



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

SAKDOLOOZAT

Fenntarthatóság a kriptovaluta bányászatban

OE-AMK

Hallgató neve: Somogyi Dorottya

2024

Hallgató törzskönyvi száma: T001050/FI12904/A-M



ÓBUDAI EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Somogyi Dorottya

Szakdolgozat száma: SZD2301230935596329

Törzskönyvi száma: T001050/FI12904/A-M

Neptun kódja:

Szak: mérnökinformatikus

Specializáció: Felhő szolgáltatási technológiák és IT biztonság specializáció

A dolgozat címe: Fenntarthatóság a kriptovaluta bányászatban

A dolgozat címe angolul: Sustainability in Cryptocurrency Mining

A feladat részletezése: A hallgató feladata a fenntarthatóság és a környezeti hatások csökkentésének vizsgálata a kriptovaluta bányászatban. A hallgató mutassa be a kriptobányászat elméleti alapjait, a különböző bányászati algoritmusok működését, a kriptobányászat eszközeit, valamint foglalja össze a környezetre gyakorolt negatív hatásait. Tegyen javaslatot a környezetkárosítás csökkentésére, amelynek alkalmazhatóságát esettanulmánnyal illusztrálja, valamint értékelje a kapott eredményeket.

Intézményi konzulens neve: Piglerné Dr. Lakner Rozália

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 07.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem: 2023. 12. 15.

2024. 05. 15.

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Székesfehérvár, 2024. 05. 08.

Szenci Dorottya
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	A kriptovaluta bányászat elméleti alapjai és működése	3
2.1	A kriptovaluta fogalma és jelentősége	3
2.2	A blokklánc-technológia alapjai	5
2.3	A bányászat fő technikai mutatói.....	7
2.3.1	Hashrate: Számítási teljesítmény	8
2.3.2	Network hashrate: Hálózati számítási teljesítmény	9
2.3.3	Difficulty: Nehézségi szint	10
2.3.4	Block Reward: Blokkjutalom	12
2.3.5	Block Time: Blokk képzési idő	13
3.	A tranzakciók érvényesítésére szolgáló algoritmusok.....	15
3.1	A Proof of Work (PoW) algoritmus	15
3.2	A Proof of Stake (PoS) algoritmus	16
4.	A megoldandó probléma megfogalmazása.....	18
4.1	Energiafogyasztás és a környezetre gyakorolt negatív hatások elemzése	18
4.2	Fosszilis energiahordozókra való támaszkodás	18
4.3	Megújuló energiaforrások előnyei a nem megújuló energiaforrásokkal szemben 19	
5.	Az Adatelemzés és az esettanulmányok készítésének eszközei	22
5.1	Python alapú adatelemzés és esettanulmányok	22
5.1.1	Anaconda	22
5.1.2	Előre telepített, használatra kész csomagok az Anacondában.....	23
5.1.3	Jupyter Notebook, interaktív adatelemzés	24

5.2	Adatgyűjtés	25
5.3	Az adatok feldolgozásának folyamata	25
6.	A Proof of Work és Proof of Stake bányászati algoritmusok összehasonlítása adatvizualizáció segítségével.....	29
6.1	Kriptovaluták villamos-energia fogyasztásának elemzése	29
6.2	Kriptovaluták szén-dioxid kibocsátásának elemzése.....	33
6.3	Prediktív idősor alapú elemzés a jövőbeli környezetre vonatkozó adatok becslésére	37
7.	Fenntarthatósági megoldások és javaslatok	44
7.1	A környezetre kevésbé káros bányászati technológia alkalmazása	44
7.2	Megújuló energiaforrások szerepe a kriptovaluta bányászatban	45
8.	Globális bányászati térkép létrehozása	48
8.1	Kriptovaluta bányászhelyszínek elhelyezkedése a világban	48
8.2	Globális Bitcoin villamos-energia fogyasztási térkép	48
8.3	Globális Bitcoin széndioxid-kibocsátási térkép.....	49
9.	Összefoglalás	53
10.	Summary.....	54
11.	Irodalomjegyzék	55
12.	Ábrajegyzék.....	59

1. BEVEZETÉS

A kriptovaluta-bányászat környezeti hatásainak értékelése és csökkentése egyre fontosabb kérdéssé válik, amiben a világgazdaságban való térnyerésük jelentős szerepet játszik. A kriptopénzek hatalmas potenciált hordoznak magukban, és a technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre több magánszemély és vállalkozás vonzódik a blokklánc alapú digitális pénzek bányászatához. Ugyanakkor a kriptobányászat számos környezeti és technikai kihívással is szembesül, amelyek felismerése és megoldása elengedhetetlen ahhoz, hogy fenntarthatóbb és hatékonyabb legyen ez a folyamat. A bányászati műveletek hatalmas számítási teljesítmény- és energiaigénye, amely főként a fosszilis tüzelőanyagok elégetésére támaszkodik, negatív hatással van a környezetre. Szakdolgozatom célja a fenntarthatóság vizsgálata a kriptovaluta bányászatban, a különböző algoritmusok összehasonlításának elemzése környezettudatosági szempontból, valamint javaslatétel a környezetre gyakorolt negatív hatások csökkentésére. Célom továbbá bizonyítani, hogy a megfelelő bányászó mechanizmus alkalmazásával a kriptovaluta-bányászat káros környezeti hatásai nagy mértékben mérsékelhetők.

A 2. fejezetben részletes bemutatásra kerül a kriptovaluta fogalma és jelentősége, beleértve a kriptopénzek alapvető működését, a bányászat menetét, a tranzakciók érvényesítésének folyamatát és a blokklánc-technológia alapjait. Részletesen elemzem a bányászat fő technikai mutatóit, mint például a hashrate-t, a nehézségi szintet vagy a blokkjutalmat.

A 3. fejezet a tranzakciók érvényesítésére szolgáló algoritmusok működését ismerteti, vagyis a Proof of Work (PoW) és a Proof of Stake (PoS) mechanizmusokat. Az ezt követő 4. fejezet az energiafogyasztás és a környezetre gyakorolt negatív hatások elemzését tartalmazza, a fosszilis energiahordozók negatívumaira és a megújuló energiaforrások előnyeire fókuszálva.

Az 5. fejezetben áttekintem az adatelemzés és az esettanulmányok elkészítéséhez használt eszközöket és módszereket, ideértve az adatgyűjtést és az adatok feldolgozásának lépéseit. A következő, 6. fejezetben részletesen összehasonlítom a fentebb említett két

mechanizmus villamos-energiafogyasztását és szén-dioxid kibocsátását, valamint egy prediktív idősor alapú elemzést végzek a jövőbeli környezeti adatok becslésére.

Majd a 7. fejezetben konkrét fenntarthatósági javaslatokat teszek a környezetkárosítás csökkentésére, amelyeket esettanulmányokkal illusztrálok és értékelek. Ide tartozik a környezetre kevésbé káros bányászati technológia alkalmazása, a megújuló energiaforrásoknak a szerepe, és az arra támaszkodó országok kíméletessége.

Végül az utolsó, 8. fejezetben létrehozok egy globális bányászati térképet, amely a bányászhelyszínek elhelyezkedését, valamint a Bitcoin-hálózat villamos-energiafogyasztásának és szén-dioxid-kibocsátásának eloszlását illusztrálja. Összefüggéseket ismertetek az előző fejezetben említett megújuló és fosszilis energiahordozók használatának aránya és az energiafogyasztás, illetve a CO₂ kibocsátás között.

2. A KRIPTOVALUTA BÁNYÁSZAT ELMÉLETI ALAPJAI ÉS MŰKÖDÉSE

A kriptovaluták és a -bányászat egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert, a legtöbb ember azonban nincs tisztában az alapvető fogalmakkal, működéssel. A következő fejezetsorozatban a kriptopénzek alapvető működési mechanizmusa kerül bemutatásra, beleértve a kriptovaluták fogalmát, a bányászat menetét, a tranzakciók érvényesítésének folyamatát, a digitális valuták tárolását, ezenfelül részletes kifejtésre kerül a blokklánc technológia is.

A bányászat néven ismert folyamat során a bányászok felelősek a kriptopénz-hálózatban zajló tranzakciók kezeléséért és azok hitelességének megerősítéséért. A bányászat folyamán bonyolult matematikai rejtvényeket oldanak meg számítógépjeik segítségével, amiért cserében digitális valutában részesülnek. A tranzakciók érvényesítése során új blokkokat generálnak a blokkláncon, új coinokat nyernek ki a blokkokból. Az új pénzegységek létrehozásának ellenőrzésére egy kifinomult titkosítási módot, az úgynevezett kriptográfiát alkalmazzák. [1] [2]

2.1 A kriptovaluta fogalma és jelentősége

A kriptovaluta a pénz egy kézzel nem fogható, virtuális formája, egy digitális vagyontárgy. Neve a görög „crypto” szóból ered, melynek jelentése „titkos” vagy „rejtett”. A pénzhez hasonlóan a kriptovaluták is lehetővé teszik mind az egyének, mind a vállalkozások számára, hogy kereskedjenek, üzletet kössenek egymással. Ahogyan a hagyományos valutáknak is több fajtája létezik, mint például az euró, dollár vagy a forint, úgy a kriptovalutáknak is léteznek különböző típusai a piacon. A CoinMarketCap.com piackutató weboldal szerint napjainkban több, mint 21 ezer különböző kriptovalutával kereskednek nyilvánosan, ami azt mutatja, hogy ez a piac egyre inkább terjed és befolyásosabbá válik. Népszerűségét igazolja továbbá az is, hogy egyre több vállalat alkalmazza fizetési formaként, Kína bevezette a digitális jüant, az Indiai Központi Bank pedig megkezdte a CBDC (Central Bank Digital Currency) kibocsátását, ami egy törvényes digitális fizetőeszköz. [1] [3]

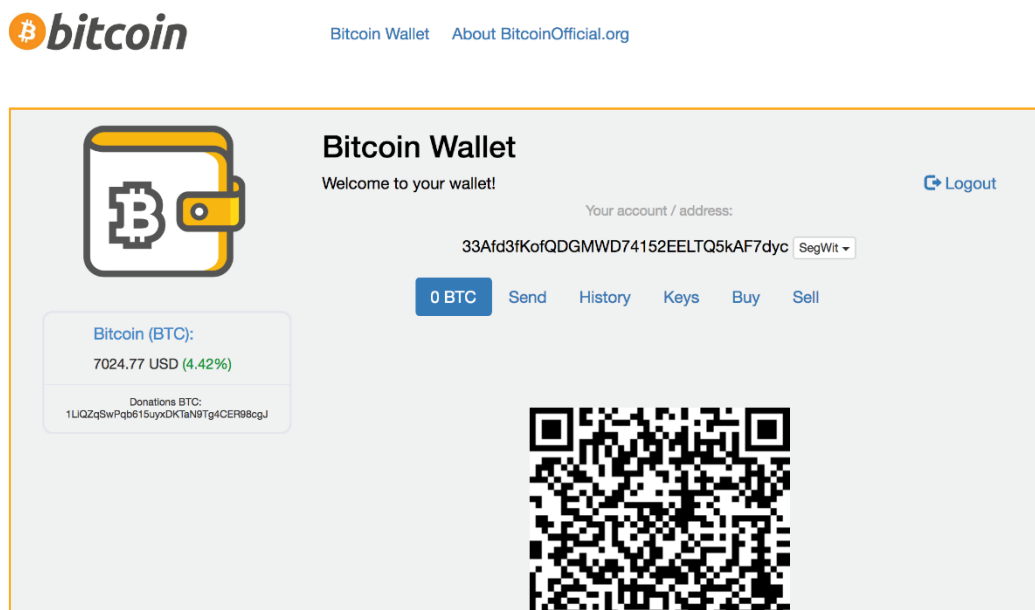
A Bitcoin volt az első kriptopénz, amelyet létrehoztak, és még ma is a legismertebb digitális valuta a területen. Satoshi Nakamoto alkotta meg 2008-ban, azonban azt, hogy ki is Satoshi senki sem tudja, ahogy azt sem, hogy egyetlen személyről van szó, vagy pedig emberek egy csoportjáról.

A kriptopénzek azonban több szempontból is jelentősen eltérnek a hagyományos valutáktól. Először is, a kriptovaluták kizárólag digitális formában léteznek, minden tranzakciót digitálisan rögzítenek egy blokkláncon. A későbbiekben részletesen kitérek arra, hogy mi az a blokklánc technológia és hogyan működik. A kriptokat továbbá decentralizált jellegük jellemzi, ami azt jelenti, hogy nem egyetlen entitás, vállalat vagy kormány bocsátja ki, illetve szabályozza, hanem rengeteg számítógép kezeli szerte a világon. A hagyományos pénznemekkel ellentétben, amelyek a globális monetáris rendszer felügyeletét és a tranzakciók érvényesítését központi hatóságokra, például bankokra vagy kormányokra hivatkoznak, a kriptovaluták a blokklánc-technológia felhasználásával az ilyen központi szervezetek ellenőrzéseitől, irányításaitól függetlenül működnek.

Továbbá a kriptovalutákkal a hét minden napján, a nap 24 órájában lehet kereskedni, mivel az internet időbeli korlátozások nélkül működhet. Ez lehetővé teszi, hogy a digitális valuták gyorsabb és rugalmasabb tranzakciókat kínáljanak a hagyományos valutákhoz képest.

A kriptopénzek tárolásához, küldéséhez vagy fogadásához a felhasználók általában kripto-pénztárcát telepítenek eszközeikre, de használhatnak webalapú felhő tárcát is. A tárca generál egy kulcspárt: egy nyilvános címet (nyilvános kulcs) a kriptopénzek fogadásához és egy privát címet (privát kulcs) a digitális valuták utalásához, ahogy ezt a 2.1. ábra mutatja. Mivel a nyilvános cím azonosítja a tárcát, így az bárkivel megosztható.

[1]



2.1. ábra Bitcoin pénztárca és kulcs [https://nowpayments.io/blog/bitcoin-address-explained]

2.2 A blokklánc-technológia alapjai

Feltéve, hogy sem bankok, sem kormányok nem vesznek részt az ellenőrzési folyamatban, a kriptó biztonsága megkérdőjeleződhet. Mivel azonban a blokklánc lényegében egy decentralizált, elosztott főkönyvtár, ami egy banki mérleghez hasonló főkönyvként szolgál, ezért minden információt tartalmaz a valutával valaha végrehajtott összes tranzakcióról. Minden tranzakció nyilvánosan rögzítésre kerül, megakadályozva ezáltal a kriptovaluták lemásolását, hamisítványok készítését. Ennek eredményeképpen, vagyis a blokklánc-technológia átlátható és biztonságos jellege miatt a kriptopénzek megbízhatónak tekinthetők. [4]

A blokklánc lényegében egy számítógépes hálózat csomópontjai, úgynevezett „node”-ok között megosztott speciális adatbázis, amely abban különbözik a hagyományos adatbázisoktól, hogy az információk nem egy centralizált hálózaton, vagyis egy központi szerveren vannak tárolva, hanem a hálózat több résztvevőjénél, elosztott módon. Jelentős különbség továbbá a tradicionális adatbázis és a blockchain között az adatok elérhetőségének, szervezésének és tárolásának módja. [5]

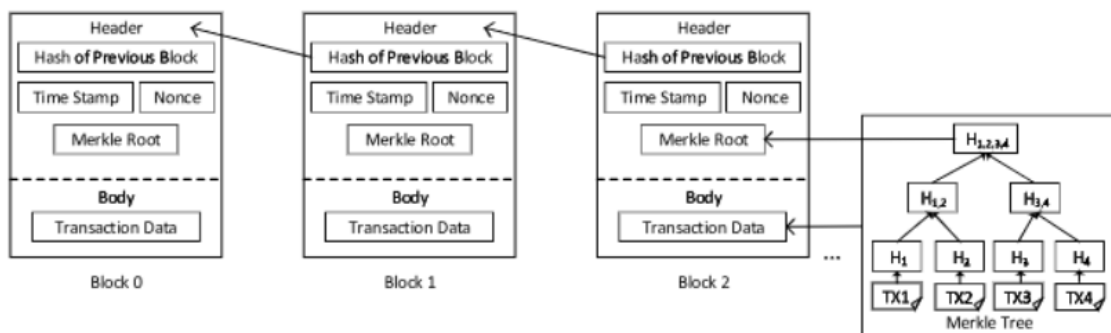
A blokklánc -technológia egyik alapvető eleme a konszenzusmechanizmus, amely előírja, hogy a számítógépek megállapodjanak a blokklánc frissítésének módjáról. Ez elengedhetetlen annak garantálásához, hogy a blokkláncban részt vevő összes számítógép konzisztens és szinkronizált adattartalmat tartson fenn. A Bitcoin esetében a tranzakciókat 10 percenként blokkokba csoportosítják, ami azt jelenti, hogy az ezekre vonatkozó információk összevonásra kerülnek. Ezután a számítógépek megvizsgálják az új blokkban lévő tranzakciókat, hogy megerősítsék a vevő rendelkezik az adott mennyiségű a kriptovalutával. Ezt követően az új blokk tranzakciókra vonatkozó adatsorát kiegészítik a megelőző blokk úgynevezett fejrészével. Ez a fejrész gyakorlatilag úgy működik, mint egy személyi igazolvány szám. Minden blokk rendelkezik egy egyedi fejrészszel, ami által azonosítani lehet. Ez a tárolási szerkezet az egyik legfontosabb különbsége a tipikus adatbázis és a blokklánc között, maga az adatstruktúra. [6]

A blokklánc a tranzakciós adatokat egy blokkhoz csatolva, szekvenciális módon rögzíti. Miután a blokkot feltöltötték adatokkal és megtelt, egy algoritmus segítségével titkosítják, hogy egy egyedi hexadecimális számot, úgynevezett hash-t hozzanak létre. Ezt a hash számot ezután hozzáadják a következő blokk fejlécéhez, és a fennmaradó adatokkal együtt titkosítják, így létrehozva az egymáshoz kapcsolódó blokkok láncolatát. Minden új információ, amely a frissen hozzáadott blokkot követi, egy újonnan létrehozott blokkba kerül összeállításra. Az így kitöltött blokklánchoz ezáltal hozzákapcsolódik. [5]
[6]

A blokkfejléc az adott blokk minden fontos információját tartalmazza, ahogy azt a 2.2. ábra is mutatja. A headerben megtalálható az előző blokk hash értéke, amely összeköti az aktuális blokkot a korábbival, így létrehozva a blokkláncot. Tartalmazza az időbélyeget, amely a blokk létrehozásának időpontja, valamint a „nonce” értéket, ami egy olyan érték, amelyet a bányászok változtatnak meg, hogy megtalálják a blockhash-et, amely az aktuális nehézségi szintnek megfelelően kezdődik. Ahogy korábban már említettem, egy blokk létrehozásához a bányászoknak egy bizonyos matematikai problémát kell megoldaniuk a nonce nevű változó segítségével. Ez a változó lehetővé teszi a bányászok számára, hogy különböző kombinációkkal kísérletezzenek, amíg meg nem találják a

helyes megoldást a blokk blokkláncba való felvételéhez. Ez a folyamat a nonce értékének állandó módosítását és különféle kombinációk kipróbálását jelenti, amíg a matematikai probléma meg nem oldódik. [6]

A Block Headerben található még a Merkle gyökér hash, amely biztosítja, hogy a blokkban található tranzakciók érvényesek és nem módosultak. Ez a blokkban található összes tranzakció, azaz Merkle fa struktúrájának a gyökér hash értéke. [6]



2.2. ábra Blokklánc technológia

[https://www.researchgate.net/publication/337306138_Blockchain_for_Dynamic_Spectrum_Management]

A blockchain technológia különböző módszereket kínál a decentralizált biztonság és bizalom megteremtésére. Először is, az új blokkokat mindig a blokklánc végéhez csatolják. Amint egy új blokkot hozzáadnak a lánchoz, úgy a korábbi blokkok megváltoztathatatlaná, módosíthatatlanná válnak. A blokkban lévő adatok bármilyen módosítása ugyanis a hash érték változását eredményezné. Mivel minden egyes blokk az előző blokk hash értékét tartalmazza, a blokk bármilyen módosítása hatással lesz az összes további blokk hash értékére. Következésképpen a hálózat elutasítana minden módosított blokkot a hash értékek eltérése miatt. [5]

2.3 A bányászat fő technikai mutatói

A bányászati folyamat során számos olyan mutató és jellemző létezik, amelyek számszerűsíthetőek annak érdekében, hogy segítsék a bányászokat és a kriptopénz-hálózat résztvevőit a bányászati tevékenységek és a hálózat teljesítményének átláthatóságában, értékelésében. Ez az alfejezet a rendszer elsődleges mutatóinak elemzését nyújtja, beleértve a hash rátát, a nehézséget, a blokkidőt, a blokkjutalmat,

valamint a hálózati hash rátát. Ezek a mérőszámok kulcsfontosságúak a kriptopénz-bányászat és a blokklánc-technológia megértésében és betekintést nyújtanak a bányászat folyamatába.

2.3.1 Hashrate: Számítási teljesítmény

A hash ráta nem más, mint egy Proof of Work alapú kriptopénz hálózat vagy egyén másodpercenkénti számítási teljesítményének mérőszáma. A hálózaton lévő számítógépek minden egyes találgatását mérik, és a hashrate megmutatja, hogy egy bányász, pool vagy az egész hálózat hány próbálkozást tett másodpercenként. [7] [8]

A hashrate mértékegysége a „hash per second” (H/s), de általában Terahash-ben mérik (1 Terahash = 1.000.000.000.000 hash). Például egy 20 TH/s hashrátával rendelkező gép 20 billió hash műveletet képes végrehajtani másodpercenként.

A hash ráta működését illetően először a blokklánc hálózat alkalmaz egy hash algoritmust, amely véletlenszerűen generál egy hash kódot. A blokklánc-hálózaton belül az összes bányászatra szánt számítógép versenyben áll egymással a helyes hash-érték megfejtéséért. A hash-ráta értékét a másodpercenkénti találgatások száma határozza meg. Minden egyén rendelkezik egy saját hash-rátával, a bányászpoolnak nevezett csoportnak pedig egy kollektív hash-rátája van. Amennyiben egy bányász vagy egy pool sikeresen kitalál egy, a cél hash számértékénél kisebb vagy azzal egyenlő értéket, a hash megoldásra kerül. A nyertes bányász – vagy amennyiben csoportról-ról van szó, bányászok – kriptopénzeket, úgynevezett blokkjutalmakat kap/kapnak. Minél több számítógép csatlakozik egy blokklánc-hálózathoz, és minél több hash-t, azaz találgatást dolgoz fel a hálózaton, annál magasabb lesz a hash-ráta. [7]

A bányásgépek hashrátája közvetlenül befolyásolja a bányászati teljesítményt és azt a sebességet, amellyel a bányásgép képes tranzakciókat hitelesíteni és blokkokat generálni a kriptopénz-hálózaton belül. A magasabb hashrate növeli annak a valószínűségét, hogy a bányászok sikeresen fedeznek fel új blokkokat. Azonban a növekvő hash ráta nehezebb bányászatot eredményez – mivel a legtöbb blokklánc-hálózati algoritmus a hash ráta

emelkedésével növeli a bányászat nehézségét is – és több elektromos energiát is fogyaszt. [7]

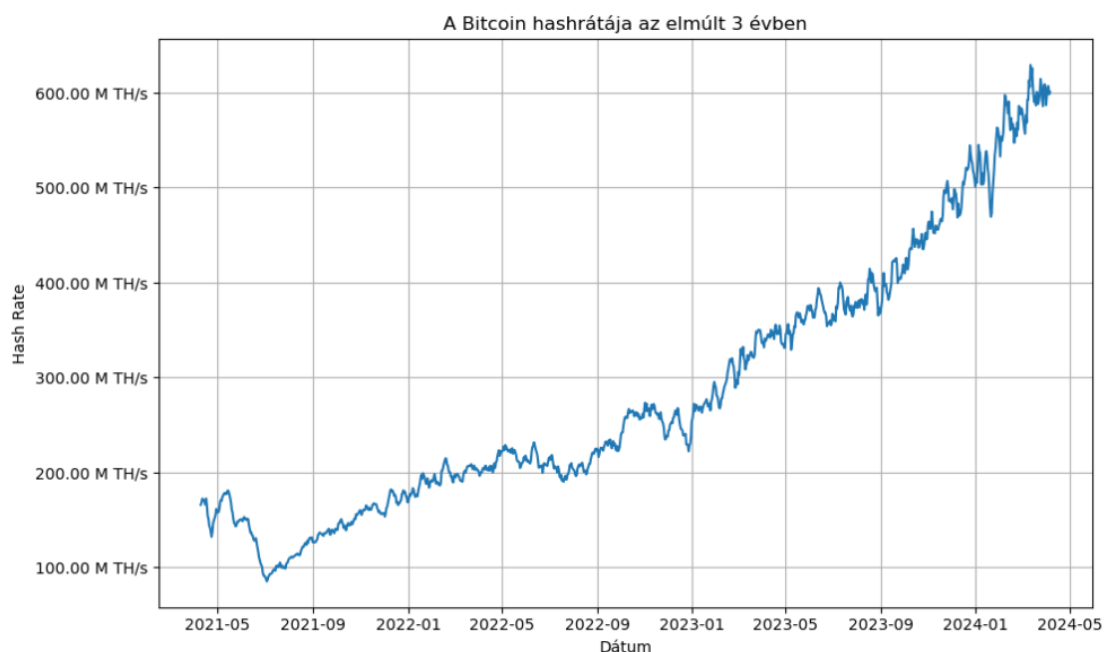
Amikor egy blokklánc hálózat hash rátája csökken, akkor könnyebbé válik a bányászat, hiszen csökken a bányászati nehézség, kevesebb bányász versenyez a blokkok hozzáadásáért. Ilyenkor a hálózat biztonsága romlik, így az 51%-os támadásra való fogékonyság növekszik. Ez a fajta támadás abban az esetben következhet be, hogyha a hálózat bányászati teljesítményének több, mint 50%-ával rendelkező bányászok koalíciója manipulálni próbálja a blokkláncot. [7]

Amikor a kriptopénzek hashrátája és a bányászat nehézsége ingadozik, a cél a kiegyensúlyozott állapot elérése. Abban az esetben, hogyha a hálózathoz több bányász csatlakozik, a hashrate emelkedik, és például a Bitcoin esetében megcélzott 10 perces blokkmegtalálási sebesség nem tartható, a blokkok a 10 perces átlagos célértéknél gyorsabb ütemben találhatók meg. Ennek következtében a 10 perces célérték fenntartása érdekében a nehézségi szint automatikusan emelkedik, hogy lelassítsa a blokkok megtalálási sebességét. Ez megköveteli a bányászoktól, hogy több hash-t generáljanak vagy magasabb hashrátával rendelkezzenek annak érdekében, hogy sikeresen megtalálhassák a következő blokkot. Ezzel szemben, hogyha a hashrata csökken, és a 10 perces átlagnál tovább tart a blokkok megtalálása, akkor a difficulty csökken. Ezzel egyszerűbbé téve a bányászok számára az újabb blokk megtalálását, mivel ehhez alacsonyabb hashrátára van szükség. [8]

2.3.2 Network hashrate: Hálózati számítási teljesítmény

Ahogy azt korábban már említettem, a hashrate egy olyan mérőszám, amely számszerűsíti, hogy egy adott bányászati eszköz vagy bányáspool hány számítási műveletet képes végrehajtani egyetlen másodperc alatt. Ez az információ kulcsfontosságú egy adott bányászati eszköz hatékonyságának és képességének értékeléséhez. A network hashrate, azaz a hálózati hashrata nem egy adott bányászati eszköz, hanem egy kriptovaluta-hálózaton belüli összes bányászati erőforrás kollektív számítási teljesítményét jelenti.

Ez a mérőszám a másodpercenkénti számítási műveletek összességét jelzi, amelyet az összes bányászati eszköz – beleértve az egyes bányásgépeket és a bányáspoolokat – együttesen képes végrehajtani az adott kriptopénz-hálózaton.



2.3. ábra Hash Rate példa [Saját ábra]

Az elmúlt 3 évben a Bitcoin legmagasabb hashrátája 629 440 820.9 TeraHash/s volt 2024 március 12-én, ahogy azt a 2.3. ábra mutatja.

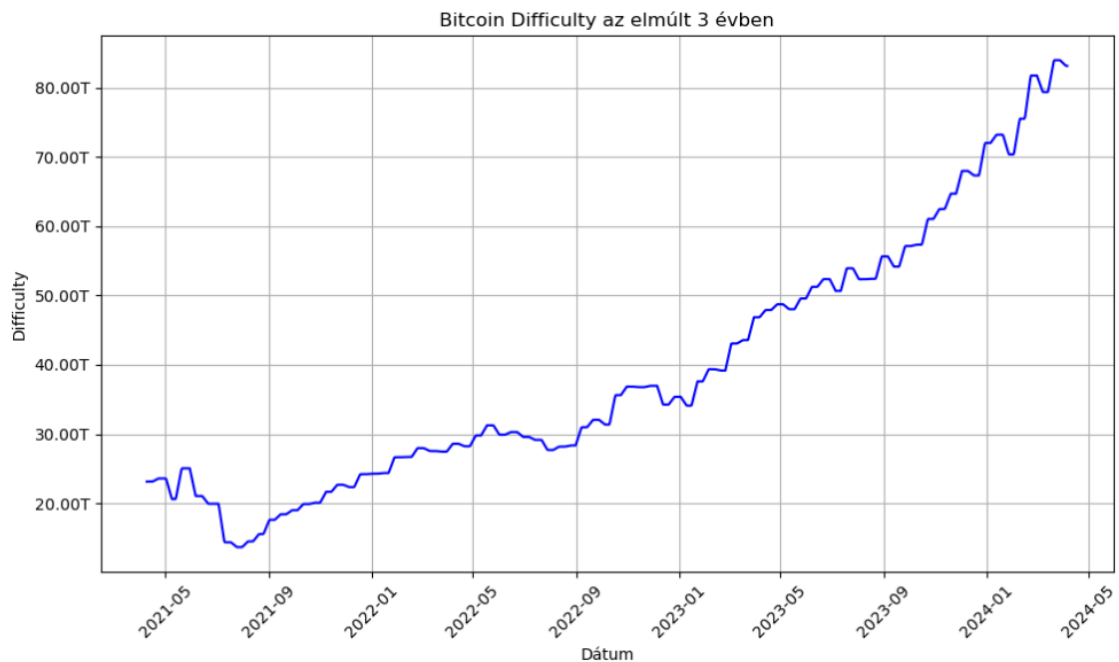
2.3.3 Difficulty: Nehézségi szint

A „difficulty” mérőszám a hashrátához hasonlóan szintén az egyik alapvető mutatója a bányászatnak. A kriptovaluta „nehézsége” a blokkláncon belül egy adott kriptopénz blokkjának bányászata során felmerülő bonyolultsági szintre utal. A magas nehézségi szint azt jelzi, hogy a blokkláncon rögzített tranzakciók érvényesítéséhez nagyobb számítási teljesítményre van szükség. Ezt a paramétert a kriptók arra használják, hogy a hálózati-hash teljesítmény ingadozása ellenére stabil átlagos időt tartsanak fenn a blokkok között. A nehézségi szint kritikus szerepet játszik a blokklánc-hálózat védelmében az esetleges rosszindulatú támadásokkal szemben, – mint például az fentebb említett 51%-

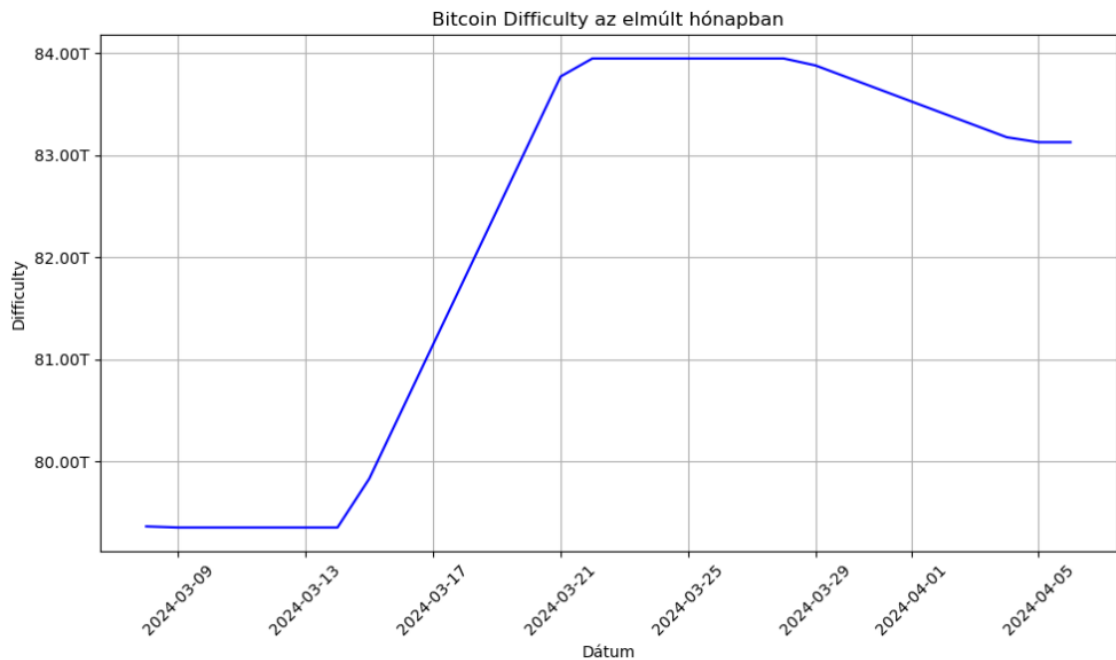
os támadás – hiszen ahhoz, hogy a támadók átvegyék az irányítást a tranzakciók ellenőrzése felett, hatalmas erőforrásokra lenne szükségük. [9]

A blokk sikeres bányászatához szükséges számítási teljesítmény mértékét a kriptovaluta nehézségi foka határozza meg. Az új blokk rábukkanásához szükséges időtartamot a kripto nehézsége és a véletlenszerűség egyaránt befolyásolják. [9]

A hashráta és a difficulty szorosan összefügg egymással. Amennyiben a hashrate nő, a bányászat egyre nagyobb kihívást jelent, ami a legtöbb blokkláncot arra készteti, hogy a bányászat nehézségét ennek megfelelően állítsa be. Ezzel szemben a hashrate esése a bányászati nehézség csökkenését eredményezi, ami megkönnyíti a blokkbányászatot. [7]



2.4. ábra Difficulty példa [Saját ábra]



2.5. ábra Difficulty példa – elmúlt hónap [Saját ábra]

Ahogy azt a 2.4. ábra 2.5. ábra is mutatja, a hashrátával ellentétben a bányászati nehézség nem változik minden nap.

A "T" kifejezés a "terahash per másodperc" kifejezést jelenti a Bitcoin bányászati nehézségével összefüggésben. Ez a Bitcoin-hálózat számítási teljesítményének vagy hashrátájának mértékegysége. Egy terahash per másodperc (TH/s) egy billió másodpercenként kiszámított hash-nek felel meg. A megadott információk alapján a Bitcoin-bányászat jelenlegi, vagyis 2024. áprilisi nehézségi szintje 83,13 terahash másodpercenként.

2.3.4 Block Reward: Blokkjutalom

A blokkjutalom egyfajta kompenzációként szolgál a kriptopénz bányászok számára, akik hozzájárulnak a tranzakciós blokkok érvényesítéséhez a blokkláncon. Ez a jutalom rendszerint tranzakciós díjakból és az újonnan létrehozott kriptopénz-tokenek egy részéből áll. A jutalom a bányászok által a blokklánc-hálózat működésének és integritásának támogatására fordított számítási erőfeszítések és erőforrások elismerésére és ellentételezésére szolgál. A kriptovaluta-bányászatra és blokkjutalmakra támaszkodó

blokkláncok közé tartozik például a Bitcoin, a Litecoin, a Bitcoin Cash vagy a Dogecoin, azaz főként azok a blokkláncok, amelyek Proof of Work konszenzusmechanizmussal rendelkeznek. [10]

A sikeres bányász által kapott jutalmat az adott blokklánc protokollja határozza meg. Ezeket a protokollokat jellemzően úgy tervezik, hogy a bányászok az általuk feldolgozott tranzakciókból generált díjakon felül meghatározott mennyiségű kriptopénzhez jussanak hozzá. [10]

Példának nézzük a Bitcoin blokkjutalmát. A blokkjutalom jelenleg, azaz 2024. márciusában 6,25 bitcoin a bányászati díjak mellett. Ez az érték azonban 2024. április 20-án 3,125 bitcoinra csökken a „felezés” néven ismert jelenség miatt, ami körülbelül 4 évente következik be 210 ezer blokk generálása után. A Bitcoin felezés a kínálat csökkenését, ezáltal az értékének a növelését fogja eredményezni. A felezés segít egyfajta inflációs kontrollt tartani, továbbá ösztönzi a bányászokat a hatékonyabb működésre, azonban az elsődleges cél mindig a tranzakciók megváltoztathatatlansága. [11]

2.3.5 Block Time: Blokk képzési idő

A blokkidő azt az időtartamot jelenti, amely két, egymást követő blokk létrehozása között átlagosan eltelik. Lényegében az az idő, amely a kriptovaluta blokkláncban egy blokk feldolgozásához szükséges. A blokkidő a kriptovaluták és a blokkláncok szempontjából egy kulcsfontosságú tényező, mivel jelentős szerepet játszik a hálózat stabilitásának, hatékonyságának és biztonságának biztosításában. A túl hosszadalmas blokkidő a tranzakciók feldolgozásának elhúzódását és a hálózat zsúfoltságának növekedését eredményezné, ami kihatással lenne a blokklánc általános teljesítményére. Ezzel szemben pedig, ha a blokkidő túl rövid, az a hálózaton belül a blokkok közötti fokozott versenyhez vezetne, amely végső soron növelné a blokkok elutasításának és a blokklánc megbomlásának valószínűségét. Ennek eredményeképpen elengedhetetlen egy olyan optimális blokk-idő meghatározása, amely lehetővé teszi a megfelelő számú tranzakciót és a hatékony blokkfeldolgozást, ugyanakkor fenntartja a hálózat biztonságát és egyensúlyát. [12]

Mivel a különböző kriptopénzek eltérő konszenzusmechanizmusokat használnak a tranzakciók érvényesítésére, így a tranzakciók validálása és a blokkok létrehozásának sebessége eltérő lehet az egyes kriptovaluták esetében. A Bitcoin virtuális valutát illetően ez a folyamat átlagosan körülbelül 10 percet vesz igénybe, míg a Proof of Stake alapú Ethereumnak nagyjából csak 12 másodpercre van szüksége. [12]

3. A TRANZAKCIÓK ÉRVÉNYESÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ ALGORITMUSOK

A következő fejezet célja a kriptopénz és blokklánc hálózatokban alkalmazott két alapvető algoritmus elemzése és összehasonlítása. Az előző fejezetekben már számtalanszor utaltam a Proof of Work (PoW) és a Proof of Stake (PoS) bányászati algoritmusokra, azonban ebben az elemzésben részletesebben megvizsgálom a működési elveiket, jellemzőiket és az ezekhez kapcsolódó technikai különbségeket. A PoW és PoS mechanizmusok működésének alaposabb megértése nem csupán a kriptovaluta műveletek jobb értelmezéséhez elengedhetetlen, hanem azért is, mert ezek az algoritmusok definiálják a bányászati folyamatot, illetve a hálózatok konszenzusmechanizmusát. Ezen túlmenően az eljárások környezeti hatásai szintén említésre kerülnek.

3.1 A Proof of Work (PoW) algoritmus

A véletlenszerű hash-ek generálásának folyamatát egy adott nonce érték megtalálásáig „proof of work”-nek nevezik, amely egyfajta munkának tekinthető egy új blokk létrehozásához. A nonce sikeres azonosítása a csomópont által végzett munka bizonyítékként szolgál, hogy a bányász megtette a szükséges erőfeszítéseket. Ez addig folytatódik, azaz a bányászok addig versenyeznek egymással, amíg egy bányász érvényes hash-t nem generál, vagyis sikeresen validál és közzétesz egy tranzakcióblokkot, valamint megkapja a jutalmat, amely általában tokeneket, tranzakciós díjakat takar. A blokkok létrehozásának ezt a folyamatát bányászatnak nevezik, a folyamatban aktívan részt vevő csomópontot pedig bányásznak. A PoW alapú hálózatok, mint például a Bitcoin-hálózat magas szintű számítási teljesítménye és energiafogyasztása a hash ellenőrzéshez szükséges jelentős mennyiségű munkának tulajdonítható. [5] [6]

A Proof of Work blokkláncok többségénél a tranzakciókat teljes, illetve részleges csomópontok validálják és ellenőrzik. Az érvényesítést követően a tranzakciók egy sorba kerülnek. A bányászati csomópont ezután összeállít egy „blokkjelöltet” és megkezdí annak a bányászatát. Minden csomópont a csaját maga által proponált blokk megoldását

bányássza. Miután az egyik bányász sikeresen megoldotta ezt a kriptográfiai problémát, és a blokklánchoz hozzácsatolta blokkját, a rejtvény megoldása bizonyítékul fog szolgálni arra, hogy a tranzakciók ellenőrzéséhez szükséges munka befejeződött. [10]

A kihívást a bányászok nagy száma és az egyes processzormagok számítási korlátjai jelentik. Minél több bányászgéppel rendelkezik valaki, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy sikeresen létrehozza a következő blokkot és megkapja érte a jutalmat. A Bitcoin továbbra is széles körű bizalmat élvez, mivel ahogy egyre több egyén próbálja megoldani a rejtvényt, úgy nő a feladat bonyolultsága, fokozva ezzel a versenyt. A győzelem esélyeinek növelése érdekében a bányászok bányászati pool-okat hoznak létre. Ezek a pool-ok olyan szervezetek, amelyek egyesítik és irányítják az egyes bányászok tevékenységét, ezáltal növelve a sikeres bányászat valószínűségét. Bárki, legyen szó magánszemélyről vagy vállalatról csatlakozhat ilyen „medencékhez”, ahol hatalmas számítási kapacitás kerül összefogásra a világ minden tájáról. Amennyiben a bányászpool sikeresen megfejt egy problémát, úgy a blockreward egyenlően kerül szétosztásra a pool minden tagja között.

3.2 A Proof of Stake (PoS) algoritmus

A Proof of Stake konszenzus algoritmusban – a Proof of Work-höz hasonlóan – a csomópontok versenyeznek a matematikai probléma megoldásában, azaz egy érvényes nonce érték megtalálásában. Azonban a PoW rendszerekkel ellentétben, amelyekben a bányászoknak bonyolult matematikai műveleteket kell megoldaniuk a tranzakciók ellenőrzéséhez és az új blokkok generálásához, a PoS rendszerek a validátorok vagy más néven „stakerek” kiválasztásán alapulnak. Azok a „stakerek” lesznek kiválasztva a tranzakciók validálására és az új blokkok létrehozására, akik egy blokklánc natív kriptovalutájának meghatározott mennyiségével rendelkeztek és biztosítékként lezárták azt. Minél több érmevel rendelkezik egy adott validátor, és minél több érmét helyezett letétbe, annál nagyobb a valószínűsége, hogy kiválasztásra kerül. Egy új blokk sikeres konstruálásakor a résztvevőt a blokklánc natív kriptopénzének egy bizonyos összegével jutalmazzák, arra ösztönözve ezzel a felhasználót, hogy a profitszerzés érdekében fektesse be, helyezze letétbe érméit. [13]

A hálózat biztonságának fenntartása érdekében a PoS rendszerek rendszerint tartalmaznak egy büntetési rendszert a tisztességtelen lopások megakadályozására. Amennyiben kiderül egy validátorról, hogy érvénytelen blokkokat generál, úgy büntetésképp a feltett érmeit elveszíti. A Proof of Stake mechanizmus emellett egy véletlenszerűséget alkalmazó blokkválasztót működtet, annak megakadályozására, hogy egyetlen entitás vagy csoport uralja a blokkok létrehozását és manipulálja a blokkláncot. [13]

A PoS egy energiatakarékosabb konszenzusmechanizmusnak számít a PoW rendszerekhez képest, melynek oka, hogy nem igényel jelentős számítási teljesítményt a rejtvények megfejtéséhez, csupán a letétbe helyezett érmék tárolására és zárolására kell támaszkodnia. [13]

4. A MEGOLDANDÓ PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

4.1 Energiafogyasztás és a környezetre gyakorolt negatív hatások elemzése

A Proof of Work algoritmussal történő kriptovaluta bányászat egy rendkívül energiaigényes tevékenység. Ez annak köszönhető, hogy a bányászoknak hatalmas teljesítményű processzorokkal, videokártyákkal rendelkező, robosztus rendszereket kell üzemeltetniük, hogy a mechanizmus által előírt bonyolult matematikai rejtvényeket sikeresen meg tudják oldani. Fontos megjegyezni, hogy az energiafogyasztás közvetlenül összefügg a hálózat hashing teljesítményével, ami azt jelenti, hogy több bányász és több erősebb gép nagyobb energiafogyasztást eredményez. [13]

Csak a Bitcoin-hálózat elektromos energia fogyasztása megközelítőleg 170 TeraWattóra évenként, amely akkora nagyságrendű fogyasztás, mint például Lengyelország évi, Magyarország 4 évi energiafelhasználása (az enerdata.net és a University of Cambridge adatai alapján). Becslések szerint a kriptó-bányászat energiafogyasztása már 2019-ben meghaladta több ország, például Svédország éves villamosenergia-felhasználását. Emellett az Egyesült Államok hét legnagyobb kriptopénz-bányászati vállalatának együttes energiafelhasználása megegyezik azzal a mennyiséggel, amely Houston teljes lakosságának (összesen 2,3 millió lakos) áramellátásához szükséges. (Ezeket az állításokat statisztikai adatokkal és grafikonokkal bizonyítom a 6. fejezetben, azon belül például a 6.2. ábra megjelenítésével.) [14]

4.2 Fosszilis energiahordozókra való támaszkodás

A kriptovaluta-bányászat folyamata aggodalmakat vált ki a jelentős energiafogyasztás miatt a környezetre gyakorolt hatásával kapcsolatban. A probléma ugyanis nem feltétlen a nagy energiaigény, hanem az energia forrása, hiszen a fosszilis tüzelőanyagokból származó villamos energia túlnyomó mértékű felhasználása a bányászati műveletek során hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához és súlyosbítja az éghajlatváltozást. [13]

A fosszilis tüzelőanyagok tulajdonképpen növények és állatok bomlása során keletkeznek több millió év alatt, és elsősorban a földkéregben, a Föld felszínének mélyebb rétegeiben találhatók. Ezek az tüzelőanyagok szénből és hidrogénből állnak, amelyeket égetéssel hasznosítanak energiatermelésre. A fosszilis tüzelőanyagok közé tartozik például a szén, a kőolaj és a földgáz. A szén jellemzően üledékes kőzetformációkban található, ahol kőzetrétegek és szerves anyagok, például elpusztult növények és állatok halmozódnak fel. A kőolaj kezdetben szilárd formában jelenik meg üledékes kőzetformációkban, majd az anyag felmelegítése során sűrű olajjá alakul, amelyből benzin nyerhető ki. Ezzel szemben a földgáz jellemzően a kőolajkészletek feletti üregekben és kőzetformációkban található, összetételét tekintve túlnyomórészt metán alkotja. Az atomenergia ugyan nem fosszilis tüzelőanyag, azonban nem megújuló energiaforrás. Az atomenergia nukleáris reakció során felszabaduló energia, radioaktív elemekből, főként uránból származik. [15]

Az üvegházhatású gázok, köztük a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4) és a nitrogén-oxidok (NO_x) felhalmozódása jelentősen hozzájárul a globális éghajlatváltozáshoz azáltal, hogy a légkörben hőt köt meg, és a Föld hőmérsékletének emelkedéséhez vezet. Egy tanulmány kimutatta, hogy önmagában csak a Bitcoin-hálózat működéséből eredő energiafelhasználás 2°C fokkal emelheti meg a globális hőmérsékletet. [16]

4.3 Megújuló energiaforrások előnyei a nem megújuló energiaforrásokkal szemben

A megújuló energiaforrások olyan természeti erőforrások, amelyek az idő múlásával természetes úton újratermelődnek és „gyakorlatilag kimeríthetetlenek”. A megújuló energiaforrások a fosszilis tüzelőanyagokkal ellentétben nem bocsátanak ki szén-dioxidot, szén-monoxidot, ként, nitrogén-oxidokat és egyéb szennyező anyagokat, amik hozzájárulnak a levegőszennyezéshez, az üvegházhatású gázok kibocsátásához és a globális felmelegedéshez. [17]

A megújuló energiaforrások a következők:

- **Napenergia:** A napenergia szinte az egyik legismertebb, széles körben használt megújuló energiaforrás, amelyet a Nap által kibocsátott sugárzásból

hasznosítanak. Ez az energiaforma napelemek segítségével villamos-energiává, napkollektorok és koncentrált napenergia-rendszerek (naperőművek-CSP) segítségével pedig hővé alakítható, ezáltal termikus energia nyerhető ki belőle. [17]

- **Szélergia:** A szélergiát szél turbinák segítségével alakítják villamos energiává oly módon, hogy a turbinák a szél energiáját forgó mozgássá transzformálják generátorok segítségével. A szél turbinák különböző méretekben és konfigurációkban elérhetők, így többek között szárazföldön vagy akár tengeri létesítményekben is telepíthetők.
- **Vízenergia:** A vízenergia az áramló víz mozgási energiájából előállított energia egyik formája, amelyet általában vízerőművekben használnak. Az emberek évszázadok óta kihasználják a folyók áramlásának erejét azáltal, hogy gátakkal szabályozzák az áramlást. A vízenergia villamos energiává alakítása jellemzően vízturbinák használatával történik, amelyek a víz mozgását megragadva elektromos energiát termelnek.
- **Biomassza:** A biomasszából nyert energia egy olyan megújuló energiaforrás, amely növényi vagy állati eredetű szerves anyagokból származik. Ez a fajta energia vagy hővé vagy pedig elektromos energiává alakítható különböző eszközökkel, többek között biomassza erőművekkel és biogázüzemekkel. A biomasszából előállított energia magába foglalja a bioüzemanyagok, mint például az etanol és a biodízel, valamint a fa, a fahulladék, a hulladéklerakókból származó biogáz és a településenkénti szilárd hulladék felhasználását.
- **Geotermikus energia:** A geotermikus energia olyan energiaforrás, amelyet a Föld belső hőjéből hasznosítanak. Ez a hő a földkéregben lévő ásványok radioaktív bomlása során keletkezik, és a földfelszín alatt a felszínhez képest lényegesen magasabb hőmérsékletet eredményez. A geotermikus energia különböző módszerekkel hasznosítható mind energiatermelésre, mind pedig fűtésre. Az energiatermelés során a föld alatti gőz- és forróvíz tározók mély kutakon keresztül csapolhatók meg, és ezek a kutak jellemzően két kilométeres

vagy annál nagyobb mélységbe is nyúlhatnak. Egyes épületekben geotermikus hőszivattyúkat használnak, amelyek a földfelszín alatt több méter mélyen található hőmérsékletkülönbségeket használják fűtési vagy hűtési célokra. [17]

5. AZ ADATELEMZÉS ÉS AZ ESETTANULMÁNYOK KÉSZÍTÉSÉNEK ESZKÖZEI

A következő fejezetekben részletesen elemezni fogom a kriptovaluta-bányászati tevékenységekből eredő villamos-energiafogyasztást és szén-dioxid kibocsátást. Ezért a továbbiakban alaposan ismertetem az elemzések elvégzéséhez használt különböző eszközöket és módszereket.

5.1 Python alapú adatelemzés és esettanulmányok

Amennyiben adatgyűjtésről, adatfeldolgozásról vagy adatvizualizációról van szó, úgy az Anaconda, a Jupyter Notebook és a Python programozási nyelv kiemelkedő eszközök, melyek teljesítményükről és sokoldalóságukról ismertek. Az alábbi fejezetben áttekintem az egyes komponenseket, hogy miért alkalmasak ezekre a feladatokra és milyen előnyöket kínálnak.

5.1.1 Anaconda

Az Anaconda egy széles körben használt, a Python és az R programozási nyelvek nyílt forráskódú disztribúciós platformja, amely adattudományi és gépi tanulási célokra, valamint a mesterséges intelligenciára specializálódott. Előre telepített csomagok és könyvtárak átfogó választékát kínálja, amely nagymértékben leegyszerűsíti az adatelemzők produktív munkakörnyezetének kialakítását. Az Anaconda olyan alapvető és népszerű bővítményeket tartalmaz, mint például a Jupyter Notebook vagy a Spyder, valamint számos nélkülözhetetlen könyvtárat, mint a NumPy, Pandas vagy Matplotlib. Szakdolgozatom készítése során rendszerint ezekre a könyvtárakra támaszkodtam. [18]

Az Anaconda használatának előnyei közé tartozik a „conda” csomagkezelő, amely az Anaconda saját csomag-, környezet- és függőségkezelő rendszere megkönnyítve ezzel a különböző csomagok telepítését, frissítését, nagyobb rugalmasságot és ellenőrzést biztosítva ezzel a függőségek felett. Megemlítendő még az egyszerű együttműködés lehetősége is, hiszen a felhasználók az Anaconda Cloud platformon keresztül könnyedén megoszthatják egymással kódjaikat a közös projektekhez. [18]

5.1.2 Előre telepített, használatra kész csomagok az Anacondában

Pandas: A Pandas a Python egyik legismertebb és legkedveltebb könyvtára, amelyet adatkezelésre, -manipulációra és -elemzésre terveztek. Számos adatstruktúrát és függvényt foglal magába, amelyek célja az adatokon végzett hatékony műveletvégrehajtás. [19] A DataFrame-ekkel az adatok táblázatos formába rendezhetők, lehetővé téve, hogy az oszlopok különböző típusú adatokat tartalmazzanak. A könyvtár lehetővé teszi az adatok egyszerű betöltését és mentését, legyen szó Excel, JSON vagy CSV fileokról, SQL adatbázisokról. Dolgozatom készítése során jellemzően CSV és JSON fileokkal kellett dolgoznom, ahol az oszlopok eltérő típusú adatokat tartalmaztak, de a Pandas könyvtár használatának köszönhetően nem okozott gondot a sorok szűrése, oszlopok hozzáadása, esetleg törlése, különböző csoportosítások, a hiányzó adatok kezelése vagy az adatok normalizálása. A Pandas két alapvető Python-könyvtárra épül, az adatvizualizációhoz használt matplotlib- ra és a matematikai műveletekhez használt NumPy-ra. A Pandas lényegében egy réteggént funkcionál ezek a könyvtárak felett, lehetővé téve a matplotlib és a NumPy számos módszerének egyszerűsített elérését kevesebb kóddal. [20]

NumPy: A NumPy a Python nyelv egy elemi könyvtára a tudományos számítások elvégzéséhez. Ez egy olyan csomag, amely egy többdimenziós tömböt kínál, különböző származtatott objektumokkal együtt, mint a mátrixok vagy a maszkolt tömbök. Emellett a NumPy átfogó rutinokat biztosít a tömbökön végzett műveletek hatékony végrehajtásához, beleértve a matematikai, adatmanipulációs, logikai, alapvető lineáris algebrai, statisztikai, illetve véletlenszerű szimulációt is. [21] [22] Szakdolgozatomban gyakran alkalmaztam ezt a beépített könyvtárat, segítségével hatékonyan tudtam tárolni és kezelni a nagy mennyiségű numerikus adatot.

Matplotlib: A Matplotlib az egyik legmeghatározóbb Python könyvtár adatvizualizációk készítésekor. A szakdolgozatomban lévő ábrák és diagramok készítése során számtalanszor használtam én is ezt csomagot. Segítségével egyszerűen lehet tömbben lévő adatokból 2D-s ábrákat készíteni. A matplotlib az adatvizualizáció változatos skáláját kínálja, beleértve a vonaldiagramokat, oszlopdiagramokat, kördiagramokat,

hisztogramokat vagy területi ábrákat, és gyakran csupán néhány sornyi kódot igényel az adatok vizuális ábrázolásához. [23] Megemlíteném még az általam szintén gyakran alkalmazott Seaborn könyvtárat, amely segítségével könnyen és esztétikusan lehet ábrázolni adatokat a matplotlib-en belül. [24]

Facebook prophet: A Prophet egy felhasználóbarát, effektív eszköz, amelyet idősoros adatok elemzésére és predikciók készítésére terveztek, hogy segítse az előrejelzések létrehozását. A Prophet egyik beépített mechanizmusa hatékonyan tudja kezelni a szezonális mintákat, beleértve az éves, a heti vagy a napi ingadozásokat. Ez a funkció lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy gördülékenyen modellezzék az ismétlődő, visszatérő mintákkal rendelkező adatokat. Mindemelett megkönnyíti a vizualizációt az előre jelzett és a tényleges értékek összehasonlításához, segítve az eredmények elemzését. A Prophet hatékony a hiányzó adatokkal és a trend elmozdulásaival szemben, és jól kezeli a kiugró értékeket. [25] Dolgozatomban a jövőbeli lehetséges villamos-energiafogyasztásra és szén-dioxid kibocsátásra vonatkozó adatok becslésére használtam ezt az eljárást.

Folium: A Folium egy olyan Python könyvtár, amely interaktív térképek létrehozását teszi lehetővé. Testreszabható a térkép stílusa, lehetővé teszi HTML és JavaScript kód beillesztését a térképekbe, valamint támogatja a különféle térképi adatforrásokat, beleértve a térképi szolgáltatásokat (pl. OpenStreetMap, Mapbox), GeoJSON fájlokat, WMS szolgáltatásokat és más térképi adatforrásokat. [26] A Folium könyvtár alkalmazása a 8. fejezetben szereplő térképek elkészítésekor volt szükséges.

5.1.3 Jupyter Notebook, interaktív adatelemzés

A Jupyter Notebook egy webalapú interaktív alkalmazás, amely lehetőséget nyújt a felhasználók számára, hogy kódot, matematikai egyenleteket, vizualizációkat és szöveget tartalmazó dokumentumokat hozzanak létre és osszanak meg egymással. Különböző programozási nyelvek, köztük a Python, az R, valamint az SQL támogatását kínálja, mindezt egy sokoldalú és egységes platformon belül. Funkcionalitása lehetővé teszi a felhasználók számára a kódcellák interaktív futtatását, ami különösen alkalmassá teszi a

feltáró adatelemzésekre. A Jupyter Notebook Markdown cellái lehetővé teszik a userek számára, hogy akadálytalanul integrálják a kódrészleteket jól strukturált magyarázatokkal.

A Jupyter Notebook számomra egy ideális eszköz volt a szakdolgozatom készítéséhez, különösen mert Python-t használtam adatelemzésre és vizualizációra és ez az alkalmazás széleskörű támogatást nyújtott számos adatvizualizációs könyvtárhoz, köztük a Matplotlibhez vagy a Plotlyhoz. Ezek a könyvtárak lehetővé tették, hogy könnyedén létrehozzam és módosítsam a különféle diagramokat és grafikonokat. Az összes kód futtatást és módosítást rögzíteni tudtam, ami növelte a munkafolyamat visszakövethetőségét, átláthatóságát és a hibakeresését.

5.2 Adatgyűjtés

A kriptovaluták energiafogyasztására és szén-dioxid kibocsátására vonatkozó adatokat a Crypto Carbon Ratings Institute (<https://indices.carbon-ratings.com/>) weboldaláról gyűjtöttem. A CCRI egy kutatásra összpontosító cég, amely a kriptovaluták, a blokklánc és a hozzájuk kapcsolódó technológiák fenntarthatóságáról nyújt információkat. Interdiszciplináris csapata többéves, bizonyított kutatási múlttal rendelkezik, különös hangsúlyt fektetve a kriptovaluták fenntarthatósági vonatkozásaira. [27]

Ahhoz, hogy hozzáférjek ezekhez az adatokhoz, regisztrálnom kellett egy OpenAPI interfészen keresztül, majd egy CCRI fenntarthatósági API-kulcsot kellett igényelnem. Ezután lehetőségem volt JSON fileokként lementeni valamennyi kriptovaluta napi és évesített villamosenergia-fogyasztását, valamint napi és éves szén-dioxid kibocsátását.

5.3 Az adatok feldolgozásának folyamata

Legyen szó szén-dioxid kibocsátásról vagy villamos-energia fogyasztásról, az első lépés az adatok importálása egy JSON fileba. Az összes kriptovaluta esetében, a következő folyamatot alkalmaztam:

```

import requests
import json

api_key = "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
url = "https://v2.api.carbon-ratings.com/currencies/dash/electricity-consumption/network"
headers = {"accept": "application/json"}

params = {"key": api_key}
response = requests.get(url, headers=headers, params=params)

# Ellenőrés, hogy a kérés sikeres volt-e (státuszkód 200)
if response.status_code == 200:
    # JSON válasz elemzése
    data = response.json()

    # JSON adatok mentése egy fájlba
    with open("dash_electricity_consumption.json", "w") as json_file:
        json.dump(data, json_file)

    print("Data saved to dash_electricity_consumption.json successfully.")
else:
    print("Failed to retrieve data. Status code:", response.status_code)

```

Data saved to dash electricity consumption.json successfully.

5.1. ábra A Dash kriptovaluta energiafogyasztására vonatkozó adatok importálása

Az 5.1. ábra mutatja a Dash kriptovaluta napi és éves energiafogyasztására vonatkozó adatok importálásához készített kódrészletet.

Az `import requests` utasítás importálja a Python `requests` modult, amely lehetővé teszi HTTP kérések küldését és fogadását a szerverekhez. Az `import json` utasítás pedig a Python `json` modulját importálja, amely segítségével a JSON adatok könnyedén kezelhetők.

Az `api_key` változóban tároltam el az igényelt API kulcsot, amelyet a kérésben azonosításhoz használok. Az API-kulcsot bizonyos időközönként frissíteni kell.

`url = https://v2.api.carbon-ratings.com/currencies/algo/electricity-consumption/network` sor esetében az `url` változóban tárolom a cél URL-t, amelyre a kérést küldöm. Ez a URL a „carbon-ratings” API-jához tartozik, és az dash kriptovalutához kapcsolódó elektromos energiafogyasztási adatokat kéri le.

`headers = {"accept": "application/json"}:` Ebben a változóban tárolom a HTTP fejléceket, amelyben megadható az általunk elfogadott adatformátumot. Ebben az esetben a JSON formátumot fogadom el. A `params` változóban kerülnek tárolásra a kéréshez tartozó paraméterek, itt most csak az API kulcsot adom meg.

`response = requests.get(url, headers=headers, params=params)`: Ezzel a sorral küldöm el a GET kérést a megadott URL-re a megadott fejlécekkel és paraméterekkel. Az eredményt egy `response` változóban tárolom.

Azt, hogy a kérés sikeres volt -e az „`if response.status_code == 200`” elágazással tudom ellenőrizni. A 200 a HTTP válaszkódja, amennyiben a kérés sikeres volt. A könnyen kezelhetőség érdekében a JSON választ Python szótárrá konvertálom a „`data = response.json()`” kódsor segítségével.

Végül elmentem az adatokat JSON formátumban, majd kiíratom a sikerességet vagy a hibaüzenetet a kérés státuszával együtt.

Az 5.2. ábra által megjelenített kód arra szolgál, hogy kiterjesszem az „`entries`” szótárat új kulcs-érték párokkal, amelyeket a „`coin`” és „`algorithm`” nevekkkel azonosítottam. Erre azért volt szükség, hogy a későbbiekben csoportosítani tudjam a kriptovalutákat az általuk használt bányászati algoritmus szerint, majd összehasonlításokat tudjak végezni.

```
import json

# A meglévő JSON adatok betöltése
with open("dash_electricity_consumption.json", "r") as json_file:
    data = json.load(json_file)

# Ellenőrizzük, hogy tartalmazza-e a várt adatszerkezetet
if "entries" in data:
    # Új oszlopok hozzáadása minden egyes szótárhoz a "entries" listában
    for entry in data["entries"]:
        entry["coin"] = "Dash"
        entry["algorithm"] = "PoW"

    # JSON adatok mentése egy fájlba
    with open("dash_electricity_consumption_updated.json", "w") as json_file:
        json.dump(data, json_file, indent=4)

    print("Data saved to dash_electricity_consumption_updated.json successfully.")
else:
    print("Unexpected data structure in the response.")
```

5.2. ábra Új kulcs-érték párok hozzáadása a szótárhoz

A „`for entry in data["entries"]`” sorban a `for` ciklus végigiterál az `entries` lista minden elemén, majd minden sorhoz hozzáadja a „`coin`” és az „`algorithm`” kulcsokat, azután értékként beállítja a kriptovaluta nevét és a tranzakció érvényesítésére szolgáló

algoritmus fajtáját az `entry["coin"] = "Dash"` és az `entry["algorithm"] = "PoW"` parancsokkal.

Mivel a villamosenergia-fogyasztást a legtöbb kriptovaluta esetében kilowattórában adják meg, ezért érdemes átkonvertálni a Proof of Work mechanizmust használó kriptók energiafogyasztását terawattóráról kilowattórára, ahogy ezt az 5.3. ábra mutatja.

```
# Ellenőrizzük, hogy az adatoknak megvan-e a várt struktúrája
if "entries" in data and isinstance(data["entries"], list):
    # Iteráljuk az egyes szótárakat az "entries" listában, és végezzük el a konverziókat.
    for entry in data["entries"]:
        # Fogyasztás átváltás terawattórából kilowattóra to Kilowattóra
        entry["consumption_24h"] *= 1000000000
        entry["consumption_365d"] *= 1000000000
```

5.3. ábra Konverzió

Végül pedig az 5.4. ábra szemlélteti a Dash kriptopénz napi és éves szintű villamosenergiafogyasztására vonatkozó normalizált adatokat, kilowattórában megadva.

```
# JSON fájl megnyitása és tartalmának beolvasása
with open("dash_electricity_consumption.json") as json_file:
    data = json.load(json_file)

dash_electricity_consumption = pd.json_normalize(data, record_path=['entries'])
```

	date	consumption_24h	consumption_365d	coin	algorithm
0	2014-01-19	0.011042	4.030364e+00	Dash	PoW
1	2014-01-20	0.026778	6.902096e+00	Dash	PoW
2	2014-01-21	0.020821	7.134644e+00	Dash	PoW
3	2014-01-22	0.005869	5.886496e+00	Dash	PoW
4	2014-01-23	0.004687	5.051343e+00	Dash	PoW
...	...	...	...	...	...
3708	2024-03-15	242605.164741	8.504417e+07	Dash	PoW
3709	2024-03-16	241889.651607	8.423819e+07	Dash	PoW
3710	2024-03-17	217989.524542	8.199060e+07	Dash	PoW
3711	2024-03-18	210709.467676	8.011015e+07	Dash	PoW
3712	2024-03-19	214878.182956	8.107188e+07	Dash	PoW

5.4. ábra Dash kriptovaluta napi és éves szintű villamos-energiafogyasztása normalizált értékeinek kiírása

6. A PROOF OF WORK ÉS PROOF OF STAKE BÁNYÁSZATI ALGORITMUSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ADATVIZUALIZÁCIÓ SEGÍTSÉGÉVEL

A következő fejezetben statisztikai bizonyítékokkal támasztom alá a Proof of Work folyamattal járó magas energiafogyasztást és szén-dioxid kibocsátást, amely negatív hatással van a környezetre. Ezzel szemben a Proof of Stake módszer egy környezetbarátabb alternatívaként jelent meg, ahogy azt a bemutatott elemzések is alátámasztják. Célom, hogy a vizualizációk és adatelemzések felhasználásával átfogó képet nyújtsak a PoW – és a PoS alapú kriptovaluták környezeti hatásairól, valamint a belőlük levonható megállapításokról, tanulságokról.

6.1 Kriptovaluták villamos-energia fogyasztásának elemzése

A kriptopénzek villamos-energia fogyasztásának elemzéshez és vizualizációjához az adatokat JSON formátumban tárolom. A JSON, amely a JavaScript Object Notation elnevezés rövidítése egy ember és gép által is könnyen értelmezhető, strukturált adatok tárolására és továbbítására szolgáló, kulcs-érték párokat tartalmazó platformfüggetlen formátum. Ennek a formátumnak a használata azért volt előnyös számomra, mivel könnyen írható és olvasható, kis méretű és rendkívül jól strukturálható.

A következő adatokkal dolgoztam:

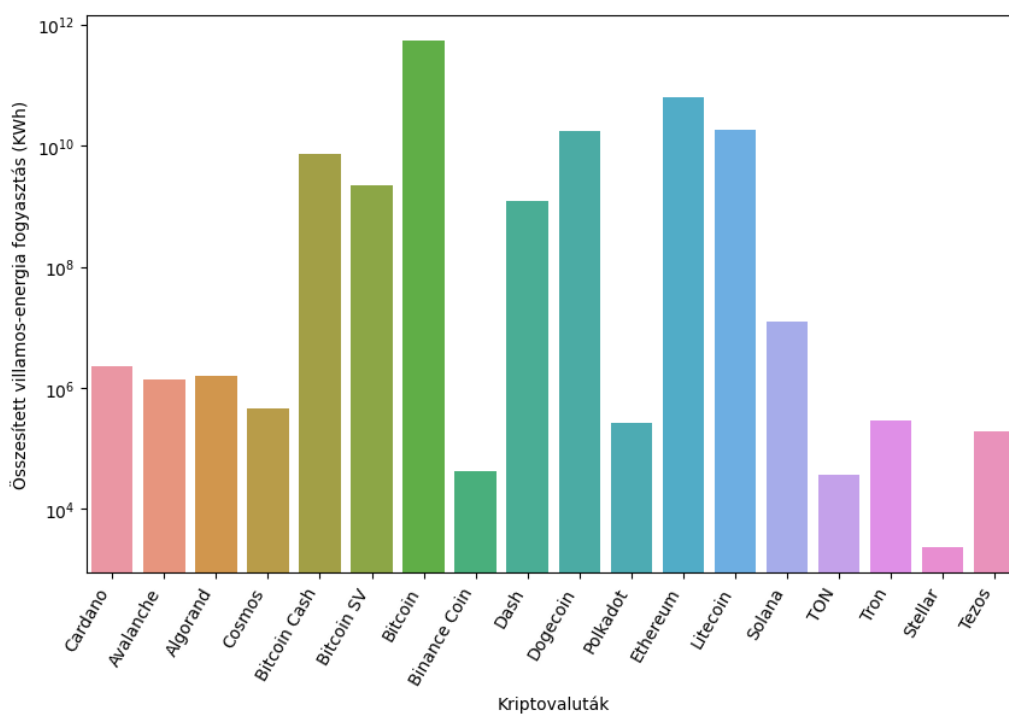
```
{
  "date": "2024-03-17",
  "consumption_24h": 468071893.062312,
  "consumption_365d": 174208448784.00906,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "Pow"
},
{
  "date": "2024-03-18",
  "consumption_24h": 460270112.40484077,
  "consumption_365d": 172507367179.19733,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "Pow"
},
{
  "date": "2024-03-19",
  "consumption_24h": 471357525.3850248,
  "consumption_365d": 171950975752.22195,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "Pow"
}
```

6.1. ábra Adatfájl tartalma (energiafogyasztás)

A kulcsok az alábbiak:

- „date”: Az adatok megfigyelésének dátuma. A 6.1. ábra első bejegyzésnél ez például 2024. március 17.
- „consumption_24h”: Ez a kulcs-érték pár a 24 órás időszak alatt mért energiafogyasztásra vonatkozik. Ez az érték kWh-ban van megadva, és az adott kriptovaluta hálózatának az aktuális napon mért összes energiafogyasztását jelzi.
- „consumption_365d”: Az előző 365 nap alatt összegzett energiafogyasztás. Ez az érték szintén kWh-ban van megadva, és a kriptovaluta hálózatnak az összes energiafogyasztást mutatja, amit a megelőző 365 napban mértek.
- „coin”: A kriptopénz neve, amelynek az energiafogyasztására vonatkozik a bejegyzés, itt például Bitcoin.
- „algorithm”: Az adott kriptovaluta bányászati algoritmusának típus. Ez az érték vagy „PoW” vagy „PoS”.

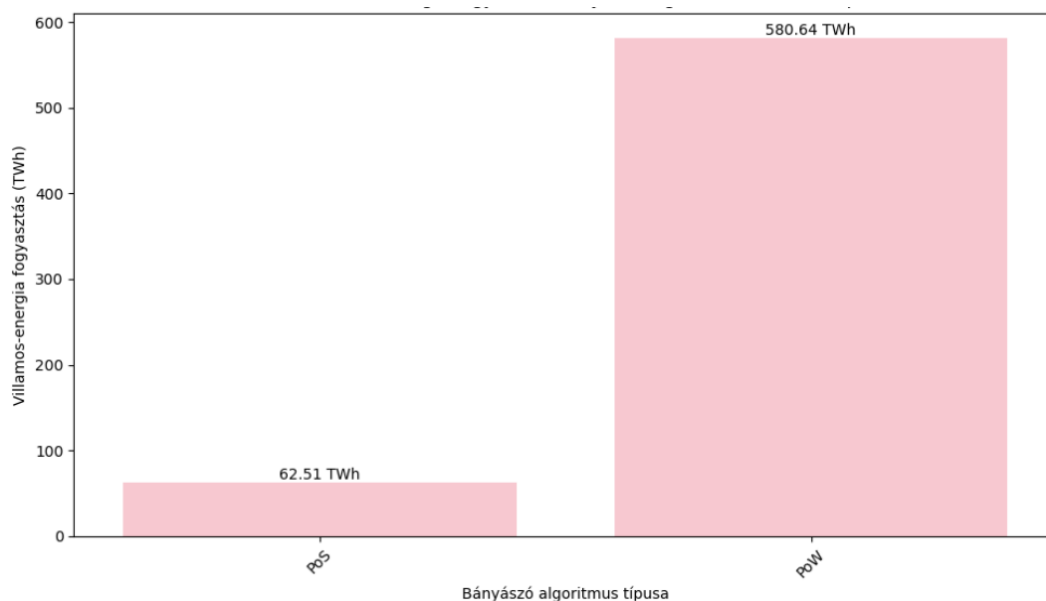
A 6.2. ábra az egyes kriptovaluták összesített villamos-energia fogyasztását ismerteti, amelyet 18 különböző kriptovaluta bányászatához használnak fel. Az összesített villamos-energia fogyasztás értéke 643.15 TWh. Ez az adat az egyes kriptopénzek indulása óta felhasznált energia mennyiségére utal.



6.2. ábra Kriptoalutánkénti összesített villamos-energia fogyasztás

A diagram elkészítéséhez a 5.1.2-es fejezetben már említett Matplotlib, valamint a Seaborn könyvtárat alkalmaztam. Az y tengelyen lévő adatokat logaritmikus skálán ábrázoltam, mivel az adatok elég széles tartományban mozognak, és az alacsonyabb értékeket is szerettem volna jól láthatóvá tenni, ezáltal az egész ábra jobban átlátható.

A 6.3. ábra a tranzakciók érvényesítésére szolgáló két alapvető konszenzusmechanizmus energiafogyasztását ábrázolja. A diagramból jól leolvasható, hogy a PoW konszenzusmechanizmus közel 10-szer olyan energiaigényes, mint a Proof of Stake eljárás.



6.3. ábra Összesített villamos-energia fogyasztás bányászó algoritmus szerint csoportosítva

A grafikon kivitelezése a 6.4. ábra látható kóddal történt, ahol először szükséges volt a kriptopénzek bányászati algoritmus szerinti csoportosítása, amihez a `groupby` művelet használtam. Ez a funkció lehetővé teszi az adatok kategorizálását és a műveletek végrehajtását ezeken a meghatározott csoportokon belül. A csoportosítás után az energiafogyasztásra vonatkozó értékek összeadódnak. Majd a következő lépés az oszlopdiagramok létrehozása a `seaborn` beépített könyvtár segítségével. Az x tengelyen az algoritmusok típusa látható, míg az y tengelyen az összesített villamos-energia fogyasztás terawattórában megadva.

```
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# "algorithm" oszlop szerinti csoportosítás és összegzés
grouped = crypto_consumption_sum_terawatt.groupby('algorithm')['consumption_sum'].sum().reset_index()

# Oszlopdiagram létrehozása
plt.figure(figsize=(10, 6))
sns.barplot(data=grouped, x='algorithm', y='consumption_sum', color='pink')
plt.title('Összesített villamos-energia fogyasztás bányászó algoritmus szerint csoportosítva')
plt.xlabel('Bányászó algoritmus típusa')
plt.ylabel('Villamos-energia fogyasztás (TWh)')
plt.xticks(rotation=45)

# Értékek megjelenítése az oszlopdiagramokon belül
for index, value in enumerate(grouped['consumption_sum']):
    plt.text(index, value, f'{round(value, 2)} TWh', ha='center', va='bottom')

plt.tight_layout()
plt.show()
```

6.4. ábra Kódpélda diagram készítéséhez

Az ezutáni kódsorozat a diagram testreszabására vonatkozik, mint például a cím megadása vagy az x és y tengely feliratainak beállítása. A „for index, value in enumerate(grouped['consumption_sum'])” részben az index az aktuális elem indexét jelöli, a value pedig az adott elem értékét tartalmazza, ami jelen esetben a villamosenergia fogyasztás. Ezeket az értékeket az enumerate() függvénynek köszönhetően a grouped['consumption_sum'] objektum elemein keresztül lehet végigiterálni. A plt.text() függvényt használva a for ciklusban lehet az ábrához szöveget hozzáadni. Az index változó az x koordinátát, míg a value változó az y koordinátát határozza meg.

6.2 Kriptovaluták szén-dioxid kibocsátásának elemzése

A kriptopénzek szénlábnyomának vizsgálatához és vizualizációjához az adatokat ebben az esetben is JSON formátumban tárolom, ami a következő adatokat tartalmazza:

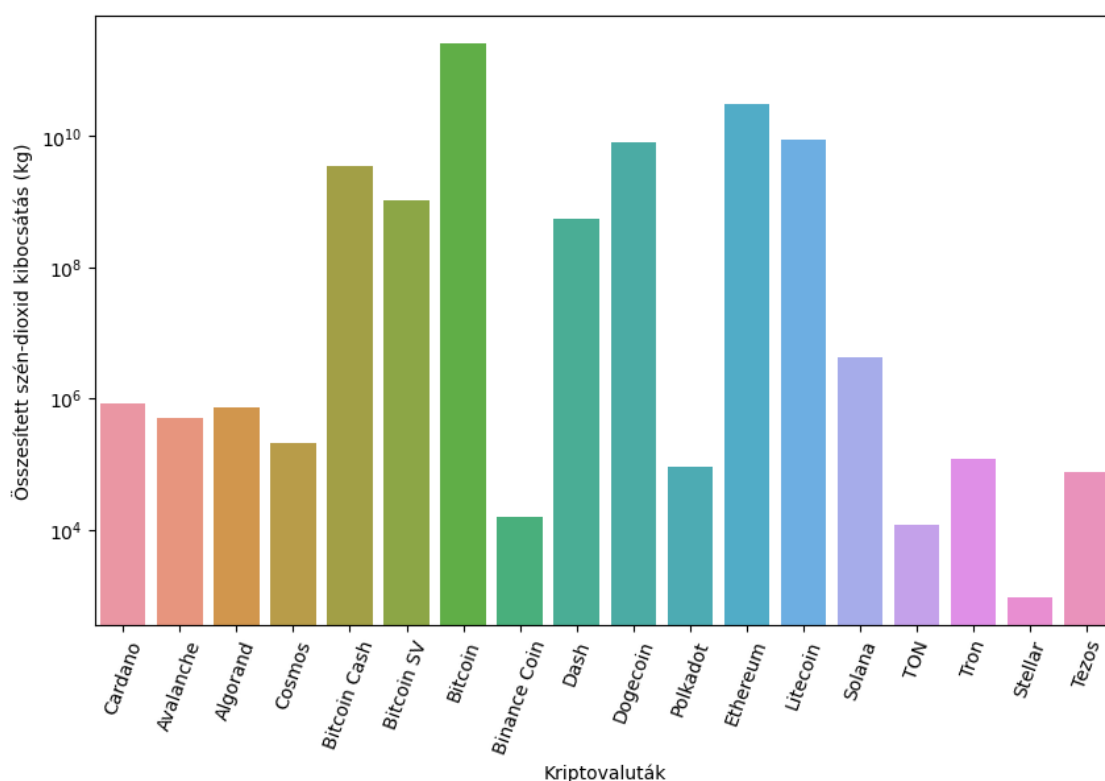
```
{
  "date": "2024-03-17",
  "emissions_24h": 236914331.233948,
  "emissions_365d": 88175510537.37935,
  "intensity": 0.50614945,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "PoW"
},
{
  "date": "2024-03-18",
  "emissions_24h": 232965464.2451483,
  "emissions_365d": 87314509018.6988,
  "intensity": 0.50614945,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "PoW"
},
{
  "date": "2024-03-19",
  "emissions_24h": 238577352.2269913,
  "emissions_365d": 87032891803.95047,
  "intensity": 0.50614945,
  "coin": "Bitcoin",
  "algorithm": "PoW"
},
}
```

6.5. ábra Adatfájl tartalma (szén-dioxid kibocsátás)

- A „date”, „coin” és „algorithm” kulcsok ebben a fájlban is szerepelnek.
- „emissions_24h”: A szén-dioxid kibocsátás mértéke az adott napon, 24 órás időszakra vonatkozóan.
- „emissions_365d”: Az emisszió az előző 365 nap alatt összesítve, vagyis az elmúlt év alatt kibocsátott összes szén-dioxid mennyisége kilogrammban megadva.

- „intensity”: Az intenzitás a kriptovaluták és a blokklánc-technológia összefüggésében az egységnyi elvégzett számítási munkára fordított energia mennyiségére utal. Például hogyha a Bitcoin energiaintenzitása 0.50614945, akkor az azt jelenti, hogy minden egyes egységnyi számítási munkára (pl. hash-számítás) körülbelül 0.50614945 egységnyi energia kerül felhasználásra.

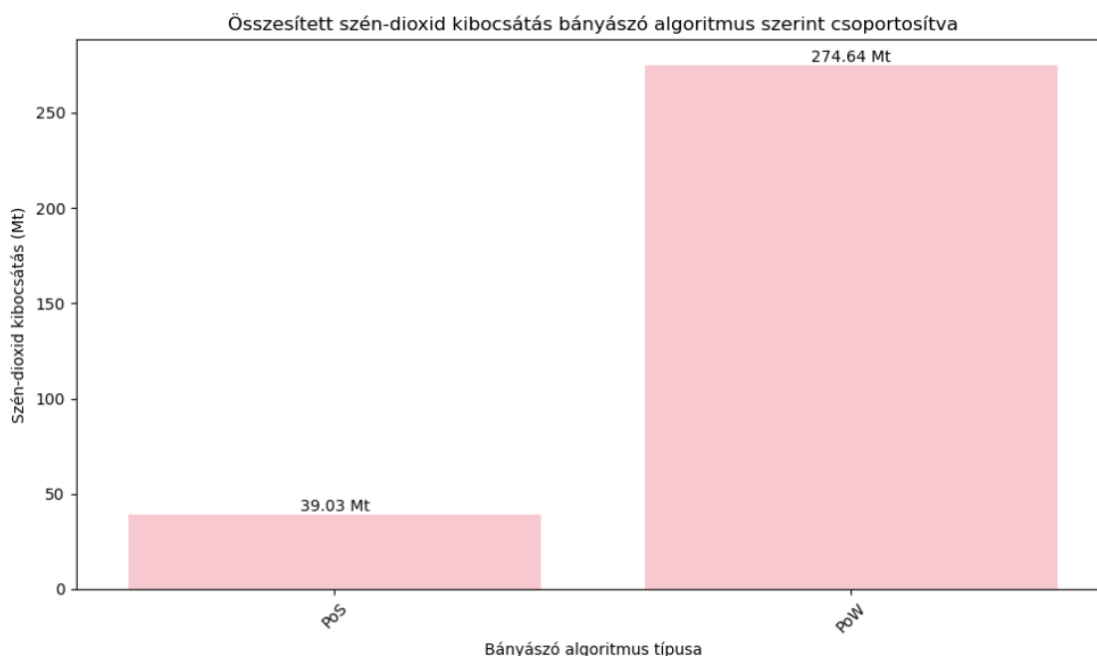
A kriptovaluták szén-dioxid kibocsátására vonatkozó elemzés során hasonló eredmények születtek, mint a villamos-energia fogyasztás tanulmányozása folyamán. A 6.6. ábra szemlélteti az egyes kriptovaluták összesített CO₂ kibocsátását kilogrammban megadva.



6.6. ábra Kriptovalutánkénti összesített szén-dioxid kibocsátás

A következő ábrán (6.7. ábra) a két meghatározó mechanizmus szénlábnyomára vonatkozó értékek láthatók. Az oszlopok méretét tekintve jól észrevehető a drasztikus különbség az algoritmusok szén-dioxid kibocsátása között, akárcsak a 6.2. ábra által szemléltetett energiafogyasztásra vonatkozó diagramon. A Proof of Work eljárást

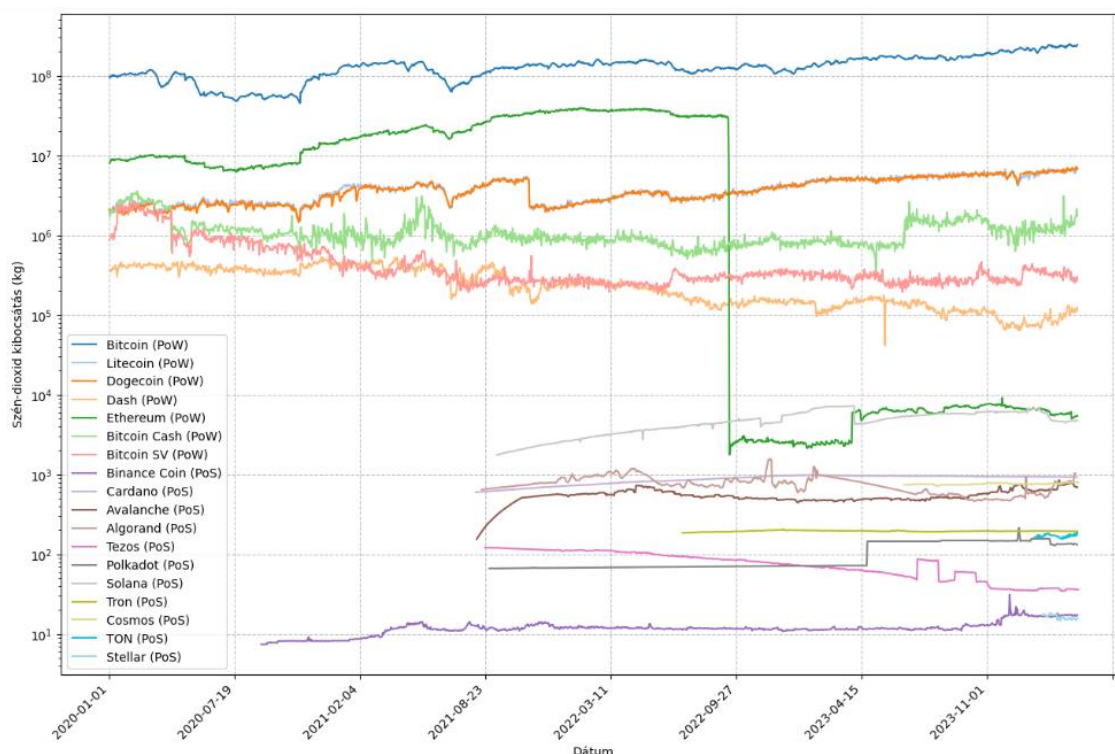
alkalmazó kriptopénzeknek több, mint 7-szer akkora szénlábnymuk van, mint a validátorokra támaszkodó Proof of Stake-nek.



6.7. ábra Összesített szén-dioxid kibocsátás bányászó algoritmus szerint csoportosítva

A 6.8. ábra az egyes kriptovaluták szén-dioxid kibocsátását illusztrálja az idő függvényében. A vonaldiagramon minden kriptovaluta különböző színnel ábrázolt, az y-tengelyen a szén-dioxid kibocsátás mértéke látható logaritmikus skálán, az x tengelyen pedig az idő. A jobb átláthatóság érdekében dátumszűrést alkalmaztam, hogy csak a 2020 utáni időpontok legyenek láthatók. Ez a grafikon szintén jól érzékelteti a két eljárás közötti differenciát.

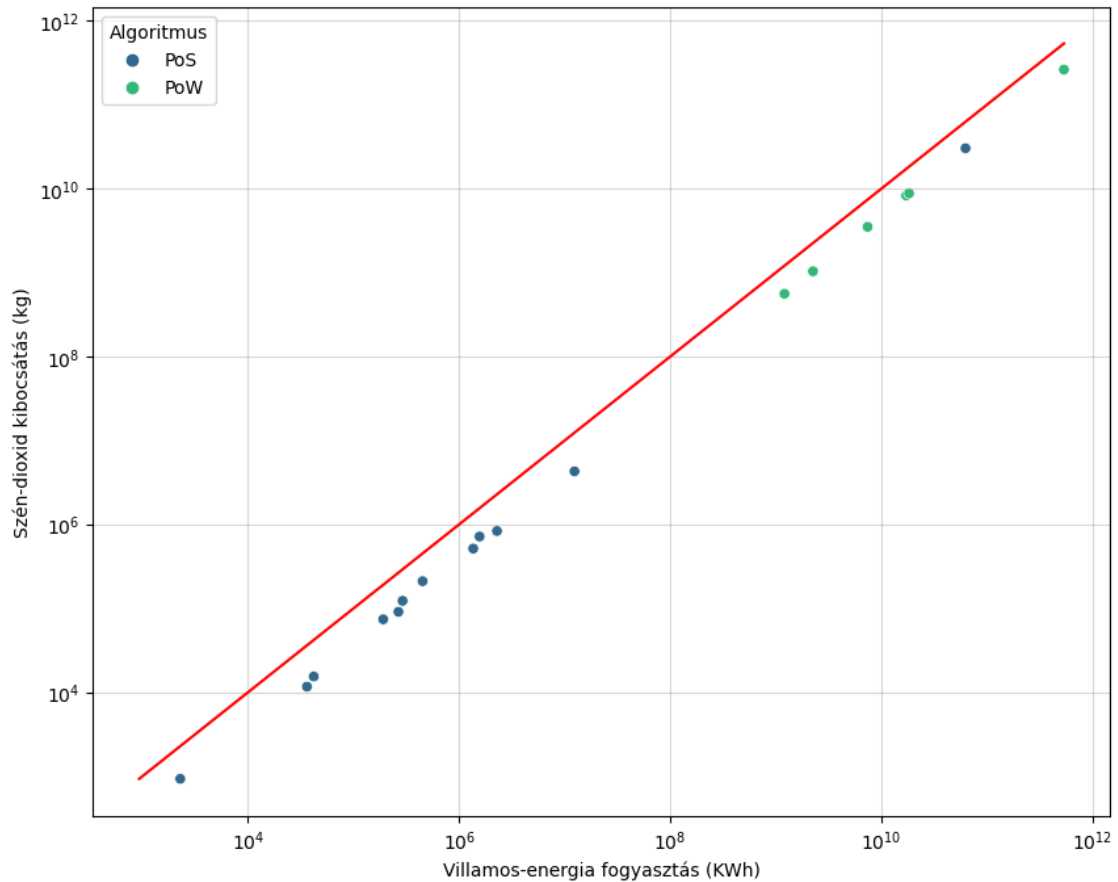
Az Ethereum kriptovaluta CO₂ kibocsátásának drasztikus csökkenését az algoritmusváltás okozta. Az Ethereum-hálózat 2022. szeptember végén tért át Proof of Stake eljárásra, amit a 7.1. fejezetben részletesebben ismertetek.



6.8. ábra Kriptovalutánkénti szén-dioxid kibocsátás illusztrálása

A kriptovaluták villamos-energiafogyasztása és szén-dioxid kibocsátása közötti összefüggés vizsgálatához a változók összefüggését megpróbáltam valamilyen modellel leírni, ezért készítettem egy szórásdiagrammot, amely a két változó közötti kapcsolatot pontok formájában jeleníti meg. A lineáris piros vonal segít az adatok vizuális elemzésében és az adatpontok elhelyezkedésének értelmezésében az ábra kontextusában. Ezt mutatja a 6.9. ábra.

A pontok között lineáris kapcsolat van, az adatok szorosan kapcsolódnak egymáshoz. A két változó együtt mozog, hogyha az egyik nő, a másik is nő, és ha az egyik csökken, akkor a másik is csökken.



6.9. ábra Kriptovaluták villamos-energiafogyasztása és szén-dioxid kibocsátása közötti összefüggés

6.3 Prediktív idősor alapú elemzés a jövőbeli környezetre vonatkozó adatok becslésére

Az idősorok analitikus vizsgálata során rendszerint valószínűségi módszereket alkalmaznak a természeti-, gazdasági-, társadalmi- vagy egyéb folyamatok mögöttes elveinek feltárására. Az empirikus idősoradatok elemzése mellett a valószínűségszámítást az idősorok, mint sztochasztikus folyamatok vizsgálatára is használják, amelyben az időben változó valószínűségi változók empirikus adatai kerülnek tanulmányozásra. Az idősor elemei magukban foglalják az alapirányzatot vagy trendet, a periodikus ingadozást, a ciklust és a véletlenszerű ingadozást, amelyek együttesen járulnak hozzá az

idősor dinamikájához, valamint fontosak az idősorok statisztikai értelmezésében, elemzésében.

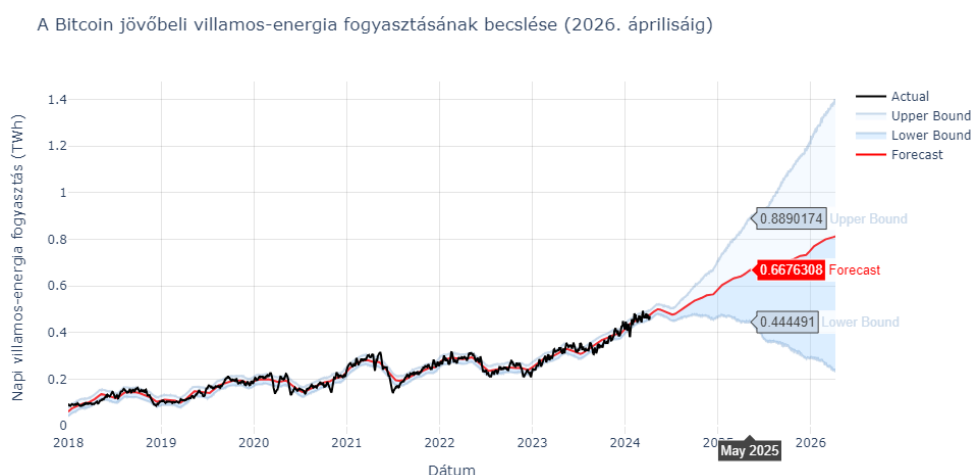
- **Trend**, vagy más néven alapirányzat: egy idősor tartós mintázatára utal, amelyet a gazdasági vagy társadalmi jelenségek tartós hatásai befolyásolnak. Idővel a kriptovaluták általános elterjedése és népszerűsége az energiafogyasztás és a szén-dioxid kibocsátás növekedéséhez vezethet. Ebben olyan tényezők is szerepet játszhatnak, mint a technológiai fejlődések, az energiahordozók árainak ingadozása és a környezettudatosság nagyobb hangsúlyozása.
- **Periodikus ingadozások**: Egy idősor rendszeres ingadozásai, mint például az évszakok változásából eredő szezonális hatások. Az évszakok és az időjárás változása hatással lehet a felhasznált villamos energia mennyiségére és a szén-dioxid -kibocsátásra. A hideg hónapok például magasabb fűtési, míg a forró nyári időszak magasabb hűtési energiafogyasztást eredményezhetnek. Ebbe a kategóriába sorolnám még a 2.3.4 fejezetben említett „Bitcoin felezés”-t is, amely egy bizonyos időközönként – általában körülbelül 4 év – bekövetkező esemény.
- **Ciklus**: az idősor adatokban egy hosszabb és kevésbé kiszámítható ingadozásra utal, amelynek azonosításához általában hosszabb időre van szükség. A kriptovalutákat befolyásolhatják a hosszabb távú gazdasági vagy technológiai ciklusok, amelyek hatással lehetnek a digitális valuták energiaköltségére és a kibocsátásukra. Ilyen változások lehetnek például a technológiai innovációk, a kriptovaluta-piac spekulációja vagy globális gazdasági átalakulások.
- **Véletlenszerű ingadozás**: a véletlen tényezők által okozott szabálytalan és kiszámíthatatlan változásokat jelöli. Természeti katasztrófák, törvények és szabályozások változásai, valamint a geopolitikai események mind előre nem látható hatással lehetnek a kriptopénz piacra, illetve a bányászati tevékenységekre, és ezzel együtt a környezetre is.

Ahogy azt a korábbi grafikonok is alátámasztották (pl. 6.2. ábra), a Bitcoin a legenergiaigényesebb kriptovaluta a piacon, így a fenntarthatóság és a környezetvédelem szempontjából kulcsfontosságú a jövőbeli villamos-energia fogyasztásának és

szénlábnyomának előrejelzése. Az alábbi becslések hozzájárulhatnak az energiahatékony gyakorlatok kidolgozásához és végrehajtásához, valamint a lehetséges negatív következmények felismeréséhez. A predikciókat a Facebook Prophet eljárással készítettem, ami egy olyan idősor előrejelző eszköz, amely alkalmas a trendek és szezonális mintázatok azonosítására és előrejelzésére, amint azt az 5. fejezetben is már említettem. Továbbá megfelelő olyan adathalmazok elemzéséhez, amelyek időbeli mintákat mutatnak, mint például a Bitcoin áramfogyasztása és szén-dioxid kibocsátása.

Az alábbi 6.10. és 6.11. grafikonok a teljes Bitcoin-hálózat napi villamos-energiafogyasztásának előrejelzéseit mutatják terawattórában megadva. Az ábrákon a tényleges villamos-energia adatok fekete vonalként, az előrejelzett értékek piros vonalként, az előrejelzési hibaintervallumok pedig árnyékolt kék területként jelennek meg. A 6.10. ábra 2026 áprilisáig, míg a 6.11. ábra 2024. végéig tartalmaz becslést. A modell a becsléshez mindkét esetben a 2018. január 1. és 2024. március 19. közötti időszak idősoradatait használta.

A grafikonokon megjelenő konfidencia intervallum azt mutatja meg, hogy a modell szerint mi az ésszerű felső és alsó hibahatára a jövőre vonatkozó villamos-energia előrejelzésnek. Látható, hogy minél távolabbi időpontra szeretnénk predikciót készíteni, annál szélesebb ez az intervallum. Tulajdonképpen ez egy előre jelzett tartományt jelent, amelyen belül az értékek várhatóan eshetnek.



6.10. ábra Villamos-energia fogyasztás predikció 2026-ig

A Bitcoin jövőbeli villamos-energia fogyasztásának becslése (2024. októberéig)



6.11. ábra Villamos-energia fogyasztás predikció 2024-ig

A 6.12. ábra által szemléltetett kódot használtam az előrejelzések készítéséhez.

```

import pandas as pd
from prophet import Prophet
import plotly.graph_objs as go

# JSON adatok betöltése egy DataFrame-be
with open("btc_consumption2.json", "r") as f:
    data = json.load(f)

entries = data["entries"]

# DataFrame létrehozása az entry-kből
df = pd.DataFrame(entries)

# Szűrés az entry-kre, hogy csak a 2018-as évektől kezdve jelenjenek meg
df['date'] = pd.to_datetime(df['date']) # Konvertáljuk a 'date' oszlopot datetime formátumra
df = df[df['date'].dt.year >= 2018]

# Oszlopok átnevezése a Prophet követelményeinek megfelelően
df = df.rename(columns={"date": "ds", "consumption_24h": "y"})

# 'ds' oszlop konvertálása datetime formátumra
df['ds'] = pd.to_datetime(df['ds'])

# Prophet modell létrehozása
model = Prophet()

# Adatok modellhez illesztése
model.fit(df)

# DataFrame létrehozása jövőbeli időbélikegységekkel csak 2024. októberéig
future = model.make_future_dataframe(periods=200)

# Predikció készítése
forecast = model.predict(future)

# Plotly által támogatott DataFrame létrehozása
plotly_df = pd.DataFrame({'ds': forecast['ds'], 'y': forecast['yhat'], 'yhat_lower': forecast['yhat_lower'], 'yhat_upper': forecast['yhat_upper']})

# Az előrejelzés kirajzolása Plotly-val
fig = go.Figure()

# Az előrejelzés és a hozzá tartozó alsó és felső határ hozzáadása a diagramhoz Plotly-val.
fig.add_trace(go.Scatter(x=plotly_df['ds'], y=plotly_df['y'], mode='lines', name='Forecast', line=dict(color='red')))
fig.add_trace(go.Scatter(x=plotly_df['ds'], y=plotly_df['yhat_lower'], mode='lines', line=dict(color='rgba(0,76,153,0.2)'), fill=True))
fig.add_trace(go.Scatter(x=plotly_df['ds'], y=plotly_df['yhat_upper'], mode='lines', line=dict(color='rgba(0,76,153,0.2)'), fill=True))

# Az aktuális értékek hozzáadása a diagramhoz.
actual_values = df[df['ds'] <= df['ds'].max()]
fig.add_trace(go.Scatter(x=actual_values['ds'], y=actual_values['y'], mode='lines', name='Actual', line=dict(color='black')))

# Diagram testreszabása, cím, tengelyfeliratok és stílus beállításával.
fig.update_layout(title='A Bitcoin jövőbeli villamos-energia fogyasztásának becslése (2024. októberéig)',
                  xaxis_title='Dátum',
                  yaxis_title='Napi villamos-energia fogyasztás (TWh)',
                  hovermode='x',
                  plot_bgcolor='white',
                  xaxis=dict(showgrid=True, gridcolor='rgba(0,0,0,0.1)'),
                  yaxis=dict(showgrid=True, gridcolor='rgba(0,0,0,0.1)'))

# Diagram megjelenítése
fig.show()

```

6.12. ábra Kódpélda predikció készítéséhez

Az első lépés a szükséges könyvtárak beimportálása. A pandas könyvtárat ebben a kódban arra használom, hogy a JSON adatokat beolvassam egy DataFrame-be, majd a Prophet modell számára megfelelő formátumúra alakítsam az oszlopneveket és formátumokat. A Prophet könyvtár a jövőbeli predikciókhoz szükséges, a Plotly pedig a grafikus objektumokhoz, amelyeket az interaktív diagramok készítéséhez alkalmazok.

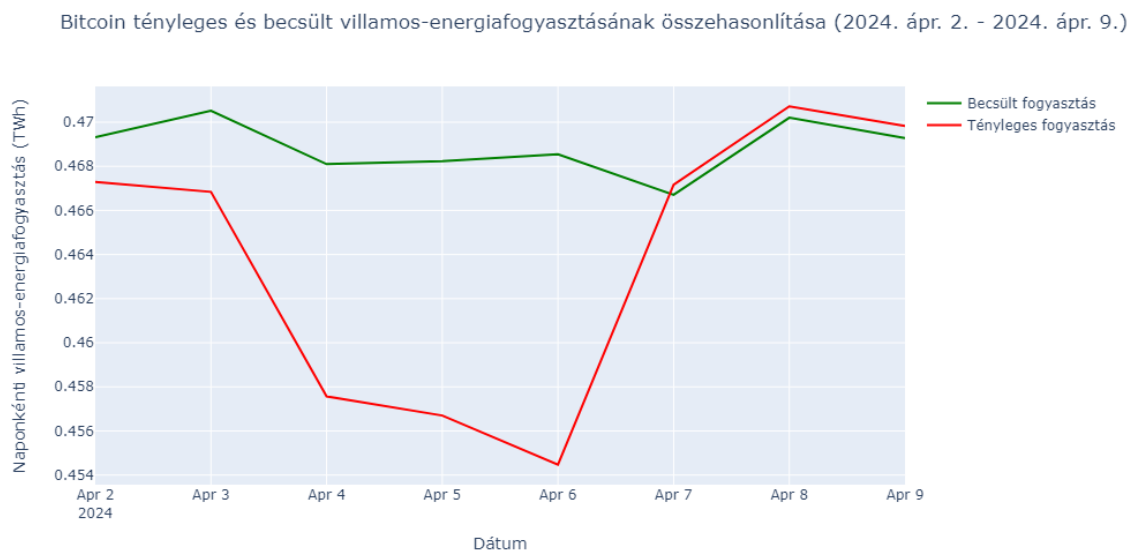
Az adatok beolvasása és DataFrame-be történő feldolgozása után átnevezem az oszlopokat a Prophet követelményeinek megfelelően, vagyis a bemeneti adatokban

szereplő időoszlopokat („date”) ds-nek, a célváltozót („consumption_24”) pedig y-nak. Fontos még, hogy a dátum oszlop „daytime” formátumban legyen.

A következő lépés a Prophet modell létrehozása és az adatok Prophet modellhez való illesztése. Erre a `model = Prophet()` és a `model.fit(df)` kódsorok szolgálnak.

A `future = model.make_future_dataframe(periods=200)` kóddal létrehozom a jövőbeli időbélyegeket tartalmazó DataFrame-t a predikcióhoz, 2024 októberéig, majd a `forecast = model.predict(future)` kóddal elkészítem az előrejelzést. Ezután a Plotly által támogatott DataFrame létrehozása következik, illetve a predikció kirajzoltatása és a hozzá tartozó alsó és felső határ hozzáadása a diagramhoz Plotly-val. Végül testre szabom a diagramot címmel, tengelyfeliratokkal, stílussal, és egy interaktív felületen megjelenítem az elkészült grafikont.

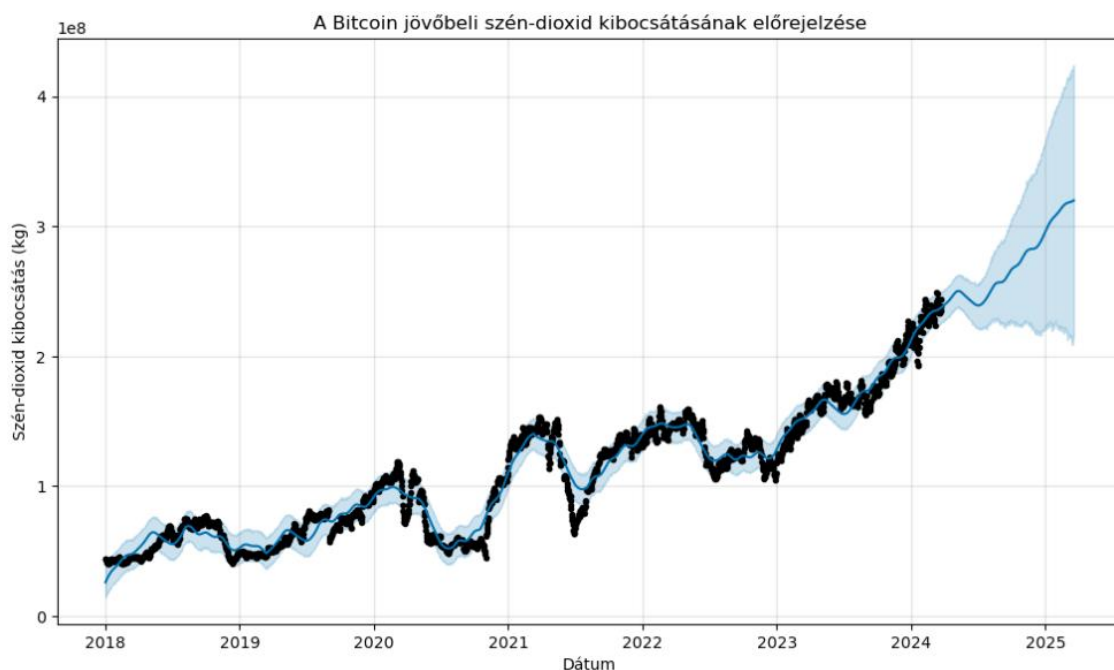
A Facebook Prophet eljárás használata azért is előnyös, mert megkönnyíti a tényleges érték és a predikciós érték összehasonlítását. A 6.13. ábra a Bitcoin-hálózat tényleges és becsült napi villamos-energia fogyasztásának összehasonlítását mutatja a 2024. április 2. és 2024. április 9. közötti időszakban.



6.13. ábra A Bitcoin tényleges és becsült villamos-energia fogyasztásának összehasonlítása

Áttérve a Bitcoin szénlábnymára, a következő grafikonon (6.14. ábra) látható a Bitcoin-hálózat jövőbeli napi szén-dioxid kibocsátása 2025-ig kilogrammban megadva.

Az ábrán a tényleges szén-dioxid kibocsátásra vonatkozó adatok fekete pontokként, az előrejelzett értékek kék vonalként, az előrejelzési hibaintervallumok pedig árnyékolt kék területként jelennek meg.



6.14. ábra Szén-dioxid kibocsátás predikció 2025-ig

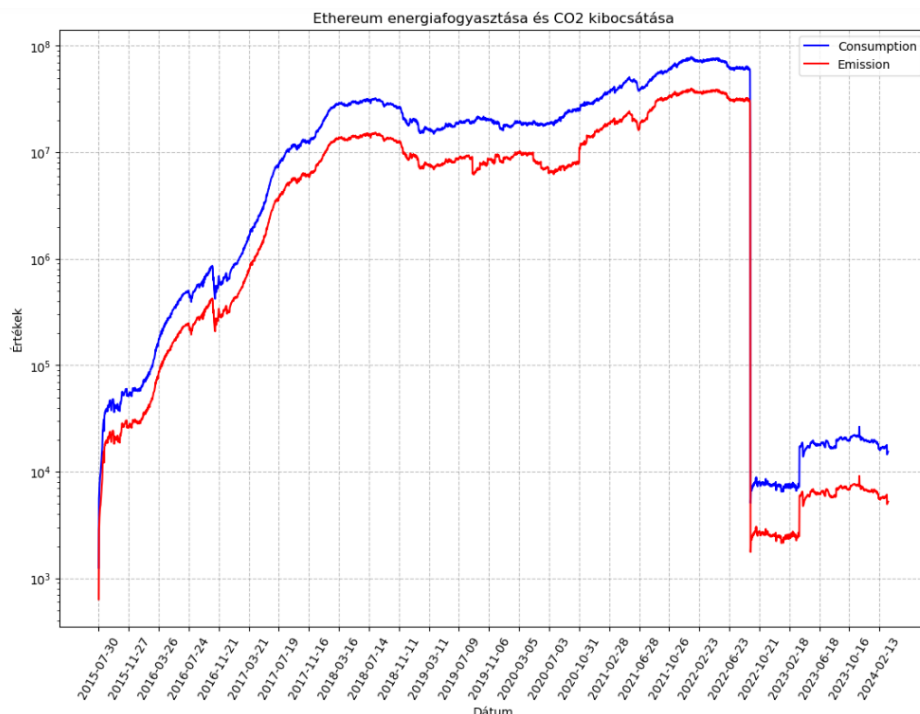
A becslésekből levonható az a következtetés, miszerint mind a Bitcoin-hálózatra vonatkozó napi villamos-energia fogyasztás, mind a napi szén-dioxid kibocsátás növekvő tendenciát mutat. Ez a tendencia jelentősen befolyásolhatja a Bitcoin-bányászat környezettudatosságát, valamint aggályokat vethet fel a hálózat ilyen magas szintű energiafogyasztásának hosszú távú fenntarthatóságával kapcsolatban is.

7. FENNTARTHATÓSÁGI MEGOLDÁSOK ÉS JAVASLATOK

7.1 A környezetre kevésbé káros bányászati technológia alkalmazása

A digitalizáció növekvő folyamatával a kriptovaluták a 21. századra már egy önálló pénzügyi rendszert hoztak létre. Alapvető fontosságú azonban, hogy foglalkozzunk e a technológia környezeti hatásaival, különösen az energiafogyasztás és a szén-dioxid kibocsátás tekintetében. A kriptopénzek fenntarthatóságának, skálázhatóságának és biztonságának garantálása érdekében az Ethereum hálózat 2022-es áttérése a Proof of Work mechanizmusról a Proof of Stake módszerre minden tekintetben hatékonyabb, mivel ez az eljárás biztonságosabb, kevésbé energiaigényes és alkalmasabb az új skálázhatósági módszerek megvalósítására. [13] [28]

Hogyha megnézzük az Ethereum energiafogyasztását és szén-dioxid emisszióját ábrázoló diagramot, láthatjuk, hogy mekkora csökkenés történt a PoS mechanizmusra történő átváltást követően. Ezzel az Ethereum bebizonyította, hogy PoS hatékonyan kezeli ezt a problémát és környezetileg fenntarthatóbb.



7.1. ábra Ethereum kriptovaluta villamos-energiafogyasztása és szén-dioxid emissziója

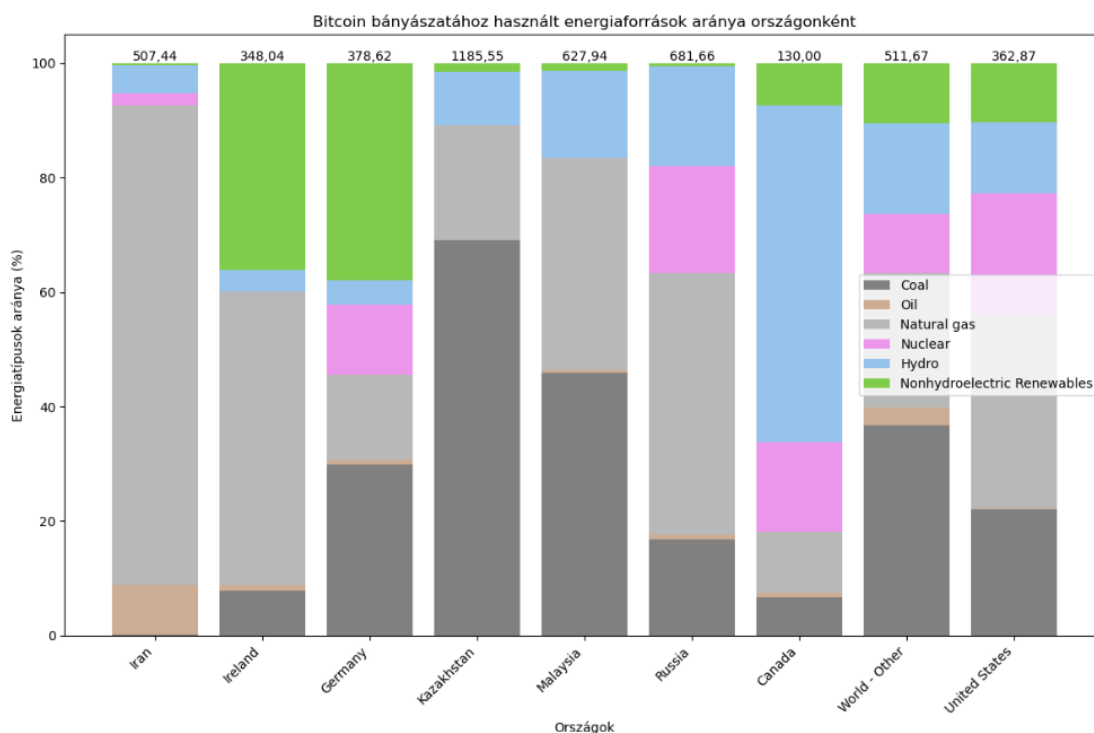
Megállapítható, hogy mekkora mértékű csökkenés történt mind a villamos-energiafogyasztás, mind a szén-dioxid kibocsátás tekintetében. Az idősoradatok alapján az Ethereum-hálózat villamos energia fogyasztása a Proof of Work mechanizmus használatával átlagosan 23985756.1578 KWh volt naponta, miután áttért a Proof of Stake eljárásra ez az érték napi 14762.8592 KWh lett, ami azt jelenti, hogy a hálózat átlagos energiafogyasztása 99.938%-kal csökkent.

Szintén hasonló mértékű csökkentés történt, hogyha az Ethereum hálózat szén-lábnyomát vizsgáljuk. 2022. szeptember 15.-ig az átlagos napi szén-dioxid kibocsátás 11606694.6032 kg (11606.69 tonna) volt, míg ez az érték 5089.9075 kg-ra (5.09 tonna) változott, ami 99,96 %-os csökkenést jelent.

7.2 Megújuló energiaforrások szerepe a kriptovaluta bányászatban

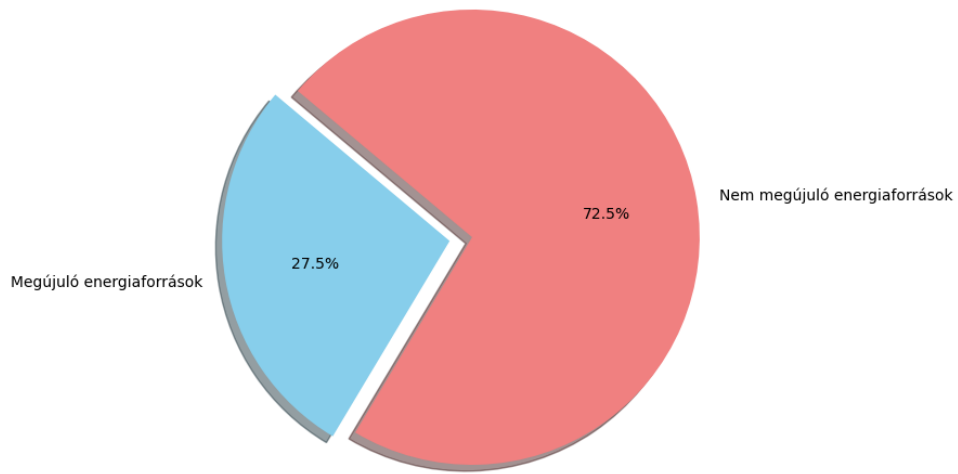
A megújuló energiaforrásokra való támaszkodás jelentősen javíthatja a kriptovaluta bányászat fenntarthatóságát és minimalizálhatja környezeti hatásait. A nap- és szélenergia például tiszta és szinte korlátlan energiatermelést kínál, ezáltal csökkentve a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget és mérsékelve az ökológiai károkat. Mindazonáltal fontos felismerni, hogy a megújuló energiaforrások alkalmazásának is lehetnek korlátjai. A nap- és szélenergia -termelés az időjárási viszonyoktól függ, bizonyos földrajzi helyeken kihívást jelenthet.

A 7.2. ábra mutatja az egyes országok által használt energiaforrások arányát a Bitcoin-bányászatához. Az energiaforrásoknál megjelenik a szén, a kőolaj, a földgáz, az atomenergia, a vízenergia, valamint egyéb nem vízenergia alapú megújuló energiák, mint például a napenergia, a szélenergia, a geotermikus energia vagy a biomassza. Az energiaforrásokra vonatkozó bővebb leírás a 4. fejezetben található.



7.2. ábra Bitcoin bányászathoz használt energiaforrások aránya országonként

A kibocsátási tényező, vagyis az emission factor számszerűsíti az országok által használt energiaforrásokból származó szén-dioxid és más üvegházhatású gázok kibocsátását. Hogyha példának megnézzük Irán kibocsátási faktorát (507,44 g CO₂/kWh), akkor ebből az elég magas értékből arra lehet következtetni, hogy nagymértékben támaszkodik fosszilis tüzelőanyagokra, mint szénre és kőolajra, ami megnövekedett kibocsátáshoz vezet. Az Irán esetében vett 507,44 g CO₂/kWh kibocsátási faktor azt jelenti, hogy egy Irán által termelt kilowattóra energia közel 507,44 gramm szén-dioxid kibocsátásához vezet. Ezzel szemben viszont Kanada kibocsátási faktora csupán 130 g CO₂/kWh, amiből azt a konklúziót lehet levonni, hogy energiaforrásaik jelentős részét megújuló energiaforrások teszik ki. A szénre támaszkodó Kazahsztánnak óriási szénlábnyoma van. Látható, hogy mekkora hatással van az energiaforrás típusa a kibocsátási faktorra. Minél nagyobb arányban használ egy ország megújuló energiaforrást, annál környezettudatosabb, annál inkább csökkentheti az üvegházhatású gázok kibocsátását és hozzájárulhat a globális felmelegedés elleni küzdelemhez. A 7.3. ábra mutatja a Bitcoin bányászathoz használt megújuló, illetve nem megújuló energiaforrások arányát.



7.3. ábra A Bitcoin bányászatához használt megújuló és nem megújuló energiaforrások aránya

A Bitcoin kriptovaluta bányászatához használt energiaforrások arányával kapcsolatos adatokat szintén a Crypto Carbon Ratings Institue (<https://indices.carbon-ratings.com/>) weboldaláról gyűjtöttem, és 2021. augusztusára vonatkoznak.

8. GLOBÁLIS BÁNYÁSZATI TÉRKÉP LÉTREHOZÁSA

8.1 Kriptovaluta bányászathelyszínek elhelyezkedése a világban



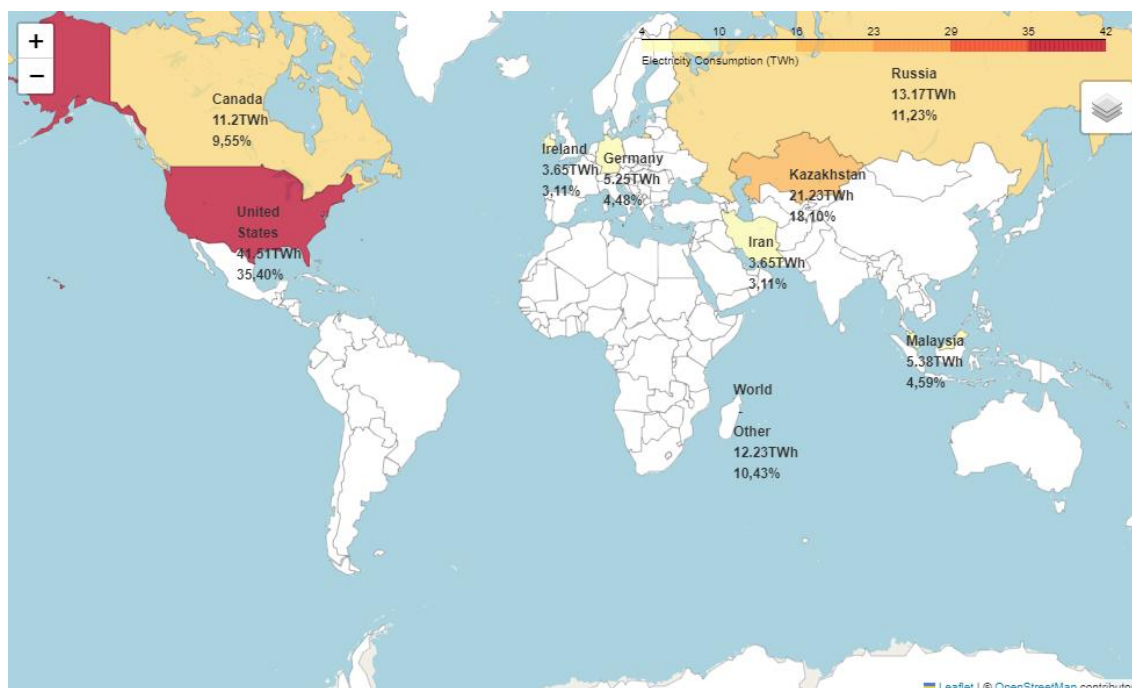
8.1. ábra Kriptovaluta bányászati helyszínek elhelyezkedése

Ahogy az 8.1. ábra mutatja, a 2019. 09. 01. és 2021. 08. 01. közötti időszakban a Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) jelentése szerint a kriptovaluta bányászathoz szükséges globális számítási teljesítmény túlnyomó része Kínában volt megtalálható, amely mérték a világ nagyjából 61,5%-át tette ki. [13]

Meg kell azonban jegyezni, hogy ezeket a részesedéseket a globális hash-arány 44%-ának megfigyeléséből számították ki.

8.2 Globális Bitcoin villamos-energia fogyasztási térkép

A 8.2. ábra a Bitcoin-bányászathoz kapcsolódó villamos-energia fogyasztásának globális eloszlását mutatja országokra lebontva 2021-től kezdődően. Az ábrán megjelenik az egyes országok által felhasznált energia mennyisége terawattórában (TWh) megadva, valamint az adott ország fogyasztásának aránya a teljes globális energiafogyasztáshoz viszonyítva.



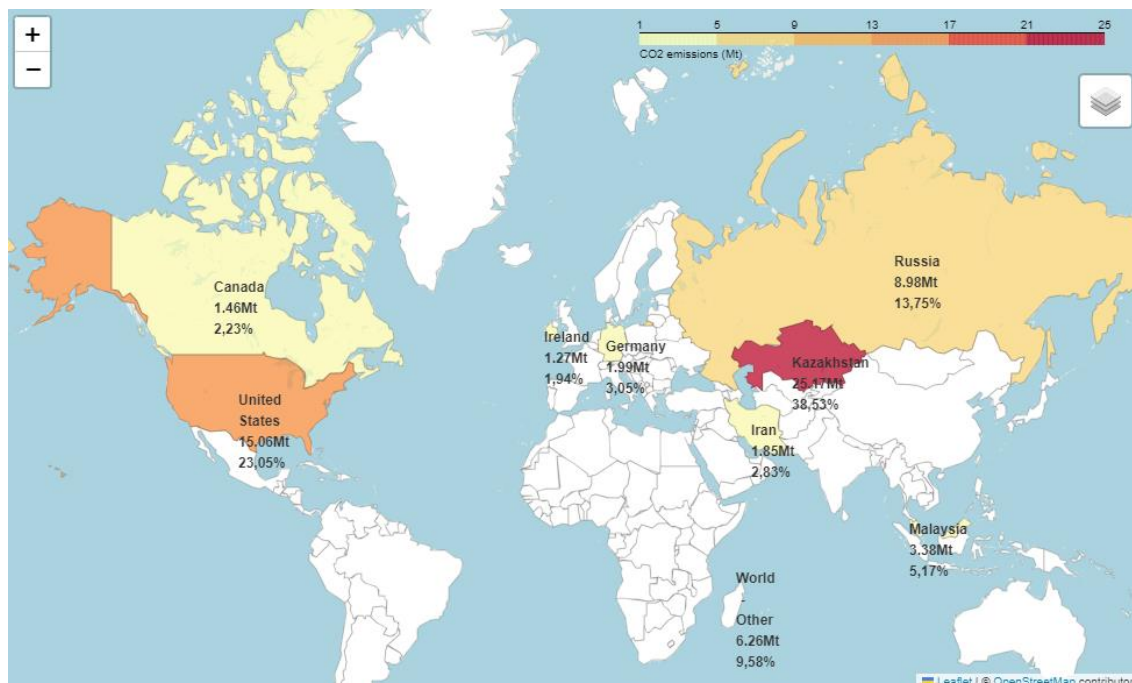
8.2. ábra Bitcoin-hálózat villamos energia fogyasztási térképe 2021 után

Ekkorra Kína már betiltotta a Bitcoin kriptopénz bányászatát a hatalmas energiaigényre hivatkozva. Emiatt a kínai telephellyel rendelkező bányászok jelentős része a közeli Kazahsztánba, illetve távolabbra, az Egyesült Államokba vándorolt. Ez a megállapítás a térképről is jól leolvasható, hogy a legnagyobb energiafogyasztó az Egyesült Államok és Kazahsztán lett, ugyanis az USA az egész világra kiterjedő Bitcoin bányászattal járó energiaigény mintegy 35%-át birtokolja, Kazahsztán pedig majdnem 20%-át. Ezekben az országokban a bányászok több fosszilis tüzelőanyagot használtak, Kazahsztánban elsősorban szenet, Amerikában pedig földgázt, ahogy azt a 7.2. ábra is illusztrálja. A szén és a földgáz használata a kriptovaluták bányászatához egyaránt hozzájárul az éghajlatváltozáshoz, mivel a fosszilis tüzelőanyagok elégetése hatalmas mennyiségű, a bolygót felmelegítő szén-dioxidot enged a légkörbe.

8.3 Globális Bitcoin széndioxid-kibocsátási térkép

A következő, 8.3. ábra a Bitcoin-hálózat szén-dioxid kibocsátásának eloszlását mutatja be 2021 augusztusától. Ez a felmérés szintén a kínai bányászati szigorítások után történt, ezért nem szerepel Kína a kibocsátási térképen. Ahhoz, hogy országos és állami szinten

kiszámíthassuk a szén-dioxid kibocsátást, a megfelelő kibocsátási tényezőket meg kell szorozni a villamos-energia fogyasztással.



8.3. ábra Bitcoin-hálózat szén-dioxid kibocsátási térképe

Az adatok alapján az egyes országok szén-dioxid kibocsátása és energiaforrás eloszlása (7.2. ábra) között összefüggés mutatható ki. Kazahsztán rendelkezik a legnagyobb mértékű szén-dioxid kibocsátással, a globális érték majdnem 40%-ával. Emissziójának jelentős részét a fosszilis tüzelőanyagokra, azon belül is szénre való támaszkodás okozza. A második legjelentősebb kibocsátással az Amerikai Egyesült államok rendelkezik, amit főként a szén, a kőolaj és az atomenergia használata okoz.

Kanada és Németország energiatermelésben a szén, a kőolaj, a földgáz vagy a nukleáris energia kevésbé domináns szerepet játszanak, míg más energiaforrások, mint például a vízenergia és egyéb megújuló energiaforrások használata viszonylag alacsony szén-dioxid kibocsátást eredményez.

Az alábbi kódrészlet szolgált a térképek elkészítéséhez:

```

# Adatok előkészítése az ábrázoláshoz
data['CO2 emissions (Mt)'] = data['CO2 emissions (Mt)'].str.replace(',', '.').astype(float)

# GeoJSON fájl betöltése
geo_json_data = 'countries.geo.json'

# Térkép létrehozása a világ körül
choropleth_map = folium.Map(location=[0, 0], zoom_start=2)

# Choropleth réteg hozzáadása
folium.Choropleth(
    geo_data=geo_json_data,
    name='choropleth',
    data=data,
    columns=['Country', 'CO2 emissions (Mt)'],
    key_on='feature.properties.name',
    fill_color='YlOrRd', # Színskála
    fill_opacity=0.7,
    line_opacity=0.2,
    nan_fill_color='white', # Fehér szín megadása a nem szereplő országok esetében
    nan_fill_opacity=1,
    legend_name='CO2 emissions (Mt)'
).add_to(choropleth_map)

# Országnevek, CO2-kibocsátás és százalékos eloszlások hozzáadása állandó címkékként
for _, row in data.iterrows():
    country = row['Country']
    emission = row['CO2 emissions (Mt)']
    percents = row['Percents']
    coordinates = country_coordinates.get(country)
    if coordinates:
        html = f'<div style="font-size: 12px; text-align: center;"><b>{country}</b><br><b>{emission}Mt</b><br><b>{percents}%</div>'
        folium.Marker(
            location=coordinates,
            icon=folium.DivIcon(html=html),
        ).add_to(choropleth_map)

# LayerControl hozzáadása a térképhez
folium.LayerControl().add_to(choropleth_map)

```

8.4. ábra Kódrészlet térképkészítéshez

Az első lépés a Folium könyvtár importálása a kódba, amely segítségével interaktív térképeket hozhatunk létre Pythonban. A beépített könyvtárcsomagokról a 5.1.2. fejezetben részletesebben szó volt. Ezután az adatokat előkészítem az ábrázoláshoz, így például a „CO2 emissions (Mt)” oszlopainak értékét lebegőpontos számokká alakítottam, valamint a tizedesjegyek ábrázolását is módosítottam.

A „countries.geo.json” fájl tartalmazza az országok területi határait és egyéb földrajzi jellemzőit, koordinátákat. A térkép generálásakor ez a fájl szolgál a földrajzi adatok megjelenítésének alapjául. A következő kódsor szolgál a térkép létrehozásáért.

A „folium.Choropleth(...)” sorral hozzáadtam egy Choropleth réteget a térképhez a Folium könyvtár segítségével, amely színezett rétegek formájában ábrázolja az adatokat. A következő kód formázott címkékkal ellátott HTML jelölést generál a megadott helyek megjelenítéséhez. Minden címke tartalmazza az ország nevét, szén-dioxid kibocsátását megatonnában (Mt) megadva, valamint a megfelelő százalékos arányt a globális szinthez mérve.

A `folium.LayerControl()` paranccsal hozzáadtam egy rétegvezérlőt a térképhez, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy ki- és bekapcsolják az egyes rétegeket.

Végül az utolsó lépés a térkép megjelenítése.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakdolgozatom középpontjában a kriptovaluta-bányászat környezetre gyakorolt következményeinek elemzése áll, fenntartható megoldásokat keresve a környezeti terhelések csökkentésére. Tanulmányoztam a bányászattal kapcsolatos villamosenergia-felhasználást és szén-dioxid kibocsátást, különös figyelmet fordítva az energiaforrások eloszlására a különböző országokban, valamint a bányászat során felhasznált energiaforrások típusaira. Kutatásom emellett elmélyül a kriptopénz bányászat elméleti alapjaiban és a legfontosabb technikai mérőszámokban, majd összehasonlító értékelést végez a két legalapvetőbb konszenzusmechanizmus, a Proof of Work (PoW) és Proof of Stake (PoS) tranzakció érvényesítésre szolgáló eljárások környezettudatosságáról és fenntarthatósági szempontjairól.

A dolgozatban említett prediktív idősor alapú elemzések és a globális térképek létrehozása lényeges eszközök a téma vizsgálatában. Az idősorelemzés során múltbeli adatok megfigyelésével készítettem előrejelzéseket jövőbeli trendekre, esetleges változások becslésére. Ez a megközelítés segít a bányászathoz kapcsolódó jövőbeli energiafogyasztás és szén-dioxid kibocsátás predikciójában, lehetővé téve ezáltal a lehetséges környezeti hatások kezelésére irányuló intézkedéseket. A globális bányászati térképek segítségével pedig vizualizálhatjuk a bányászati tevékenységek eloszlását a világban. Ezek a térképek hozzájárulnak ahhoz, hogy áttekintsük a kriptovaluta bányászat globális hatásait és azok regionális különbségeit.

Az eredmények alapján javaslatokat tettem a kriptovaluta-bányászat fenntarthatóságának javítására, beleértve a környezettudatosabb bányászati technológiák alkalmazását és a megújuló energiaforrások szerepének növelését. A kutatásomban rendszerint kiemelésre kerül a fenntarthatóság fontossága, és rámutat a környezetvédelem szempontjából kritikus kérdésekre.

Célom volt bebizonyítani, hogy a megfelelő konszenzusmechanizmus alkalmazásával a kriptovaluta-bányászat káros környezeti hatásai jelentősen csökkenthetők. Véleményem szerint ezt sikerült igazolnom statisztikai elemzések és diagramok segítségével.

10.SUMMARY

The focus of my thesis is to analyse the environmental consequences of cryptocurrency mining, looking for sustainable solutions to reduce the environmental impacts. I have studied the electricity consumption and carbon emissions associated with mining, paying particular attention to the distribution of energy sources in different countries and the types of energy sources used in mining. My research also delves into the theoretical underpinnings of cryptocurrency mining and key technical metrics, followed by a comparative assessment of the environmental and sustainability aspects of the two most basic consensus mechanisms, Proof of Work (PoW) and Proof of Stake (PoS) transaction validation procedures.

The predictive time-series-based analyses and the creation of global maps mentioned in this thesis are essential tools for analysing this topic. In time series forecasting, I have used past data to make predictions of future trends and possible changes. This approach helps to predict future energy consumption and carbon emissions associated with mining, thus enabling measures to address potential environmental impacts. Global mining maps can also help visualise the distribution of mining activities around the world. These maps help to provide an overview of the world-wide impacts of cryptocurrency mining and their regional differences.

Based on the results, I have made recommendations to improve the sustainability of cryptocurrency mining, including the use of more environmentally friendly mining technologies and the role of renewable energy sources. My research usually emphasises the importance of sustainability and highlights critical issues from an environmental perspective.

My ambition was to demonstrate that the harmful environmental impacts of cryptocurrency mining can be significantly reduced by applying the right consensus mechanisms. I believe I have been able to prove this through statistical analysis and graphical evidence.

11.IRODALOMJEGYZÉK

- [1] S. A. Yetmar, „What Is Cryptocurrency?,” Journal of Business Theory and Practice, pp. 35-41, 2023.
- [2] Z. Árpási, „MI AZ A BITCOIN ÉS HOGYAN MŰKÖDIK? BTC KEZDŐKNEK,” 31 10 2021. [Online]. Available: <https://cryptofalka.hu/mi-az-a-bitcoin-es-hogyan-mukodik-kezdoknek/>. [Hozzáférés dátuma: 10 05 2023].
- [3] G. Uyeno, „Cryptocurrency: Blockchains, mining and environmental impact,” 02 03 2022. [Online]. Available: https://www.livescience.com/65089-cryptocurrency-blockchain.html?fbclid=IwAR3DEAERBFhjYhWkNaYKV6XG4UPeR4ZKZcdAPLexRa0wozENj5_YDjfxZIg. [Hozzáférés dátuma: 11 05 2023].
- [4] Coinbase, „What is cryptocurrency?,” [Online]. Available: <https://www.coinbase.com/learn/crypto-basics/what-is-cryptocurrency>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [5] A. Hayes, „Blockchain Facts: What Is It, How It Works, and How It Can Be Used?,” 15 12 2023. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [6] L. Ying-Chang, „Blockchain for Dynamic Spectrum Management,” 01 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/337306138_Blockchain_for_Dynamic_Spectrum_Management. [Hozzáférés dátuma: 21 09 2023].

- [7] J. Wade, „Hash Rate: How It Works and How to Measure,” 06 12 2023. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/hash-rate-6746261>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [8] Cryptofalka, „Mi a Bitcoin hashrate és milyen fontos funkciója van?,” 22 05 2023. [Online]. Available: <https://cryptofalka.hu/bitcoin/mi-a-bitcoin-hashrate-milyen-funkcioja-van>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [9] The Investopedia Team, „What Is Cryptocurrency Difficulty? Definition and Bitcoin Example,” 26 06 2021. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/d/difficulty-cryptocurrencies.asp>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [10] The Investopedia Team, „Block Reward: Definition, How They Provide Incentive, and Future,” 29 03 2024. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/block-reward.asp>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [11] L. Conway, „What Is Bitcoin Halving? Definition, How It Works, Why It Matters,” 06 03 2024. [Online]. Available: <https://investopedia.com/bitcoin-halving-4843769>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [12] The Investopedia Team, „What Is Block Time? What It Measures, Verification, and Example,” 29 11 2023. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/block-time-cryptocurrency.asp>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [13] S. Mandal, „Blockchain Technology and its effect on Environment: A Comparative Study between Proof-Of-Work and Proof-Of- Stake,” 03 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/369557953_Blockchain_Technology_a

nd_its_effect_on_Environment_A_Comparative_Study_between_Proof-Of-Work_and_Proof-Of-_Stake. [Hozzáférés dátuma: 10 05 2023].

- [14] E. Kojola, J. Archer és P. Wellner, „Investin in Bitcoin's Climate Pollution,” 07 2023. [Online]. Available: <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2023/07/Bitcoin-Final.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 03 2024].
- [15] National Geographic Society, „Fossil Fuels,” National Geographic, 19 10 2023. [Online]. Available: <https://education.nationalgeographic.org/resource/fossil-fuels/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [16] C. Mora, R. L. Rollins, K. Taladay, M. B. Kantar, M. K. Chock, M. Shimada és E. C. Franklin, „Bitcoin emissions alone could push globalwarming above 2°C,” 10 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/328581842_Bitcoin_emissions_alone_could_push_global_warming_above_2C. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [17] C. Nunez, „Renewable Energy Explained,” National Geographic, 22 01 2024. [Online]. Available: <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [18] A. Chia, „Anaconda vs Python: Exploring Their Key Differences,” 01 2024. [Online]. Available: <https://www.datacamp.com/blog/anaconda-vs-python-key-differences>. [Hozzáférés dátuma: 09 04 2024].
- [19] NumFOCUS, „About pandas,” [Online]. Available: <https://pandas.pydata.org/about/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [20] P. Tanniru, „Basic of Numpy, Pandas , Matplotlib, Seaborn for Data Science,” 2021. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/discussions/getting-started/251992>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].

- [21] NumPy team, „NumPy,” [Online]. Available: <https://numpy.org/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [22] NumPy Developers, „What is NumPy?,” [Online]. Available: <https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html>. [Hozzáférés dátuma: 04 04 2024].
- [23] The Matplotlib development team, „Matplotlib: Visualization with Python,” [Online]. Available: <https://matplotlib.org/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [24] M. Waskom, „seaborn: statistical data visualization,” [Online]. Available: <https://seaborn.pydata.org/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [25] The Facebook Prophet team, „PROPHET Forecasting at scale,” [Online]. Available: <https://facebook.github.io/prophet/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [26] R. Story, „Folium,” [Online]. Available: <https://python-visualization.github.io/folium/latest/>. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [27] CCRI Team, „CCRI Crypto Sustainability Metrics,” [Online]. Available: <https://indices.carbon-ratings.com/>. [Hozzáférés dátuma: 03 2024].
- [28] P. Pettinari, M. Ghorbanzadeh, B. Kashyap, L. Pennella, C. Smith, H. Qi, E. Awosika, R. Pujari, P. Wackerow, Y. Yadav, J. Cook, S. A. Green és M. Havel, „PROOF-OF-STAKE (POS),” 25 01 2024. [Online]. Available: <https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/>. [Hozzáférés dátuma: 09 04 2024].
- [29] NOWPayments, „Bitcoin Address Explained,” 16 12 2020. [Online]. Available: <https://nowpayments.io/blog/bitcoin-address-explained>. [Hozzáférés dátuma: 10 12 2023].

12.ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra Bitcoin pénztárca és kulcs [https://nowpayments.io/blog/bitcoin-address-explained].....	5
2.2. ábra Blokklánc technológia [https://www.researchgate.net/publication/337306138_Blockchain_for_Dynamic_Spectrum_Management]	7
2.3. ábra Hash Rate példa [Saját ábra].....	10
2.4. ábra Difficulty példa [Saját ábra].....	11
2.5. ábra Difficulty példa – elmúlt hónap [Saját ábra].....	12
5.1. ábra A Dash kriptovaluta energiafogyasztására vonatkozó adatok importálása.....	26
5.2. ábra Új kulcs-érték párok hozzáadása a szótárhoz	27
5.3. ábra Konverzió.....	28
5.4. ábra Dash kriptovaluta napi és éves szintű villamos-energiafogyasztása normalizált értékeinek kiírása	28
6.1. ábra Adatfájl tartalma (energiafogyasztás)	29
6.2. ábra Kriptovalutánkénti összesített villamos-energia fogyasztás	31
6.3. ábra Összesített villamos-energia fogyasztás bányászó algoritmus szerint csoportosítva	32
6.4. ábra Kódpélda diagram készítéséhez	32
6.5. ábra Adatfájl tartalma (szén-dioxid kibocsátás)	33
6.6. ábra Kriptovalutánkénti összesített szén-dioxid kibocsátás.....	34
6.7. ábra Összesített szén-dioxid kibocsátás bányászó algoritmus szerint csoportosítva.....	35
6.8. ábra Kriptovalutánkénti szén-dioxid kibocsátás illusztrálása	36
6.9. ábra Kriptovaluták villamos-energiafogyasztása és szén-dioxid kibocsátása közötti összefüggés	37
6.10. ábra Villamos-energia fogyasztás predikció 2026-ig	39
6.11. ábra Villamos-energia fogyasztás predikció 2024-ig	40
6.12. ábra Kódpélda predikció készítéséhez	41
6.13. ábra A Bitcoin tényleges és becsült villamos-energia fogyasztásának összehasonlítása	42

6.14. ábra Szén-dioxid kibocsátás predikció 2025-ig	43
7.1. ábra Ethereum kriptovaluta villamos-energiafogyasztása és szén-dioxid emissziója	44
7.2. ábra Bitcoin bányászathoz használt energiaforrások aránya országonként.....	46
7.3. ábra A Bitcoin bányászatához használt megújuló és nem megújuló energiaforrások aránya.....	47
8.1. ábra Kriptovaluta bányászati helyszínek elhelyezkedése	48
8.2. ábra Bitcoin-hálózat villamos energia fogyasztási térképe 2021 után.....	49
8.3. ábra Bitcoin-hálózat szén-dioxid kibocsátási térképe.....	50
8.4. ábra Kódrészlet térképkészítéshez	51