teoreticky popsaných metod na zvolená data neboli zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu bitcoinu. Vysvětlovanou proměnnou je vždy cena bitcoinu. Na začátku této kapitoly jsou popsány jednotlivé zvolené proměnné a jsou naformulovány jednotlivé stochastické regresní modely. V rámci této kapitoly je provedena analýza dat, která obsahuje popisnou statistiku, analýzu chybějících hodnot, analýzu odlehlých a extrémních hodnot a dekompozici časových řad. Dále je provedena korelační a regresní analýza. Následně je provedena statistická verifikace parametrů a sestavených modelů. V rámci ekonometrické verifikace je provedeno testování autokorelace, heteroskedasticity a normality reziduí. V závěru kapitoly jsou následně shrnuty dosažené výsledky a na jejich základě jsou sestaveny vícefaktorové modely. Pro výpočet v této kapitole je používán software MS Excel a IBM SPSS.

2 Podstata investování do kryptoměn

V poslední době se kryptoměny staly velmi diskutovaným tématem. Díky vysokému nárůstu jejich hodnoty a také jejich extrémní volatilitě, se o ně začali zajímat nejenom technologičtí nadšenci a lidé, kteří je chtějí používat jako prostředek směny, ale také lidé, kteří do nich chtějí investovat své peněžní prostředky a vydělat tak na růstu jejich ceny.

Cílem této kapitoly je zaměřit se na vysvětlení pojmů souvisejících se světem kryptoměn z pohledu investora. Nejprve si uvedeme základní pojmy a zjednodušené principy fungování kryptoměny bitcoin, které by měl znát každý, kdo zvažuje investovat do této digitální měny. Následně si nastíníme jednotlivé možnosti, jak lze digitální měnu nakoupit a investovat do ní své peněžní prostředky. Popíšeme si také jednotlivé možnosti, jak lze digitální měnu ochránit před krádeží. A na závěr této kapitoly si také představíme nejnámější alternativní kryptoměny.

2.1 Charakteristika kryptoměn

Název kryptoměna je překladem anglického slova *cryptocurrency*, které je složeno ze dvou slov, a to *crypto* (pocházející ze slova *cryptography* - kryptografie) a *currency* (měna). Kryptoměnu tedy lze charakterizovat jako digitální nebo virtuální měnu, která je založená na peer-to-peer počítačové síti a která je zabezpečena pomocí kryptografie.¹ P2P neboli peer-to-peer označuje typ počítačové sítě, v rámci které jsou všechny uzly rovnocenné. To znamená, že klienti dané sítě mezi sebou komunikují na přímo a tím pádem v rámci sítě neexistuje žádný centrální uzel – server. Kryptografie je pak věda, která se zabývá šifrováním zpráv do podoby, kterou umožňuje číst pouze znalost šifrovacího klíče.

Dle David Lee Kuo Chuen (2015) by úspěšná kryptoměna měla být:

- založena na open-source softwaru,
- decentralizovaná,
- založena na peer-to-peer,
- globální,
- rychlá (z hlediska rychlosti transakcí),

¹ <https://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp>

- spolehlivá,
- zabezpečená,
- škálovatelná.

2.2 Bitcoin

V předchozím textu této práce jsme definovali pojem kryptoměna. Nyní se zaměříme pouze na popis a vysvětlení historicky první, a tedy nejstarší kryptoměny Bitcoin.

2.2.1 Obecná charakteristika Bitcoinu

Bitcoin představuje digitální měnu a také plně decentralizovanou platební síť, která používá systém peer-to-peer k ověřování a zpracovávání transakcí mezi jednotlivými uzly (účastníky) sítě. Základní jednotkou této sítě je tedy bitcoin. Jednou z nejdůležitějších vlastností bitcoinové sítě je její decentralizace. **Decentralizace** spočívá v tom, že neexistuje žádná centrální autorita, tedy žádná banka, vláda či jiný subjekt, který by měl nad sítí vliv. Fungování celé sítě je tedy založeno na přesně daných pravidlech, které kontroluje každý uzel sítě, v rámci její „účetní knihy“ v tzv. blockchainu.

Od klasických měn, které používáme ke každodennímu placení a označujeme je tzv. fiat money se bitcoin liší těmito vlastnostmi:

- decentralizace,
- omezená nabídka,
- pseudonymita,
- nevratnost,
- dělitelnost.²

V rámci bitcoinu existuje **omezená nabídka** neboli bitcoinů existuje omezené množství. Již od vzniku bylo ve zdrojovém kódu bitcoinu pevně zadáno, kolik bitcoinů bude konečně existovat. Bitcoiny vznikají jejich těžbou, která bude popsána v kapitole (2.2.4). Konečný počet bitcoinů je 21 miliónů (přesně 20 999 999,9469 BTC). Toto číslo je konečné. Díky tomu je zaručeno, že po dosažení vytěžení všech

² <https://www.coindesk.com/information/what-is-bitcoin/>

bitcoinů, již nikdo nemůže vytvořit další a tím pádem bitcoin devalvovat. K březnu 2018 již bylo vytěženo cca 80 % všech bitcoinů. Poslední bitcoin bude vytěženo kolem roku 2140.³

Vlastnictví a transakce v rámci bitcoinu můžeme označit za **pseudonymní**. Při transakcích elektronických peněz na běžných účtech jsou účastníci této transakce identifikováni bankou, naopak při hotovostním styku existuje úplná anonymita účastníků transakce. V rámci transakce v síti Bitcoin je tomu někde mezi tím. Z důvodu neexistence centrální autority se jednotliví účastníci bitcoinové transakce nemusí nijak identifikovat a v rámci sítě jsou tak viditelné pouze adresy jejich bitcoinových peněženek. Nýbrž díky technologii blockchainu jsou všechny transakce zpětně dohledatelné a je tedy teoreticky možné, na základě povinných identifikací uživatelů v rámci kryptoměnových směnár a burz, dohledat konkrétní osobu – odesílatele dané transakce.⁴

Transakce jednotek kryptoměny bitcoin je **nenávratná**, na rozdíl od klasické fiat měny. A to z důvodu neexistence žádné centrální autority, která by jako v případě klasického bankovního platebního styku, mohla peněžní prostředky navrátit zpět na účet odesílatele. Pokud je tedy transakce bitcoinu jednou zapsána do blockchainu v rámci bitcoinové sítě, nelze ji již změnit.⁵

Každá měna by měla být snadno dělitelná. Jelikož je bitcoin digitální měnou, není v rámci kódování čísel problém tuto měnu jakkoli dělit. Základní jednotkou bitcoinu je jeden bitcoin, který značíme zkratkou BTC. Z důvodu konečného počtu bitcoinů je očekávána vysoká cena jedné jednotky této kryptoměny, která je problémem pro běžné transakce. Bylo tedy potřeba zavést menší jednotky, které zobrazuje následující tabulka (2.1).

³ https://en.bitcoin.it/wiki/Controlled_supply

⁴ <https://www.coindesk.com/information/what-is-bitcoin/>

⁵ <https://www.coindesk.com/information/what-is-bitcoin/>

Tabulka 2.1 Odvozené jednotky bitcoinu

značka	název	hodnota
1 mBTC	milibitcoin	0,001 BTC
1 μ BTC	mikrobitcoin	0,001 mBTC
1 satoshi	satoshi	0,01 μ BTC = 10^{-8} BTC

Zdroj: (Stroukal a Skalický, 2018); vlastní zpracování

Jak můžeme vidět v tabulce, nejmenší odvozenou jednotkou bitcoinu je 1 satoshi. Jedná se o jednu stomiliontinu bitcoinu, která byla pojmenovaná po zakladateli sítě Bitcoin Satoshim Nakamotem. Bitcoin jak můžeme pozorovat, je velice snadno dělitelný, což zvyšuje jeho přidanou hodnotu.

Charakteristickým znakem bitcoinu je písmeno B, které je zobrazeno na následujícím obrázku (2.1).

Obrázek 2.1 Znak Bitcoinu



Zdroj: <https://bitcoin.org/en/>

2.2.2 Vznik Bitcoinu

Vznik bitcoinu se datuje k roku 2009, kdy byl vytvořen neznámým vývojářem, který se skrývá pod pseudonymem Satoshi Nakamoto. A to na základě článku „Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System“, který uveřejnil na internetu v říjnu roku 2008. V tomto článku popisuje koncept měny, která používá kryptografii spíše než důvěru v centrální autoritu. Do dnešní doby není známo, kdo se pod zmíněným pseudonymem skrývá. Je teoreticky možné a také pravděpodobnější, že se nejedná o jednu osobu, nýbrž o skupinu. A to z důvodu vytvoření tak sofistikované technologie, jakou je bitcoin, za tak krátký čas.

Internetová doména Bitcoin.org byla sice zaregistrována 18. 8. 2008, ale za okamžik vzniku bitcoinu můžeme považovat okamžik, kdy byl vytěžen jeho první blok. První blok byl vytěžen v roce 2009 právě Satoshi Nakamotem, za který obdržel 50 BTC.⁶ Po tom, co se bitcoin rozšířil, Satoshi Nakamoto předal doménu Bitcoin.org a přístupy k zdrojovému kódu Galvinu Andersenovi, který se později stal hlavním vývojářem projektu Bitcoin. Od té doby o Satoshi Nakamotovi v rámci sítě již není žádná zmínka, jelikož přestal komunikovat.

Jak již bylo uvedeno, po Satoshim byla pojmenována nejmenší odvozená jednotka bitcoinu – satoshi, která je dále již nedělitelná.

S vynalezením bitcoinu tedy mohly být poprvé v historii realizovány platby přes internet bez kontroly a poplatků určité centrální autority. Revolučním se stal nejen proto, že je decentralizovaný, nýbrž také proto, že řeší tzv. problém dvojí útraty (z angl. double spending problem). V rámci počítačové technologie problém dvojí útraty znamená to, že digitální peníze mohou být utraceny více než jednou. Tento problém vyřešil bitcoin díky vytvoření veřejné účetní knihy tzv. blockchainu (David Lee Kuo Chuen, 2015).

2.2.3 Základní pojmy a princip fungování

Je potřeba nadefinovat základní pojmy, které jsou nezbytné pro pochopení základního principu fungování Bitcoinu.

Bitcoinovou sítí tvoří jednotlivé uzly (počítače a jiná zařízení), na kterých je nainstalován speciální software – tzv. **klient**. Tento software zprostředkovává propojení mezi ostatními uzly. V rámci sítě tedy existují 2 typy subjektů. Jedná se o **koncové uživatele**, kteří provádějí transakce a vyměňují si navzájem jednotky bitcoinů a **těžaře**. Ti mají daleko důležitější funkci, a to potvrzování vytvořených transakcí, kontrolu celé sítě a také vytváření nových bitcoinů – těžení.

⁶

<https://blockexplorer.com/block/000000000019d6689c085ae165831e934ff763ae46a2a6c172b3f1b60a8ce26f>

Blok (Block)

Blok představuje nejdůležitější datovou strukturu, která se nachází v bitcoinovém protokolu. Obsahuje totiž zakódované transakce, u kterých svým zapojením do blockchainu potvrzuje jejich pravost. Prvním blokem byl blok číslo 0, který je označován jako Genesis Block. Tento blok byl vytvořen 3. 1. 2009 v 7:15:05 PM, jak jsme již zmínili, zakladatelem bitcoinové sítě Satoshi Nakamotem.⁷

Blockchain

Základem celé bitcoinové sítě je Blockchain neboli řetězec bloků. Jedná se o sekvenci bloků, která obsahuje všechny záznamy o transakcích, které proběhly od založení celé sítě. To je důvod, proč je někdy také označován jako účetní kniha. Kopie blockchainu je veřejně sdílěna a uložena na všech uzlech bitcoinové sítě. Jednotlivé bloky v blockchainu jsou mezi sebou chronologicky spojeny tak, že každý blok obsahuje tzv. otisk bloku předchozího. Každý blok v blockchainu tedy potvrzuje pravost předchozího bloku. Jedním ze základních principů blockchainu je to, že umožňuje ukládat historii, která je nepřepisatelná a nevymazatelná. Pokud by totiž někdo chtěl upravit informace určitého bloku v rámci celého řetězce, změnil by se jeho otisk v bloku následujícím a tím pádem, by všechny následující bloky byly neplatné. Pokud by chtěl teoreticky pozměnit i všechny bloky následující, potřeboval by větší výpočetní sílu než všechny ostatní uzly v síti, což je prakticky nemožné. Celá síť je tak dokonale chráněna a je proto vhodná pro finanční transakce.

Adresa (Address)

Pro provádění transakcí v rámci bitcoinové sítě je nutná existence adres. Adresa představuje číslo zakódované do řetězce alfanumerických znaků, které jednoznačně identifikuje příjemce bitcoinové transakce. Adresa je generovaná z tzv. veřejného klíče. Délka adresy je 27-34 znaků, které jsou rozlišeny na čísla, malá a velká písmena. Adresy neobsahují zaměnitelné znaky jako 0 a O, nebo 1 a l. Příkladem takové adresy může být například tento: 1KZ7MCXCUJKiNYtvG8c9qEc9WdCz87LBf. Zadáním adresy na internetové stránce například blockchain.info se dají zjistit veškeré transakce, se kterými je daná adresa spojena. Velkou výhodou je to, že si každý

⁷

<https://blockexplorer.com/block/00000000019d6689c085ae165831e934ff763ae46a2a6c172b3f1b60a8ce26f>

uživatel může vytvořit nekonečné množství adres. Například pro každou příchozí platbu vytvořit adresu novou, což znesnadňuje jeho případné stopování. Adresy jednoho uživatele jsou spravovány jeho klientem – ve většině případů softwarovou peněženkou. Velkou výhodou bitcoinových adres je také jejich možnost vygenerovat je offline, tedy bez připojení k internetu (Stroukal a Skalický, 2018).

Soukromý klíč (Private key)

Private key neboli soukromý klíč je tajné číslo, které se v kryptografii používá k podepisování ověřované zprávy. V rámci bitcoinové sítě tento klíč slouží majiteli dané peněženky k podepsání zprávy, která obsahuje informaci, kdo bude novým majitelem odesílaných bitcoinů v rámci transakce. To znamená, že bez znalosti soukromého klíče nelze provést transakci. Každé bitcoinové adrese náleží jeden soukromý klíč. Jeden soukromý klíč může ale být přiřazen k více adresám. Soukromé klíče jsou uloženy přímo v bitcoinové peněžence⁸ (Stroukal a Skalický, 2018).

Veřejný klíč (Public key)

V rámci kryptografie a bitcoinové sítě je používán také veřejný klíč. Tento klíč může být použit kýmkoliv k zašifrování zprávy pro majitele určitého soukromého klíče a také k ověření jeho digitálního podpisu. V rámci bitcoinu má tento klíč důležitou roli, a to proto, jelikož je z něj vypočtena bitcoinová adresa (Stroukal a Skalický, 2018).

Peněženka (Wallet)

Bitcoinová peněženka je software, který je určen ke správě privátních klíčů, které připadají k bitcoinovým adresám daného uživatele.⁹ Tento software je zpravidla nainstalován na počítači uživatele, mobilu či jiném zařízení. Peněženka se stará o výpočet zůstatků stavu jednotek bitcoinu na jednotlivých adresách, ale je přes ní také možné zadávat platby - jednotlivé bitcoinové transakce. Peněženka také obsahuje historii provedených transakcí uživatele a může obsahovat také adresář adres, pro případné pravidelné platby. V současnosti může mít peněženka 4 typy podob – již zmíněnou desktopovou verzi, mobilní verzi, ale také podobu online služby nebo podobu hardwarové peněženky.¹⁰ Oproti online peněžence, mají zbylé tři nesmírnou

⁸ https://en.bitcoin.it/wiki/Private_key

⁹ <https://bitcoin.org/en/vocabulary>

¹⁰ <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin-wallet.asp>

bezpečnostní výhodu, a to v tom, že soukromé klíče má uživatel uloženy na svém zařízení a kryptoměny jsou tak chráněny před odcizením.

Transakce (Transaction)

Bitcoinová transakce představuje informaci o převodu určitého množství bitcoinu mezi dvěma adresami. Po zadání transakce v rámci peněženky je transakce vyslána do sítě v blocích a je následně uložena do blockchainu každého uzlu v rámci sítě. To znamená, že každý uzel v dané síti vidí všechny transakce, které byly kdy provedeny. Transakce obsahuje dva parametry – vstupy a výstupy. V rámci vstupu jsou zaznamenány výstupy předchozí transakce, ve výstupu odesílané transakce je pak uveden otisk veřejného klíče (adresa) příjemce a množství bitcoinů, které z ní lze uvolnit. Pro provedení transakce je potřeba vygenerovat digitální podpis, a to pomocí soukromého (privátního) klíče. Tím také daný odesílatel transakce prokáže, že je právoplatným vlastníkem daného obnosu - jednotek bitcoinů. Na základě digitálního podpisu je schopen každý uživatel bitcoinové sítě zkontrolovat, zda odesílatel transakce vlastnil soukromý klíč ke svým bitcoinům.^{11,12,13}

Transakce jsou řazeny do bloků. V okamžiku přidání bloku do sítě neboli jeho zařazení do blockchainu, jsou transakce považovány za potvrzené. Důležitý je počet potvrzení. Počet potvrzení transakce představuje počet bloků mezi blokem, ve kterém je daná transakce obsažena, a aktuálním blokem, který je zrovna těžen. Čím více potvrzení má daná transakce, tím je považována za věrohodnější a nezměnitelnou. V praxi se často požaduje u transakcí s většími objemy jednotek bitcoinů taková transakce, která má více než 6 potvrzení (Stroukal a Skalický, 2018).

Je důležité také zmínit, že transakce v rámci bitcoinové sítě nejsou zadarmo. Za každou transakci je nutné zaplatit určité množství BTC. Tato částka představuje například 0,0001 BTC. Hodnotu tohoto poplatku však stanovuje odesílatel dané transakce, nebo je stanovena automaticky. Jeho výše je rozhodující pro rychlost zařazení transakce do blockchainu neboli pro rychlost jejího uskutečnění (Stroukal a Skalický, 2018).

¹¹ <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

¹² <https://www.investopedia.com/articles/forex/042215/bitcoin-transactions-vs-credit-card-transactions.asp>

¹³ <https://en.bitcoin.it/wiki/Transaction>

Težba (Mining process)

Jedním z nejdůležitějších procesů v rámci bitcoinové sítě je jeho těžba neboli Mining process. Při těžbě totiž vznikají nové bitcoiny. Těžbu můžeme charakterizovat jednoduše jako proces, při kterém se pomocí složitého matematického výpočtu nachází další blok, který bude napojen do blockchainu. Tento nový blok je nalezen tehdy, pokud je splněna podmínka, že hash (zobrazení množiny dat s obecnou délkou do množiny dat s omezenou délkou)¹⁴ daného bloku je nižší než určitý stanovený cíl. Tento cíl je dán současnou obtížností, která je měněna pravidelně po vytěžení 2016 bloků. Obtížnost se mění na základě rychlosti nalezení těchto bloků a to tak, aby byl jeden blok průměrně nalezen co 10 minut. Zjednodušeně tedy můžeme říci, že těžba je řešení obtížné matematické úlohy, u které se její obtížnost zvyšuje s počtem již vytěžených bitcoinů a počtem lidí, kteří se snaží ji vyřešit. Těžbu provádějí tzv. **těžaři**, kteří mají ve svém počítači nainstalovaný speciální program určený na těžbu kryptoměn, který využívá výkon procesorů grafických karet k řešení daného matematického problému. Důležitým okamžikem v rámci těžby je tedy nalezení nového bloku a jeho generující transakce. **Generující transakce** je taková transakce, která existuje v bloku pouze jedna a její nalezení má za následek vznik nových bitcoinů. Tato transakce obsahuje součet nově vygenerovaných bitcoinů a také všech poplatků transakcí, které jsou spolu s touto speciální transakcí součástí nalezeného bloku. Počet nově nalezených (vygenerovaných) bitcoinů se snižuje každých 210 tisíc bloků na polovinu, což odpovídá času 4 let. Na začátku bitcoinu byla odměna za nalezení nového bloku 50 BTC. V dnešní době je to již 12,5 BTC. Právo na výstup dané generující transakce, a tedy vlastnictví nových bitcoinů má ten, kdo daný blok s touto transakcí nalezne (vytěží). Nově vygenerované bitcoiny spolu s poplatky ostatních transakcí mají tedy motivační funkci odměny za potvrzení provedených transakcích koncových uživatelů a vynaložení svého výpočetního výkonu v rámci sítě (Stroukal a Skalický, 2018), (David Lee Kuo Chuen, 2015).

V současné době je obtížnost již hodně vysoká, jelikož celkový výkon bitcoinové sítě je 20000 krát vyšší, než výkon daný spojením 500 nejvýkonějších počítačů na světě. To je důvod, proč se těžaři v dnešní době sdružují do tzv. poolů.

¹⁴ <https://en.bitcoin.it/wiki/Hash>

Pool (Mining pool)

Pool představuje skupinu v bitcoinové síti, která je tvořena velkým počtem těžařů. Ti spojují svůj výpočetní výkon za účelem získání vyšší pravděpodobnosti, a tedy větší šance vytěžení nového bloku. Odměna za nalezení nového bloku je poté rozdělena mezi účastníky (těžaře) daného poolu, dle jejich poskytnutého výpočetního výkonu (David Lee Kuo Chuen, 2015).

Prvním poolem na světě byl Slush pool, který pochází z České republiky. K nejvýznamnějším poolům patří BTC.com, AntPool, F2Pool, Slush pool a další.¹⁵

Ve skutečnosti je fungování bitcoinu daleko složitější, než jsme jej v této části kapitoly zjednodušeně popsali. Hluběji se ale technologií fungování bitcoinu zabývat nebudeme, jelikož toto téma není předmětem této práce a dala by se o něm napsat celá samostatná diplomová práce.

2.2.4 Historický vývoj ceny bitcoinu

Bitcoin se vyznačuje vysokou volatilitou neboli prudkým kolísáním jeho hodnoty v čase. Cena bitcoinu je determinována různými ekonomickými faktory. K faktorům, které hodnotu bitcoinu nejvíce ovlivňují zejména patří: nabídka bitcoinů a jejich tržní poptávka, počet konkurenčních kryptoměn, burza, na které je bitcoin obchodován, regulace, které upravují jeho prodej a také různé události, zejména hackerské útoky s ním spojené.¹⁶

Následující obrázek (2.2) zobrazuje graf vývoje hodnoty bitcoinu mezi rokem 2013 a 2018. Cena je v grafu uváděna v USD za jeden bitcoin.

¹⁵ <https://www.bitcoinmining.com/bitcoin-mining-pools/>

¹⁶ <https://www.investopedia.com/tech/what-determines-value-1-bitcoin/>

Obrázek 2.2 Vývoj ceny bitcoinu 2013 - 2018



Zdroj: <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/#charts>

V grafu (2.2) můžeme pozorovat, že se cena bitcoinu od jeho založení v roce 2009 dlouhou dobu výrazně neměnila. Dosahovala hodnot podstatně nižších než 1 USD za bitcoin. Na začátku roku 2010 byl jeden bitcoin obchodován za cenu 0,000003 USD, přičemž náklady na vytěžení jednoho bitcoinu byly 0,0008 USD. Uživatelé bitcoinové sítě pouze vyměňovali bitcoiny a čekalo se na první transakci, která bude uskutečněna za nákup nějakého zboží či služby. První takový a velice důležitý okamžik přišel až 21. května 2010, kdy programátor Laszlo Hancz koupil přes internetové fórum bitcointalk.org dvě pizzy za 10 000 BTC, které mu byly doručeny až domů. Tato objednávka měla hodnotu 25 dolarů, a tím pádem byl kurz bitcoinu ustálen na hodnotě 0,0025 USD/BTC. Následně začaly vznikat první bitcoinové burzy. V polovině roku 2010 se cena bitcoinu pohybovala již na 0,06 USD. Začátek obchodování s bitcoinem však výrazně odstartoval rok 2013, kdy cena bitcoinu dosahovala 13,5 USD/BTC. V tomto roce se již bitcoinu nevěnovali pouze technologičtí nadšenci, ale začali se o něj zajímat také profesionální investoři. V dubnu tohoto roku cena bitcoinu poprvé přesáhla hodnotu 100 USD. Vznikaly nové organizace a obchodníci, kteří začali přijímat za své služby platby v bitcoinech. Koncem daného roku v měsíci listopadu

překročila hodnota bitcoinu 1000 USD/BTC. V roce 2014 ale přišel strmý pád, a to díky krachu největší bitcoinové burzy Mt.Gox v únoru 2014. Cena bitcoinu spadla až ke hranici 340 USD. Cena bitcoinu měla v následujícím období tendenci ke své stabilizaci. Každá vzestupná fáze ceny měla nižší násobek změny než fáze předchozí.¹⁷ V následujícím období začaly například vznikat nové burzy, rozšířily se bitcoinové bankomaty, významné společnosti začaly akceptovat bitcoin, došlo k rozhodnutí evropského soudního dvoru o osvobození bitcoinu od daně z přidané hodnoty, japonská vláda označila kryptoměny podobné bitcoinu za aktivum, které je podobné penězům a další. Bitcoin se začal dostávat do podvědomí široké veřejnosti. Všechny tyto zmíněné události měly za následek růst jeho ceny. Největšího rozmachu ve své historii dosáhl bitcoin od roku 2016. V polovině roku 2016 se cena bitcoinu pohybovala kolem 400 USD. Do konce roku došlo k jejímu zdvojnásobení. Na začátku roku 2017 překročila cena bitcoinu hranici 1000 USD/BTC. Jak lze pozorovat z grafu v obrázku (2.2), cena s menšími korekcemi po celý rok 2017 narůstala, až se v prosinci roku 2017 dostala na hodnotu 20 000 USD za jeden bitcoin. Nicméně následně po tom, co si bitcoin připsal svou nejvyšší hodnotu na přelomu roku 2017, začala jeho cena klesat. Důvodem mohou být spekulace o přísnější regulaci kryptoměn^{18,19}(Stroukal a Skalický, 2018).

V současné době (březen 2018) dosahuje cena bitcoinu hodnoty, která kolísá kolem 8500 USD/BTC.²⁰ Bude tedy velice zajímavé pozorovat, jak se bude hodnota neboli cena bitcoinu vyvíjet a na jakou hodnotu se v budoucnosti dostane.

2.2.5 Možnosti nákupu a investování do bitcoinu

V rámci této podkapitoly se zaměříme na možnosti, jak lze jednotky bitcoinu nakoupit a v případě jejich dlouhodobé držby tedy investovat do kryptoměny Bitcoin. Nejprve se zaměříme na investici v podobě nákupu jednotek bitcoinu a poté na investici do finančních aktiv, které jsou s bitcoinem spjaty.

Základem jakéhokoliv nákupu „fyzické formy“ bitcoinu je vlastnictví bitcoinové peněženky. Jak jsme již uvedli v kapitole 2.2.3 peněženka může mít 4 podoby: desktopovou, mobilní, online nebo hardwarovou. Pro nákup bitcoinů je tedy nezbytné

¹⁷ <https://www.kurzy.cz/zpravy/440516-bitcoin-jak-probihaly-cenove-bubliny-na-bitcoinu/>

¹⁸ <https://www.investopedia.com/articles/forex/121815/bitcoins-price-history.asp>

¹⁹ <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/#charts>

²⁰ <https://charts.bitcoin.com/chart/price>

mít peněženku nainstalovanou, patřičně zabezpečenou (viz kapitola 2.2.6) a mít tedy vygenerovanou svou bitcoinovou adresu. Následně je možné bitcoiny nakoupit prostřednictvím jednoho z následujících způsobů.

Přímý nákup

Přímým nákupem se rozumí nákup bitcoinů od jiné osoby. A to buď při osobním setkání, kdy majitel daných bitcoinů pošle na zvolenou adresu jednotky bitcoinů proti předání hotovosti, nebo přes internetové fórum, inzertní server či sociální síť. Příkladem takové online formy je například server localbitcoins.com, který obsahuje nabídky pro nákup či prodej bitcoinů dle polohy uživatele. Po převodu peněz, prodejce bitcoinů opět zašle peníze na zvolenou bitcoinovou adresu²¹ (Stroukal a Skalický, 2018).

Bitcoinový automat

Jedná se o jednu z nejjednodušších metod, kterými lze nakoupit bitcoin. Automat představuje směnárnu mezi fiat měnou v hotovostní podobě a digitální měnou. Automat je vzdáleně propojen s burzou, na které za zákazníka nakupuje či prodává digitální měnu. U většiny automatů je potřeba mít nainstalovanou mobilní peněženku, která podporuje QR kódy, nebo mít tento QR kód vytisknutý na papíře. Dle Stroukal a Skalický (2018) je QR kód 2dimenzionální čárový kód pro optické strojové zpracování, který obsahuje bitcoinovou adresu. Některé novější automaty, ale podporují také automatické vygenerování adresy s možností jejího odeslání na zákazníkův email v zašifrované podobě, nebo její vytisknutí do podoby papírové peněženky. Nákup probíhá zvolením hodnoty nakupované digitální měny – bitcoinu, vložení hotovosti a naskenováním QR kódu, na který automat obratem zašle nakoupené jednotky kryptoměny.²² Nevýhodou bitcoinových automatů jsou vysoké poplatky za nákup a prodej.

Směnárna

Směnárny představují prostředníka mezi uživatelem a burzou, na které jsou obchodovány kryptoměny. Jedná se o velmi rychlý způsob nákupu bitcoinů. Některé směnárny požadují registraci, některé nikoliv. Uživatel zadává svůj email, hodnotu

²¹ <https://localbitcoins.com/guides/how-to-buy-bitcoins>

²² <https://www.bitcomat.cz/nakup-prodej-v-bitcomatu/>

bitcoinů a adresu peněženky na kterou chce zaslat nakupované bitcoiny. Nákup skrze tyto subjekty je velice jednoduchý a probíhá tak, že pokud uživatel disponuje stejnou bankou jako je banka směnárny, pak zadáním příkazu k platbě dojde ihned ke směně za digitální měnu. Příkladem takové směnárny je například česká směnárna simplecoin.cz. Existují ale také specializované směnárny, které poskytují kromě směny digitálních měn za fiat měny také online peněženku. Příkladem nejznámější je směnárna Coinbase. Nevýhodou těchto směnáren je existence spreadu neboli rozdílu mezi nákupní a prodejní cenou digitální měny (Stroukal a Skalický, 2018).

Burza

Další možností je nákup bitcoinů prostřednictvím obchodování na specializované kryptoměnové burze. Pro vstup na burzu je nejprve nutná registrace a ověření daného účtu, které probíhá naskenováním identifikačního průkazu, a to například občanského či řidičského průkazu. Nevýhodou je doba ověření identity uživatele. Dalším krokem je zaslání peněžních prostředků, a to ve většině případů pomocí SEPA platby, která zahrnuje poplatek a má dobu trvání v řádech několika dní. Kryptoměnové burzy nabízí také možnost přímého vkladu bitcoinů a ostatních kryptoměn, které lze provést před standartní transakcí z bitcoinové peněženky. Oproti již zmíněným možnostem nákupu bitcoinů, burzy poskytují například limitní příkazy pro nákup a prodej a poskytují tak možnost tradingu. K nevýhodám patří nižší likvidita kryptoměn a také nebezpečí ztráty kryptoměn, při možném krachu burzy. K největším kryptoměnovým burzám na světě patří bitstamp.net, kraken.com, bitfinex.com nebo například gdax.com (Stroukal a Skalický, 2018).

Akcie těžařů a společností spjatých s Bitcoinem

Do bitcoinu lze také investovat bez nutnosti jeho nákupu, a to prostřednictvím investování do akcií, které jsou určitým způsobem spjaty s bitcoinem. Jedná se o akcie například společností vyrábějící procesory a grafické karty, které se používají k těžbě kryptoměn. Příkladem takových akcií jsou například akcie společnosti NVIDIA, které se obchodují pod zkratkou NVDA na americké akciové burze Nasdaq.²³

²³ <https://www.bitcoinmarketjournal.com/bitcoin-mining-stocks/>

2.2.6 Možnosti zabezpečení kryptoměn

Kryptoměny existují pouze v elektronické podobě. Je proto velice důležité vlastnictví kryptoměn dostatečně zabezpečit, a to před jejich odcizením či ztrátou úložiště, na kterém jsou uloženy soukromé klíče umožňující nakládání s nimi. Kryptoměny můžeme například ochránit pomocí následujících dvou možností.

Papírová peněženka

Jednou z možností je tzv. papírová peněženka. Jedná se o jednoduchou variantu ochrany kryptoměn, avšak méně uživatelsky atraktivní. Papírová peněženka je papír, na kterém je vytisknutá bitcoinová adresa spolu s jejím soukromým klíčem. Někdy je také označovaná jako „fyzické bitcoiny“.²⁴ Velkou výhodou je neexistence vzdáleného napadnutí a odcizení soukromého klíče prostřednictvím sítě. Nevýhodou je její papírová forma, která skrývá nebezpečí fyzického zničení, například ohněm nebo vodou. Na následujícím obrázku (2.3) je zobrazena papírová peněženka.

Obrázek 2.3 Papírová peněženka



Zdroj:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bitcoin_paper_wallet_generated_at_bitadress.jpg

K nejvíce populárním nástrojům po vytváření papírových peněženek řadíme například BitAdress.org, Bitcoinpaperwallet.com a Offlineaddress.com.

²⁴ <https://www.investopedia.com/terms/p/paper-wallet.asp>

Trezor

Trezor představuje hardwarovou peněženku, která byla vyvinuta českou společností SatoshiLabs. Jedná se o malé USB zařízení, které obsahuje miniaturní počítač a dotykový displej. Velikostí jej můžeme přirovnat ke klíčům k autu. Princip fungování trezor je založen na dvou principech. Vyznačuje se izolací soukromých klíčů a také nezbytnou přítomností vlastníka při provádění transakcí. To znamená, že při odesílání bitcoinů je potřeba vždy danou transakci potvrdit zmáčknutím fyzického tlačítka. Soukromé klíče jsou uloženy pouze v daném trezoru a žádná peněženka k nim nemá přístup. Součástí Trezoru je webová peněženka tzv. Trezor wallet, která místo potvrzování transakce pomocí soukromého klíče, potvrzuje transakci na základě zmáčknutí daného tlačítka. Tento princip je velkou výhodou oproti klasickým softwarovým peněženkám, které mohou být napadeny škodlivým softwarem, jež prolomí jejich zabezpečení a útočník se tak dostane přímo k soukromému klíči. Tato hardwarová peněženka je tedy vhodná při investování většího množství peněz do bitcoinů. Na následujícím obrázku (2.4) můžeme pozorovat zařízení Trezor.

Obrázek 2.4 Hardwarová peněženka Trezor



Zdroj: <https://trezor.io>

Další výhodou Trezoru je také existence tzv. recovery seedu. Jedná se o náhodně vygenerovaná anglická slova, které si majitel Trezoru bezpečně uschová. Tento recovery seed pak slouží k případnému obnovení peněženky a kryptoměn, při odcizení či ztrátě Trezoru. Vedle bitcoinu Trezor podporuje také měnu Litecoin, Ethereum a další.

2.3 Alternativní kryptoměny

Vedle bitcoinu existují také jiné kryptoměny. Tyto ostatní kryptoměny jsou označovány jako altcoiny. Toto slovo vzniklo spojením slov alternative a bitcoin, tedy altcoin. První alternativní kryptoměny začaly vznikat mezi lety 2011 a 2012, avšak k masivnímu nárůstu jejich počtu došlo v roce 2013 a 2014. Většina těchto kryptoměn je obchodovatelná proti BTC. K březnu 2018 jich dle coinmarketcap.com existuje přes 1500.²⁵ Většina alternativních kryptoměn je založena na bitcoinu a mají podobné datové struktury protokolu a také softwarovou implementaci. Některé z nich vznikly samostatně, nebo také přímo odvětvením z blockchainu Bitcoinu tzv. forkem. Příkladem takového altcoinu je kryptoměna Bitcoin Cash. Dále se altcoiny mohou také lišit konečným či nekonečným počtem jednotek měny a jejím uvolňováním (Stroukal a Skalický, 2018).

Na následujícím obrázku (2.5) můžeme vidět tabulku, která pochází z internetové stránky coinmarketcap.com. V této tabulce je uvedeno 10 nejznámějších kryptoměn dle jejich tržní kapitalizace.

²⁵ <https://coinmarketcap.com>

Obrázek 2.5 Nejznámější kryptoměny dle tržní kapitalizace



Zdroj: <https://coinmarketcap.com>; 24.3.2018

Můžeme pozorovat, že bitcoin s jeho tržní kapitalizací 152 miliard amerických dolarů dominuje kryptoměnovému trhu ze 44.3 %. Na druhé příčce se nachází kryptoměna Ethereum s téměř třetinovou tržní kapitalizací oproti bitcoinu, a to ve výši 53 miliard USD. Následuje altcoin s názvem Ripple, následně Bitcoin Cash a Litecoin. Desítku nejznámějších kryptoměn uzavírá kryptoměna IOTA s tržní kapitalizací 3 miliardy USD. V tabulce také můžeme vidět hodnotu ceny jednotek daných kryptoměn. Je velice zajímavé, jaké jsou rozdíly v ceně jednotlivých kryptoměn, a to například při porovnání Bitcoinu s Ripple. Cena jednoho bitcoinu dosahuje hodnoty 8 983 USD, na rozdíl od Ripple, kde cena jedné jednotky je pouze 0,6 USD.²⁶

²⁶ <https://coinmarketcap.com>

2.3.1 Ethereum

Ethereum je jedna z nejznámějších alternativních kryptoměn. Jedná se platformu založenou na vylepšeném blockchainu, která umožňuje vývoj tzv. chytrých kontraktů. Tyto kontrakty představují programovatelné bloky kódu neboli aplikace, které běží v rámci sítě a jsou neovlivnitelné. Jednotkou je ether. Tato kryptoměna byla založena v roce 2013, kdy ji popsal Vitalik Buterin. Ethereum se vyznačuje jednodušší těžbou než u Bitcoinu a je možno jej těžit i klasickými grafickými kartami.^{27,28}

Následující obrázek (2.6) zobrazuje charakteristický znak měny Ethereum.

Obrázek 2.6 Symbol Etherea



Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethereum#/media/File:Ethereum_logo_2014.svg

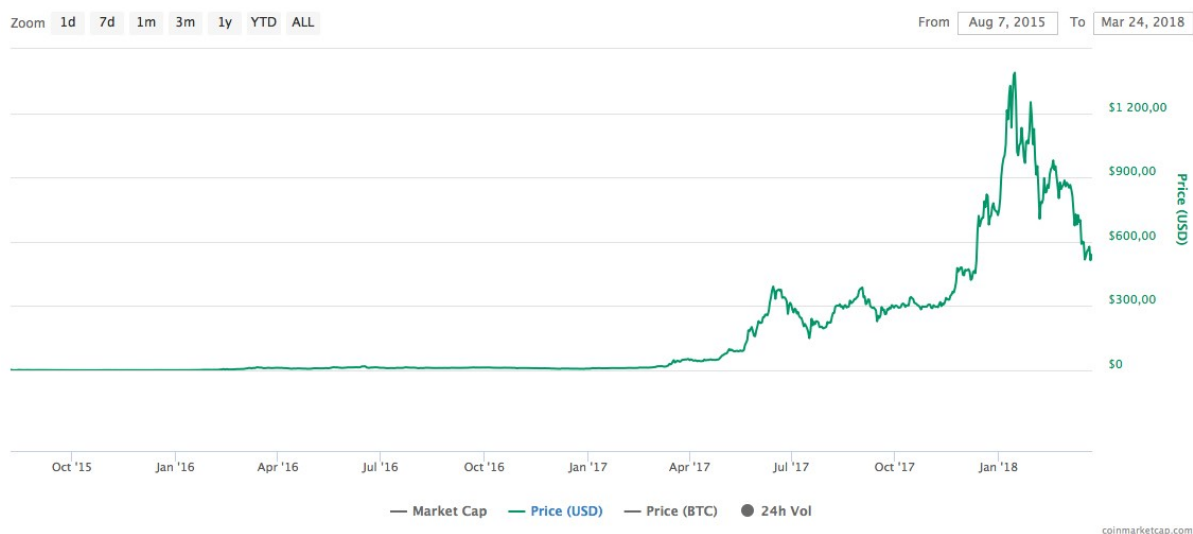
V následujícím obrázku (2.7) je zobrazen vývoj ceny Etherea. Je vidět, že se graf velmi podobá vývoji ceny bitcoinu, který můžeme vidět v obrázku (2.2). Jak můžeme vidět, opět největší hodnoty kryptoměna Ethereum dosahovala na přelomu roku 2017 a 2018, kdy v lednu přesáhla hodnotu 1400 USD.²⁹

²⁷ <https://www.ethereum.org/ether>

²⁸ <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethereum>

²⁹ <https://coinmarketcap.com/currencies/ethereum/>

Obrázek 2.7 Vývoj ceny Etherea



Zdroj: <https://coinmarketcap.com/currencies/ethereum/#charts>; 24.3. 2018

2.3.2 Ripple

Ripple představuje kryptoměnu a také platební systém pro zúčtování transakcí v reálném čase. Těmito transakcemi mohou být transakce fiat měn, komodit, nebo jiných kryptoměn. Jednotka měny Ripple je označována zkratkou XRP. Velkou výhodou této měny jsou její extrémně rychlé transakce. Jak je uvedeno na stránkách ripple.com, transakce jsou vypořádány během 4 sekund.³⁰ Ripple se liší od ostatních nejznámějších kryptoměn nevzniká těžením. Na začátku existence Ripple bylo 100 miliard jednotek – tzv. tokenů.³¹ Ripple jako platební systém je vhodný zejména pro bankovní transakce a byl testován například centrální bankou Velké Británie (Bank of England).³²

Následující obrázek (2.8) zobrazuje symbol, kterým je označována měna Ripple.

Obrázek 2.8 Znak Ripple



Zdroj: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_\(payment_protocol\)#/media/File:Ripple_logo.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_(payment_protocol)#/media/File:Ripple_logo.svg)

³⁰ <https://ripple.com/xrp/>

³¹ <https://www.investopedia.com/terms/r/ripple-cryptocurrency.asp>

³² <https://www.coindesk.com/uk-central-bank-tests-ripples-interledger-protocol-cross-border-payments/>

Následující obrázek zahrnuje graf vývoje ceny měny ripple. Opět pozorujeme, že nejvyšší hodnoty jednotka měny dosáhla v lednu roku 2018 a to 3,84 USD/XRP.³³

Obrázek 2.9 Vývoj ceny Ripple



Zdroj: <https://coinmarketcap.com/currencies/ripple/#charts>; 24.3. 2018

2.3.3 Bitcoin Cash

Bitcoin Cash představuje kryptoměnu, která vznikla trvalým forkem bitcoinu ke kterému došlo 1.8.2017. Dle Stroukal a Skalický (2018) trvalý fork představuje změnu bitcoinového protokolu v rámci které platí, že vytvořená data podle nových pravidel nejsou validní podle pravidel starých. Trvalý fork tedy představuje trvalé rozdělení blockchainu. Fork proběhl na základě nespokojenosti vlivné čínské skupiny uživatelů, těžařů a vývojářů bitcoinu, kterým vadila pomalá rychlost zpracování transakcí spolu s vysokými transakčními poplatky. Požadovali proto zvýšení velikosti bloků. V srpnu 2017 tedy došlo k tzv. splitu, kdy z bitcoinu vznikl Bitcoin Cash, který oproti bitcoinu navýšil velikost bloků z 1 MB na 8 MB. Všem, kdo v této době vlastnili bitcoiny, byly připsány jednotky měny Bitcoin Cash ve stejném počtu. Jednotka měny Bitcoin Cash je označovaná zkratkou BCH.^{34,35}

Na následujícím obrázku (2.10) se nachází logo, které je používáno pro kryptoměnu Bitcoin Cash.

³³ <https://coinmarketcap.com/currencies/ripple/>

³⁴ <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin-cash.asp>

³⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin_Cash

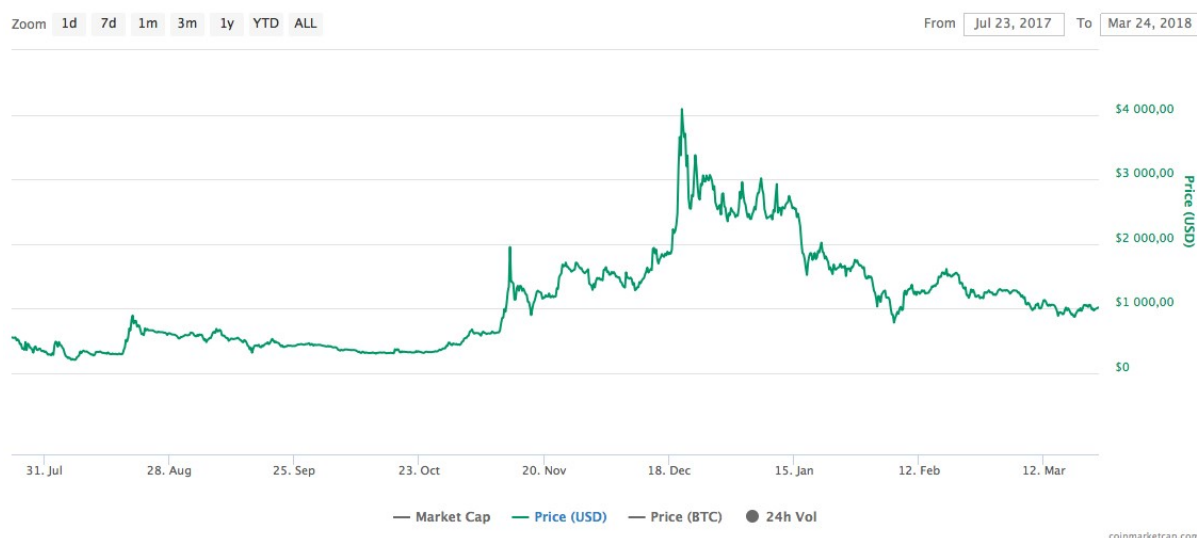
Obrázek 2.10 Logo Bitcoin Cash



Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin_Cash#/media/File:Bitcoin_Cash.png

V grafu obrázku (2.11) můžeme pozorovat vývoj ceny měny Bitcoin Cash. Jak můžeme vidět, Bitcoin Cash se od jeho odvětvení z bitcoinu až do konce října roku 2017 pohyboval kolem hodnoty 500 USD/BCH. Poté můžeme pozorovat rostoucí trend až do prosince, kde hodnota jednoho BCH přesáhla hodnotu 4000 USD/BCH. Od té doby cena měla klesající trend a dnes se pohybuje kolem ceny 1000 USD.³⁶

Obrázek 2.11 Vývoj ceny Bitcoin Cash



Zdroj: <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin-cash/#charts>; 24.3. 2018

2.3.4 Litecoin

Litecoin je alternativní kryptoměnou, která je založena na modelu bitcoinu. Založena byla roku 2011 s cílem stát se „stříbrem“ vedle „zlata“, které je představováno bitcoinem. Základní jednotkou měny je litecoin se zkratkou LTC. Stejně jako Bitcoin je

³⁶ <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin-cash>

plně decentralizován. Oproti bitcoinu se liší rychlejším generováním bloků a také vyšším množstvím jednotek (84 miliónů).³⁷

Na následujícím obrázku (2.12) je vyobrazen znak Litecoinu.

Obrázek 2.12 Symbol Litecoin



Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Litecoin#/media/File:LTC-400.png>

Následující graf v obrázku (2.13) zobrazuje vývoj ceny litecoinu. Nejvyšší hodnoty dosáhl v prosinci 2017, a to hodnoty kolem 370 USD za jeden litecoin.

Obrázek 2.13 Vývoj ceny Litecoin



Zdroj: Zdroj: <https://coinmarketcap.com/currencies/litecoin/#charts>; 24.3. 2018

³⁷ <https://www.investopedia.com/terms/l/litecoin.asp>

3 Popis zvolených ekonometrických přístupů

V rámci této kapitoly jsou popsány metody ekonometrické analýzy. V první podkapitole je popsána ekonometrie z historického hlediska, samotný proces ekonometrického modelování a následně jsou popsány typy jednotlivých dat. V rámci druhé podkapitoly je popsán model lineární regrese, metoda nejmenších čtverců a také koeficient determinace. Následně je věnována pozornost popisu jednotlivých testů, které vedou k stanovení regresních parametrů, statistické významnosti a také normálního rozdělení reziduí. V rámci další podkapitoly je pojednáváno o zobecnění lineárních regresních modelů a jsou rozebrány problémy, které se v regresních modelech vyskytují. Jedná se o autokorelaci, heteroskedasticitu a multikolinearitu.

3.1 Úvod do ekonometrického modelování

V této podkapitole je nejprve nadefinován pojem ekonometrie a objasněny důvody vzniku této vědní disciplíny. Následně jsou stanoveny jednotlivé fáze procesu ekonometrického modelování. Na závěr podkapitoly jsou popsány jednotlivé typy dat, se kterými se v ekonometrii lze setkat.

3.1.1 Historický pohled na ekonometrii

Ekonometrii lze definovat jako vědní disciplínu, která využívá matematiku, statistiku a informatiku při hledání a měření funkčních vztahů mezi vybranými ekonomickými veličinami.

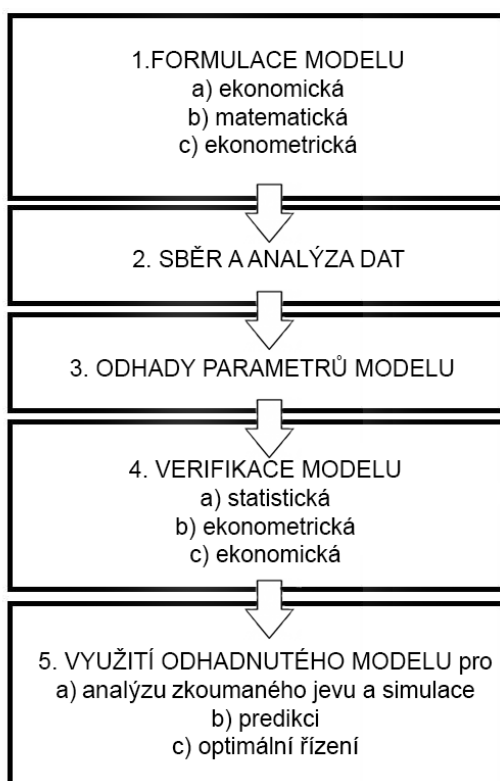
Ekonometrie jako vědní disciplína vzniká v USA v roce 1930, založením ekonometrické společnosti (Econometric Society). K hlavním důvodům založení této společnosti patří:

- velká hospodářská krize,
- kritika ekonomické vědy a výzkumu,
- snaha o využití netradičních disciplín,
- snaha využít matematiky a informatiky v rámci ekonomie,
- zkoumání a měření ekonomických a společenských jevů.

3.1.2 Proces ekonometrického modelování

Postup klasického ekonometrického modelování se dělí do pěti základních etap. Na následujícím obrázku (3.1) je graficky tento postup znázorněn.

Obrázek 3.1 Grafické zobrazení fází ekonometrického modelování



Zdroj: Hančlová, 2012; vlastní zpracování

První tři fáze tohoto procesu se zabývají formulací modelu. Nejprve je formulován **model ekonomický**, který obsahuje stanovení předmětu zkoumání. Dalším krokem je provedení klasifikace ekonomických veličin, vymezení a verbální popis vazeb a vztahů mezi jednotlivými veličinami v rámci zkoumaného systému a také formulace výchozí základní hypotézy či tvrzení o chování ekonomických veličin a společenských jevů. Výsledkem této fáze je ekonomický model, který představuje zjednodušení reality zkoumaného problému.

Následně je formulován **model matematický**, který spočívá ve vymezení jednotlivých klíčových proměnných v modelu (typ, rozměry), transformaci ekonomického modelu do analytické formy funkčního předpisu a také ve stanovení předpokládaného znaménka a omezení parametrů modelu. Výsledkem matematického modelu je například tento jednofaktorový lineární model:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t, \quad (3.1)$$

kde Y_t je závislá proměnná, X_t je proměna nezávislá, β_1 představuje regresní parametr úrovnové konstanty a β_2 je regresní parametr sklonu (Cipra, 2008).

Posledním krokem je formulace **modelu ekonometrického**. Do předchozího matematického modelu tedy zavedeme náhodnou složku ε_t . Následně jsou stanoveny hypotézy o charakteru rozložení této chyby (náhodné složky). Zahrnutím náhodné složky se z modelu deterministického stává model stochastický. Tento model má následující tvar:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + u_t. \quad (3.2)$$

Po formulaci ekonometrického modelu následuje fáze **sběru a analýzy dat**. Tuto fázi můžeme označit jako velice náročnou, jelikož je nutné získat adekvátní data a připravit je do vhodné formy pro modelování. Data je možno vyhledat v různých databázích, a to dle oblasti zaměření ekonometrického modelování. Informační zdroje lze získat například z databáze Eurostatu, databáze Evropské centrální banky, databáze České národní banky, Českého statistického úřadu a dalších. Vybraný datový soubor je zpravidla pečlivě analyzován a upraven. V rámci analýzy je vypočtena popisná statistika dat, ve které se nacházejí maxima a minima hodnot, průměr a rozptyl. Dále je prováděna také analýza chybějících hodnot, odlehlých hodnot a také hodnot extrémních. K jejich nalezení je používán box plot neboli krabička s vousy. V rámci toho grafu jsou odlehlá pozorování zaznačena kolečkem, extrémní hodnoty pak pomocí hvězdičky. Chybějící a extrémní hodnoty jsou nahrazeny například pomocí průměru sousedních hodnot nebo také pomocí lineární interpolace. K dalším úpravám dat patří dekompozice a transformace časových řad. Pomocí dekompozice časové řady je z důvodu výhodnější identifikace chování proveden rozklad dané časové řady na její trendovou, sezónní a cyklickou náhodnou složku. Transformace dat slouží k převodu nestacionární časové řady pomocí logaritmů, růstů, diferencí nebo posunů v čase na stacionární časovou řadu (Cipra, 2008).

Další fází ekonometrického modelování je volba vhodné metody pro odhad ekonometrického modelu. V této fázi se provádí odhad koeficientů a odhad stochastické složky. Metody odhadů můžeme rozdělit na dvě skupiny:

- metody s omezenou informací v rámci kterých jsou jednotlivé rovnice odhadovány zvlášť (jednoduchá metoda nejmenších čtverců),
- metody s úplnou informací v rámci kterých je proveden odhad vícero rovnicového systému jako celek (třístupňová metoda nejmenších čtverců).

Metody jsou voleny dle vlastností odhadů, náročností jednotlivých způsobů odhadu, kvality a kvantity dat, účelu ekonometrického modelu a dle splnění předpokladů a dostupnosti dané techniky pro odhadování.

Následující fází ekonometrického modelování představuje **verifikace odhadnutého modelu**. Platnost modelu je ověřena na třech úrovních:

- statistická verifikace,
- ekonometrická verifikace,
- ekonomická verifikace.

Statistickou verifikací se ověřuje reálnost jednotlivých parametrů a modelu jako celku. Testování je provedeno na předem stanovené hladině významnosti s využitím t – testu a F – testu.

Ekonometrická verifikace je založena na ověřování podmínek, které jsou nezbytné pro úspěšnou aplikaci použitých ekonometrických metod, testů a dalších technik. Testována je náhodná odhadnutá složka, která je obsažena v modelu. Je žádoucí, aby tato náhodná složka nabývala následujících vlastností:

- nemá sériovou závislost na svých zpožděných hodnotách,
- má konstantní rozptyl,
- závislost faktorů, které determinují vývoj závislé proměnné je statisticky nevýznamná (Cipra, 2008).

Závěrečnou částí je ekonomická verifikace odhadnutých regresních parametrů a také modelu jako celku. V rámci této verifikace se vychází z apriorních ekonomických mezení a je také provedena ekonomická interpretace odhadnutých regresních parametrů. Následně je ověřen soulad s očekáváním a ekonomickou teorií. Na závěr je zhodnocena vypovídající schopnost odhadnutého modelu jako celku.

Jestliže byly zjištěny v rámci verifikace modelu chyby a nedostatky, je nutné vrátit se pomocí zpětné vazby nazpátek do předchozích fází procesu a provést úpravy.

V případě úspěšnosti všech předcházejících fází je možné přejít k poslední části a tou je **využití odhadnutého modelu**. Využití závisí na cíli ekonometrického modelování. Možnosti využití modelu lze definovat následovně:

- predikce vysvětlované (zkoumané) veličiny,
- analýza vývoje nebo chování zkoumaného ekonomického jevu,
- využití pro optimální řízení hospodářské politiky (Cipra, 2008).

3.1.3 Typy dat

V rámci ekonometrie klasifikujeme analyzovaná data do tří skupin, a to do skupiny časových dat, průřezových dat a dat panelových.

Časová data

Tyto data představují data ve tvaru časových řad, které jsou pozorované v daném časovém intervalu a s určitou frekvencí záznamu. Frekvence pozorování představuje velikost intervalu mezi jednotlivými pozorováními. V rámci těchto dat je důležité jejich chronologické uspořádání v čase, a to znamená, že je nelze přehazovat.

Průřezová data

Skupina průřezových dat představuje data ve tvaru průřezového výběru. Jedná se o hodnoty konkrétní veličiny, které lze pozorovat ve stejný časový okamžik přes konkrétní populační soubor. Oproti časovým datům, u těchto dat není důležité jejich uspořádání. Tyto data tedy můžeme libovolně přehazovat.

Panelová data

Poslední skupinou jsou panelová data, která jsou kombinací průřezových a časových dat (Hančlová, 2012).

3.2 Model lineární regrese

Regresní analýzu můžeme označit za nejdůležitější nástroj ekonometrického modelování. Tato analýza se využívá ke kvantitativnímu popisu vztahu mezi ekonomickými a finančními veličinami, které označujeme jako proměnné. Cílem této analýzy je vysvětlení změny hodnoty jedné proměnné (vysvětlované), které jsou dány změnami hodnot ostatních proměnných (vysvětlujících).

Lineární regresní model

Lineární model může být formálně zapsán takto:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_{t1} + \beta_3 X_{t3} + \dots + \beta_k X_{tk} + u_t, \quad t = 1 \dots, T, \quad (3.3)$$

kde Y_t představuje vysvětlované proměnné Y v čase t , X_{t1} až X_{tk} představují hodnoty vysvětlujících proměnných $X_1 \equiv 1, X_2 \dots, X_k$ pozorovaných v čase t , $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ jsou neznámé parametry modelu, kde β_1 představuje tzv. absolutní člen, β_2, \dots, β_k pak změnu závislé proměnné Y_t , danou změnou nezávislé proměnné X_i o jednotku za předpokladu, že ostatní nezávislé proměnné jsou neměnné (*ceteris paribus*) a u_t je náhodná neboli také reziduální složka, která zahrnuje:

- souhrn vlivů, explicitně uvedených v modelu,
- chyby měření ekonomických a finančních veličin,
- nekorektní volbu regresního vztahu,
- některé jevy, které mají náhodný charakter.

Pro stanovení odhadů jednotlivých parametrů lineárního regresního modelu můžeme použít následující metody:

- metoda nejmenších čtverců,
- metoda maximální věrohodnosti,
- zobecněná metoda momentů.

Nejčastěji používanou metodou pro stanovení odhadů jednotlivých parametrů lineárního regresního modelu je metoda nejmenších čtverců. Tato metoda je vysvětlena v následující podkapitole.

3.2.1 Metoda nejmenších čtverců

Tato metoda představuje nejčastější přístup ke stanovení odhadu parametrů lineárního regresního modelu. Tuto metodu můžeme popsat následující rovnicí:

$$S = \sum_{t=1}^T [Y_t - (\beta_1 + \beta_2 X_{t1} + \beta_3 X_{t3} + \dots + \beta_k X_{tk})]^2. \quad (3.4)$$

Jak můžeme pozorovat dle rovnice (3.4), základním principem metody nejmenších čtverců je hledání parametrů β takovým způsobem, že minimalizujeme součet druhých mocnin vertikálních vzdáleností hodnot vysvětlované proměnné od regresní přímky a snažíme se o co nejlepší proložení dané přímky množinou pozorovaných bodů.

Pro použití metody nejmenších čtverců za účelem odhadu regresních parametrů jsou ověřovány následující předpoklady:

- lineární regresní model je lineární v parametrech,
- X_i není stochastická veličina,
- střední hodnota náhodné složky je nulová,
- konstantní rozptyl náhodné složky,
- náhodná složka není sériově závislá (nevyskytuje se autokorelace),
- nulová kovariance mezi náhodnou složkou a vysvětlující proměnnou,
- počet pozorování musí být větší než počet parametrů regresního modelu,
- regresní model je správně specifikován,
- náhodná složka má normální rozdělení (Hančlová, 2012), (Cipra, 2008).

Vlastnosti odhadované funkce nejmenších čtverců jsou následující. Odhad parametrů je:

- nestranný, jestliže hodnota odhadovaného parametru je rovna jeho střední hodnotě,
- vydatný (eficientní), jestliže nemá větší rozptyl jako odhad téhož parametru,

- konzistentní, pokud při rostoucím rozsahu výběru její výběrové rozdělení konverguje ke skutečné hodnotě odhadovaného parametru (Hančlová, 2012).

3.2.2 Koeficient determinace

Následně po provedení modelu lineární regrese je potřeba posoudit, zda je kompatibilní s použitými daty. Můžeme to provést sofistikovaně pomocí statistických testů, nebo také orientačně na základě tzv. koeficientu determinace. Tento koeficient značíme jako R^2 . Základní myšlenkou tohoto koeficientu je rozložení úplného součtu čtverců pozorované a střední hodnoty Y na její reziduální část a na část vysvětlovanou regresí, kdy se zjišťují relativní podíly (Hančlová, 2012).

Nejprve je potřeba nadefinovat tzv. **úplný součet čtverců**. Tento součet představuje součet čtverců rozdílů pozorované hodnoty vysvětlované proměnné od průměrné hodnoty. Můžeme to zapsat pomocí následujícího vzorce:

$$TSS = \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2 . \quad (3.5)$$

Tento součet můžeme dále dělit na dvě složky, a to následovně na:

- **reziduální součet čtverců** neboli minimalizační kritérium metody nejmenších čtverců, které můžeme zapsat následovně:

$$RSS = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 , \quad (3.6)$$

- **vysvětlený součet čtverců**, který odpovídá vysvětlení regresní přímkou a můžeme jej zapsat:

$$ESS = \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2 . \quad (3.7)$$

Dle Pythagorovy věty platí následující:

$$TSS = RSS + ESS. \quad (3.8)$$

Koeficient determinace vyjadřuje stupeň vysvětlení celkové změny vysvětlované proměnné Y regresí neboli prostřednictvím působení lineárního vztahu vysvětlující proměnné. Můžeme říci, že jde o kritérium, které měří pomocí regresní přímky shodu napozorovaných dat a odhadů. Koeficient determinace tedy můžeme zapsat jako:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = \frac{TSS - RSS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS}. \quad (3.9)$$

Vlastnosti koeficientu determinace jsou následující:

- $0 \leq R^2 \leq 1$, pak se koeficient determinace pohybuje mezi nulou a jedničkou,
- $R^2 = 1$, pak všechna výběrová pozorování leží přímo na vyrovnané regresní přímce,
- $R^2 = 0$, znamená, že se ani jedno pozorování nenachází na regresní přímce. To znamená, že veškeré informace jsou nevysvětleny a jsou součástí reziduální části. Odhadnutý regresní model nemá smysl (Hančlová, 2012).

Koeficient determinace má své nedostatky a to takové, že:

- adekvátně nereaguje na změny počtu pozorování v regresním modelu,
- nebere v potaz rozšíření počtu vysvětlujících proměnných v daném regresním modelu (Hančlová, 2012).

3.2.3 Testování hypotéz regresních parametrů

Následně po odhadu jednoduchého lineárního regresního modelu využitím metody nejmenších čtverců začíná fáze statistické verifikace, která se zabývá chováním regresních parametrů a regresního modelu jako celku. Principy testování hypotéz můžeme shrnout do tří základních fází:

- formulace nulové a alternativní hypotézy (H_0 a H_A),
- výpočet testovací statistiky,
- rozhodovací pravidlo o přijetí či zamítnutí nulové hypotézy pro stanovenou hladinu významnosti. Předmětem této fáze je nalezení rozdělení testovací statistiky za předpokladu platnosti H_0 , stanovení

hladiny významnosti a kritické hodnoty. Následně je provedeno porovnání vypočtené statistiky s kritickou hodnotou (Hančlová, 2012).

Hypotézy a jejich formulace:

Ze všeho nejdříve je potřeba naformulovat hypotézy. **Nulová hypotéza** představuje statisticky nevýznamný regresní parametr. To znamená, že vysvětlující proměnná nepřispívá k vysvětlení změn variability vysvětlované proměnné Y . Tuto hypotézu můžeme obecně zapsat jako:

$$H_0: \beta_i = 0. \quad (3.10)$$

Druhou hypotézou je tzv. **alternativní hypotéza**. Tato hypotéza naopak představuje statisticky významný regresní parametr. Tento parametr je různý od nuly a může nabývat kladných či záporných hodnot. Tím pádem můžeme říci, že vysvětlující proměnná přispívá k vysvětlení variability vysvětlované proměnné Y . Obecně tuto hypotézu lze zapsat následovně:

$$H_A: \beta_i \neq 0. \quad (3.11)$$

Výpočet testovací statistiky:

Po formulaci jednotlivých hypotéz je potřeba vypočítat testové statistiky jednotlivých regresních parametrů, a to pomocí t – testu. Za předpokladu normálního rozdělení náhodné složky platí tento následující vztah:

$$t_{vyp} = \frac{\hat{\beta}_i - 0}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_i}} \approx t_{df}. \quad (3.12)$$

V rovnici (3.11) vypočtená testová statistika t_{vyp} má Studentovo t – rozdělení s $df = n - k$ počty stupni volnosti. Malé n v tomto případě představuje počet pozorování a malé k představuje počet parametrů v regresním modelu (Hančlová, 2012).

Rozhodovací pravidlo:

Následujícím krokem je použití rozhodovacího pravidla pro zamítnutí nebo přijetí nulové hypotézy. Toto rozhodovací pravidlo můžeme provést jedním ze tří způsobů, které jsou popsány následovně.

1. Rozhodování dle kritického oboru

Při rozhodování dle kritického oboru je nutné nejprve spočítat kritickou hodnotu $t_{1-\alpha/2,df}$. Pro nalezení této hodnoty je možné použít tabelované hodnoty v publikacích, na internetu, nebo použít MS Excel a jeho funkci $TINV(\alpha, df)$. Poté porovnáme vypočtenou kritickou hodnotu s hodnotou, která je vypočtena pomocí testové statistiky. Hypotézu H_0 zamítáme, pokud platí následující vztah:

$$|t_{vyp}| > t_{1-\alpha/2,df}. \quad (3.13)$$

V rovnici (3.11) α představuje zvolenou hladinu významnosti, df představuje stupně volnosti neboli $(n - k)$, kde n představuje počet pozorování a k pak počet parametrů (včetně úrovně konstanty).

2. Rozhodování dle intervalu spolehlivosti

V rámci rozhodování dle intervalu spolehlivosti je základním principem stanovení $(1 - \alpha)$ procentního intervalu spolehlivosti odhadu β_i , který slouží k testování hypotézy H_0 na dané hladině významnosti α . Jestliže nulová hodnota β_i leží vně intervalu daného následujícím vztahem (3.14), pak zamítáme hypotézu H_0 .

$$\hat{\beta}_i - t_{1-\alpha/2,df} \cdot \hat{\sigma}_{\hat{\beta}_i} \leq \beta_i \leq \hat{\beta}_i + t_{1-\alpha/2,df} \cdot \hat{\sigma}_{\hat{\beta}_i} \quad (3.14)$$

3. Rozhodování dle p – hodnoty

Jedná se o nejčastější rozhodovací způsob, který je založen na p – hodnotě neboli hladině významnosti (α_{vyp}), která je rovna vypočtené statistice t_{vyp} dle vztahu (3.12). Jestliže platí následující vztah (3.15), pak zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní (Hančlová, 2012).

$$p_hodnota = \alpha_{vyp} < \alpha(\text{zvolené}). \quad (3.15)$$

3.2.4 Testování statistické významnosti celkového modelu

V rámci testování statistické významnosti modelu jako celku, budeme opět vycházet z klasického normálního vícerozměrného lineárního regresního modelu, který jsme vyjádřili dle vztahu (3.3). Jako v minulé podkapitole budeme postupovat

definováním hypotéz, výpočtem testové statistiky a následně rozhodovacím pravidlem pro zamítnutí hypotéz.

Hypotézy a jejich formulace:

První hypotéza neboli **nulová hypotéza** H_0 v tomto případě představuje výrok, že všechny regresní parametry spojené s vysvětlující proměnnou jsou až na úroňovou konstantu současně rovny nule. To znamená, že variabilita vysvětlované proměnné Y je vysvětlena pouze náhodou složkou. Tím pádem daný regresní model nemá smysl. Hypotézu H_0 můžeme obecně zapsat jako:

$$H_0: \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \dots = 0. \quad (3.16)$$

Druhou hypotézou je **hypotéza alternativní** H_A . Tato hypotéza představuje to, že se v daném modelu bude vyskytovat alespoň jedna vysvětlující proměnná, která bude mít statisticky významný nenulový koeficient. V tomto případě tedy má vypovídající schopnost a jako celek dává smysl. Hypotézu H_A můžeme zapsat následujícím vztahem:

$$H_A: \beta_2 \neq 0 \vee \beta_3 \neq 0 \vee \beta_4 \neq 0 \vee \dots \vee \beta_k \neq 0. \quad (3.17)$$

Výpočet testovací statistiky:

Pro testování hypotéz používáme Fisherovo – Snedecorovo F – rozdělení neboli F – test. Testovou statistiku tedy počítáme dle následujícího vzorce:

$$F_{vyp} = \frac{ESS/df_1}{RSS/df_2} = \frac{ESS/(k-1)}{RSS/(n-k)} \sim F(df_1, df_2). \quad (3.18)$$

Ve vztahu (3.18) n představuje počet pozorování, k pak počet regresních parametrů včetně úroňové konstanty, df_1 , df_2 počty stupňů volnosti. df_1 pak můžeme zapsat jako $df_1 = k - 1$ a df_2 jako $df_2 = n - k$ (Hančlová, 2012).

Rozhodovací pravidlo:

Pro rozhodnutí o zamítnutí a přijetí hypotézy H_0 používáme jako první možnost porovnání vypočtené hladiny významnosti α_{vyp} a stanovené hladiny významnosti $\alpha_{stanovená}$. Nulovou hypotézu H_0 zamítáme, pokud platí následující vztah:

$$\alpha_{vyp} < \alpha_{stanovená}. \quad (3.19)$$

Druhou možností je vypočtení kritické hodnoty $F_{1-\alpha}(df_1, df_2)$ na stanovené hladině významnosti, a to prostřednictvím programu MS excel a jeho funkce $FINV(\alpha; df_1; df_2)$. Tuto vypočtenou kritickou hodnotu následně porovnáme s F_{vyp} . Nulovou hypotézu H_0 zamítáme, jestliže platí vztah (Hančlová, 2012):

$$F_{vyp} > F_{1-\alpha}(df_1, df_2). \quad (3.20)$$

Následně po testování statistické významnosti modelu jako celku, je potřeba testovat předpoklady k možné aplikaci metody nejmenších čtverců, která slouží pro odhad regresních parametrů. Prvním předpokladem je testování normálního rozdělení náhodné složky.

3.2.5 Testování normality reziduální složky

Normální rozdělení náhodné složky je jedním z předpokladů klasického regresního modelu. Předpoklad normálního rozdělení náhodné složky neboli normality náhodných složek se používá při specifikaci pravděpodobnostního rozdělení reziduální složky a taktéž při testování hypotéz v modelu i konstrukci konfidenčních intervalů. Normalita reziduální složky se definuje pomocí centrální limitní věty, jelikož ke vzniku reziduální složky dochází agregací většího počtu náhodných vlivů. Pro testování normálního rozdělení reziduální složky využíváme grafické analýzy nebo neparametrické testy normality (Hančlová, 2012).

Grafická analýza normality reziduální složky

K testování normality reziduální složky používáme v rámci grafické analýzy histogram rozdělení četností reziduální složky, který srovnáváme s Gaussovou křivkou a také pravděpodobnostní P – P a Q – Q grafy.

Prvním typem je **histogram rozdělení četností reziduální složky**, který je určen k vizuálnímu posouzení empirického rozdělení četností s teoretickou Gaussovou křivkou hustoty pravděpodobnosti.

Druhým typem je P – P plot neboli graf, jehož základem je porovnání teoretických kumulativních četností a empirických kumulativních pravděpodobností na

jednotlivých osách. Ideálním vývojem v rámci tohoto grafu je umístění bodů grafu na ose 45 stupňů.

Třetím typem je Q – Q graf, který je založen na porovnání teoretických a empirických kvantilů. Ideálním vývojem je i v rámci tohoto grafu osa 45 stupňů (Hančlová, 2012).

Neparametrické testy normality reziduální složky

Neparametrické testy vycházejí z nulové hypotézy normálního rozdělení reziduální složky. K nejpoužívanějším testům pro testování normality reziduální složky se používají zejména chi – test dobré shody, Jarque – Bera test a Kolmogorovův – Smirnovův test (KS – test) (Hančlová, 2012).

Kolmogorovův – Smirnovův test

Základní kritérium tohoto testu představuje rozdíly mezi teoretickou a empirickou distribuční funkcí. Pro výpočet a použití tohoto testu je nutné postupovat dle následujícího postupu:

- Hypotézy a jejich stanovení

Nulovou hypotézu H_0 můžeme formulovat následovně: distribuční funkce rozdělení náhodného výběru $F_n(x)$ odpovídá teoretické distribuční funkci $\Phi(x)$. Alternativní hypotézu H_A pak následovně: distribuční funkce rozdělení náhodného výběru $F_n(x)$ neodpovídá teoretické distribuční funkci $\Phi(x)$.

- Odhad výběrových reziduí prostřednictvím metody nejmenších čtverců a výpočet empirické distribuční funkce $F_n(x)$
- Výpočet absolutních pozitivních (D_i^+) a také negativních (D_i^-) rozdílů teoretické a empirické distribuční funkce v každé i – té třídě ($i = 1, 2, \dots, m$) vzhledem k vrcholu schodu empirické distribuční funkce (3.21) a vzhledem k patě schodu empirické distribuční funkce (3.22) dle následujících vztahů:

$$D_i^+ = F_n(x_{i+1}) - \Phi(x), \quad (3.21)$$

$$D_i^- = \Phi(x) - F_n(x_i). \quad (3.22)$$

- Výpočet největšího rozdílu pozitivních a negativních odchylek dle následujícího vztahu:

$$D = \max_i \{D_i^+, |D_i^-|\}. \quad (3.23)$$

- Výpočet testovací statistiky:

$$z_{vyp} = \sqrt{n} \cdot D \sim N(0; 1). \quad (3.24)$$

- Rozhodovací pravidlo:

$$z_{vyp} > z_{krit}. \quad (3.25)$$

Jestliže hodnota z_{vyp} dosahuje vyšší hodnoty než hodnota z_{krit} , zamítáme nulovou hypotézu H_0 . To znamená, že na hladině významnosti α se nacházejí statisticky významné rozdíly mezi výběrovou a teoretickou distribuční funkcí náhodné složky (Hančlová, 2012).

3.3 Zobecnění lineárních regresních modelů

V rámci ekonometrické praxe velmi často dochází k porušení předpokladů pro klasický model lineární regrese (Cipra, 2008). Při empirickém ekonometrickém modelování jsou následně využívány specifické postupy pro odhad a testování. Můžeme tyto postupy rozdělit do dvou bloků. První blok využívá zobecněnou metodu nejmenších čtverců uvolňující klasické předpoklady pro:

- sériovou nezávislost reziduální složky a vzniku tzv. autokorelace,
- konstantní variabilitu reziduální složky a možnost vzniku tzv. heteroskedasticity,
- nekorelaci vysvětlujících proměnných a tím pádem existenci tzv. multikolinearity.

V rámci druhého bloku je používána metoda instrumentálních proměnných, která vychází z předpokladu, že vysvětlující proměnné nejsou náhodné veličiny, ale jsou fixní. Tento přístup je používán zejména při experimentálních pokusech v jiných oblastech, než je oblast ekonomiky.

Nyní je potřeba nadefinovat problémy, které mohou vznikat díky porušení předpokladů pro klasický model lineární regrese. Jedná se o autokorelaci, heteroskedasticitu a multikolinearitu (Hančlová, 2012).

3.3.1 Autokorelace

Jedním z problémů, který vzniká porušením předpokladů klasickém modelu lineární regrese je autokorelace. Autokorelace neboli také autokorelovanost reziduí je jev, kdy reziduální složka je korelována svými zpožděnými nebo budoucími hodnotami (Cipra, 2008).

Mezi příčiny vzniku autokorelace řadíme zejména:

- výskyt setrvačnosti ve vývoji ekonomických veličin,
- chybnou specifikaci regresního modelu,
- chyby měření a nepřesnosti ve zkoumaných datech,
- chybné nastavení zpoždění u vysvětlujících proměnných,
- nesprávně transformování zkoumaných dat (Hančlová, 2012).

Vznik a existence autokorelace má vliv na vznik řady důsledků pro vlastnosti získaných odhadů. Pro odhady regresních parametrů pak platí:

- odhady jsou nestranné a konzistentní,
- odhady nejsou vydatné neboli nemají minimální rozptyl,
- nejsou asymptoticky vydatné.

Zkoumání výskytu autokorelace reziduální složky je prováděna pomocí:

- grafického testování,
- použitím Durbin-Watsonova testu.

V rámci grafické analýzy výskytu autokorelace je používán XY bodový graf, liniový graf standardizovaných reziduí a také autokorelační a parciální autokorelační graf reziduální složky.

V aplikační části práce bude k testování výskytu autokorelace používán Durbin-Watsonův test. Tento test je tedy potřeba nadefinovat. Jedná se o test, který slouží k testování autokorelace 1. řádu. Testování probíhá v následujících krocích:

- Formulace hypotéz:

$$H_0: \rho = 0, \quad (3.26)$$

$$H_A: \rho \neq 0. \quad (3.27)$$

- Výpočet testové statistiky DW:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{u}_t^2} \sim d_{n,k}, \quad (3.28)$$

nebo pomocí odhadnutého parametru $\hat{\rho}$ z rovnice $\hat{u}_t = \rho \hat{u}_{t-1} + u_t$ následovně:

$$DW \doteq 2(1 - \hat{\rho}). \quad (3.29)$$

- Rozhodovací pravidlo pro přijetí či zamítnutí nulové hypotézy na stanovené hladině významnosti je dáno následovně:

$$DW < d_L, \quad (3.30)$$

$$DW > 4 - d_L, \quad (3.31)$$

$$DW \in \langle d_L, d_U \rangle \vee \langle 4 - d_U, 4 - d_L \rangle, \quad (3.32)$$

$$DW \in \langle d_U, 4 - d_U \rangle. \quad (3.33)$$

Jestliže platí vztah (3.30) nebo (3.31), pak se testová statistika nachází v kritické oblasti a zamítáme nulovou hypotézu, což značí existenci statisticky významné autokorelace 1 řádu. Pokud je dána platnost vztahu (3.32), nelze jednoznačně rozhodnout o přijetí či zamítnutí nulové hypotézy. Jestliže je platný vztah (3.33), tak dochází k přijetí nulové hypotézy a autokorelace je nevýznamná na dané hladině významnosti. Kritické hodnoty d_L a d_U jsou dány pro daný počet pozorování, počet vysvětlujících proměnných $(k - 1)$ a také pro danou hladinu významnosti. Tyto hodnoty jsou uvedeny ve statistických tabulkách (Hančlová, 2012).

Při existenci autokorelace reziduí v regresním modelu, je možné pokusit se o odstranění autokorelace, nebo její snížení, a to pomocí následujících způsobů:

- odstraněním špatné funkční formy modelu,
- časová úprava vysvětlujících proměnných,
- přidáním zpožděné vysvětlované proměnné,

- použití Cochrane-Orcuttovy metody.

3.3.2 Heteroskedasticita

K dalším předpokladům klasického regresního modelu odhadování metodou nejmenších čtverců patří konstantní a konečný rozptyl náhodné složky neboli homoskedasticita. Opakem homoskedasticity je heteroskedasticita. Ta představuje měnící se rozptyl reziduální složky v čase (Hančlová, 2012).

K základním příčinám heteroskedasticity patří následující:

- vyskytující se velké rozdíly mezi průřezovými jednotkami v rámci průřezové regresní analýzy,
- odlehlá pozorování,
- chybná specifikace regresního modelu, použitím špatné funkční formy nebo vynecháním podstatné vysvětlující proměnné v modelu,
- výskyt chyby v měření dat,
- nevhodná transformace dat nebo neadekvátní způsob nahrazení chybějících proměnných,
- nevhodné použití kombinace průřezové a časové analýzy v rámci panelových modelů (Hančlová, 2012).

Výskyt heteroskedasticity má vliv na vznik dopadů na odhady regresních parametrů a vlastnosti odhadovaných funkcí.

Odhadnuté regresní parametry $\hat{\beta}_i$ v rámci malých výběrových souborech:

- jsou lineární a nevychýlené,
- zkreslený rozptyl, který není vydatný.

Odhadnuté regresní parametry $\hat{\beta}_i$ v rámci velkých výběrových souborech:

- jsou asymptoticky nestranné a konzistentní,
- nejsou asymptoticky vydatné.

V procesu zkoumání výskytu heteroskedasticity se začíná grafickou analýzou. Následně je vybrán dle vývoje funkční závislosti měnícího se rozptylu reziduí příslušný test. Tímto testem mohou být například Goldfeldův - Quandtův test nebo Whiteův zobecněný test.

V rámci grafické analýzy se používají zejména grafy vývoje čtverců standardizované reziduální složky v závislosti na jednotlivých vysvětlujících proměnných nebo souhrnně na predikované proměnné. V grafech sledujeme dvě podmínky a to zda:

- se vývoje čtverců standardizované reziduální složky nacházejí v konfidenčním intervalu, který nabývá hodnot $\langle 0; 1,96^2 \rangle$,
- v tomto konfidenčním intervalu jsou rozmístěny náhodně a nevykazují například rostoucí či klesající rozptyl.

Nyní si nadefinujeme parametrický Whiteův obecný test, který bude použit v aplikační části této diplomové práce na testování výskytu heteroskedasticity. Tento test nevyžaduje specifikaci přesné formy závislosti čtverce reziduální složky na dalších proměnných. Nyní si budeme definovat tento test pro model, který zahrnuje 3 vysvětlující proměnné. Tento model můžeme zapsat následovně:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot X_{t2} + \beta_3 \cdot X_{t3} + \beta_4 \cdot X_{t4} + u_t, \quad t = 1, 2, \dots, n. \quad (3.34)$$

Dále je postupováno následovně:

- dle (3.25) je vypočten čtverec nestandardizované reziduální složky,
- odhadneme regresní model závislosti čtverce nestandardizované reziduální složky na původní deterministické části regresního modelu, dle (3.25). Přidáme nové vysvětlující proměnné, vytvořením druhých mocnin původních proměnných a součinem jejich dvojic, a to následovně:

$$\begin{aligned} \hat{u}_t^2 = & \lambda_1 + \lambda_2 \cdot X_{t2} + \lambda_3 \cdot X_{t3} + \lambda_4 \cdot X_{t4} + \lambda_5 \cdot X_{t2}^2 + \lambda_6 \cdot X_{t3}^2 + \lambda_7 \cdot \\ & X_{t4}^2 + \lambda_8 \cdot X_{t2} \cdot X_{t3} + \lambda_9 \cdot X_{t2} \cdot X_{t4} + \lambda_{10} \cdot X_{t3} \cdot X_{t4} + \\ & u_t, \quad t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (3.35)$$

- formulace hypotéz:

$$H_0: \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \dots = \lambda_{10} = 0, \quad (3.36)$$

$$H_A: \lambda_2 \neq 0 \vee \lambda_3 \neq 0 \vee \lambda_4 \neq 0 \vee \dots \vee \lambda_{10} \neq 0. \quad (3.37)$$

- výpočet testovací statistiky:

$$nR^2 \sim X_{df}^2, \quad (3.38)$$

kde df je počet vysvětlujících proměnných v daném modelu.

- rozhodovací pravidlo na hladině významnosti α :

$$nR^2 > X_{1-\alpha, df}^2, \quad (3.39)$$

kde $X_{1-\alpha, df}^2$ vypočteme dle programu MS Excel a jeho funkce $CHIINV(\alpha; df)$. V rámci této funkce df představuje $df = k - 1$. Je-li dle vztahu (3.39) hodnota nR^2 větší, pak zamítáme nulovou hypotézu H_0 o homoskedasticitě a přijímáme hypotézu H_A , která vypovídá o přítomnosti heteroskedasticity v daném modelu. V tomto případě se pro zmírnění či odstranění statisticky významné heteroskedasticity, používá vážená metoda nejmenších čtverců (Hančlová, 2012).

3.3.3 Multikolinearita

Problém multikolinearity můžeme charakterizovat jako vysokou vzájemnou korelovanost regresorů. Multikolinearita představuje velkou kladnou nebo zápornou hodnotu výběrového koeficientu mezi dvěma regresory. Zjednodušeně lze také multikolinearitu definovat jako existenci vztahu mezi jednotlivými vysvětlujícími proměnnými. Výskyt multikolinearity v modelu je nežádoucí (Cipra, 2008).

K základním příčinám vzniku multikolinearity patří následující:

- stejná trendová tendence ekonomických časových řad,
- neexperimentální charakter disponibilních dat,
- nevhodné použití zpožděných vysvětlujících proměnných v modelu,
- neadekvátní užití umělých proměnných.

Jestliže se jedná o jednofaktorový model, který obsahuje pouze jednu vysvětlující proměnnou, korelovanost mezi vysvětlovanou proměnnou a regresorem se za multikolinearitu nepovažuje. Pokud model má dvě vysvětlující proměnné, pak sledujeme párovou korelaci. V modelech s více vysvětlujícími proměnnými, může vzniknout vícenásobná lineární závislost vysvětlujících proměnných. Ke zjišťování přítomnosti, síly a formy závislosti neboli multikolinearity, se používají následující nástroje:

- korelační matice vysvětlujících proměnných zahrnující párovou korelaci

- vícenásobný koeficient korelace,
- míry korelovanosti (faktory změny variability, míry tolerance a podíly variability).

Při sestavení korelační matice vysvětlujících proměnných je potřeba sledovat párovou korelaci mezi dvěma vysvětlujícími proměnnými. Hodnota párové korelace by neměla, až na hodnoty na diagonále, být větší než 0,8. Existuje-li mezi dvěma vysvětlujícími proměnnými vysoká hodnota korelace, přidáním dalších vysvětlujících proměnných se může dále navýšit (Hančlová, 2012).

Párová korelační matice se používá také pro regresní modely s více vysvětlujícími proměnnými, jako orientační indikátor. V rámci těchto modelů lze použít pro testování multikolinearity také F – test. Je nutné vypočítat testovou statistiku dle následujícího vzorce:

$$F_{ij} = \frac{\frac{r_{X_i, X_j}^2}{(k-1)}}{\frac{(1-r_{X_i, X_j}^2)}{(n-k)}}, \quad (3.40)$$

Rozhodovacím pravidlem pro zvolenou hladinu významnosti α je následující vztah:

$$F_{ij} > F_{1-\alpha}(k-1; n-k). \quad (3.41)$$

Jestliže platí vztah (3.32), pak se vypočtená statistika F_{ij} nachází v kritickém oboru a můžeme zamítnout nulovou hypotézu, která představuje nevýznamnou závislosti mezi vysvětlujícími proměnnými na dané hladině významnosti (Hančlová, 2012).

Při výskytu vysoké multikolinearity v regresním modelu, je možné pokusit se multikolinearitu odstranit, nebo alespoň zmírnit následujícími způsoby:

- získat nový výběrový soubor,
- odstranit některou vysvětlující proměnnou způsobující multikolinearitu,
- využít další dodatečnou informaci o hodnotě odhadovaného parametru, a to pomocí ekonomické teorie nebo empirické analýzy,
- transformovat proměnné,
- použít metodu hlavních komponent (Hančlová, 2012).

4 Zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu Bitcoinu

Tato kapitola představuje aplikační část této diplomové práce. Je zde provedena aplikace teoreticky popsaných metod na zvolená data. Cílem práce je zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu bitcoinu. Na začátku této kapitoly jsou popsány zvolené proměnné a jsou naformulovány jednotlivé stochastické regresní modely. Následuje provedení analýzy časových řad, která obsahuje analýzu chybějících hodnot, analýzu odlehklých a extrémních hodnot a dekompozici časových řad. Dále je provedena korelační a regresní analýza. Následně je provedena statistická verifikace parametrů a sestavených modelů. V rámci ekonometrické verifikace je provedeno testování autokorelace, heteroskedasticity a normality reziduí. V závěru kapitoly jsou následně shrnuty dosažené výsledky a na jejich základě jsou sestaveny vícefaktorové modely.

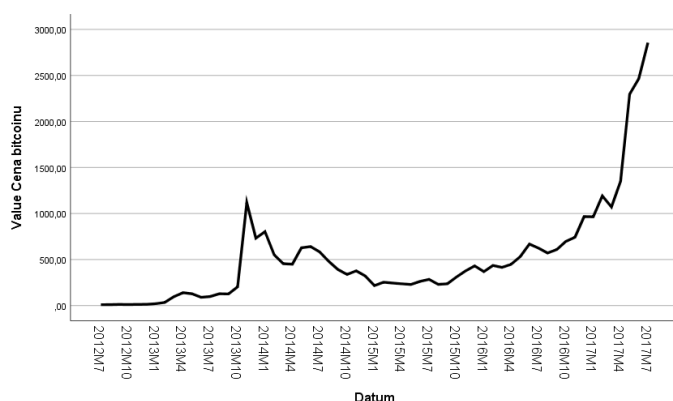
Zkoumaným obdobím je období od 7. měsíce roku 2012 do 7. měsíce roku 2017. Zvolená data jsou měsíční a jednotlivá data přísluší vždy k poslednímu dni daného měsíce. Data pocházejí ze stránek quandl.com a eia.gov. Pro výpočty v rámci této kapitoly je použit software Microsoft Excel a software IBM SPSS Statistics.

4.1 Popis vybraných proměnných

Jak již bylo zmíněno, pro zhodnocení vlivu vybraných faktorů na cenu bitcoinu, která představuje vysvětlovanou proměnnou, bylo vybráno 7 faktorů neboli 7 vysvětlujících proměnných.

Vysvětlovanou proměnnou je **cena bitcoinu**. Jedná se o hodnotu vyjádřenou v amerických dolarech, za kterou je možné Bitcoin nakupovat a prodávat na kryptoměnové burze BitStamp v Luxembourgu. V rámci této kapitoly budeme nadále označovat tuto proměnnou zkratkou BTC. V následujícím obrázku (4.1) můžeme pozorovat vývoj hodnot vysvětlované proměnné, tedy ceny bitcoinu ve zkoumaném období.

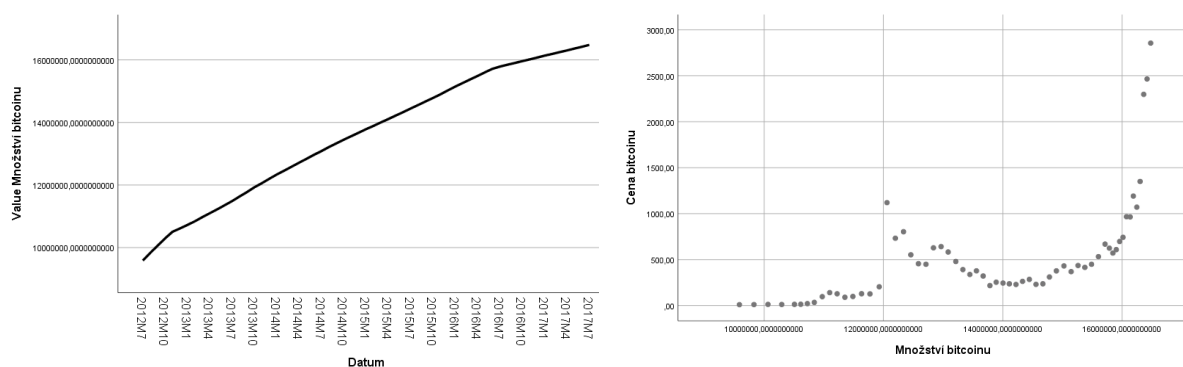
Obrázek 4.1 Vývoj ceny bitcoinu



Zdroj: vlastní zpracování

První vysvětlující proměnnou neboli prvním zkoumaným faktorem je **množství vytěžených bitcoinů**. Tato proměnná vyjadřuje počet již vytěžených bitcoinů ke sledovanému datu zvoleného období. V této části práce budeme dále označovat proměnnou jako QBTC. V obrázku (4.2) můžeme pozorovat v levé části vývoj množství vytěžených bitcoinů a v pravé části pak graficky vyjádřený vztah mezi BTC a QBTC. Na základě tohoto grafického vztahu můžeme předpokládat kladný vztah mezi BTC a QBTC. To znamená, že předpokládáme, že cena bitcoinu se bude zvyšovat s růstem množství již vytěžených bitcoinů. Důvod ke stanovení této hypotézy je takový, že čím bude více bitcoinu vytěženo, tím složitější bude těžit další bitcoiny a bitcoiny již vytěžené budou vzácnější.

Obrázek 4.2 Vývoj QBTC a vztah mezi BTC, QBTC

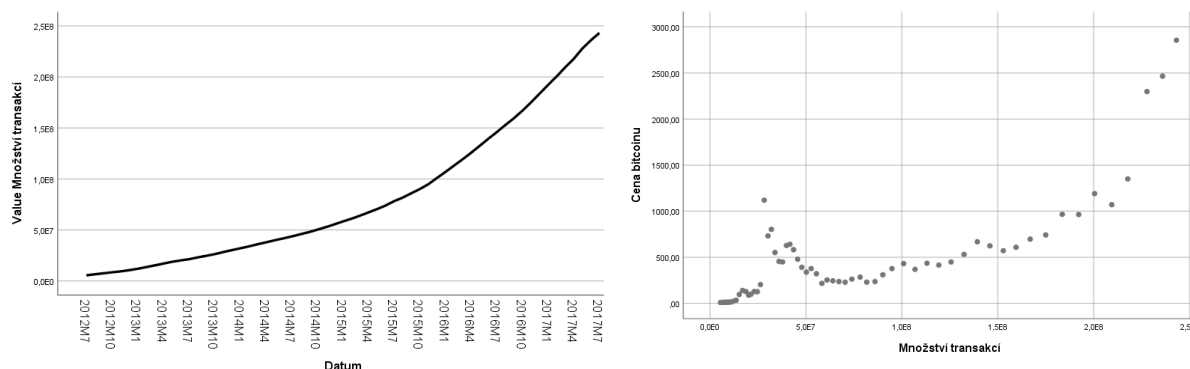


Zdroj: vlastní zpracování

Druhou vysvětlující proměnnou je **množství transakcí bitcoinu**. Jedná se o proměnnou, která vyjadřuje počet jedinečných unikátních transakcí bitcoinu připadajících vždy na daný den zkoumaného období. Tuto proměnnou budeme

označovat zkratkou TRAN. V obrázku (4.3) vidíme vývoj počtu transakcí ve zkoumaném období a také vztah mezi BTC a TRAN. Opět lze předpokládat kladný vztah, a tudíž můžeme předpokládat růst ceny bitcoinu v závislosti na růstu počtu jeho transakcí. Důvodem k této hypotéze je to, že čím více transakcí bude probíhat, tím více bude bitcoin rozšířenější a na základě zvyšující se poptávky po něm, poroste i jeho hodnota.

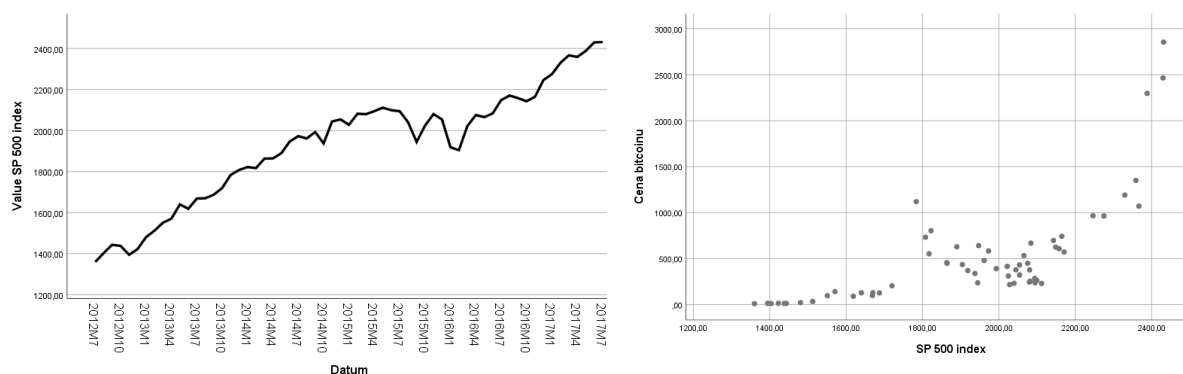
Obrázek 4.3 Vývoj TRAN a vztah mezi BTC, TRAN



Zdroj: vlastní zpracování

Třetí vysvětlující proměnnou je americký akciový index **Standard & Poor's 500**. Tento index měří vývoj 500 akcií na americkém akciovém trhu a je jedním z nejpoužívanějších měřítek akciového trhu v USA. Hodnoty tohoto indexu jsou vyjádřeny pomocí bodů. Dále budeme označovat tuto proměnnou pomocí zkratky SP500. V obrázku (4.4) jsou zobrazeny grafy vývoje hodnoty indexu a dále vztah mezi BTC a SP500 ve sledovaném období. Na základě toho budeme předpokládat existenci kladného vztahu mezi BTC a SP500. Předpokládáme, že s růstem hodnoty akciového indexu poroste i cena bitcoinu. Důvodem k takové hypotéze může být například zvyšující se zájem investorů, kteří investují do akcií, diverzifikovat své portfolio proti případnému propadu cen akcií, a to například investováním části svých prostředků do kryptoměn.

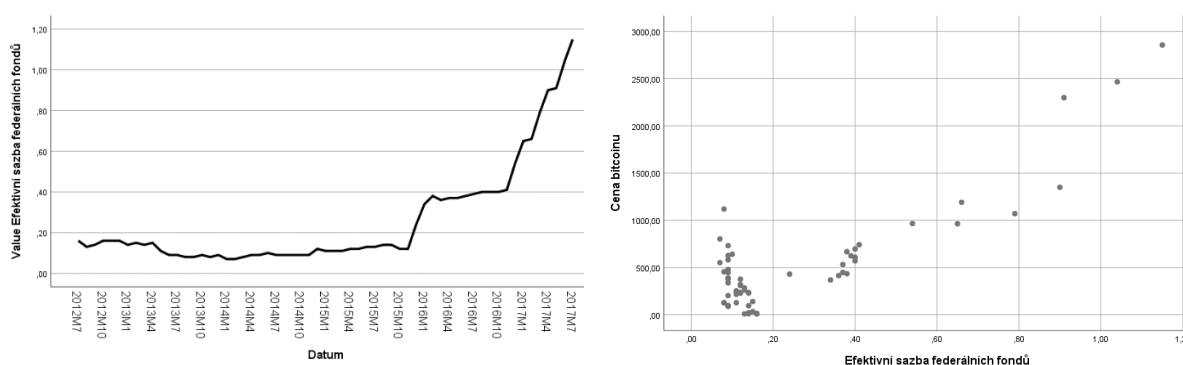
Obrázek 4.4 Vývoj SP500 a vztah mezi BTC, SP500



Zdroj: vlastní zpracování

Za další vysvětlující proměnnou byla zvolena **efektivní sazba federálních fondů**. Jedná se o úrokovou sazbu federálních fondů USA. Je to sazba, za kterou bankovní instituce půjčují své přebytečné prostředky ostatním bankovním institucím přes noc. V tomto případě budeme ale zkoumat sazbu, kterou platí vypůjčující banka půjčující bance za poskytnutí daného úvěru, a to přesněji její vážený průměr, který je nazýván efektivní sazbou federálních fondů. Jedná se o významné měřítko na finančních trzích. Tuto proměnnou budeme označovat jako EFF. V grafech v obrázku (4.5) vidíme vývoj této sazby za sledované období a její vztah k BTC. I v tomto případě můžeme pozorovat vztah mezi BTC a EFF a tudíž předpokládáme, že s růstem sazby poroste také cena BTC.

Obrázek 4.5 Vývoj EFF a vztah mezi BTC, EFF

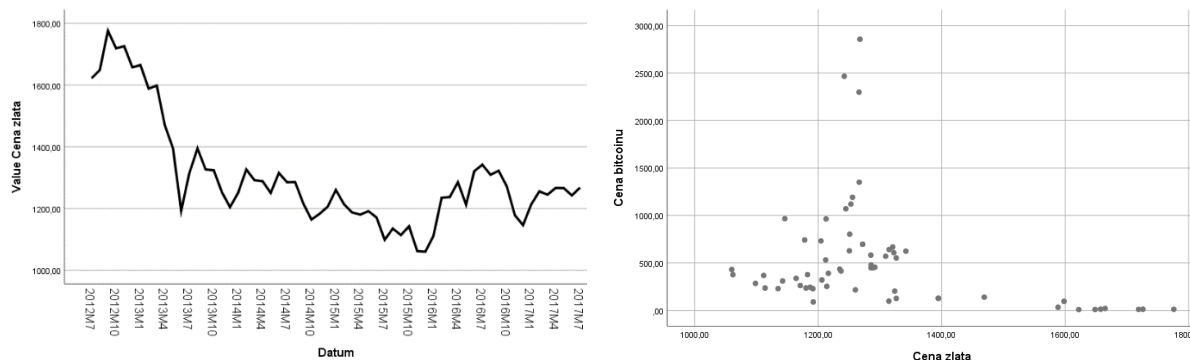


Zdroj: vlastní zpracování

Další vysvětlující proměnnou je **cena zlata**. Cena zlata je stanovována dvakrát denně v rámci procesu tzv. The LBMA Gold Price v Londýně. Hodnoty této proměnné pochází z odpoledního stanovování ceny zlata, vždy k poslednímu dni daného měsíce

zkoumaného období. Tuto proměnnou budeme označovat zkratkou GOLD. Hodnoty jsou vyjádřeny v USD za trojskou unci. V obrázku (4.6) jsou zobrazeny grafy vývoje hodnoty ceny zlata a také jeho vztah k ceně bitcoinu. Předpokládáme kladný vztah. Důvodem k tomuto tvrzení je velice nápadná podoba zlata a bitcoinu, zejména z hlediska omezeného množství, vzácnosti a možnosti stát se v budoucnu bezpečným uchovatelem hodnoty.

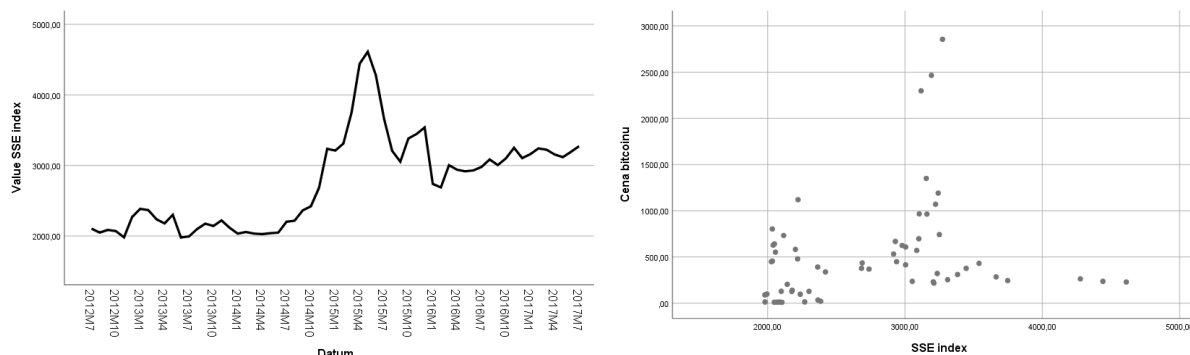
Obrázek 4.6 Vývoj GOLD a vztah mezi BTC, GOLD



Zdroj: vlastní zpracování

Předposlední vybranou vysvětlující proměnnou je **asijský akciový index SSE Composite**. Jedná se o akciový index, který měří vývoj všech akcií (obchodovaných v čínské i zahraniční měně) obchodovaných na čínské burze v Shanghai. Hodnota tohoto indexu je opět v bodech. V rámci grafů v obrázku (4.7) pozorujeme vývoj hodnoty indexu a také vztah s proměnnou BTC. Budeme opět předpokládat pozitivní vztah. Zde je důvodem této hypotézy stejná úvaha jako u akciového indexu S&P 500.

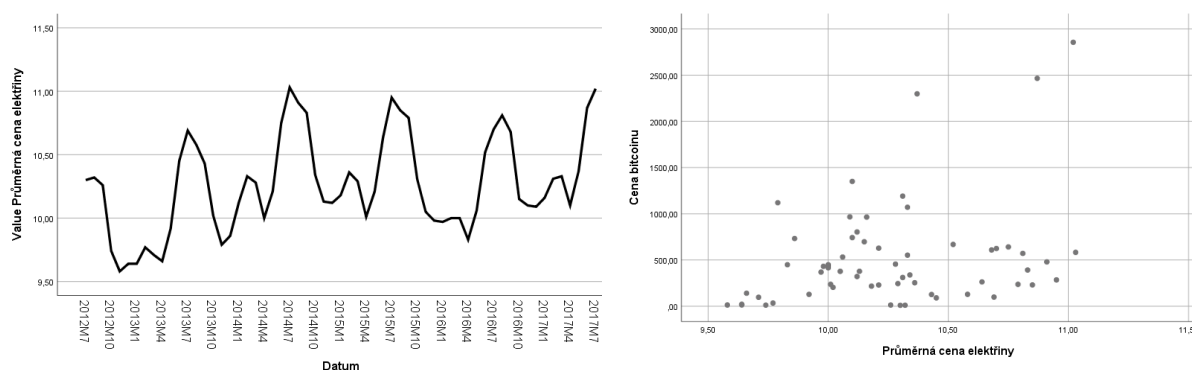
Obrázek 4.7 Vývoj SSE a vztah mezi BTC, SSE



Zdroj: vlastní zpracování

Jako poslední vysvětlovaná proměnná byla vybrána **průměrná cena elektřiny** na americkém trhu. Jednotlivé hodnoty této proměnné představují cenu elektřiny v centech za kilowatthodinu (kWh). Pro tuto proměnnou budeme dále používat zkratku ELECTR. V obrázku (4.8) je zobrazen vývoj ceny elektřiny a také vztah mezi BTC a ELECTR ve sledovaném období. Je předpokládán kladný vztah, a to na základě úvahy, že s rostoucí cenou elektřiny se zvyšují náklady těžařů bitcoinu na těžbu a v konečném důsledku také vzácnost již vytěžených bitcoinů.

Obrázek 4.8 Vývoj ELECTR a vztah mezi BTC, ELECTR



Zdroj: vlastní zpracování

4.2 Formulace stochastického regresního modelu

Bylo potřeba naformulovat a sestavit jednotlivé stochastické regresní modely. V rámci těchto modelů byla zkoumána jedna vysvětlovaná proměnná, a to proměnná cena bitcoinu a sedm vybraných vysvětlujících proměnných. Těmito proměnnými jsou množství vytěžených bitcoinů, množství transakcí, akciový index Standard & Poor's 500, efektivní sazba federálních fondů, cena zlata, akciový index SSE Composite a průměrná cena elektřiny na americkém trhu.

Matematicky můžeme naformulovat funkční závislost jednotlivých vysvětlujících proměnných na cenu bitcoinu jako:

$$BTC_t = f(QBTC), \quad (4.1)$$

$$BTC_t = f(TRAN), \quad (4.2)$$

$$BTC_t = f(SP500), \quad (4.3)$$

$$BTC_t = f(EFF), \quad (4.4)$$

$$BTC_t = f(GOLD), \quad (4.5)$$

$$BTC_t = f(SSE), \quad (4.6)$$

$$BTC_t = f(ELECTR). \quad (4.7)$$

Na základě vzorce (3.2) je tedy sestaveno sedm jednofaktorových modelů. A jejich úplná matematická formulace poté vypadá následovně:

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot QBTC_t + u_t, \quad (4.8)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot TRAN_t + u_t, \quad (4.9)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot SP500_t + u_t, \quad (4.10)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot EFF_t + u_t, \quad (4.11)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot GOLD_t + u_t, \quad (4.12)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot SSE_t + u_t, \quad (4.13)$$

$$BTC_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot ELECTR_t + u_t, \quad (4.14)$$

kde BTC_t představuje cenu bitcoinu v čase t , β_1 značí úrovnovou konstantu (absolutní člen), β_2 je regresní parametr, $QBTC_t$ je množství vytěžených bitcoinů, $TRAN_t$ je množství transakcí, $SP500_t$ je hodnota akciového indexu Standard & Poor's 500, EFF_t hodnota efektivní sazby federálních fondů, $GOLD_t$ vyjadřuje cenu zlata, SSE_t hodnotu akciového indexu SSE Composite, $ELECTR_t$ je průměrná cena elektřiny na americkém trhu, u_t představuje náhodnou složku.

4.3 Analýza časových řad

Tato podkapitola obsahuje analýzu časových řad. Nejprve je provedena deskriptivní statistika, poté analýza chybějících, odlehlých a extrémních hodnot a následně je provedena dekompozice časových řad.

4.3.1 Deskriptivní statistika

Tabulka (4.1) zobrazuje popisnou statistiku jednotlivých proměnných. Zkoumanými hodnotami jsou počet sledovaných dat, minimální hodnota, maximální hodnota a průměr hodnot sledovaného období.

Tabulka 4.1 Deskriptivní statistika vybraných proměnných

	Počet dat	Minimum	Maximum	Průměr
BTC	61	9,28	2855,81	517,6913
QBTC	61	9585150	16479162,5	13596639,14
TRAN	61	5492365	243117918	81797821,62
SP500	61	1359,78	2431,39	1930,4330
EFF	61	0,07	1,15	0,2574
GOLD	61	1060	1776	1302,9541
SSE	61	1979,21	4611,74	2755,5728
ELECTR	61	9,58	11,03	10,2639

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky lze pozorovat, že se jedná celkem o 61 zkoumaných dat. Tyto data jsou měsíčního charakteru. V rámci vysvětlované proměnné BTC vidíme, že maximální hodnoty nabývala cena bitcoinu 2855,81 USD a tuto hodnotu dosáhla poslední sledovaný měsíc, tedy 7. měsíc roku 2017. Nejnižší hodnotu 9,28 USD pak první měsíc zkoumaného období, tedy 7. měsíc 2012. Průměr hodnot proměnné BTC v rámci sledovaného období dosahoval 517,69 USD.

4.3.2 Analýza chybějících hodnot

Jak můžeme pozorovat v tabulce (4.2), žádné chybějící hodnoty se ve zvolených datech nenacházejí.

Tabulka 4.2 Počet chybějících hodnot

	Počet chybějících hodnot
BTC	0
QBTC	0
TRAN	0
SP500	0
EFF	0
GOLD	0
SSE	0
ELECTR	0

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.3 Analýza odlehlých a extrémních hodnot

Extrémní a odlehlé hodnoty jsou testovány pomocí Boxplot grafů. Jednotlivé grafy jsou součástí přílohy (2) této diplomové práce. Odlehlé hodnoty jsou v grafech značeny kolečky a jejich přítomnost není nežádoucí. Extrémní hodnoty jsou pak označeny hvězdičkou a je třeba je z výběru dat odstranit. Následující tabulka (4.3) obsahuje počet odlehlých a extrémních hodnot u jednotlivých proměnných.

Tabulka 4.3 Počet odlehlých a extrémních hodnot

	Počet odlehlých hodnot	Počet extrémních hodnot
BTC	1	3
QBTC	0	0
TRAN	0	0
SP500	0	0
EFF	4	0
GOLD	7	2
SSE	0	0
ELECTR	0	0

Zdroj: vlastní zpracování

Extrémní hodnoty byly zjištěny u proměnných BTC a GOLD. Tyto hodnoty byly odstraněny a byly nahrazeny. Nahrazení proběhlo u proměnné BTC pomocí střední hodnoty časové řady a u proměnné GOLD průměrem sousedních hodnot.

4.3.4 Dekompozice časových řad

K dekompozici časových řad jsme použili aditivní model. V rámci našich dat byly zatíženy sezónností časové řady BTC, SP500, GOLD, SSE a ELECTR. Došlo k jejich očištění. Grafické znázornění dekompozicí jednotlivých proměnných je zobrazeno v příloze (3). Pro další výpočty jsou používány očištěné časové řady od sezónnosti BTC_SAS, SP500_SAS, GOLD_SAS, SSE_SAS a ELECTR_SAS. Upravené jednofaktorové modely vypadají následovně:

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot QBTC_t + u_t, \quad (4.15)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot TRAN_t + u_t, \quad (4.16)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot SP500_{SAS_t} + u_t, \quad (4.17)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot EFF_t + u_t, \quad (4.18)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot GOLD_{SAS_t} + u_t, \quad (4.19)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot SSE_{SAS_t} + u_t, \quad (4.20)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot ELECTR_{SAS_t} + u_t. \quad (4.21)$$

Zvolené časové řady proměnných modelů byly také transformovány pomocí logaritmu, difference a růstu. Na základě dosažených výsledků hodnoty R Square jednotlivých modelů, která dosahovala téměř stejných hodnot jako časových řad bez transformací, bylo rozhodnuto pokračovat s netransformovanými, ale očištěnými daty.

4.3.5 Korelační analýza

V této podkapitole jsou analyzovány sestavené modely pomocí korelační matice a následně také pomocí křížové korelace.

Korelační matice

Bivalerantní korelační matice zobrazuje vztah mezi vysvětlovanou a vysvětlujícími proměnnými a také vztah mezi jednotlivými vysvětlujícími proměnnými. Korelační matice je sestavena pro modely s očištěnými daty. Následující tabulka (4.4) zobrazuje korelační matici zvolených proměnných.

Tabulka 4.4 Korelační matice

	BTC SAS	QBTC	TRAN	SP500 SAS	EFF	GOLD SAS	SSE SAS	ELECTR SAS
BTC SAS	1	0,651**	0,669**	0,688**	0,544**	-0,454**	0,163	0,555**
QBTC	0,651**	1	0,912**	0,952**	0,677**	-0,71**	0,679**	0,713
TRAN	0,669**	0,912**	1	0,866**	0,906**	-0,45**	0,546**	0,546**
SP500 SAS	0,688**	0,952**	0,866**	1	0,649**	-0,75**	0,683**	0,847**
EFF	0,544**	0,677**	0,906**	0,649**	1	-0,15	0,317*	0,323*
GOLD SAS	-0,45**	-0,71**	-0,45**	-0,75**	-0,15	1	-0,55**	-0,80**
SSE SAS	0,163	0,679**	0,546**	0,683**	0,317*	-0,55**	1	0,479**
ELECTR SAS	0,555**	0,713**	0,546**	0,847**	0,323*	-0,80**	0,479**	1

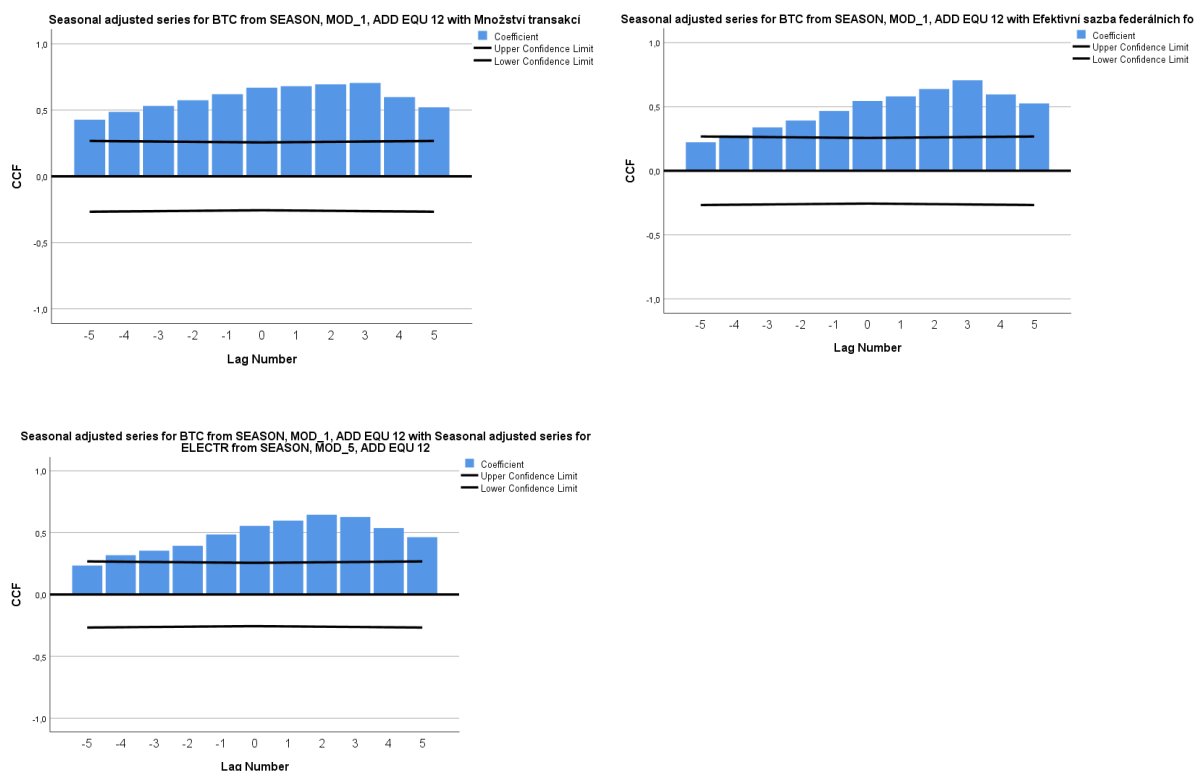
Zdroj: vlastní zpracování

Korelace mezi vysvětlovanou a vysvětlující proměnnou by měla být co největší. V tabulce (4.4) můžeme pozorovat, že největší vztah je mezi BTC_SAS a SP500_SAS. Hodnota dosahuje 0,688**. Jedná se o kladný vztah, a navíc statisticky významný. Můžeme tedy říci, že hodnotu ceny bitcoinu nejvíce ovlivňuje akciový index S&P 500. Nejmenší hodnota korelace byla zaznamenána mezi proměnnou BTC_SAS a GOLD_SAS. Tato hodnota byla (-0,454**). Jedná se tedy o záporný vztah. Hodnota korelací mezi vysvětlujícími proměnnými by měla být co nejmenší, a to z důvodu, aby při jejich zapojení do vícefaktorového modelu nedocházelo k multikolinearitě. Největší korelace mezi vysvětlujícími proměnnými je mezi SP500_SAS a QBTC, a to 0,952**. Nejmenší pak mezi GOLD_SAS a ELECTR_SAS (-0,8**).

Křížová korelace

Křížová korelace udává významnost β koeficientů, a také to, zda jsou kladné či záporné. Pokud sloupec grafu míří nahoru, pak se jedná o kladný koeficient β , pokud dolů tak záporný. Sloupce přesahující vyznačenou čáru jsou statisticky významná data. Z těchto sloupců lze také vyčíst zpoždění časové řady, a to u čísla, kde leží sloupec s nejvyšší výškou. Sestavili jsme křížové korelace a jejich grafy, které jsou součástí přílohy (4) kromě grafů v obrázku (4.9). U tří proměnných TRAN, EFF a ELECTR_SAS dochází k časovému nesouladu. Můžeme to pozorovat v grafech v následujícím obrázku (4.9).

Obrázek 4.9 Křížové korelace u předbíhajících proměnných



Zdroj: vlastní zpracování

V obrázku (4.9) lze v prvním grafu pozorovat, že u proměnné TRAN se nejvyšší sloupec nachází u čísla 3. Proměnná tedy předbíhá BTC_SAS o 3 období a je tedy potřeba časovou řadu v čase posunout. Stejný časový posun je potřeba provést také u proměnné EFF. V rámci třetího grafu lze vidět, že nejvyšší sloupec u proměnné ELECTR_SAS se nachází u čísla 2. Opět je potřeba časovou posunout o 2 období. Po posunutí vznikly nové v čase posunuté proměnné TRAN₃, EFF₃ a ELECTR_SAS₂. Jednofaktorové modely po této úpravě vypadají následovně:

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot QBTC_t + u_t, \quad (4.22)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot TRAN_3_{t+3} + u_t, \quad (4.23)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot SP500_{SAS_t} + u_t, \quad (4.24)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot EFF_3_{t+3} + u_t, \quad (4.25)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot GOLD_{SAS_t} + u_t, \quad (4.26)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot SSE_{SAS_t} + u_t, \quad (4.27)$$

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot ELECTR_2_{SAS_{t+2}} + u_t. \quad (4.28)$$

Po úpravě některých proměnných v čase je potřeba znovu sestavit bivalerantní korelační matici. Tabulka (4.5) zobrazuje korelační matici s časově upravenými proměnnými TRAN_3, EFF_3 a ELECTR_SAS_2.

Tabulka 4.5 Korelační matice s časově upravenými proměnnými

	BTC SAS	QBTC	TRAN_3	SP500 SAS	EFF_3	GOLD SAS	SSE SAS	ELECTR SAS_2
BTC SAS	1	0,651**	0,731**	0,688**	0,711**	-0,454**	0,163	0,713**
QBTC	0,651**	1	0,923**	0,952**	0,709**	-0,711**	0,679**	0,668**
TRAN_3	0,731**	0,923**	1	0,843**	0,914**	-0,497**	0,565**	0,505**
SP500 SAS	0,688**	0,952**	0,843**	1	0,640**	-0,750**	0,683**	0,821**
EFF_3	0,711**	0,709**	0,914**	0,640**	1	-0,237	0,368**	0,326*
GOLD SAS	-0,45**	-0,71**	-0,45**	-0,75**	-0,237	1	-0,55**	-0,74**
SSE SAS	0,163	0,679**	0,565**	0,683**	0,368**	-0,548**	1	0,376**
ELECTR SAS_2	0,713**	0,688**	0,505**	0,821**	0,326*	-0,739**	0,376**	1

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.6 Odhady regresních modelů

V této podkapitole jsou provedeny regresní analýzy jednotlivých jednofaktorových modelů. Vysvětlovanou proměnou byla vždy sezónně očištěná BTC a vysvětlujícími proměnnými byly jednotlivě množství vytěžených bitcoinů, časově upravený počet transakcí, sezónně očištěný index S&P 500, časově upravená efektivní sazba federálních fondů, sezónně očištěná cena zlata, index SSE Composite a sezónně očištěná a časově upravená průměrná cena elektřiny. Vypočtené hodnoty regresních analýz jsou vloženy do vzorců jednofaktorových modelů.

Množství vytěžených bitcoinů

$$BTC_{SAS_t} = (-927.046) + (9.896 \cdot 10^{-6}) \cdot QBTC_t + u_t. \quad (4.29)$$

Na základě dosažených výsledků pro první model s vysvětlující proměnnou QBTC můžeme pozorovat, že hodnota regresního koeficientu nabývá $9,896 \cdot 10^{-6}$.

To představuje pozitivní vztah, který můžeme interpretovat tak, že pokud množství vytěžených bitcoinů vzroste o jednotku, bude to mít za následek zvýšení ceny bitcoinu o $9,896 \cdot 10^{-6}$ USD. Hodnota R Square modelu dosahuje 0,423. To znamená, že tento jednofaktorový model funguje z 42,3 % správně.

Počet unikátních transakcí

$$BTC_{SAS_t} = (121,242) + (3,411 \cdot 10^{-6}) \cdot TRAN_3_{t+3} + u_t. \quad (4.30)$$

Dle výsledků pro druhý jednofaktorový model s vysvětlující proměnnou TRAN_3, tedy množstvím transakcí v čase t+3, vidíme, že hodnota regresního koeficientu má hodnotu $3,411 \cdot 10^{-6}$. Hodnota koeficientu je kladná, což reprezentuje kladný vztah. Můžeme říci, že při růstu počtu transakcí o jednotku, naroste cena bitcoinu v čase t o $3,411 \cdot 10^{-6}$ USD. Hodnota R Square dosahuje hodnoty 0,535, což znamená, že daný model funguje z 53,5 % správně.

Akciový index S&P 500

$$BTC_{SAS_t} = (-1046,603) + (0,759) \cdot SP500_{SAS_t} + u_t. \quad (4.31)$$

Z výsledků pro jednofaktorový model s vysvětlující proměnnou SP500 je zřejmé, že hodnota regresního koeficientu dosahuje hodnoty 0,759. Tato hodnota představuje to, že pokud hodnota akciového indexu vzroste o jednotku, bude to mít za následek zvýšení ceny bitcoinu o 0,759 USD. Model pracuje z 47,3 % správně, jelikož hodnota R Square nabývá hodnoty 0,473.

Efektivní sazba federálních fondů

$$BTC_{SAS_t} = (187,232) + (859,607) \cdot EFF_3_{t+3} + u_t. \quad (4.32)$$

Pro jednofaktorový model s vysvětlující proměnnou EFF_3 bylo vypočteno, že hodnota regresního koeficientu nabývá hodnoty 859,607. To znamená, že jestliže dojde k nárůstu efektivní sazby federálních fondů v čase t+3 o jednotku, bude to mít za následek vzrůst ceny bitcoinu v čase t o 859,607 USD. Tento model pracuje dle hodnoty R Square, která je 0,506, z 50,6 % správně.

Cena zlata

$$BTC_{SAS_t} = (1527,361) + (-0,853) \cdot GOLD_{SAS_t} + u_t. \quad (4.33)$$

V rámci jednofaktorového modelu s cenou zlata GOLD_SAS bylo zjištěno, že hodnota regresního koeficientu nabývá hodnoty (-0,853). Jedná se o zápornou hodnotu, která charakterizuje záporný vztah mezi cenou bitcoinu a cenou zlata. Můžeme tedy na základě tohoto výsledku říci, že pokud cena zlata vzroste o jednotku, bude to mít za následek snížení ceny bitcoinu o 0,853 USD. Tento vztah a celý jednofaktorový model funguje dle R Square, které je 0,206 z 20,6 % správně.

Akciový index SSE Composite

$$BTC_{SAS_t} = (200,481) + (0,079) \cdot SSE_{SAS_t} + u_t. \quad (4.34)$$

Dle výsledků předposledního jednofaktorového modelu s vysvětlující proměnnou SSE_SAS, která představuje hodnotu akciového indexu SSE Composite, bylo zjištěno, že hodnota regresního koeficientu nabývá 0,079. Tím pádem můžeme říci, že jestliže dojde ke zvýšení akciového indexu o jednotku, dojde ke zvýšení ceny bitcoinu o 0,079 USD. Tento model na základě hodnoty 0,027, což je hodnota R Square, pracuje pouze z 2,7 % správně.

Průměrná cena elektřiny

$$BTC_{SAS_t} = (-11408,373) + (1151,182) \cdot ELECTR_2_{SAS_{t+2}} + u_t. \quad (4.35)$$

Z výsledků jednofaktorového modelu, který obsahuje vysvětlující proměnnou ELECTR_SAS_3, tedy průměrnou cenu elektřiny, je zřejmé, že hodnota regresního koeficientu je 1151,182. Je tedy možné tvrdit, že při zvýšení průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, bude mít za následek zvýšení ceny bitcoinu v čase t o 1151,182 USD. Hodnota R Square dosahuje hodnoty 0,508, což značí, že daný model pracuje z 50,8 % správně.

Na základě výsledků dosažených díky korelační analýze a jednotlivým regresním analýzám, lze konstatovat, že bylo potvrzeno 6 stanovených hypotéz o kladném vztahu vysvětlující a vysvětlované proměnné, které byly popsány v kapitole 4.1. Jediná hypotéza, která nebyla potvrzena je hypotéza o kladném vztahu proměnných BTC a GOLD. Dle korelační i regresní analýzy totiž existuje mezi těmito proměnnými inverzní vztah.

4.4 Statistická verifikace

Tato podkapitola zahrnuje testování statistické významnosti jednotlivých parametrů modelu a také testování statistické významnosti modelu jako celku. Hladina významnosti byla stanovena na 5 %.

4.4.1 T-test

Pro testování statistické významnosti jednotlivých koeficientů je použit t-test. Tento test byl teoreticky popsán v kapitole 3.2.3 této diplomové práce. Testujeme na základě kritického oboru. Nejprve byly stanoveny hypotézy. Nulová hypotéza představující nevýznamnost regresního koeficientu dle vzorce (3.10), alternativní hypotéza představující významnost regresního koeficientu pak dle vzorce (3.11). Výpočet testovací statistiky neboli t_{vyp} dle vzorce (3.12). Kritická hodnota t_{krit} byla vypočtena pomocí programu MS EXCEL a její funkce TINV. Rozhodovací pravidlo pro zamítnutí či přijetí nulové hypotézy bylo stanoveno dle vzorce (3.13). Následující tabulka (4.6) obsahuje dosažené výsledky.

Tabulka 4.6 Statistická verifikace parametrů pomocí t-testu

Model obsahující:	t_{vyp}	t_{krit}	H_o	Parametr je:
QBTC	6,582	2,00172	zamítáme	významný
TRAN_3	8,024	2,00172	zamítáme	významný
SP500_SAS	7,284	2,00172	zamítáme	významný
EFF_3	7,574	2,00172	zamítáme	významný
GOLD_SAS	-3,918	2,00172	zamítáme	významný
SSE_SAS	1,273	2,00172	přijímáme	nevýznamný
ELECTR_SAS_2	7,678	2,00172	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledků tabulky (4.6) můžeme pozorovat, že na základě t-testu bylo zjištěno 6 významných a 1 nevýznamný regresní parametr v rámci sestavených jednofaktorových modelů. Významné regresní parametry byly zjištěny v modelech obsahujících vysvětlující proměnné QBTC, TRAN_3, SP500_SAS, EFF_3, GOLD_SAS a ELECTR_SAS. Nevýznamný parametr pak v modelu s SSE_SAS. Tento nevýznamný parametr není vhodný pro případné sestavení vícefaktorových modelů.

4.4.2 F-test

K testování statistické významnosti modelů jako celku byl použit F-test. Tento test byl definován v kapitole 3.2.4 této práce. Opět testujeme na základě kritického oboru. Byly stanoveny hypotézy, a to dle následujících vzorců. Nulová hypotéza dle vzorce (3.16), alternativní hypotéza dle vzorce (3.17). Pro výpočet testové statistiky F_{vyp} byl použit vzorec (3.18). F_{krit} neboli kritická hodnota je vypočtena na základě softwaru MS Excel a jeho funkce FINV. Rozhodnutí je prováděno na základě rozhodovacího pravidla daného vzorcem (3.20). V následující tabulce (4.7) jsou obsaženy dosažené výsledky.

Tabulka 4.7 Statistická verifikace modelů pomocí F-testu

Model obsahující:	F_{vyp}	F_{krit}	H_o	Model je:
QBTC	43,317	4,003983	zamítáme	významný
TRAN_3	64,384	4,003983	zamítáme	významný
SP500_SAS	53,050	4,003983	zamítáme	významný
EFF_3	57,370	4,003983	zamítáme	významný
GOLD_SAS	15,348	4,003983	zamítáme	významný
SSE_SAS	1,620	4,003983	přijímáme	nevýznamný
ELECTR_SAS_2	58,951	4,003983	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků v tabulce (4.7) můžeme usoudit, že ze sestavených jednofaktorových modelů je pouze jeden statisticky nevýznamný, přičemž ostatní jsou všechny významné. Nevýznamným modelem dle F-testu je jednofaktorový model, který obsahuje vysvětlující proměnnou SSE_SAS, tedy model s akciovým indexem SSE Composite.

4.5 Ekonometrická verifikace

Tato kapitola obsahuje provedení ekonometrické verifikace sestavených jednofaktorových modelů. Modely jsou testovány na normalitu reziduální složky, autokorelaci a také heteroskedasticitu. Multikolinearita není v rámci jednofaktorových modelů testována, jelikož modely obsahují pouze jednu vysvětlující proměnnou. Hladina významnosti je pro všechny výpočty stanovena na 5 %.

4.5.1 Normalita reziduální složky

Normální rozdělení náhodné složky je jedním z předpokladů klasického regresního modelu. Teoretické vymezení normality reziduální složky a jejího testování je uvedeno v kapitole 3.2.5. Pro testování normality reziduální složky byl zvolen Kolmogorov – Smirnovův test.

Nejprve byly stanoveny hypotézy stejným způsobem tak, jak byly uvedeny v kapitole 3.2.5. Byly vypočteny hodnoty D_i^+ a D_i^- , a to na základě vzorců (3.21) a (3.22). Následně byla vypočtena hodnota D pomocí vzorce (3.23). Na základě vypočtených hodnot je spočtena testová statistika z_{vyp} dle vzorce (3.24). z_{krit} neboli kritická hodnota je pro hladinu významnosti stanovena a nabývá hodnoty 1,96. O přijetí či zamítnutí nulové hypotézy se rozhoduje na základě rozhodovacího kritéria daného vzorcem (3.25). Následující tabulka (4.8) obsahuje dosažené výsledky testu.

Tabulka 4.8 Testování normality reziduální složky pomocí KS testu

Model obsahující:	z_{vyp}	z_{krit}	H_o	Rezidua mají normální rozdělení:
QBTC	0,92942	1,96	přijímáme	ano
TRAN_3	1,358983	1,96	přijímáme	ano
SP500_SAS	0,554528	1,96	přijímáme	ano
EFF_3	0,859127	1,96	přijímáme	ano
GOLD_SAS	0,94504	1,96	přijímáme	ano
SSE_SAS	0,960661	1,96	přijímáme	ano
ELECTR_SAS_2	0,749784	1,96	přijímáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Dle KS testu byla v rámci všech zkoumaných jednofaktorových modelů přijata nulová hypotéza, jak lze vidět v tabulce (4.8). Tím pádem můžeme konstatovat, že všechny jednofaktorové modely mají normální rozdělení reziduální složky.

4.5.2 Autokorelace

Autokorelace představuje jev, kdy reziduální složka modelu je korelována svými zpožděnými hodnotami. Teoretické vymezení autokorelovanosti reziduální složky je uvedeno v kapitole 3.3.1.

Pro testování výskytu autokorelace v jednotlivých jednofaktorových modelech byl použit Durbin-Watsonův test. Nulová hypotéza byla stanovena dle vztahu (3.26), alternativní hypotéza na základě vztahu (3.27). Výpočet testové statistiky byl proveden pomocí vztahu (3.28). Kritické hodnoty d_L a d_U byly stanoveny na hladině významnosti 5 % dle tabulek uvedených na internetových stránkách stanford.edu.³⁸ Rozhodnutí o zamítnutí či přijetí nulové hypotézy bylo provedeno dle vztahu (3.30) a (3.31). V následující tabulce (4.9) jsou obsaženy dosažené výsledky.

Tabulka 4.9 Testování autokorelace pomocí Durbin-Watsonova testu

Model obsahující:	Durbin-Watson	$(0; D_L)$	H_0	Autokorelace existuje:
QBTC	0,586	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
TRAN_3	0,425	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
SP500_SAS	0,629	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
EFF_3	0,400	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
GOLD_SAS	0,449	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
SSE_SAS	0,349	(0; 1,55240)	zamítáme	ano
ELECTR_SAS_2	0,575	(0; 1,55240)	zamítáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě dosažených výsledků dle Durbin-Watsonova testu, které jsou zobrazeny v tabulce (4.9), můžeme pozorovat, že ve všech testovaných jednofaktorových modelech došlo k zamítnutí nulové hypotézy. Můžeme tedy říci, že ve všech modelech se vyskytuje autokorelace.

4.5.3 Heteroskedasticita

Heteroskedasticita představuje jev, kdy se mění rozptyl reziduí v čase. Heteroskedasticita je opakem homoskedasticity. Teoretické vymezení heteroskedasticity je obsaženo v kapitole 3.3.2.

K testování heteroskedasticity byl použit Whiteův test. Nejdříve byly stanoveny hypotézy, a to nulová hypotéza dle vztahu (3.36), alternativní hypotéza dle vztahu (3.37). Výpočet testové statistiky je dán vztahem (3.38). V programu MS Excel je vypočtena kritická hodnota, a to pomocí funkce CHIINV. Rozhodovacím kritériem pro

³⁸ <https://web.stanford.edu/~clint/bench/dwcrit.htm>

zamítnutí či přijetí nulové hypotézy je vztah (3.39). Následující tabulka (4.10) shrnuje dosažené výsledky.

Tabulka 4.10 Testování heteroskedasticity pomocí Whiteova testu

Model obsahující:	nR^2	$X_{1-\alpha,df}^2$	H_o	V modelu existuje:
QBTC	1,403	5,991465	přijímáme	homosked.
TRAN_3	1,586	5,991465	přijímáme	homosked.
SP500_SAS	6,161	5,991465	zamítáme	heterosked.
EFF_3	6,039	5,991465	zamítáme	heterosked.
GOLD_SAS	2,501	5,991465	přijímáme	homosked.
SSE_SAS	0,305	5,991465	přijímáme	homosked.
ELECTR_SAS_2	11,346	5,991465	zamítáme	heterosked.

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků dosažených Whiteovým testem, které jsou zobrazeny v tabulce (4.10), lze konstatovat, že ve čtyřech testovaných jednofaktorových modelech existuje homoskedasticita a ve třech pak heteroskedasticita. Homoskedasticita byla zjištěna u modelů s vysvětlujícími proměnnými QBTC, TRAN_3, GOLD_SAS a SSE_SAS. Heteroskedasticita se vyskytuje u modelů s proměnnými SP500_SAS, EFF_3 a ELECTR_SAS_2.

4.6 Shrnutí jednofaktorových modelů

V rámci jednofaktorových modelů bylo sestaveno 7 modelů, které byly sestaveny s cílem ověřit vliv jednotlivých vybraných proměnných na cenu bitcoinu. Výsledky dosažené pomocí jednotlivých jednofaktorových modelů shrnuje tabulka (4.11).

V rámci tabulky (4.11) můžeme pozorovat, že nejvyšší vliv vysvětlující proměnné na cenu bitcoinu byl dosažen u modelu s proměnnou TRAN_3. Jelikož korelace této proměnné s cenou bitcoinu dosahuje hodnoty 0,731**. Naopak nejmenší vliv byl zjištěn u modelu s vysvětlující proměnnou SSE_SAS. Hodnota korelace byla pouze 0,163. Z hlediska vypovídající schopnosti modelu dle hodnoty R Square, nejlepších výsledků dosahoval model opět s proměnnou TRAN_3. Tento model fungoval správně z 53,5 %. Nejmenší hodnota byla opět zaznamenána v modelu

s SSE_SAS. Tento takto sestavený model fungoval správně pouze ze 2,06 % a zbytek byl dán náhodnou chybou. Šest ze sedmi modelů obsahovaly statisticky významné regresní parametry. Nevýznamným byl pouze parametr u modelu s proměnnou SSE_SAS. V rámci statistické významnosti modelů jako celku, byly významné všechny modely až na model s proměnnou SSE_SAS. Ve všech sestavených modelech rozdělení reziduální složky odpovídalo normálnímu rozdělení na stanovené hladině významnosti 5 %. U všech jednofaktorových modelů se vyskytovala sériová závislost reziduální složky neboli autokorelace. Ve čtyřech modelech byla ověřena homoskedasticita. V modelech s proměnnými SP500_SAS, EFF_3 a ELECTR_SAS_2 byla zjištěna přítomnost nežádoucí heteroskedasticity.

Tabulka 4.11 Shrnutí výsledků jednofaktorových modelů

Model obsahující:	Korelace s BTC_SAS	R Square	t-test	F-test	Normalit a rez. slož.	Autokorelace	V modelu existuje:
QBTC	0,651**	0,423	význ.	význ.	ano	ano	homosked.
TRAN_3	0,731**	0,535	význ.	význ.	ano	ano	homosked.
SP500_SAS	0,688**	0,473	význ.	význ.	ano	ano	heterosked.
EFF_3	0,711**	0,506	význ.	význ.	ano	ano	heterosked.
GOLD_SAS	-0,454**	0,206	nevýzn.	význ.	ano	ano	homosked.
SSE_SAS	0,163	0,027	nevýzn.	nevýzn.	ano	ano	homosked.
ELECTR_SAS_2	0,713**	0,508	význ.	význ.	ano	ano	heterosked.

Zdroj: vlastní zpracování

Pro vícefaktorové modely byly zvoleny proměnné TRAN_3, SP500_SAS a ELECTR_SAS_2, které dosahovaly nejlepších výsledků vůči BTC_SAS. Kritériem rozhodování byla korelace s vysvětlovanou proměnnou, dále pak hodnota R Square jednofaktorového modelu obsahujícího tuto proměnnou a následně statistická významnost. O proměnných QBTC a EFF_3 bylo rozhodnuto je do modelu stejně jako proměnné GOLD_SAS a SSE_SAS nezahrnovat, a to z důvodu příliš vysoké korelace (0,923** a 0,914**) s proměnnou TRAN_3, což by mohlo mít vliv na existenci silné multikolinearity ve vícefaktorovém modelu.

4.7 Vícefaktorové modely

Dle výsledků, které byly získány pomocí jednofaktorových modelů, byly sestaveny dva vícefaktorové modely. Důvody výběru daných proměnných jsou popsány v kapitole 4.6. V rámci vícefaktorových modelů je nejprve provedena korelační analýza a regresní analýza. Dále jsou provedeny testy v rámci statistické verifikace, a nakonec je provedena ekonometrická verifikace, která obsahuje testování autokorelace, heteroskedasticity a také multikolinearity daných vícefaktorových modelů.

4.7.1 Vícefaktorový model se základními proměnnými

Prvním vícefaktorovým modelem je model, který představuje vztah mezi vysvětlovanou proměnnou a třemi vysvětlujícími proměnnými. Vysvětlovanou proměnnou je sezónně očištěná cena bitcoinu. Vysvětlujícími proměnnými jsou množství transakcí v čase $t+3$, sezónně očištěná hodnota indexu S&P 500 a sezónně očištěná průměrná cena elektřiny v čase $t+2$. Matematický zápis vícefaktorového modelu vypadá následovně:

$$BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot TRAN_3_{t+3} + \beta_3 \cdot SP500_{SAS_t} + \beta_4 \cdot ELECTR_2_{SAS_{t+2}} + u_t. \quad (4.36)$$

Korelační analýza

V rámci korelační analýzy je sestavena korelační matice. Pomocí této matice je zobrazen vztah mezi vysvětlovanou proměnnou a vysvětlujícími proměnnými a také vztah mezi jednotlivými vysvětlujícími proměnnými v rámci vícefaktorového modelu. Korelační matice je zobrazena v tabulce (4.12).

Tabulka 4.12 Korelační matice základního vícefaktorového modelu

	BTC SAS	TRAN_3	SP500 SAS	ELECTR SAS_2
BTC_SAS	1	0,731**	0,688**	0,713**
TRAN_3	0,731**	1	0,843**	0,505**
SP500_SAS	0,688**	0,843**	1	0,821**
ELECTR_SAS_2	0,713**	0,505**	0,821**	1

Zdroj: vlastní zpracování

Dle korelační matice v tabulce (4.12) můžeme vidět, že největší vztah mezi vysvětlovanou a vysvětlující proměnnou je mezi BTC_SAS a TRAN_3. Velmi vysoký vztah můžeme také pozorovat mezi vysvětlujícími proměnnými SP500_SAS a TRAN_3, nebo také mezi SP500_SAS a ELECTR_SAS_2. To nasvědčuje tomu, že se v daném modelu pravděpodobně bude vyskytovat multikolinearita.

Regresní analýza

Byla provedena regresní analýza modelu. Vypočtené hodnoty této regresní analýzy byly vloženy do matematického vztahu (4.36) pro vícefaktorový model.

$$\begin{aligned}
 BTC_{SAS_t} = & (-14432,6) + (5,053 \cdot 10^{-6}) \cdot TRAN_{3_{t+3}} & (4.37) \\
 & + (-1,211) \cdot SP500_{SAS_t} \\
 & + (1628,47) \cdot ELECTR_{2_{SAS_{t+2}}} + u_t.
 \end{aligned}$$

Na základě dosažených výsledků tohoto vícefaktorového modelu můžeme říci, že pokud se množství transakcí v čase t+3 změní o jednotku, bude to mít za následek zvýšení ceny bitcoinu v čase t o $5,053 \cdot 10^{-6}$ USD. Pokud se zvýší hodnota akciového indexu S&P 500 o jednotku, dojde ke snížení ceny bitcoinu o 1,211 USD a pokud dojde ke zvýšení průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, zvýší se cena bitcoinu v čase t o 1628,47 USD. Hodnota R Square nabývá hodnoty 0,778, což můžeme interpretovat tak, že daný vícefaktorový model funguje ze 77,8 % správně.

Statistická verifikace

Pro statistickou verifikaci jednotlivých parametrů vícefaktorového modelu a modelu jako celku, byly použity statistické testy t-test a F-test. Tedy stejně jako u jednofaktorových modelů. Hladina významnosti je opět stanovena na 5 %.

t-test

Pro testování statistické významnosti jednotlivých parametrů vícefaktorového modelu byl použit t-test. Tento test je teoreticky popsán v kapitole 3.2.3. Při výpočtu bylo postupováno stejně jako v kapitole 4.4.1 pro jednofaktorové modely. Následující tabulka (4.13) zobrazuje dosažené výsledky pro t-test.

Tabulka 4.13 Statistická verifikace parametrů pomocí t-testu

	t_{vyp}	t_{krit}	H_0	Parametr je:
TRAN_3	7,232	2,00247	zamítáme	významný
SP500_SAS	-4,505	2,00247	zamítáme	významný
ELECTR_SAS_2	7,108	2,00247	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Dle dosažených výsledků, které jsou uvedené v tabulce (4.13), jsou všechny parametry vícefaktorového modelu statisticky významné.

F-test

V rámci testování statistické významnosti pro model jako celek byl použit F-test. Teoretické vymezení testu je obsaženo v kapitole 3.2.4. Při výpočtu bylo postupováno stejným způsobem jako pro jednofaktorové modely v kapitole 4.4.2. Tabulka (4.14) obsahuje dosažené výsledky.

Tabulka 4.14 Statistická verifikace modelu pomocí F-testu

F_{vyp}	F_{krit}	H_0	Model je:
62,950	2,76644	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě dosažených výsledků uvedených v tabulce (4.14), můžeme tvrdit, že daný vícefaktorový model jako celek je statisticky významný.

Ekonometrická verifikace

V případě ekonometrické verifikace byla testována normalita reziduální složky, autokorelace, heteroskedasticita a multikolinearita.

Normalita reziduální složky

Pro testování normálního rozdělení reziduí byl použit, stejně jako v rámci jednofaktorových modelů, Kolmogorovův – Smirnovův test. Teoreticky je tento test vymezen v kapitole 3.2.5. Při testování byl použit stejný postup jako u jednofaktorových modelů v kapitole 4.5.1. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce (4.15).

Tabulka 4.15 Testování normality reziduální složky pomocí KS testu

Z_{vyp}	Z_{krit}	H_o	Rezidua mají normální rozdělení:
0,4061	1,96	přijímáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky (4.15) můžeme vidět, že jsme na základě dosažených výsledků pomocí KS testu přijmuli nulovou hypotézu, která vypovídá o tom, že reziduální složka má normální rozdělení.

Autokorelace

V rámci testování výskytu autokorelace ve vícefaktorovém modelu byl stejně jako u jednofaktorových modelů použit Durbin-Watsonův test. Autokorelace je teoreticky popsána v kapitole 3.3.1. Při testování byl použit stejný postup jako v kapitole 4.5.2. u jednofaktorových modelů.

Tabulka 4.16 Testování autokorelace pomocí Durbin-Watsonova testu

Durbin-Watson	$(0; D_L)$	H_o	Autokorelace existuje:
1,092	(0; 1,48468)	zamítáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Dle dosažených výsledků Durbin-Watsonova testu, které jsou uvedeny v tabulce (4.16), došlo k zamítnutí nulové hypotézy. To značí výskyt pozitivní autokorelace v daném vícefaktorovém modelu.

Heteroskedasticita

Pro testování výskytu heteroskedasticity ve vícefaktorovém modelu byl použit Whiteův test. Teoretickým vymezením heteroskedasticity a jejím testováním se zabývá kapitola 3.3.2. Při výpočtu je postupováno stejně, jako v rámci testování u jednofaktorových modelů v kapitole 4.5.3. Dosažené výsledky Whiteova testu obsahuje následující tabulka (4.16).

Tabulka 4.17 Testování heteroskedasticity pomocí Whiteova testu

nR^2	$X^2_{1-\alpha,df}$	H_o	V modelu existuje:
50,813	16,919	zamítáme	heterosked.

Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledků Whiteova testu byla sestavena tabulka (4.17), která obsahuje dosažené výsledky. Na základě výpočtů byla zamítnuta nulová hypotéza a tím pádem byl v modelu prokázán výskyt heteroskedasticity.

Multikolinearita

Multikolinearita představuje existenci vysoké míry korelace mezi vysvětlujícími proměnnými modelu. Teoretické vymezení multikolinearity je uvedeno v kapitole 3.3.3. Pro testování výskytu multikolinearity byla nejprve provedena korelační matice vysvětlujících proměnných. Následně byly výsledky ověřeny pomocí F-testu.

Tabulka 4.18 Korelační matice vysvětlujících proměnných vícefaktorového modelu

	TRAN_3	SP500_SAS	ELECTR_SAS_2
TRAN_3	1	0,843**	0,505**
SP500_SAS	0,843**	1	0,821**
ELECTR_SAS_2	0,505**	0,821**	1

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky (4.18) lze pozorovat, že hodnota korelace mezi proměnnými SP500_SAS a TRAN_3 nabývá hodnoty 0,843**. Jelikož je hodnota vyšší než 0,8, můžeme předpokládat existenci multikolinearity. Toto tvrzení bylo také ověřeno pomocí F-testu.

Nejprve byly stanoveny hypotézy. Nulová hypotéza představuje nevýznamný vztah (závislost) mezi vysvětlujícími proměnnými, hypotéza alternativní pak významný vztah mezi vysvětlujícími proměnnými. Testová statistika F_{vyp} je vypočtena dle vztahu (3.40). Kritická hodnota F_{krit} pomocí funkce FINV programu MS Excel. Je rozhodnuto na základě rozhodovacího pravidla dle vztahu (3.41). Dosažené výsledky jsou uvedeny v tabulce (4.19).

Tabulka 4.19 Testování multikolinearity pomocí F-testu

F_{vyp}	F_{krit}	H_0	Multikolinearita:
46,664	2,7664	zamítáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků F-testu, které jsou uvedeny v tabulce (4.19) můžeme zamítnout nulovou hypotézu a potvrdit tak tvrzení, které jsme stanovili dle korelační matice, o existenci multikolinearity ve vícefaktorovém modelu.

4.7.2 Vícefaktorový model s transformovanými proměnnými

Druhým vícefaktorovým modelem je model, který opět představuje vztah mezi vysvětlovanou proměnnou a třemi vysvětlujícími proměnnými. Proměnné modelu byly transformovány pomocí logaritmu. Transformací vznikly proměnné \ln_BTC_SAS , \ln_TRAN_3 , \ln_SP500_SAS a $\ln_ELECTR_SAS_2$. Důvodem k tomuto kroku byla snaha o větší stacionaritu časových řad, která by mohla vést k větší vypovídající schopnosti vícefaktorového modelu. Vysvětlovanou proměnnou v modelu je sezónně očištěná cena bitcoinu transformovaná na logaritmy. Vysvětlujícími proměnnými jsou množství transakcí v čase $t+3$, sezónně očištěná hodnota indexu S&P 500 a sezónně očištěná průměrná cena elektřiny v čase $t+2$. Všechny vysvětlující proměnné jsou také transformovány na logaritmy. Matematický zápis tohoto vícefaktorového modelu tak vypadá následovně:

$$\ln_BTC_{SAS_t} = \beta_1 + \beta_2 \cdot \ln_TRAN_3_{t+3} + \beta_3 \cdot \ln_SP500_{SAS_t} + \beta_4 \cdot \ln_ELECTR_2_{SAS_{t+2}} + u_t \quad (4.38)$$

Korelační analýza

Pro korelační analýzu byla sestavena korelační matice. Tato matice zobrazuje vztah mezi jednotlivými proměnnými vícefaktorového modelu. Korelační matice pro transformovaný vícefaktorový model je zobrazena v tabulce (4.20).

Tabulka 4.20 Korelační matice transformovaného vícefaktorového modelu

	\ln_BTC_SAS	\ln_TRAN_3	\ln_SP500_SAS	$\ln_ELECTR_SAS_2$
\ln_BTC_SAS	1	0,722**	0,737**	0,745**
\ln_TRAN_3	0,722**	1	0,949**	0,685**

ln_SP500_SAS	0,737**	0,949**	1	0,839**
ln_ELECTR_SAS_2	0,745**	0,685**	0,839**	1

Zdroj: vlastní zpracování

Dle korelační matice v tabulce (4.20) lze vidět, že největší vliv na vysvětlovanou proměnnou má proměnná ln_ELECTR_SAS_2, tedy průměrná cena elektřiny v čase t+2 transformovaná na logaritmy. Korelace mezi ln_SP500_SAS a ln_TRAN_3 dosahuje hodnoty 0,949**, což značí velmi pravděpodobný výskyt multikolinearity v daném modelu.

Regresní analýza

Stejně jako u přechozího modelu byla provedena regresní analýza. Dosažené hodnoty regresí byly vloženy do matematického vztahu (4.38) vícefaktorového modelu.

$$\begin{aligned}
 \ln_{BTC}_{SAS_t} = & (-54,737) + (0,869) \cdot \ln_{TRAN_3}_{t+3} & (4.39) \\
 & + (-4,380) \cdot \ln_{SP500}_{SAS_t} \\
 & + (33,490) \cdot \ln_{ELECTR_2}_{SAS_{t+2}} + u_t.
 \end{aligned}$$

Dle výsledků regresní analýzy, můžeme říci, že pokud dojde k nárůstu logaritmu množství transakcí v čase t+3 o jednotku, bude to mít za následek zvýšení logaritmu bitcoinu v čase t o 0,869. Jestliže dojde ke změně logaritmu hodnoty akciového indexu o jednotku, pak dojde ke snížení logaritmu ceny bitcoinu o 4,380. Je také možné říci, že pokud dojde ke zvýšení logaritmu průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, zvýší se logaritmus ceny bitcoinu v čase t o 33,490. R Square modelu dosahuje 0,687, což znamená, že model funguje z 68,7 % správně.

Statistická verifikace

V rámci statistické verifikace byly použity statistické testy t-test a F-test k verifikaci parametrů modelu i modelu jako celku. Hladina významnosti byla stanovena na 5 %.

t-test

K testování statistické významnosti parametrů transformovaného vícefaktorového modelu byl použit t-test. Teoretické vymezení testu je obsaženo v kapitole 3.2.3. Při výpočtu bylo postupováno stejným způsobem jako

v předcházejícím vícefaktorovém modelu v kapitole 4.7.1, nebo u jednofaktorových modelů v kapitole 3.2.3. Následující tabulka (4.21) obsahuje dosažené výsledky pomocí testu.

Tabulka 4.21 Statistická verifikace parametrů pomocí t-testu

	t_{vyp}	t_{krit}	H_o	Parametr je:
In_TRAN_3	3,148	2,00247	zamítáme	významný
In_SP500_SAS	-1,877	2,00247	přijímáme	nevýznamný
In_ELECTR_SAS_2	4,414	2,00247	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledku t-testu v tabulce (4.21) můžeme pozorovat, že ve dvou ze tří případů byla potvrzena statistická významnost parametrů. U proměnné In_TRAN_3 jsme přijali nulovou hypotézu, a tedy můžeme říci, že daný parametr není statisticky významný. Ostatní parametry modelu jsou statisticky významné.

F-test

Pro testování statistické významnosti vícefaktorového modelu jako celku byl použit F-test. Tento test je teoreticky popsán v kapitole 3.2.4. Při testování bylo postupováno stejným způsobem jako v základním vícefaktorovém modelu v kapitole 4.7.1, nebo u jednofaktorových modelů v kapitole 4.4.2. Následující tabulka (4.22) shrnuje dosažené výsledky.

Tabulka 4.22 Statistická verifikace modelu pomocí F-testu

F_{vyp}	F_{krit}	H_o	Model je:
36,547	2,7664	zamítáme	významný

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků F-testu, které jsou obsaženy v tabulce (4.22), můžeme konstatovat, že daný vícefaktorový model transformovaný na logaritmy je statisticky významný.

Ekonometrická verifikace

V rámci ekonometrické verifikace byla stejně jako u předchozího vícefaktorového modelu testována normalita reziduální složky, autokorelace, heteroskedasticita a multikolinearita.

Normalita reziduální složky

Pro otestování normálního rozdělení reziduální složky modelu byl opět použit Kolmogorovův-Smirnovův test. Jeho teoretické vymezení lze nalézt v kapitole 3.2.5. Při testování bylo postupováno stejně jako u jednofaktorových modelů v kapitole 4.5.1. Následující tabulka (4.23) obsahuje shrnutí dosažených výsledků.

Tabulka 4.23 Testování normality reziduální složky pomocí KS testu

Z_{vyp}	Z_{krit}	H_0	Rezidua mají normální rozdělení:
0,788835	1,96	přijímáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Po provedení KS testu je z tabulky (4.23) patrné, že došlo k přijetí nulové hypotézy a tím pádem lze říci, že rozdělení reziduální složky odpovídá normálnímu rozdělení na stanovené hladině významnosti.

Autokorelace

Pro testování výskytu autokorelace byl opět použit Durbin-Watsonův test. Teoretické vymezení autokorelace je obsaženo v kapitole 3.3.1. Při výpočtu testu bylo postupováno stejně jako u prvního vícefaktorového modelu v kapitole 4.7.1. nebo jako u modelů jednofaktorových v kapitole 4.5.2. Dosažené výsledky shrnuje tabulka (4.24).

Tabulka 4.24 Testování autokorelace pomocí Durbin-Watsonova testu

Durbin-Watson	$(0; D_L)$	H_0	Autokorelace existuje:
0,782	(0; 1,48468)	zamítáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků Durbin-Watsonova testu, kdy bylo potřeba zamítnout nulovou hypotézu, lze konstatovat, že se v daném vícefaktorovém modelu vyskytuje pozitivní autokorelace.

Heteroskedasticita

K testování výskytu heteroskedasticity byl využit Whiteův test. Tento test byl popsán v kapitole 3.3.2. Postup testování byl shodný s testováním v rámci jednofaktorových modelů v kapitole 4.5.3. V následující tabulce (4.25) jsou zobrazeny dosažené výsledky.

Tabulka 4.25 Testování heteroskedasticity pomocí Whiteova testu

nR^2	$X^2_{1-\alpha,df}$	H_o	V modelu existuje:
10,553	16,91898	přijímáme	homosked.

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě výpočtů pomocí Whiteova testu byly dosaženy výsledky, které jsou uvedeny v tabulce (4.25). Došlo k přijetí nulové hypotézy. Můžeme říci, že se v daném modelu vyskytuje homoskedasticita.

Multikolinearita

Druhý vícefaktorový model byl také testován na výskyt multikolinearity. Multikolinearita je popsána v kapitole 3.3.3. Testování multikolinearity probíhá ve dvou krocích. Nejprve je sestavena korelační matice vysvětlujících proměnných a je zjištěn významný vztah vysvětlujících proměnných. Následně jsou výsledky ověřeny pomocí F-testu.

Tabulka 4.26 Korelační matice vysvětlujících proměnných vícefaktorového modelu

	In_TRAN_3	In_SP500_SAS	In_ELECTR_SAS_2
In_TRAN_3	1	0,949**	0,685**
In_SP500_SAS	0,949**	1	0,839**
In_ELECTR_SAS_2	0,685**	0,839**	1

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce můžeme vidět, že mezi proměnnými In_SP500_SAS a In_TRAN_3 se vyskytuje silná závislost. Hodnota korelace mezi těmito dvěma proměnnými dosahuje

0,949**. Také mezi \ln_SP500_SAS a $\ln_ELECTR_SAS_2$ pozorujeme silný vztah. Můžeme předpokládat existenci multikolinearity, jelikož obě hodnoty jsou vyšší než 0,8. První z nich byla ověřena také pomocí F-testu a výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce (4.27). Postup výpočtu byl shodný s postupem u prvního vícefaktorového modelu v kapitole 4.7.1.

Tabulka 4.27 Testování multikolinearity pomocí F-testu

F_{vyp}	F_{krit}	H_0	Multikolinearita:
172,1488	2,766438	zamítáme	ano

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě dosažených výsledků F-testu jsme zamítli nulovou hypotézu a potvrdili tak výskyt multikolinearity v daném vícefaktorovém modelu.

4.8 Shrnutí vícefaktorových modelů

V rámci vícefaktorových modelů byly sestaveny dva vícefaktorové modely, a to dle výsledků dosažených v jednofaktorových modelech. Prvním modelem byl model základní a druhý model transformovaný, tedy základní model transformovaný na logaritmy. Dosažené výsledky obou modelů jsou zobrazeny v tabulce (4.28).

V tabulce (4.28) můžeme pozorovat, že větší vliv vysvětlujících proměnných na hodnotu BTC_SAS byl dosažen u druhého modelu, a to transformací modelu na logaritmy. Hodnoty korelací s proměnnou BTC_SAS se zvýšili u vysvětlujících proměnných \ln_SP500_SAS a $\ln_ELECTR_SAS_2$. Hodnota korelace s BTC_SAS se u proměnné \ln_TRAN_3 naopak nepatrně snížila. Z hlediska koeficientu determinace dosahuje lepších hodnot první, tedy základní vícefaktorový model. Hodnota R Square nabývá hodnoty 0,778. To znamená, že můžeme říci, že daný model pracuje správně na 77,8 %. Hodnota R Square pro transformovaný model dosahuje hodnoty nižší a to 0,687. Z hlediska vypovídající schopnosti modelu, tento model pracuje správně na 68,7 %. Parametry u obou modelů byly statisticky významné, pouze u transformovaného modelu byl parametr vysvětlované proměnné \ln_SP500_SAS nevýznamný. Oba vícefaktorové modely jako celek byly vyhodnoceny jako statisticky významné. Rozdělení reziduální složky v obou případech, jak u základního, tak i transformovaného modelu, odpovídalo normálnímu rozdělení na hladině významnosti

5 %. V obou modelech byla zjištěna existence sériové závislosti reziduální složky, tedy autokorelace. V rámci dalšího testování byla zjištěna nežádoucí heteroskedasticita u základního vícefaktorového modelu. U transformovaného modelu byl potvrzen výskyt homoskedasticity. V obou modelech se vyskytuje multikolinearita neboli vysoká závislost vysvětlujících proměnných.

Tabulka 4.28 Shrnutí výsledků vícefaktorových modelů

Model	Proměnné modelu	Korelace s BTC_SAS	R Square	t-test	F-test	Normalita rez. slož.	Autokorelace	V modelu existuje:	Multikolinearita:
základní	TRAN_3	0,731**	0,778	význ.	význ.	ano	ano	heterosked.	ano
	SP500_SAS	0,688**		význ.					
	ELECTR_SAS_2	0,713**		význ.					
transform.	ln_TRAN_3	0,722**	0,687	význ.	význ.	ano	ano	homosked.	ano
	ln_SP500_SAS	0,737**		nevýzn.					
	ln_ELECTR_SAS_2	0,745**		význ.					

Zdroj: vlastní zpracování

4.9 Shrnutí dosažených výsledků

V aplikační části práce byly nejprve sestaveny jednofaktorové modely pro ověření vlivu vybraných faktorů na vysvětlovanou proměnnou cenu bitcoinu. Největší vliv proměnné na cenu bitcoinu dle korelační analýzy, byl prokázán u proměnné počet transakcí v čase t+3 (0,731**). Nejmenší vliv pak u proměnné akciového indexu SSE Composite (0,163). Všechny parametry i jednofaktorové modely kromě modelu s proměnnou SSE Composite, byly statisticky významné. U všech modelů bylo prokázáno normální rozdělení reziduální složky. Ve všech jednofaktorových modelech byl zjištěn výskyt autokorelace. Ve třech modelech byla zjištěna heteroskedasticita. Na základě regresní analýzy, byly potvrzeny stanovené hypotézy o kladném vztahu k ceně bitcoinu u všech proměnných kromě ceny zlata, kde byl prokázán vztah inverzní. Dle regresní analýzy bylo také dosaženo u statisticky významných parametrů jednofaktorových modelů výsledků, které lze interpretovat následovně. Dojde-li ke zvýšení množství vytěžených bitcoinů o jednotku, bude to mít za následek zvýšení

ceny bitcoinu o $9,896 \cdot 10^{-6}$ USD, pokud se zvýší množství počtu transakcí bitcoinu v čase t+3 o jednotku, zvýší se cena bitcoinu v čase t o $3,411 \cdot 10^{-6}$ USD, jestliže dojde ke zvýšení hodnoty akciového indexu S&P 500 o jednotku, zvýší se hodnota ceny bitcoinu o 0,759 USD, dojde-li k růstu efektivní sazby federálních fondů v čase t+3 o jednotku, poroste cena bitcoinu v čase t o 859,607 USD, pokud se zvýší cena zlata o jednotku, dojde ke snížení ceny bitcoinu o 0,853 USD a dojde-li k nárůstu průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, bude to mít za následek zvýšení ceny bitcoinu v čase t o 1151,182 USD.

Na základě výsledků jednofaktorových modelů byly sestaveny dva modely vícefaktorové. První model představoval vztah mezi cenou bitcoinu a třemi vysvětlujícími proměnnými (počet transakcí bitcoinu v čase t+3, hodnota akciového indexu S&P 500 a průměrná cena elektřiny v čase t+2). Druhým modelem byl první model transformovaný pomocí logaritmu, z důvodu snahy o zvýšení stacionarity časových řad proměnných, které byly použity v modelu. Díky transformaci se u dvou proměnných modelu zvýšila korelace s vysvětlovanou proměnnou cenou bitcoinu. U jedné naopak mírně klesla. Všechny parametry u obou vícefaktorových modelů kromě logaritmu akciového indexu S&P 500 byly statisticky významné. Oba vícefaktorové modely jako celek byly také statisticky významné. U obou modelů bylo prokázáno normální rozdělení reziduální složky, autokorelace a multikolinearita. V rámci prvního modelu byla prokázána také heteroskedasticita. Dle regresní analýzy bylo dosaženo u statisticky významných parametrů vícefaktorových modelů následujících výsledků. V rámci prvního modelu lze říci, že dojde-li ke zvýšení množství transakcí v čase t+3 o jednotku, bude to mít za následek zvýšení ceny bitcoinu v čase t o $5,053 \cdot 10^{-6}$ USD, jestliže se zvýší hodnota akciového indexu S&P 500 o jednotku, sníží se cena bitcoinu o 1,211 USD a dojde-li ke zvýšení průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, pak se zvýší cena bitcoinu v čase t o 1628,47 USD. V rámci druhého modelu pak platí, že pokud dojde k zvýšení logaritmu množství transakcí bitcoinu v čase t+3 o jednotku, dojde k zvýšení logaritmu ceny bitcoinu v čase t o 0,869 a dojde-li ke zvýšení logaritmu průměrné ceny elektřiny v čase t+2 o jednotku, bude to mít za následek zvýšení logaritmu ceny bitcoinu v čase t o 33,490.

V modelech se ale bohužel vyskytují nežádoucí jevy. Jedná se zejména o problém autokorelace, heteroskedasticity a multikolinearity. Tyto jevy snižují

vypovídající schopnosti modelů. Pro další testování, by bylo vhodné, pokusit se dané problémy u modelů odstranit. Autokorelaci například přidáním dalších proměnných do modelu, heteroskedasticitu pomocí vážené metody nejmenších čtverců a multikolinearitu například odstraněním některých proměnných, či jinou specifikací zkoumaných modelů. U všech modelů však byla prokázána určitá existence vztahu mezi zvoleným faktorem a cenou bitcoinu, což bylo primárním cílem této práce.

5 Závěr

Kryptoměny se v současnosti stávají stále větším fenoménem a stále více diskutovaným ekonomickým tématem poslední doby. A to nejen díky tomu, že se v druhé polovině roku 2017 z důvodu nárůstu cen nejznámějších kryptoměn, zejména vlivem mediální popularity a větší informovanosti veřejnosti, zapojili do investování do kryptoměn také drobní investoři z řad laické veřejnosti s vidinou rychlého zisku, kteří tím zapříčinili další enormní nárůst cen kryptoměn v řádu stovek až tisíců procent. Ale také z důvodů obav centrálních bank jednotlivých států a vyjádření jednotlivých známých ekonomických osobností k budoucnosti, postavení a rolí kryptoměn v novodobém ekonomickém vývoji. V neposlední řadě také díky restrikcím z řad jednotlivých vlád států a institucí zaměřených proti kryptoměnám, které s největší pravděpodobností zapříčinily výrazný pokles cen kryptoměn v prvním čtvrtletí roku 2018.

Tato diplomová práce byla zaměřena na popsání teoretických poznatků o nejznámější kryptoměně bitcoin, a také na prokázání existence vztahů bitcoinu s vybranými ekonomickými veličinami, které mohou ovlivňovat vývoj jeho ceny.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení vlivu vybraných faktorů na vývoj ceny bitcoinu ve sledovaném období.

Ke zhodnocení bylo vybráno sedm faktorů. Prvním z nich bylo množství již vytěžených bitcoinů, dále pak počet jedinečných transakcí bitcoinu za den, hodnota amerického akciového indexu Standard & Poor's 500, efektivní sazba federálních fondů, cena zlata, hodnota čínského akciového indexu SSE Composite a průměrná cena elektřiny na americkém trhu. Zhodnocení vlivu těchto faktorů bylo provedeno v rámci pětiletého období 7/2012 – 7/2017 na základě sedmi jednofaktorových modelů a následně také pomocí dvou modelů vícefaktorových.

Na základě dosažených výsledků v rámci jednofaktorových modelů bylo zjištěno, že všechny zkoumané faktory k ceně bitcoinu mají kladný vztah kromě ceny zlata, která je k ceně bitcoinu inverzní. Bylo zjištěno, že při růstu hodnot těchto faktorů, roste i cena bitcoinu. Dle korelační analýzy měl největší vliv na cenu bitcoinu počet transakcí (0,731**), který předbíhá cenu bitcoinu o 3 období. Druhý největší vliv měla průměrná cena elektřiny (0,713**) v čase $t+2$. Naopak nejmenší vliv na cenu bitcoinu

měl čínský akciový index SSE Composite (0,163). Dle výsledků jednofaktorových modelů byly následně sestaveny dva modely vícefaktorové. První model byl sestaven z faktorů počet transakcí v čase $t+3$, akciového indexu S&P 500 a průměrné ceny elektřiny v čase $t+2$. Druhý model byl sestaven transformací prvního vícefaktorového modelu pomocí logaritmu. Dle výsledků dosažených pomocí těchto vícefaktorových modelů lze u dvou faktorů, tedy počtu transakcí v čase $t+3$ a hodnoty akciového indexu S&P 500 pozorovat kladný vztah mezi cenou bitcoinu a daným faktorem, stejně jako u modelů jednofaktorových. V rámci akciového indexu S&P 500 byl pomocí obou vícefaktorových modelů zjištěn vztah inverzní, na rozdíl od modelu jednofaktorového, ve kterém byl zjištěn vztah kladný. Tato skutečnost je dána tím, že jednotlivé proměnné jsou ve vícefaktorovém modelu ovlivněny také ostatními proměnnými modelu navzájem a v konečném důsledku se tak mohou chovat odlišně v porovnání s modelem jednofaktorovým.

Na základě dosažených výsledků této diplomové práce je patrné, že byla prokázána existence určitých vztahů mezi vybranými ekonomickými veličinami a cenou bitcoinu. Zjištěné výsledky by mohly být nápomocny například při dalším zkoumání závislosti ceny bitcoinu na dalších faktorech. Mohou být také prospěšné pro investory, kteří hodlají do bitcoinu dlouhodobě investovat.

Ze závěru získaných poznatků při psaní této diplomové práce lze usoudit a je také velmi pravděpodobné, že bitcoin díky své revoluční technologii a decentralizaci sehraje v budoucnu ve finančním světě významnou roli.

Seznam použité literatury

Odborné publikace

CIPRA, Tomáš. *Finanční ekonometrie*. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.

HALABURDA, Hanna a M. SARVARY. *Beyond bitcoin: the economics of digital currencies*. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2016. ISBN 978-1-137-50641-2.

HANČLOVÁ, Jana. *Ekonometrické modelování: klasické přístupy s aplikacemi*. Praha: Professional Publishing, 2012. ISBN 978-80-7431-088-1.

JÍLEK, Josef. *Akciové trhy a investování*. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2963-3.

LEE, David, ed. *Handbook of digital currency: bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Amsterdam: Elsevier/ AP, 2015. ISBN 978-0-12-802117-0.

REVENDA, Zbyněk. *Peníze a zlato*. 2. aktual. vyd. Praha: Management Press, 2013. ISBN 978-80-7261-260-4.

STROUKAL, Dominik a Jan SKALICKÝ. *Bitcoin a jiné kryptopeníze budoucnosti: historie, ekonomie a technologie kryptoměn, stručná příručka pro úplné začátečníky*. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0742-1.

Elektronické dokumenty a internetové zdroje

INVESTOPEDIA. *Cryptocurrency*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp>

COINDESK. *What is Bitcoin?* [online]. [2018] [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.coindesk.com/information/what-is-bitcoin/>

BITCOINWIKI. *Controlled supply*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: https://en.bitcoin.it/wiki/Controlled_supply

BLOCK EXPLORER. *Block #0*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://blockexplorer.com/block/000000000019d6689c085ae165831e934ff763ae46a2a6c172b3f1b60a8ce26f>

BITCOINWIKI. *Private key*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: https://en.bitcoin.it/wiki/Private_key

INVESTOPEDIA. *Bitcoin Wallet*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin-wallet.asp>

INVESTOPEDIA. *Bitcoin Transactions Vs. Credit Card Transactions*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/articles/forex/042215/bitcoin-transactions-vs-credit-card-transactions.asp>

BITCOINWIKI. *Transaction*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://en.bitcoin.it/wiki/Transaction>

BITCOIN.ORG. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

BITCOIN.ORG. *Some Bitcoin words you might hear*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://bitcoin.org/en/vocabulary>

BITCOINWIKI. *Hash*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://en.bitcoin.it/wiki/Hash>

BITCOINMINING.COM. *Mining pools*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.bitcoinmining.com/bitcoin-mining-pools/>

INVESTOPEDIA. *Bitcoin's Price History*. [online]. [2015] [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/articles/forex/121815/bitcoins-price-history.asp>

INVESTOPEDIA. *What Determines the Price of 1 Bitcoin?* [online]. [2018] [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/tech/what-determines-value-1-bitcoin/>

KURZY.CZ. *Bitcoin – Jak probíhaly cenové bubliny na Bitcoinu*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/440516-bitcoin-jak-probihaly-cenove-bubliny-na-bitcoinu/>

COINMARKETCAP. *Bitcoin Charts*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/#charts>

BITCOIN.COM. *Bitcoin price*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://charts.bitcoin.com/chart/price>

BITCOMAT. *Nákup & prodej v BitcoMATu*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.bitcomat.cz/nakup-prodej-v-bitcomatu/>

LOCALBITCOIN.COM. *How to buy Bitcoins*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://localbitcoins.com/guides/how-to-buy-bitcoins>

BITCOIN MARKET JOURNAL. *Top Bitcoin Mining Stocks*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.bitcoinmarketjournal.com/bitcoin-mining-stocks/>

INVESTOPEDIA. *Paper Wallet*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/p/paper-wallet.asp>

WIKIMEDIACOMMONS. *Bitcoin paper wallet*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bitcoin_paper_wallet_generated_at_bitaddress.jpg

WIKIPEDIE. *Litecoin symbol*. [online]. [2016] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Litecoin#/media/File:LTC-400.png>

WIKIPEDIA. *Ripple symbol*. [online]. [2014] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_\(payment_protocol\)#/media/File:Ripple_logo.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_(payment_protocol)#/media/File:Ripple_logo.svg)

WIKIPEDIA. *Bitcoin Cash symbol*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin_Cash#/media/File:Bitcoin_Cash.png

WIKIPEDIA. *Ethereum symbol*. [online]. [2014] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethereum#/media/File:Ethereum_logo_2014.svg

COINMARKETCAP. *Ethereum*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/currencies/ethereum/>

WIKIPEDIE. *Ethereum*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: [Ethereum - https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethereum](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethereum)

ETHEREUM. *Ether*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.ethereum.org/ether>

INVESTOPEDIA. *Ripple (Cryptocurrency)*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/r/ripple-cryptocurrency.asp>

WIKIPEDIE. *Ripple*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ripple>

COINDESK. *UK Central Bank Tests Ripple's Interledger Protocol for Cross-Border Payments*. [online]. [2017] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.coindesk.com/uk-central-bank-tests-ripples-interledger-protocol-cross-border-payments/>

RIPPLE. *Xrp*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://ripple.com/xrp/>

INVESTOPEDIA. *Litecoin*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/l/litecoin.asp>

COINMARKETCAP. *Bitcoin cash*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin-cash/>

WIKIPEDIA. *Bitcoin Cash*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin_Cash

INVESTOPEDIA. *Bitcoin Cash*. [online]. [2018] [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin-cash.asp>

STANFORD.EDU. *Critical Values for the Durbin-Watson Test*. [online]. [2018] [cit. 2018-4-14]. Dostupné z: <https://web.stanford.edu/~clint/bench/dwcrit.htm>

Seznam zkratek

BTC	jednotka bitcoinu, cena bitcoinu (vysvětlovaná proměnná)
mBTC	milibitcoin
μ BTC	mikrobitcoin
BTC_SAS	sezónně očištěná cena bitcoinu
BCH	Bitcoin Cash
DW	Durbin-Watson
EFF	efektivní sazba federálních fondů
EFF_3	efektivní sazba federálních fondů v čase t+3
ELECTR	průměrná cena elektřiny na americkém trhu
ELECTR_SAS	sezónně očištěná průměrná cena elektřiny
ELECTR_SAS_2	sezónně očištěná průměrná cena elektřiny v čase t+2
GOLD	cena zlata
GOLD_SAS	sezónně očištěná cena zlata
KS test	Kolmogorov-Smirnovův test
kWh	kilowatthodina
In_BTC_SAS	logaritmus sezónně očištěné ceny bitcoinu
In_ELECTR_SAS_2	logaritmus sezónně očištěné průměrné ceny elektřiny v čase t+2
In_SP500_SAS	logaritmus sezónně očištěné hodnoty akciového indexu S&P 500
In_TRAN_3	logaritmus množství transakcí bitcoinu za den v čase t+3
LTC	Litecoin
MS	Microsoft

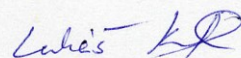
P2P	peer-to-peer
QBTC	množství již vytěžených bitcoinů
S&P	Standard and Poor's
SP500	hodnota akciového indexu S&P 500
SP500_SAS	sezónně očištěná hodnota akciového indexu S&P 500
SSE	hodnota akciového indexu SSE Composite
SSE_SAS	sezónně očištěná hodnota akciového indexu SSE Composite
TRAN	množství transakcí bitcoinu za den
TRAN_3	množství transakcí bitcoinu za den v čase t+3
USA	Spojené státy americké
USD	americký dolar
XRP	Ripple

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 24. 4. 2018

.....


jméno a příjmení studenta

Seznam příloh

Příloha 1 Vstupní data

Příloha 2 Analýza odlehlých a extrémních hodnot - boxplot grafy

Příloha 3 Dekompozice časových řad

Příloha 4 Grafy křížové korelace

Příloha 5 Regresní analýzy jednofaktorových modelů

Příloha 6 Regresní analýzy vícefaktorových modelů

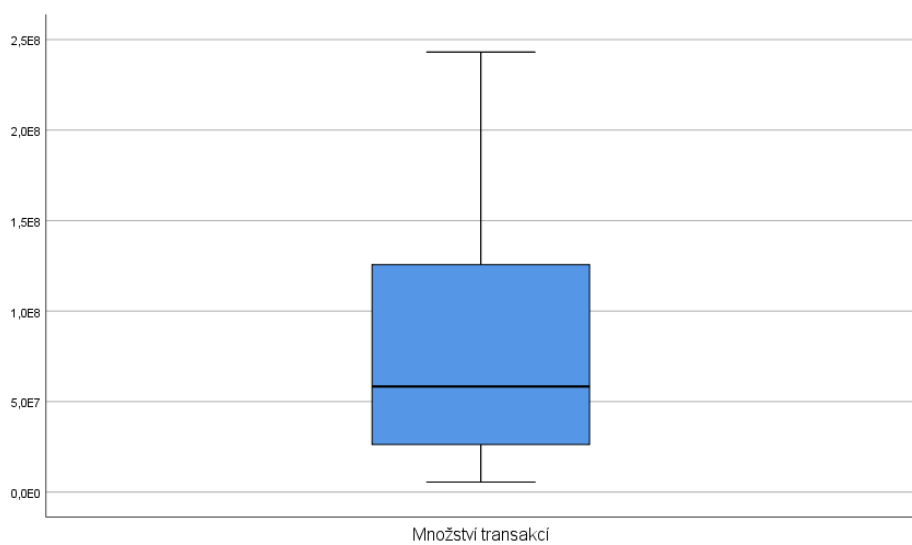
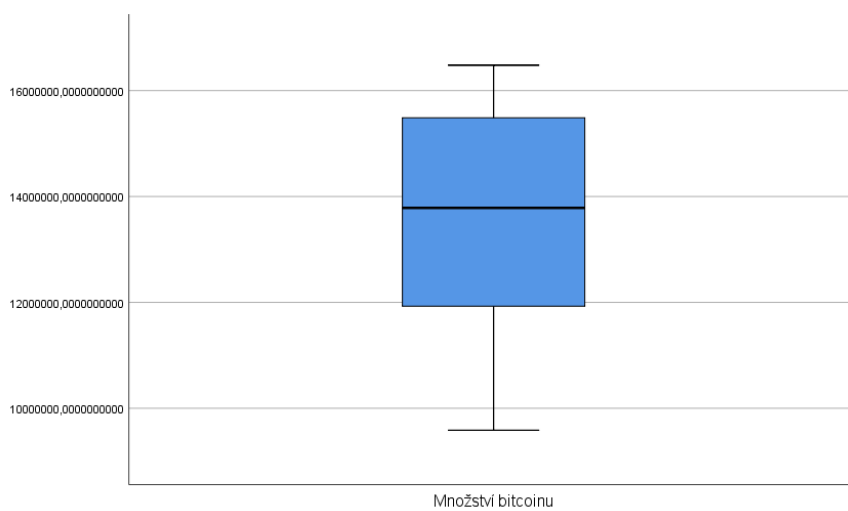
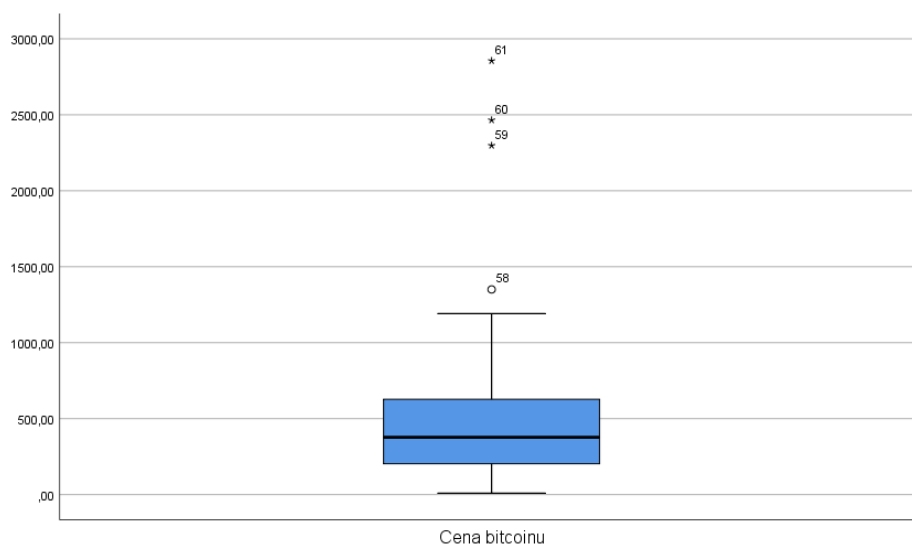
Příloha 1 Vstupní data

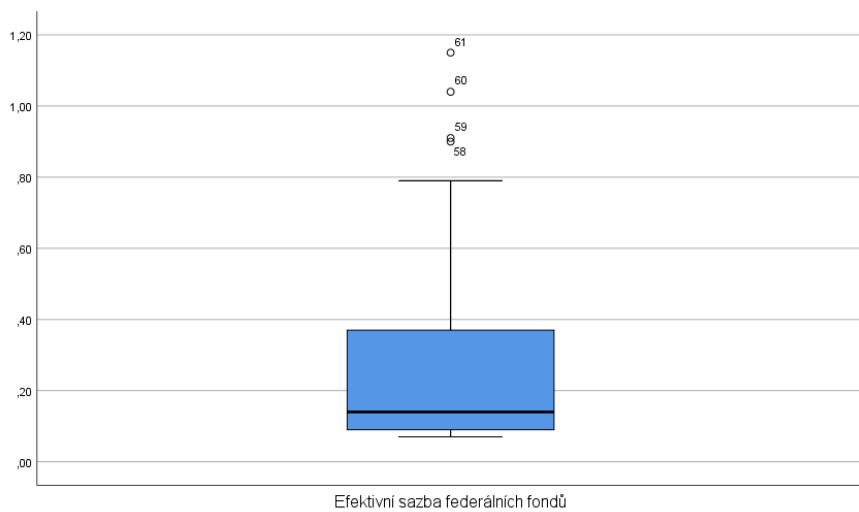
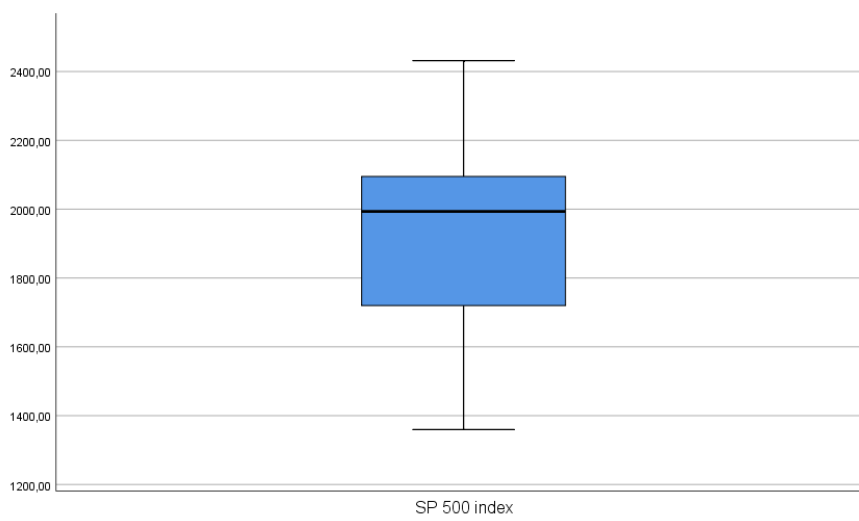
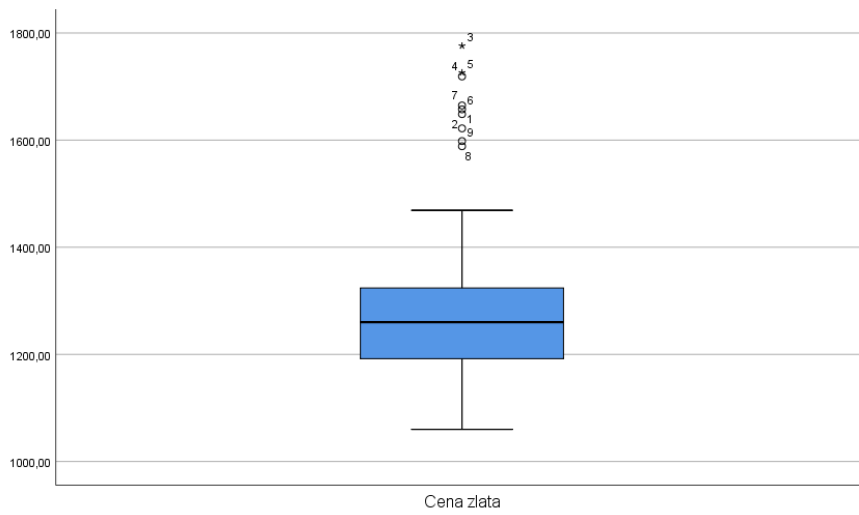
Datum	Cena bitcoinu	Množství vytěžených bitcoinů	Množství (počet) transakcí za den	Cena zlata	Akciový index S&P 500	Efektivní sazba fed. fondů	Akciový Index SSE Composite	Průměrná cena elektřiny v USA
2012M7	9,28	9585150	5492365	1622	1359,78	0,16	2103,63	10,3
2012M8	10,16	9828950	6591326	1648,5	1403,45	0,13	2047,52	10,32
2012M9	12,22	10063450	7541357	1776	1443,42	0,14	2086,17	10,26
2012M10	11	10294200	8475035	1719	1437,82	0,16	2068,88	9,74
2012M11	12,43	10507875	9417610	1726	1394,51	0,16	1980,12	9,58
2012M12	13,24	10613175	10566336	1657,5	1422,29	0,16	2269,13	9,64
2013M1	20,46	10723975	11983899	1664,75	1480,4	0,14	2385,42	9,64
2013M2	33,53	10840550	13577558	1588,5	1512,31	0,15	2365,59	9,77
2013M3	96,15	10973850	15281701	1598,25	1550,83	0,14	2236,62	9,71
2013M4	139,88	11098475	16990053	1469	1570,7	0,15	2177,91	9,66
2013M5	127,91	11222850	18737252	1394,5	1639,84	0,11	2300,6	9,92
2013M6	89,53	11353150	20147470	1192	1618,77	0,09	1979,21	10,45
2013M7	98,28	11486875	21351155	1314,5	1668,68	0,09	1993,8	10,69
2013M8	128	11632600	23065858	1394,75	1670,09	0,08	2098,38	10,58
2013M9	126,25	11773650	24659345	1326,5	1687,17	0,08	2174,67	10,43
2013M10	203,54	11928575	26304498	1324	1720,03	0,09	2141,61	10,02
2013M11	1119,52	12058375	28263539	1253	1783,54	0,08	2220,5	9,79
2013M12	732	12198800	30205064	1204,5	1807,78	0,09	2115,98	9,86
2014M1	803	12335525	32017500	1251	1822,36	0,07	2033,08	10,12

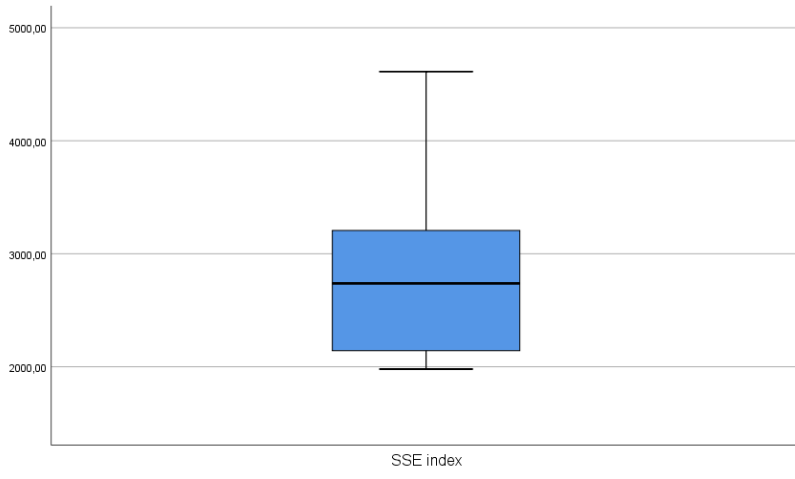
2014M2	551,89	12458275	33862525	1326,5	1817,04	0,07	2056,3	10,33
2014M3	454,83	12585825	35964243	1291,75	1863,52	0,08	2033,31	10,28
2014M4	448,85	12711950	37855975	1288,5	1864,26	0,09	2026,36	10
2014M5	627,8	12837800	39853424	1250,5	1889,77	0,09	2039,21	10,21
2014M6	641,11	12965900	41664395	1315	1947,09	0,1	2048,33	10,75
2014M7	582,04	13084225	43596167	1285,25	1973,1	0,09	2201,56	11,03
2014M8	479,04	13212150	45714136	1285,75	1961,53	0,09	2217,2	10,91
2014M9	391,09	13331000	47852335	1216,5	1993,23	0,09	2363,87	10,83
2014M10	337,99	13447425	50239089	1164,25	1937,27	0,09	2420,18	10,34
2014M11	377,01	13558075	52751488	1182,75	2044,57	0,09	2682,84	10,13
2014M12	321	13670575	55462897	1206	2054,27	0,12	3234,68	10,12
2015M1	216,9	13783700	58347276	1260,25	2028,18	0,11	3210,36	10,18
2015M2	253,47	13889250	61005933	1214	2082,2	0,11	3310,3	10,36
2015M3	244,24	14003125	64043847	1187	2079,99	0,11	3747,9	10,29
2015M4	236,2	14109600	67248261	1180,25	2094,86	0,12	4441,66	10,01
2015M5	228,91	14220975	70458261	1191,4	2111,94	0,12	4611,74	10,21
2015M6	262,5	14330550	73954618	1171	2099,29	0,13	4277,22	10,64
2015M7	284,33	14445000	78266522	1098,4	2094,14	0,13	3663,73	10,95
2015M8	229,86	14556000	81720234	1135	2039,87	0,14	3205,99	10,85
2015M9	236,2	14671800	85991386	1114	1944,41	0,14	3052,78	10,79
2015M10	310,18	14781850	90101965	1142,35	2024,81	0,12	3382,56	10,31
2015M11	376,71	14897925	94839286	1061,9	2080,62	0,12	3445,41	10,05

2015M12	430,89	15025000	100960169	1060	2054,08	0,24	3539,18	9,98
2016M1	368,49	15145475	106880820	1111,8	1918,6	0,34	2737,6	9,97
2016M2	435,23	15260900	113109095	1234,9	1904,42	0,38	2687,98	10
2016M3	414,66	15375450	119260478	1237	2021,95	0,36	3003,92	10
2016M4	448,37	15487275	125676445	1285,65	2075,54	0,37	2938,32	9,83
2016M5	531,84	15603250	132459240	1212,1	2065,55	0,37	2916,62	10,06
2016M6	667,95	15714300	139350091	1320,75	2083,89	0,38	2929,61	10,52
2016M7	623,83	15786662,5	145911077	1342	2148,9	0,39	2979,34	10,7
2016M8	570,75	15845025	152887270	1309,25	2170,95	0,4	3085,49	10,81
2016M9	608,23	15901762,5	159536472	1322,5	2157,69	0,4	3004,7	10,68
2016M10	697,01	15958500	166932216	1272	2143,02	0,4	3100,49	10,15
2016M11	742,06	16014975	174997523	1178,1	2164,99	0,41	3250,03	10,1
2016M12	966,3	16073550	183614465	1145,9	2246,63	0,54	3103,64	10,09
2017M1	963,99	16134987,5	192197977	1212,8	2275,12	0,65	3159,17	10,16
2017M2	1191,21	16188075	200475159	1255,6	2329,91	0,66	3241,73	10,31
2017M3	1070,31	16246200	209416455	1244,85	2366,82	0,79	3222,51	10,33
2017M4	1350,21	16301475	217751102	1266,45	2358,84	0,9	3154,66	10,1
2017M5	2298,01	16361962,5	227772152	1266,2	2388,33	0,91	3117,18	10,37
2017M6	2465,49	16417975	235897811	1242,25	2430,06	1,04	3192,43	10,87
2017M7	2855,81	16479162,5	243117918	1267,55	2431,39	1,15	3273,03	11,02

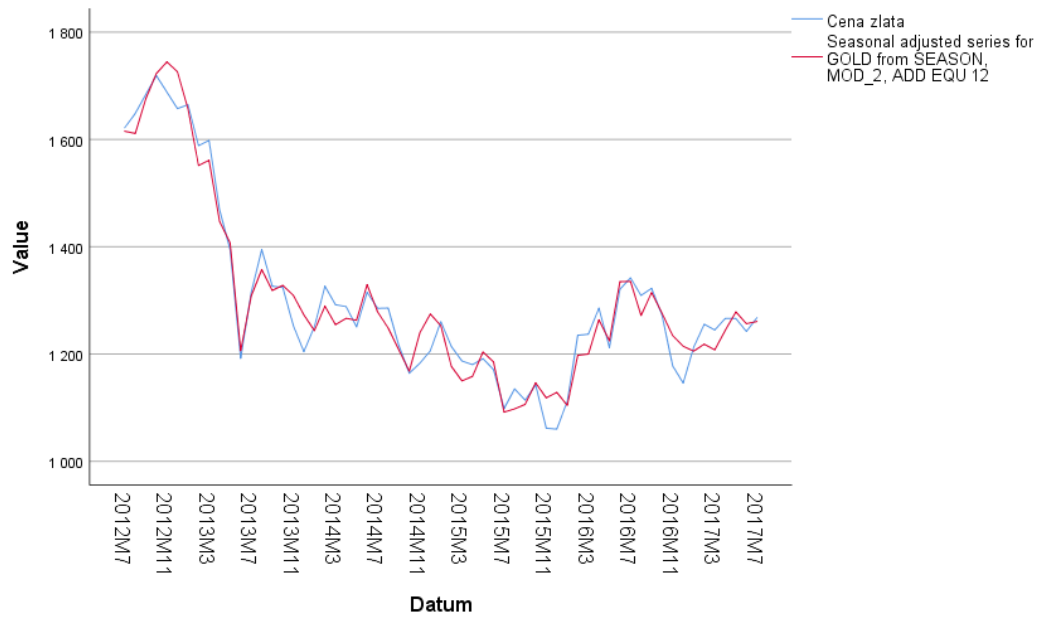
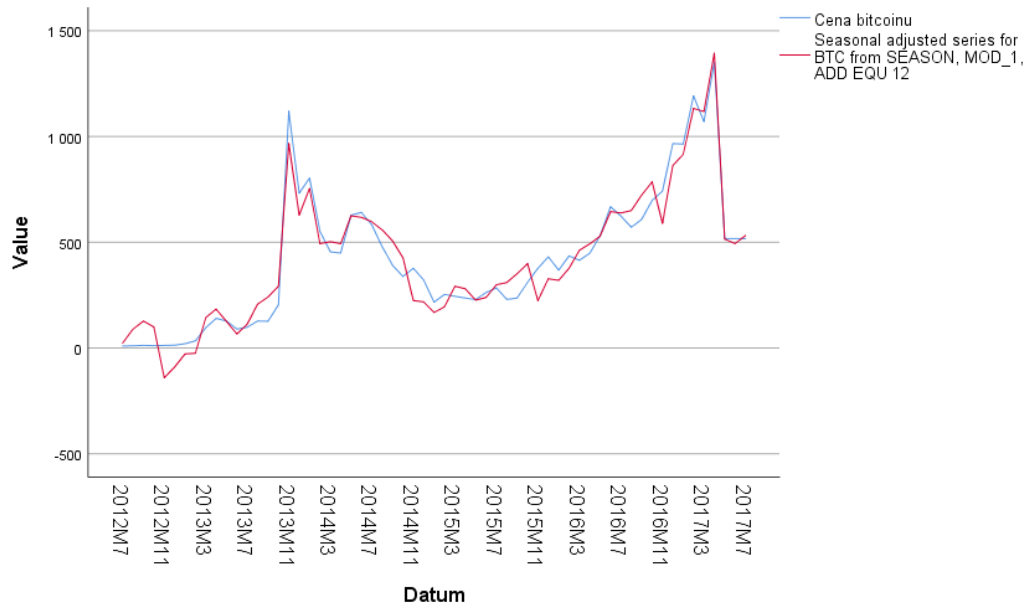
Příloha 2 Analýza odlehlých a extrémních hodnot - boxplot grafy

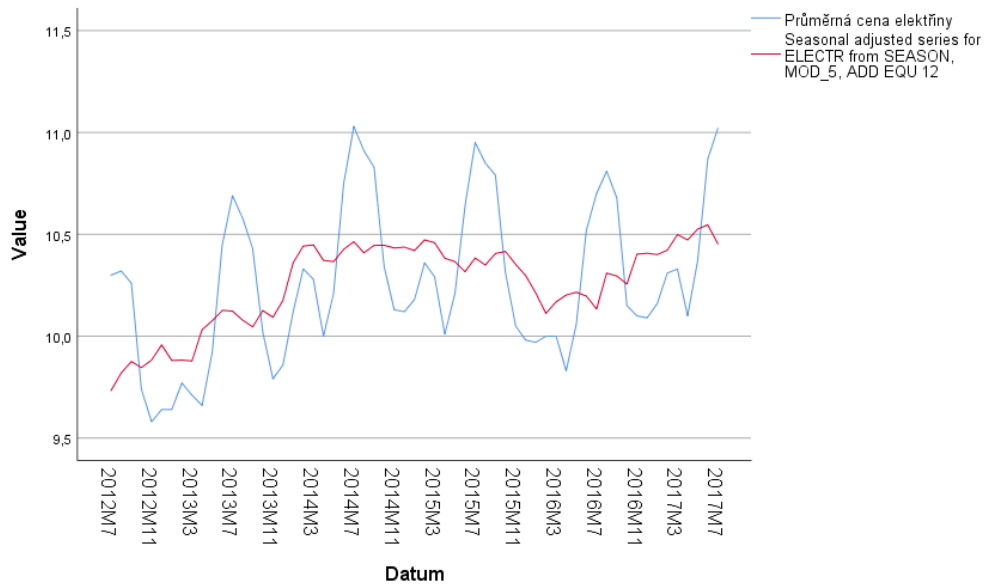
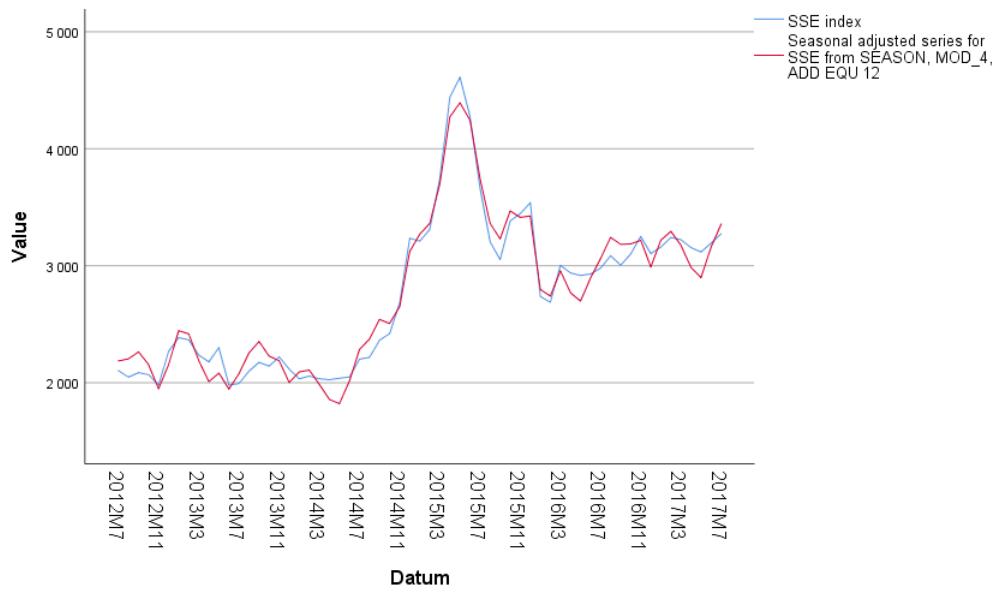
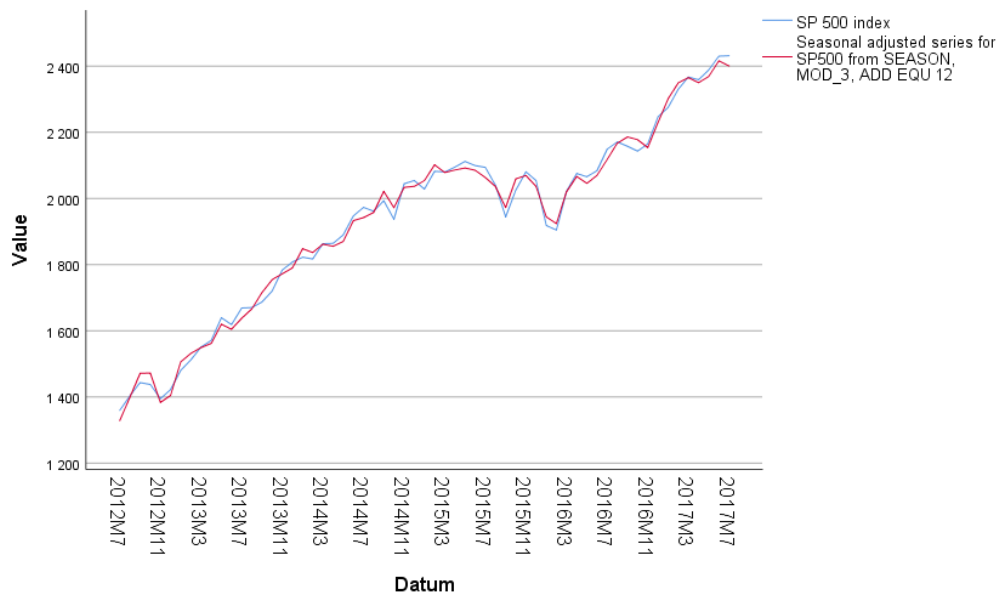




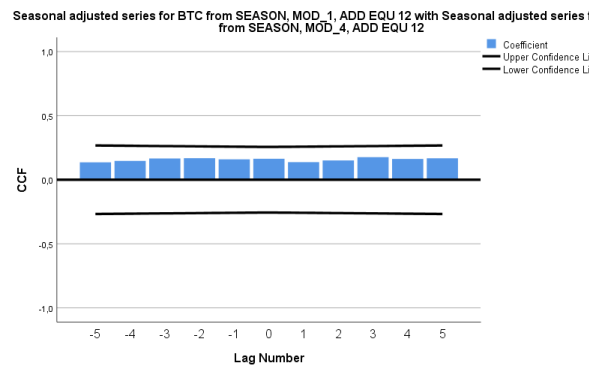
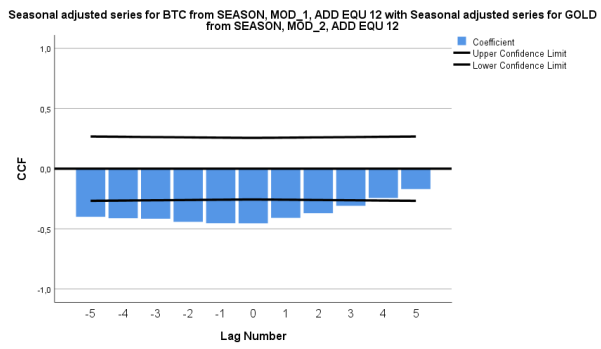
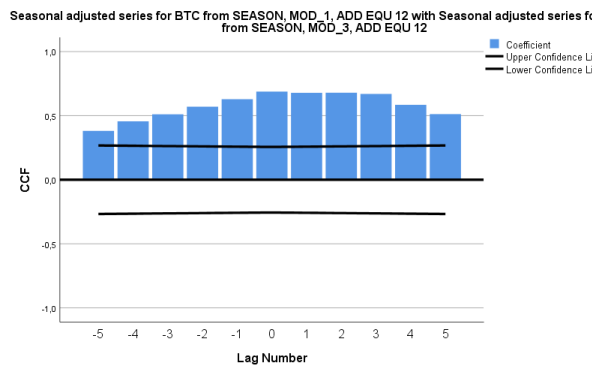
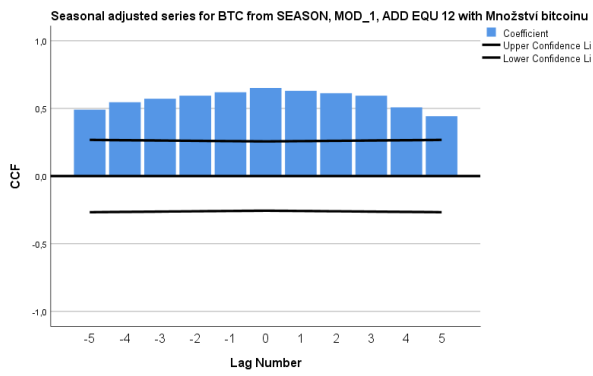


Příloha 3 Dekompozice časových řad





Příloha 4 Grafy křížové korelace



Příloha 5 Regresní analýzy jednofaktorových modelů

BTC_SAS, QBTC

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,651 ^a	,423	,414	238,03440667

a. Predictors: (Constant), Množství bitcoinu

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2454359,305	1	2454359,305	43,317	,000 ^b
	Residual	3342962,347	59	56660,379		
	Total	5797321,652	60			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), Množství bitcoinu

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-927,046	206,693		-4,485	,000
	Množství bitcoinu	9,896E-5	,000	,651	6,582	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, TRAN_3

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,731 ^a	,535	,527	218,89560660

a. Predictors: (Constant), TRAN_3

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3084973,069	1	3084973,069	64,384	,000 ^b
	Residual	2683256,049	56	47915,287		
	Total	5768229,118	57			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), TRAN_3

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients Beta		
1	(Constant)	121,242	46,402		2,613	,012
	TRAN_3	3,411E-6	,000	,731	8,024	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, SP500_SAS

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,688 ^a	,473	,465	227,46182851

a. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2744727,530	1	2744727,530	53,050	,000 ^b
	Residual	3052594,122	59	51738,883		
	Total	5797321,652	60			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients Beta		
1	(Constant)	-1046,603	203,244		-5,149	,000
	Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12	,759	,104	,688	7,284	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, EFF_3

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,711 ^a	,506	,497	225,56569393

a. Predictors: (Constant), EFF_3

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2918955,710	1	2918955,710	57,370	,000 ^b
	Residual	2849273,408	56	50879,882		
	Total	5768229,118	57			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), EFF_3

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients		
1	(Constant)	187,232	42,072		4,450	,000
	EFF_3	859,607	113,490	,711	7,574	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, GOLD_SAS

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,454 ^a	,206	,193	279,24147157

a. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for GOLD from SEASON, MOD_2, ADD EQU 12

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1196749,485	1	1196749,485	15,348	,000 ^b
	Residual	4600572,167	59	77975,799		
	Total	5797321,652	60			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for GOLD from SEASON, MOD_2, ADD EQU 12

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients		
1	(Constant)	1527,361	285,307		5,353	,000
	Seasonal adjusted series for GOLD from SEASON, MOD_2, ADD EQU 12	-,853	,218	-,454	-3,918	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, SSE_SAS

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,163 ^a	,027	,010	309,24761663

a. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for SSE from SEASON, MOD_4, ADD EQU 12

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	154910,437	1	154910,437	1,620	,208 ^b
	Residual	5642411,215	59	95634,088		
	Total	5797321,652	60			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), Seasonal adjusted series for SSE from SEASON, MOD_4, ADD EQU 12

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	200,481	175,779		1,141	,259
	Seasonal adjusted series for SSE from SEASON, MOD_4, ADD EQU 12	,079	,062	,163	1,273	,208

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

BTC_SAS, ELECTR_SAS_2

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,713 ^a	,508	,500	223,23455160

a. Predictors: (Constant), ELECTR_SAS_3

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2937743,584	1	2937743,584	58,951	,000 ^b
	Residual	2840518,907	57	49833,665		
	Total	5778262,491	58			

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), ELECTR_SAS_3

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients Beta		
1	(Constant)	-11408,373	1540,220		-7,407	,000
	ELECTR_SAS_3	1151,182	149,933	,713	7,678	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

Příloha 6 Regresní analýzy vícefaktorových modelů

Základní vícefaktorový model

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,882 ^a	,778	,765	154,11733133	1,092

a. Predictors: (Constant), ELECTR_SAS_2, TRAN_3, Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12

b. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F
1	Regression	4485612,920	3	1495204,307	62,950
	Residual	1282616,198	54	23752,152	
	Total	5768229,118	57		

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

b. Predictors: (Constant), ELECTR_SAS_2, TRAN_3, Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-14432,565	1967,168		-7,337	,000
	TRAN_3	5,053E-6	,000	1,083	7,232	,000
	Seasonal adjusted series for SP500 from SEASON, MOD_3, ADD EQU 12	-1,211	,269	-1,018	-4,505	,000
	ELECTR_SAS_2	1628,470	229,095	1,002	7,108	,000

a. Dependent Variable: Seasonal adjusted series for BTC from SEASON, MOD_1, ADD EQU 12

Transformovaný vícefaktorový model

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,829 ^a	,687	,668	,45736

a. Predictors: (Constant), ln_ELECTR_SAS_2, ln_TRAN_3, ln_SP500_SAS

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	22,935	3	7,645	36,547	,000 ^b
	Residual	10,459	50	,209		
	Total	33,394	53			

a. Dependent Variable: ln_BTC_SAS

b. Predictors: (Constant), ln_ELECTR_SAS_2, ln_TRAN_3, ln_SP500_SAS

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-54,737	9,946		-5,504	,000
	ln_TRAN_3	,869	,276	,972	3,148	,003
	ln_SP500_SAS	-4,380	2,334	-,740	-1,877	,066
	ln_ELECTR_SAS_2	33,490	7,587	,727	4,414	,000

a. Dependent Variable: ln_BTC_SAS