

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ**

**Η επίδραση των
κρυπτονομισμάτων στην
κατανάλωση ενέργειας**

Μπούφι Γιώαν

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πειραιώς
ως μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην
Οικονομική και Επιχειρησιακή Στρατηγική

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2022

UNIVERSITY OF PIRAEUS
DEPARTMENT OF ECONOMICS



**MASTER PROGRAM IN ECONOMIC AND
BUSINESS STRATEGY**

**The impact of Cryptocurrencies on
the
Energy Consumption**

By

Bufi Joan

Master Thesis submitted to the Department of Economics of the University of Piraeus in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts in Economic and Business Strategy

Piraeus, Greece, December 2012

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς, στο τμήμα Οικονομικών Επιστημών και συγκεκριμένα στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Οικονομική και Επιχειρησιακή Στρατηγική. Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη του επιβλέπων καθηγητή, Κου Δρ. Πολέμη Μιχαήλ. Του εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα.

Η επίδραση των κρυπτονομισμάτων στην κατανάλωση ενέργειας

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας του Bitcoin, Ethereum και των αντίστοιχων κερδών των miners τους με σκοπό την ανάλυση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της «εξόρυξης» αυτών των δυο νομισμάτων και τον προσδιορισμό των μεταβλητών που επηρεάζουν την κερδοφορία των «miners». Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό αυτής της σχέσης είναι αυτό της quantile regression

The impact of Cryptocurrencies on the Energy Consumption

Abstract

This thesis focuses on the relationship between the energy consumption of Bitcoin, Ethereum and the respective profits of their miners in order to analyze the environmental impact of the "mining" of these two currencies and to determine the variables that affect the profitability of the "miners". The model used to determine this relationship is that of quantile regression

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	9
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Ευχαριστίες.....	3
Εισαγωγή	12

Κεφάλαιο 1^ο: Κρυπτονομίσματα και το ενεργειακό τους αποτύπωμα.....13

1.1: Blockchain, Bitcoin και κρυπτονομίσματα	16
1.2 Η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως.....	19
1.3 Μηχανισμός συναίνεσης: Αποδεικτικά στοιχεία εργασίας.....	24
1.4 Πλεονασμός σε Λειτουργία και Κυκλοφορία	26
1.5 Εξοπλισμός Μονάδων Εξόρυξης.....	28
1.6 Ενεργειακοί πόροι.....	31
1.7 Λύσεις.....	32
1.8 Εναλλακτικές διαδικασίες συναίνεσης.....	33
1.9 Δίκτυο Pi.....	36
1.10 Τεχνικές Μείωσης Πλεονασμού.....	37
1.11 Επιλογή Εξοπλισμού Μεταλλείων	38

Κεφάλαιο 2^ο: Το Bitcoin και η ενεργειακή του κατανάλωση.42

2.1 Hashrate	45
2.2 Παραδοσιακή ανταλλαγή χρημάτων έναντι κρυπτονομίσματος/ψηφιακού νομίσματος	47
2.3 Η χρήση ενέργειας Bitcoin.....	49
2.4 Στρατηγικές για ενεργειακά αποδοτικές συναλλαγές και εξόρυξη Bitcoin.....	52
2.5 Απόδειξη ελέγχου ταυτότητας (PoA).....	56
2.6 Bitcoin Green (BTC-G).....	56

2.7 Bitcoin Clean (BTC-C).....	57
2.8 Proof-of-Elapsed (PoE) από την Intel	58
2.9 Τρέχουσες τάσεις και μελλοντικά εμπόδια	58
2.10 Κρυπτονομίσματα και εναλλακτικές πηγές Ενέργειας	59
2.11 Αλγοριθμική Αλλαγή.....	60
2.12 Αύξηση των Ηλεκτρονικών Αποβλήτων (e-Waste).....	62

Κεφάλαιο 3^ο: Ενεργειακή κατανάλωση και κρυπτονομίσματα πέρα από το Bitcoin.....62

Κεφάλαιο 4^ο: Το Ethereum και η κατανάλωση ενέργειας.....67

4.1 Βιωσιμότητα:	67
4.2 Επεκτασιμότητα:.....	68
4.3 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε τεραβατώρες.....	70
4.4 Ένα βιώσιμο επίπεδο εφαρμογής	71
4.5 Ενεργειακό αποτύπωμα του Ethereum.....	71
4.6 Αποδείξεις εργασίας για το Ethereum.....	72

Κεφάλαιο 5^ο: Συγκριτική μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης Ethereum έναντι της Αγοραστικής τιμής του..74

5.1 Η κατανάλωση ενέργειας Ethereum.....	76
5.2 Η αρχή της ζήτησης και προσφοράς	78
5.3 Η πρόβλεψη μείωσης της ενέργειας από το Ethereum.....	79

Κεφάλαιο 6^ο: Τα κέρδη των miner's σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση86

Κεφάλαιο 7^ο: Δείγμα και Μεθοδολογία91

7.1 Σκοπός της έρευνας	91
7.2 Επισκόπηση της βιβλιογραφίας.....	92

7.3 Δεδομένα	94
7.3.1 Συλλογή των δεδομένων.....	94
7.3.2 Μεταβλητές συλλογής δεδομένων για το Ethereum	94
7.3.3 Μεταβλητές συλλογής δεδομένων για το Bitcoin	95
7.4 Μεθοδολογία	96
Κεφάλαιο 8^ο : Αποτελέσματα	98
8.1 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα	98
Ethereum	98
Bitcoin:.....	98
8.2 OLS Μοντέλα και έλεγχος προϋποθέσεων.	99
Ethereum	99
Bitcoin	101
8.3 Quantile regression για το Ethereum.....	103
8.4 Quantile regression για το Bitcoin.....	105
Συζήτηση και συμπεράσματα.....	110
Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	113
Βιβλιογραφία	114

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Ανάλυση της δομής του Blockchain.....	19
Πίνακας 2 Κατηγοριοποίηση του Bitcoin και Ethereum ανάμεσα στις χώρες που βασίζεται η ετήσια ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση του Ιουλίου 2021 (23, 26, 27, 28, 29)	20
Πίνακας 3 Κατηγοριοποίηση του Bitcoin και Ethereum ανάμεσα σε χώρες που βασίζονται στο ετήσιο αποτύπωμα Ιουλίου 2021 (23, 26, 27, 30)	21
Πίνακας 4 Ενεργειακή κατανάλωση και αποτύπωμα των Bitcoin, Ethereum και Visa.....	21
Πίνακας 5 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης και αποτυπώματος ανά συναλλαγή για το Bitcoin, Ethereum και Visa	22
Πίνακας 6 Ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές CO2 ανά συναλλαγή για Bitcoin, Ethereum και Visa.....	24
Πίνακας 7 Νεκρό Σημείο για τον αριθμό συναλλαγών Visa ανά Bitcoin Και Ethereum	26
Πίνακας 8 Η διαδικασία εξόρυξης Bitcoin.....	26
Πίνακας 9 Λογαριθμική ανάλυση της ηλεκτρικής ενέργειας εν αντιθέσει με τα hashes	27
Πίνακας 10 Απόδοση των διαφορετικών εργαλείων Εξόρυξης	27
Πίνακας 11 Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin , Stoll et all (2020).....	30
Πίνακας 12 Ενεργειακή κατανάλωση ανά συναλλαγή διαφόρων κρυπτονομισμάτων και οι μηχανισμοί ομοφωνίας	31
Πίνακας 13 Προτεινόμενες συσκευές εξόρυξης για κρυπτονομίσματα με βάση το ASIC.....	33
Πίνακας 14 Ενεργειακή επάρκεια (ενεργειακή κατανάλωση ανά TH) των διαφόρων συσκευών ASIC	36

Πίνακας 15 Μερίδιο εξόρυξης ανά <i>hashrate</i>	39
Πίνακας 16 Μερίδιο Εξόρυξης, ικανότητες ανανεώσιμης ενέργειας και αξιολόγηση <i>metrics</i>	41
Πίνακας 17 Συναλλαγές απτών νομισμάτων εν αντιθέσει με συναλλαγές με <i>bitcoin</i>	49
Πίνακας 18 Ενεργειακή κατανάλωση των πιο δημοφιλών κρυπτονομισμάτων (https://www.moneysupermarket.com).....	53
Πίνακας 19 Υπολογισμοί Ενεργειακής Κατανάλωσης <i>Bitcoin</i> (2017-2020)	63
Πίνακας 20 Ανανεώσιμος Δείκτης για κύριες περιοχές εξόρυξης <i>Bitcoin</i>	68
Πίνακας 21 Δείκτης Ενεργειακής Κατανάλωσης <i>Ethereum</i>	77
Πίνακας 22 Ημερήσιες συναλλαγές <i>Ethereum</i>	78
Πίνακας 23 Αναζητήσεις με λέξεις “ <i>Energy,Consumption,Cryptocurrencies</i> ”.	91
Πίνακας 24 Μεταβλητές <i>Ethereum</i>	95
Πίνακας 25 Μεταβλητές <i>Bitcoin</i>	96
Πίνακας 26 Μέτρα περιγραφικής στατιστικής δείγμα <i>Ethereum</i>	98
Πίνακας 27 Μέτρα περιγραφικής στατιστικής δείγμα <i>Bitcoin</i>	98
Πίνακας 28 <i>OLS Model Ethereum</i>	99
Πίνακας 29 <i>Jasque-Bera Normality Test Ethereum</i>	99
Πίνακας 30 <i>Serial Correlation Test Ethereum</i>	100
Πίνακας 31 <i>Homoskedasticity Test Ethereum</i>	100
Πίνακας 32 <i>OLS Model Bitcoin</i>	101
Πίνακας 33 <i>Jasque-Bera Normality Test Bitcoin</i>	101
Πίνακας 34 <i>Serial Correlation Test Bitcoin</i>	102
Πίνακας 35 <i>Homoskedasticity Test Bitcoin</i>	102

<i>Πίνακας 36 Quantile Regression (Q 0.5) Ethereum.....</i>	<i>103</i>
<i>Πίνακας 37 Quartile Process Estimates Ethereum.....</i>	<i>104</i>
<i>Πίνακας 38 Slope Equality Test Ethereum</i>	<i>105</i>
<i>Πίνακας 39 Symmetric Quantiles Test Ethereum.....</i>	<i>105</i>
<i>Πίνακας 40 Quantile Regression (Q 0.10) Bitcoin</i>	<i>106</i>
<i>Πίνακας 41 Quantile Regression (Q 0.90) Bitcoin</i>	<i>106</i>
<i>Πίνακας 42 Quantile Regression (Q 0.50) Bitcoin</i>	<i>107</i>
<i>Πίνακας 43 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Bitcoin</i>	<i>107</i>
<i>Πίνακας 44 Quantile Process Estimates Bitcoin.....</i>	<i>108</i>
<i>Πίνακας 45 Quantile Equality Test Bitcoin.....</i>	<i>109</i>
<i>Πίνακας 46 Symmetric Quantiles Test Bitcoin</i>	<i>109</i>
<i>Πίνακας 47 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τους Das & Dutta (2018).....</i>	<i>111</i>

Εισαγωγή

Τα διακριτά χαρακτηριστικά του Bitcoin σε σχέση με τα παραδοσιακά νομίσματα αποτέλεσαν έναν κρίσιμο λόγο για την αυξανόμενη απήχηση που ασκεί στους επενδυτές, τις ρυθμιστικές αρχές και τους ακαδημαϊκούς. Παρ' όλα αυτά, σοβαρές ανησυχίες έχουν εκφραστεί προσφάτως από οικονομολόγους σχετικά με την αλματώδη κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία εξόρυξης. Το Bitcoin λειτουργεί με την τεχνολογία blockchain, όπου ο αλγόριθμος proof-of-work (PoW) (ένα είδος κρυπτογραφικού γρίφου) εκτελείται για την επαλήθευση των συναλλαγών και τη δημιουργία νέων Bitcoins. Οι μονάδες επεξεργασίας που εκτελούν τους αλγοριθμικούς υπολογισμούς PoW στηρίζονται σε τεράστιες ενεργειακές ανάγκες. Ωστόσο, η κορύφωση των τιμών Bitcoin σε συνδυασμό με τις προσδοκίες για σταθερές αποδόσεις παρέχουν κίνητρα στους miners για τη διαχείριση των ενεργοβόρων μηχανημάτων. Κατά συνέπεια, η συνολική κατανάλωση ενέργειας από ολόκληρο το δίκτυο Bitcoin έχει κλιμακωθεί σε επικές διαστάσεις. Μέχρι το 2018, οι ετήσιες εκτιμώμενες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας του Bitcoin ανήλθαν πλέον σε 204 τεραβατώρες (TWh), κατανάλωση η οποία είναι συγκρίσιμη με τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ολόκληρων χωρών. Οι στατιστικές τάσεις υποδηλώνουν εμφανώς την έντονη ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για εξόρυξη Bitcoin. Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν πρόκειται να επηρεάσει τους miners, εφόσον είναι σε θέση να παράγουν σημαντικά κέρδη. Όχι μόνο το Bitcoin αλλά και ο τρόπος εξόρυξης των υπόλοιπων κρυπτονομισμάτων έχει τεράστιες ενεργειακές απαιτήσεις. Το δεύτερο μεγαλύτερο σε κεφαλοποίηση κρυπτονόμισμα, το Ethereum, σύμφωνα με το Digiconomist έφτασε σε κατανάλωση ενέργειας τον Ιούλιο του 2022 τις 93 τεραβατώρες (TWh). Σε συνέχεια αυτής της τεράστιας ενεργειακής «σπατάλης», ο ιδρυτής του Ethereum ανακοίνωσε το Ethereum 2.0 το οποία αναμένεται να μειώσει ραγδαία την ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται κατά την εξόρυξη. Μια παρόμοια φιλική προς το περιβάλλον απόφαση είναι αδύνατη για το Bitcoin καθώς το συγκεκριμένο νόμισμα είναι πλήρως αποκεντρωμένο, χωρίς κάποια διοίκηση ή ακόμα και κάποιο δημοσιοποιημένο όνομα αναφορικά με την δημιουργία του.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, και λόγω της παγκόσμιας προσπάθειας για την μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος οποιασδήποτε δραστηριότητας των πολιτών ώστε να

αποφευχθεί η οποιαδήποτε περεταίρω περιβαλλοντική επιβάρυνση, είναι κρίσιμης σημασίας να μελετηθεί το ενεργειακό αποτύπωμα των κρυπτονομισμάτων και πιο συγκεκριμένα του Bitcoin και του Ethereum ως προς την σχέση τους προς τα κέρδη των miners καθώς μια θετική σχέση αυτών των δυο θα μπορούσε να έχει ανεπανόρθωτες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 1^ο: Κρυπτονομίσματα και το ενεργειακό τους αποτύπωμα

Το 2015 Ηγέτες από 176 χώρες υπέγραψαν τη Συμφωνία του Παρισιού, η οποία επιτεύχθηκε κατά την 21η Διάσκεψη των Μερών της UNFCCC (COP 21), για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη συγκράτηση της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης του πλανήτη εντός των 2 °C, ώστε να αποφευχθούν οι επιπτώσεις των ολοένα και πιο καταστροφικών κλιματικών κινδύνων, όπως η ξηρασία, οι καύσωνες, οι πυρκαγιές, οι καταιγίδες, οι πλημμύρες και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, μεταξύ άλλων. Από το 1860 έως το 2014, η ανθρωπότητα εξέπεμψε 584,4 GtC από την καύση ορυκτών καυσίμων, τις βιομηχανικές διεργασίες και τις μεταβαλλόμενες χρήσεις του εδάφους, γεγονός που αντανακλάται στην υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 0,9 °C.

Η μείωση των εκπομπών για τη συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2 °C θεωρείται ήδη πολύ δύσκολη πρόκληση, δεδομένης της αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και της κατανάλωσης καθώς και της έλλειψης πολιτικής βούλησης. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, η Ιαπωνία, η Γερμανία και η Ινδία, που είναι οι κύριες εστίες οικολογικού αποτυπώματος από το 2019, είναι επίσης οι κύριοι φορείς εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (Sarkodie, 2021).

Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, τα στοιχεία υποδηλώνουν αλλαγή στη διάρκεια των εποχών σε όλο τον πλανήτη. Τα μεσαία-υψηλά γεωγραφικά πλάτη έχουν μεγαλύτερα καλοκαίρια και μικρότερους χειμώνες, καθώς και μικρότερες εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου (Wang et al, 2021). Ακόμη και αν τα επίπεδα GHG δεν αυξηθούν πέρα από τα σημερινά επίπεδα, έχει υπολογιστεί ότι μέχρι το 2100 τα καλοκαίρια θα διαρκέσουν πάνω από μισό χρόνο και οι χειμώνες θα είναι λιγότερο από δύο μήνες.

Ενώ βρισκόμασταν ήδη σε μια προβληματική κατάσταση όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας από ρυπογόνες πηγές παγκοσμίως, στη συνέχεια ήρθε το Bitcoin του οποίου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις γίνονται κατανοητές τα τελευταία χρόνια.

Το Bitcoin είναι ένα αποκεντρωμένο σύστημα πληρωμών χωρίς μετρητά που εισήχθη στις αρχές του 2009 και σήμερα γίνεται ευρέως αποδεκτό από πολυάριθμους εμπόρους. Κάθε συναλλαγή που πραγματοποιείται με Bitcoin συντάσσεται σε ένα "μπλοκ" που απαιτεί την επίλυση ενός απαιτητικού από υπολογιστική άποψη proof-of-work, το οποίο με τη σειρά του καταναλώνει μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Με βάση τις εκτιμήσεις ότι το 60% της οικονομικής απόδοσης της διαδικασίας επαλήθευσης των συναλλαγών Bitcoin πηγαίνει στην ηλεκτρική ενέργεια, η ιστοσελίδα Digiconomist υπολόγισε ότι η χρήση του Bitcoin εκπέμπει 33,5 MtCO_{2e} ετησίως, από τον Μάιο του 2018 (Mora et al, 2018).

Πέραν του Bitcoin από το 2009, έχουν αναπτυχθεί μια ποικιλία κρυπτονομισμάτων. Το Bitcoin ήταν ουσιαστικά η πρώτη γνωστή χρήση της τεχνολογίας blockchain η οποία υλοποιήθηκε το 2008 από τον Satoshi Nakamoto. Γρήγορα το Bitcoin έγινε το μεγαλύτερο κρυπτονόμισμα στον κόσμο με κεφαλαιοποίηση 614,9 δισεκατομμυρίων δολαρίων τον Ιούλιο του 2021 μεταξύ των 5.655 γνωστών κρυπτονομισμάτων (Coinmarketcap, 2022): Ethereum, Tether, Binance, Cardano και Dogecoin, για να αναφέρουμε μερικά. Συλλογικά αυτά τα νομίσματα αντιπροσωπεύουν κεφαλαιοποίηση αγοράς ύψους 1,39 τρισεκατομμυρίων δολαρίων. Κάθε μέρα, διενεργούνται εκατομμύρια συναλλαγές για την ανταλλαγή αυτών των νομισμάτων και τα αντίστοιχα «χρηματιστήρια» τους και οι επιχειρήσεις που τα έχουν εντάξει στο Business Model τους λειτουργούν ασταμάτητα (Stoll et al, 2019). Η κατανάλωση ενέργειας των κρυπτονομισμάτων είναι δυσανάλογη με την τεχνολογική τους ικανότητα (Sedlmeir, 202) και παρά τις πιθανές χρήσεις τους, τα κρυπτονομίσματα έχουν συμβάλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω του τεράστιου αποτυπώματος άνθρακα (deVries, 2021). Αναμένεται ότι το Bitcoin μπορεί να αυξήσει τις παγκόσμιες θερμοκρασίες κατά 2°C τις επόμενες τρεις δεκαετίες (Mora et al, 2018). Λόγω της αποκεντρωμένης δομής των δικτύων bitcoin, είναι δύσκολο να καθοριστούν ακριβείς εκτιμήσεις για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και τα αποτυπώματα άνθρακα.

Οι πιο σημαντικές πηγές αβεβαιότητας είναι ο εξοπλισμός εξόρυξης (το Hardware) που χρησιμοποιείται και η πηγή ενέργειας (Kooimey, 2020). Σύμφωνα με πολλές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2014 και 2018, οι Kufeoglu και Ozkuran, (2019) συγκεντρώνουν τις χαμηλότερες και μέγιστες εκτιμήσεις χρήσης ενέργειας για το δίκτυο Bitcoin. Οι εκτιμήσεις του 2018 για το Bitcoin κυμαίνονταν από 2,5 GW έως 7,67 GW, 1,3 GW έως 14,8 GW και 15,47 TWh έως 50,24 TWh και 22 TWh έως 105 TWh (Zade, 2019). Στη συνέχεια, η κατανάλωση ενέργειας προβλέφθηκε να φτάσει τα 4,3 GW τον Μάρτιο του 2020, ή περίπου το 68% των συνολικών 6,5 GW (U. of Cambridge (2022) που χρησιμοποιούν τα 20 κορυφαία κρυπτονομίσματα. Αυτό έγινε χωρίς να ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές αναλώσεις που προϋποθέτει ο εξοπλισμός εξόρυξης όπως οι ανάγκες ψύξης. Ως εκ τούτου, η πραγματική κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να είναι μεγαλύτερη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μόλις 20 κρυπτονομίσματα χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την έρευνα, η πραγματική κατανάλωση ενέργειας του δικτύου κρυπτονομισμάτων των 5.654 κρυπτονομισμάτων θα είναι πολύ μεγαλύτερη από την εκτίμησή τους. Σύμφωνα με τον Δείκτη Κατανάλωσης Ενέργειας Bitcoin του Πανεπιστημίου του Cambridge (CBECI) , η θεωρητική μέγιστη και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος κυμαίνονται από 26,09 TWh έως 174,82 TWh, με εκτίμηση 69,63 TWh. Έρευνα των Seldmeir (2020) αποκάλυψε ένα εύρος από 60 έως 125 TWh ετησίως για το Bitcoin, 15 έως 100 TWh για το Ethereum και 100 έως 200 TWh για το Bitcoin Cash. Μια στρατηγική βασισμένη στην ευαισθησία που χρησιμοποιήθηκε από τον Alex de Vries (2021) έλαβε υπόψη το κόστος της αγοράς Bitcoin, το κόστος ενέργειας και το ποσοστό των εσόδων των ανθρακωρύχων που δαπανώνται για ηλεκτρική ενέργεια. Τα δεδομένα έδειξαν ότι το δίκτυο Bitcoin χρησιμοποιούσε έως και 184 TWh ηλεκτρικής ενέργειας. Από τον Ιούλιο του 2021, το διάσημο blog του, Digiconomist, το οποίο ιδρύθηκε το 2014 (digiconomist.net, 2022), προβλέπει ότι η κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin και του Ethereum θα φτάσει τις 135,12 TWh και 55,01 TWh, αντίστοιχα.

Ως αποτέλεσμα της υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, τα κρυπτονομίσματα αποδείχθηκε ότι έχουν σημαντικά αποτυπώματα άνθρακα. Το ατομικό αποτύπωμα άνθρακα του Bitcoin αναμενόταν να είναι 63 MtCO₂ το 2018 (Kohler & Pizzol, 2019) και 55 MtCO₂ το 2019 (Stoll et al, 2019). Μια άλλη έρευνα των Shriman et al (2021) υπολόγισε ένα αποτύπωμα 38,73 MtCO₂ συγκρίσιμο με τη Δανία, πάνω από 700.000 συναλλαγές Visa και περίπου 49.000 ώρες παρακολούθησης YouTube. Στις αρχές του

2021, ο Alex de Vries (2021) προέβλεψε ότι η κατανάλωση θα φτάσει τους 90,2 MtCO₂ με εκτίμηση 64,18 MtCO₂ (digiconomist, 2022). Με παρόμοιο τρόπο, ο Digiconomist έχει προβλέψει αποτύπωμα άνθρακα 26,13 MtCO₂ για το Ethereum τον Ιούλιο του 2021. Στην εξόρυξη Proof of Work (PoW), η 3η Παγκόσμια Έρευνα Συγκριτικής Αξιολόγησης Κρυπτοστοιχείων (GCBS) που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Κέμπριτζ το 2020 και ειδικότερα τους Blandin et al (2020) κατά μέσο όρο 39 τοις εκατό της ανανεώσιμης ενέργειας, αλλά μια μελέτη των Bendiksen et al, (2018) κατέδειξε το 78 τοις εκατό της ανανεώσιμης ενέργειας. Τα τεράστια αποτυπώματα άνθρακα αυτών των κρυπτονομισμάτων, ωστόσο, υποδηλώνουν ότι τα ορυκτά καύσιμα και άλλες μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεχίζουν να είναι η κύρια πηγή προέλευσης της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη.

Σύμφωνα με τη μέχρι τώρα συζήτηση, η χρήση ενέργειας και το αποτύπωμα άνθρακα των κρυπτονομισμάτων φαίνονται να είναι με βάση την βιβλιογραφία σε πολύ υψηλά επίπεδα.

1.1: Blockchain, Bitcoin και κρυπτονομίσματα

Όπως αναφέρθηκε το 2008, ο Satoshi Nakamoto εφηύρε την κατά κάποιον τρόπο «ανατρεπτική» τεχνολογία που χρησιμοποιεί ουσιαστικά τον μηχανισμό των καταναμημένων λογιστικών βιβλίων, ονομάζοντας την blockchain (Nakamoto, 2008). Το blockchain είναι μια βάση δεδομένων που αποθηκεύει πληροφορίες χρονολογικά σε «μπλοκ». Η χωρητικότητα αποθήκευσης αυτών των μπλοκ αποτελείται από τις πληροφορίες που αποθηκεύονται, μια χρονική σήμανση (time stamp) , την τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ και ένα μοναδικό αναγνωριστικό που ονομάζεται nonce. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, μετά την πλήρωση ενός μπλοκ, προσαρτάται ή "αλυσοδέεται" στο προηγούμενο μπλοκ, δημιουργώντας επομένως μια "αλυσίδα μπλοκ". Επιπλέον, οποιεσδήποτε τροποποιήσεις σε ένα μπλοκ προσδιορίζονται από την τιμή κατακερματισμού του, καθιστώντας απλό τον εντοπισμό της απάτης (Nofar et al, 2017).

Αν και βρίσκεται αναμφίβολα ακόμη σε πειραματικό στάδιο ανάπτυξης και περιβάλλεται από τεχνολογικές, οικονομικές και πολιτικές αβεβαιότητες, η τεχνολογία blockchain αναδεικνύεται εντούτοις ως το βασικό συστατικό της επόμενης γενιάς του

διαδικτύου, πάνω στο οποίο οικοδομείται η ψηφιακά μητρική οικονομική θεσμική υποδομή (Berg et al., 2019a- Werbach, 2018). Η τεχνολογία blockchain (και άλλες τεχνολογίες κατακεντρωμένων ledgers που δεν οργανώνουν τα δεδομένα σε μπλοκ) είναι ένα ψηφιακό πρωτόκολλο που βασίζεται στο διαδίκτυο για τη λειτουργία μιας αποκεντρωμένης οικονομίας. Η αλυσίδα μπλοκ παρέχει μια ψηφιακή πλατφόρμα για αποκεντρωμένα ψηφιακά νομίσματα (Abadi and Brunnermeier, 2018- Böhme et al., 2015- Narayanan et al., 2016), ψηφιακά περιουσιακά στοιχεία (μέσω της οικονομίας των συμβολαιογράφων, Voshmgir, 2019), ψηφιακή ταυτότητα (μέσω πρωτοκόλλων αυτοκυριαρχούμενης ταυτότητας) και τις λεγόμενες έξυπνες συμβάσεις (Szabo, 1994). Αυτές οι εφαρμογές με τη σειρά τους επιτρέπουν καινοτομίες όπως η αποκεντρωμένη χρηματοδότηση, οι αποκεντρωμένες ψηφιακές πλατφόρμες και οι αποκεντρωμένοι αυτόνομοι οργανισμοί (ή DAO).

Αντί να αντιμετωπίζει την τεχνολογία blockchain ως παράδειγμα καινοτομίας ψηφιακής πλατφόρμας οι Allen et al (2020) αντιμετωπίζουν την blockchain ως τεχνολογική αρχιτεκτονική με διακριτές επιπτώσεις. Οι ``παραδοσιακές`` ψηφιακές πλατφόρμες (όπως τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και οι διαφημιστικές πλατφόρμες όπως Facebook και Google) είναι επιχειρήσεις που λειτουργούν σε πολυδιάστατες αγορές (Rochet and Tirole, 2003). Παρά τη μοναδική δυναμική που αποδίδεται στις πολύπλευρες αγορές, εξακολουθεί ωστόσο να ισχύει ότι οι εν λόγω ψηφιακές πλατφόρμες είναι θεσμικά επιχειρήσεις, στο βαθμό που διοικούνται κεντρικά (όπου η εξουσία λήψης αποφάσεων μεταβιβάζεται από μεγάλο αριθμό μετόχων σε μικρή ομάδα διευθυντών). Οι blockchains, αντιθέτως, είναι ψηφιακές πλατφόρμες όπου η "διαχείριση" κατανέμεται, ή αποκεντρώνεται, σε έναν μεγάλο αριθμό κατόχων token, επικυρωτών μπλοκ (ανθρακωρύχοι-miners στην περίπτωση του Bitcoin) και προγραμματιστών (de Filippi Lovelock, 2016).

Η τεχνολογία Blockchain παρέχει πολλά πλεονεκτήματα. Ένα χρονολογικό και ασφαλές αντίγραφο του καθολικού διατηρείται σε κάθε κόμβο του δικτύου Bitcoin. Δεύτερον, η λειτουργία του δικτύου διατηρείται ακόμη και αν ένας μικρός αριθμός κόμβων αφαιρεθεί ή παρουσιάσει δυσλειτουργία. Τρίτον, η εμπιστοσύνη μεταξύ ομοτίμων διατηρείται μέσω της μεθόδου συναίνεσης, η οποία εξαλείφει την ανάγκη για δυνητικά αναξιόπιστους μεσάζοντες. Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές για την τεχνολογία blockchain, όπως η εφοδιαστική και η εφοδιαστική αλυσίδα, το ηλεκτρονικό εμπόριο, η εκπαίδευση, η υγειονομική περίθαλψη, η διακυβέρνηση και

άλλες. Ισχύει επίσης για τηλεπικοινωνίες, χρηματιστήριο, βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων, ανάπτυξη έξυπνων πόλεων, διαχείριση ενέργειας, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), και έξυπνα δίκτυα. Μέχρι και το λιμάνι της Βαλένθιας χρησιμοποιεί πλέον την τεχνολογία Blockchain για την οργάνωση του (Berman, 2018). Η μεγαλύτερη χρήση της τεχνολογία ωστόσο, βρίσκεται στον χρηματοπιστωτικό κλάδο, με την δημιουργία πάνω από 5.000 κρυπτονομισμάτων μέχρι τον Ιούλιο του 2021 (Coinmarketcap, 2022).

Σύμφωνα με τον Satoshi Nakamura, το Bitcoin είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικού νομίσματος peer-to-peer στο οποίο η πράξη της αποτροπής διπλής δαπάνης διασκορπίζεται μεταξύ πολλών κόμβων μέσω ενός μηχανισμού συναίνεσης. Όλες οι συναλλαγές Bitcoin έχουν χρονική σήμανση και οποιεσδήποτε προσπάθειες «διπλοκαταχώρησης» απορρίπτονται. Οι "Bitcoin Miners" διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της συναίνεσης σχετικά με την κατάσταση του καθολικού μέσω του Proof-of-Work (που συζητείται λεπτομερώς στην Ενότητα-3), στο οποίο ανταγωνίζονται με άλλους στο δίκτυο κρυπτονομισμάτων για την επίλυση κρυπτογραφικών προβλημάτων (διαδικασία γνωστή ως «mining») που απαιτούν τεράστια υπολογιστική δύναμη (οπότε και κατανάλωση ενέργειας) προκειμένου να κερδίσουν το δικαίωμα να προσθέσουν το προτεινόμενο μπλοκ στην αλυσίδα. Η πολυπλοκότητα του «γρίφου/προβλήματος» εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου για να διατηρείται ο χρόνος που απαιτείται για την εξόρυξη ενός μπλοκ περίπου στα 10 λεπτά (Antonopoulos, 2014). Οι εξορύκτες επενδύουν σε αυξημένη επεξεργαστική ισχύ για να μην μείνουν πίσω στον αγώνα για να προσθέσουν τα μπλοκ τους στο blockchain και να κερδίσουν-εξορύξουν κρυπτονομίσματα. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα αυτών των επενδύσεων είναι η ραγδαία αύξηση των τιμών για κάρτες γραφικών με μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Για κάθε μπλοκ που επιλύεται επιτυχώς, χορηγείται ως ανταμοιβή ένα συγκεκριμένο ποσό Bitcoin (BTC). Η ανταμοιβή είναι η μισή κάθε 210.000 μπλοκ προκειμένου να διασφαλιστεί ένας συνεχής συνθετικός πληθωρισμός μέχρι να εξορυχθούν και τα 21 εκατομμύρια πιθανά Bitcoin (Berg et al, 2020). Δεδομένου ότι η πιο πρόσφατη μείωση ανταμοιβής κατά το ήμισυ έγινε στις 11 Μαΐου 2020 (BuyBitcoinWorldwide, 2022), η ανταμοιβή ανά μπλοκ ήταν 6,25 BTC.

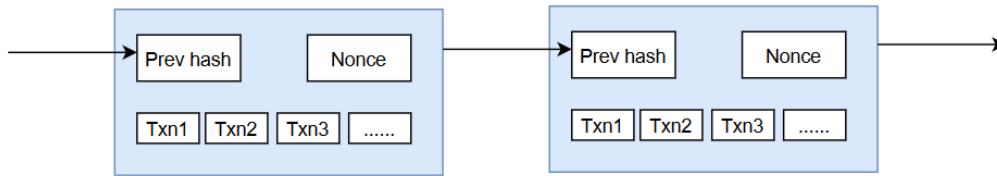


Fig. 2: A block diagram depicting the structure of a blockchain.

Πίνακας 1 Ανάλυση της δομής του Blockchain

Το επόμενο μισό αναμένεται να συμβεί στις 26 Μαρτίου 2024, με περίπου 140.000 μπλοκ να απομένουν για την εξόρυξη. Το Ethereum, ένα επιπλέον εξέχον δίκτυο blockchain, παρουσίασε την έννοια ενός προγραμματιζόμενου δικτύου. Το Ethereum υποστηρίζει το Ether (ETH), το δεύτερο μεγαλύτερο κρυπτονόμισμα βάσει κεφαλαιοποίησης αγοράς (Coinmarketcap, 2022). Με τη δημιουργία της εικονικής μηχανής Ethereum (EVM), εισήχθη η έννοια των έξυπνων συμβολαίων (αυτοματοποιημένη εκτέλεση συμβολαίων όταν πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια). Το Ethereum, όπως και το Bitcoin, βασίζεται στη συναινετική μέθοδο Proof-of-Work (PoW) και κατά συνέπεια υπόκειται στις ίδιες προκλήσεις της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και των αποτυπωμάτων άνθρακα. Το Ethereum έχει προτείνει το Ethereum 2.0 για να λύσει τις περισσότερες ανησυχίες με το Bitcoin και το Ethereum.

1.2 Η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως

Για να διεξαχθεί και να εγκριθεί μια μεταφορά BTC, το παγκόσμιο δίκτυο BTC πρέπει να λύσει έναν αλγόριθμο που βασίζεται στον προγραμματισμό υπολογιστή. Παρά το γεγονός ότι το Bitcoin είναι ένα εικονικό χρήμα, η ηλεκτρική επιβάρυνση που συνδέεται με τη χρήση του είναι σημαντική. Η ετήσια χρήση ισχύος του BTC αναμένεται να είναι 45,8 TWh (Νοέμβριος 2018), ενώ οι ετήσιες εκπομπές CO₂ είναι περίπου 23 μεγατόνων (Stoll, Klabaen, & Gallersdo, 2019). Επιπλέον, αναμένεται ότι το BTC μπορεί να εκπέμπει αρκετές εκπομπές άνθρακα και να αυξήσει την παγκόσμια θερμοκρασία περισσότερο από 2 βαθμούς Κελσίου σε λιγότερο από τρεις δεκαετίες, θέτοντας σε κίνδυνο τη Συμφωνία του Παρισιού (Mora et al., 2018). 2 Το Σχήμα 2 συγκρίνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του Bitcoin το 2018 με εκείνες πολλών εθνών. Προφανώς, χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ρωσία, η Κορέα, η

Βενεζουέλα, το Ιράν και η Κίνα είναι οι πιο ρυπογόνες με βάση την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την εξόρυξη Bitcoin (Polemis & Tsionas, 2021).

Ο παρακάτω πίνακας 2 συγκρίνει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του Bitcoin και του Ethereum, όπως αναφέρεται από το Digiconomist (2022).

Table 1: Ranking Bitcoin and Ethereum among countries based on annual electrical energy consumption as of July 2021 [23, 26, 27, 28, 29] (Note: N.A. stands for Not Available).

Rank	Country	Population (Millions) [26]	Energy (TWh) [23, 27, 28, 29]	Share (%)
0	World	7,878.2	23,398.00	100.00
1	China	1,444.9	7,500.00	32.05
2	U.S.A	332.9	3,989.60	17.05
3	India	1,366.4	1,547.00	6.61
20	Taiwan	23.8	237.55	1.01
21	Vietnam	98.2	216.99	0.92
22	South Africa	60.1	210.30	0.89
23	Bitcoin + Ethereum	N.A.	190.13	0.81
24	Thailand	69.9	185.85	0.79
25	Poland	37.80	153.00	0.65
26	Egypt	104.3	150.57	0.64
27	Malaysia	3.1	147.21	0.62
28	Bitcoin	N.A.	135.12	0.57
29	Sweden	10.2	131.79	0.56
49	Switzerland	8.7	56.35	0.24
50	Ethereum	N.A.	55.01	0.24
51	Romania	19.1	55.00	0.23

Πίνακας 2 Κατηγοριοποίηση του Bitcoin και Ethereum ανάμεσα στις χώρες που βασίζεται η ετήσια ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση του Ιουλίου 2021 (23, 26, 27, 28, 29)

Στον πίνακα έχουν συγκεντρωθεί από τον Gallersdorfer στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης και πληθυσμού ανά έθνος από τις βάσεις δεδομένων της Υπηρεσίας Ενεργειακών Πληροφοριών των ΗΠΑ (U. E. I. Administration, International (2022) και του Worldometer (2021) αντίστοιχα.

Ο Gallersdorfer έδειξε ότι το Bitcoin και το Ethereum εκτιμάται ότι χρησιμοποιούν το 0,58 και το 0,23% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, αντίστοιχα. Κατατάσσονται στην 28η και 50η θέση στην κατανάλωση ενέργειας με 135,12 TWh και 55,01 TWh, αντίστοιχα. Αυτά τα στοιχεία υποστηρίζονται από την εκτίμηση του Πανεπιστημίου του Κέμπριτζ για 0,6% για το Bitcoin (2022). Η κατανάλωση του Bitcoin είναι ισοδύναμη με εκείνη της Σουηδίας (131,79 TWh, 0,56%), ενώ του Ethereum είναι συγκρίσιμη με εκείνη της Ρουμανίας (55 TWh, 0,23%). Λαμβάνοντας υπόψη το μερίδιο ισχύος υψηλής βαθμολογίας 79,85% για αυτά τα δύο κρυπτονομίσματα μεταξύ όλων σε κυκλοφορία από τον Μάρτιο του 2020 (Gallersdorfer et al, 2020), τα δεδομένα για τα δύο κρυπτονομίσματα ως ενιαία

οντότητα αναλύθηκαν επίσης προκειμένου να επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη απεικόνιση. Συγκεκριμένα, κατατάσσονται στην 23η θέση στον κόσμο και χρησιμοποιούν συνδυαστικά 190,13 TWh ενέργειας ετησίως, η οποία είναι παρόμοια με την Ταϊλάνδη (185,85 TWh, 0,79%).

Ο Πίνακας 3 παρέχει μια συγκρίσιμη βαθμολογία, με βάση τις ετήσιες εκπομπές CO₂.

Table 2: Ranking of Bitcoin and Ethereum among countries based on annual carbon footprint as of July 2021 [23, 27, 30, 26].

Rank	Country	Population (Millions) [26]	Emission (MtCO ₂)	Share (%)
0	World	7,878.2	37,077.40	100.00
1	China	1,444.9	10,060.00	27.13
2	U.S.A	332.9	5410.00	14.59
3	India	1,336.4	2,300.00	6.2
38	Nigeria	211.3	104.30	0.28
39	Czech Republic	10.7	100.80	0.27
40	Belgium	11.6	91.20	0.24
41	Bitcoin + Ethereum	N.A.	90.31	0.24
42	Kuwait	4.3	87.80	0.23
43	Qatar	2.9	87.00	0.23
49	Oman	5.2	68.80	0.18
50	Bitcoin	N.A.	64.18	0.17
51	Greece	10.3	61.60	0.16
76	Tunisia	11.94	26.20	0.07
77	Ethereum	N.A.	26.13	0.07
78	SAR	17.9	25.80	0.06

Πίνακας 3 Κατηγοριοποίηση του Bitcoin και Ethereum ανάμεσα σε χώρες που βασίζονται στο ετήσιο αποτόπωμα Ιουλίου 2021 (23, 26, 27, 30)

Table 3: Energy consumption and carbon footprints of Bitcoin, Ethereum and Visa (total) as of July 2021 [23, 27, 51].

Transaction method	Market cap (\$ Billion)	Transactions/day (Million)	Emission (MtCO ₂)	Energy consumption (TWh)
Bitcoin [23]	617.05	0.4	64.18	135.12
Ethereum [27]	247.8	1.23	26.13	55.01
Visa [51]	520.62	500	62,400	197.57

Πίνακας 4 Ενεργειακή κατανάλωση και αποτόπωμα των Bitcoin, Ethereum και Visa

Table 4: Comparison of energy consumption and carbon footprints per transaction for Bitcoin, Ethereum and Visa as of July 2021 [23, 27].

Transaction method	Emission (KgCO₂)	Energy consumption (kWh)
Bitcoin [23]	844.13	1777.11
Ethereum [27]	59.55	125.36
Visa [27]	0.00045	0.0015

Πίνακας 5 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης και αποτυπώματος ανά συναλλαγή για το Bitcoin, Ethereum και Visa

Η βάση δεδομένων του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (I. E. Agency, 2022) έχει πληροφορίες για τις εκπομπές διαφόρων εθνών. Ο Gallersdorfer γγρησιμοποίησε αυτήν την βάση για να υπολογίσει το ποσοστό μεριδίου του Bitcoin. Με τους υπολογισμούς του, το Bitcoin κατατάσσεται στην 50η θέση σε εκπομπές μεταξύ των 143 εθνών σε αυτήν τη βάση δεδομένων, με 64,18 MtCO₂ εκπομπών και ποσοστό 0,17%, όπως φαίνεται στον πίνακα. Οι αριθμοί αυτοί είναι συγκρίσιμοι με εκείνους του Ομάν (68,8 MtCO₂, 0,18 %) και της Ελλάδας (61,6 MtCO₂, 0,16%). Αξιοσημείωτοι είναι και οι αριθμοί Ethereum, με κατάταξη 77, εκπομπές 26,13 MtCO₂ και παγκόσμιο μερίδιο 0,07%, που είναι παρόμοιο με την Τυνησία (26,2 MtCO₂ και 0,07%). Όταν ληφθούν υπόψη και τα δύο κρυπτονομίσματα, κατατάσσονται στην 41η θέση στον κόσμο με εκπομπές 90,31 MtCO₂ και παγκόσμιο μερίδιο 0,24 τοις εκατό, που είναι ουσιαστικά το ίδιο με το Βέλγιο (91,2 MtCO₂, 0,24 τοις εκατό).

Τα στατιστικά στοιχεία για τη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ των Bitcoin (Digiconomist.net, 2022), Ethereum (U. E. I. Administration, International (2022) και Visa (impakter, 2022) φαίνονται στους Πίνακες 4 και 5. Ο Πίνακας 4 εμφανίζει τα ετήσια στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών για τους τρεις τύπους συναλλαγών, λαμβάνοντας υπόψη όλες οι πηγές κατανάλωσης Visa.

Ενώ με την πρώτη ματιά μπορεί να φαίνεται ότι οι συνολικές εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση ενέργειας της Visa είναι σχετικά υψηλές, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο αριθμός των ημερήσιων συναλλαγών Bitcoin και Ethereum είναι μόνο 0,4 εκατομμύρια και 1,25 εκατομμύρια, ή 0,08% και 0,25% των 500 της Visa εκατομμύρια ημερήσιες συναλλαγές, αντίστοιχα. Αυτό υποδηλώνει υπερβολική χρήση κρυπτονομισμάτων, τα οποία είναι σχετικά νέες μέθοδοι συναλλαγών. Επιπλέον, οι

συνολικές μετρήσεις της Visa έχουν καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κόστη που σχετίζονται με τη λειτουργία των γραφείων συνεργασίας, όπως η τροφοδοσία γραφείου και διακομιστής και η μεταφορά. Ο Πίνακας 4 εμφανίζει τις εκτιμήσεις ανά συναλλαγή για τις τρεις τεχνικές συναλλαγής όταν λαμβάνονται υπόψη μόνο τα υπολογιστικά έξοδα. Το Bitcoin και το Ethereum έχουν πολύ υψηλή κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές CO₂ σε κάθε συναλλαγή, όπως φαίνεται στον πίνακα. Το Σχήμα 3 παρέχει μια οπτική σύγκριση διαφόρων παραμέτρων συναλλαγής. Η κατανάλωση ενέργειας της Visa και οι εκπομπές CO₂ έχουν γραφικά πολλαπλασιαστεί πολλαπλασιάζοντας τους αριθμούς τους επί 105 (Kohli et al, 2022).

Ο Πίνακας 6 εμφανίζει τις τιμές Break Even (BE) που αντιστοιχούν στον αριθμό των συναλλαγών Visa που πρέπει να πραγματοποιηθούν για τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές CO₂ να είναι ισοδύναμες με μία συναλλαγή με χρήση αυτών των κρυπτονομισμάτων. Το BE υπολογίζεται ως εξής:

$BEM_{\text{Visa}/i} = M_i M_{\text{Visa}}$ (2) όπου το $BEM_{\text{Visa}/i}$ είναι η τιμή BE για τη Visa χρησιμοποιώντας το κρυπτονόμισμα που βασίζεται σε Bitcoin ή Ethereum i . Το M αντιπροσωπεύει το σχετικό μέτρο, όπως η κατανάλωση ενέργειας ή οι εκπομπές CO₂. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5, χρειάζονται 1.195.657 συναλλαγές Visa για να χρησιμοποιηθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας με μια μεμονωμένη συναλλαγή Bitcoin. Ομοίως, 83.574 συναλλαγές Visa απαιτούνται για να έχουν το ίδιο αποτύπωμα άνθρακα με μια μεμονωμένη συναλλαγή Bitcoin. Η Visa είναι ισοδύναμη με το Ethereum όσον αφορά τη χρήση ενέργειας και το αποτύπωμα άνθρακα με μετρήσεις BE 83.574 για κατανάλωση ενέργειας και 132.334 για αποτύπωμα άνθρακα.

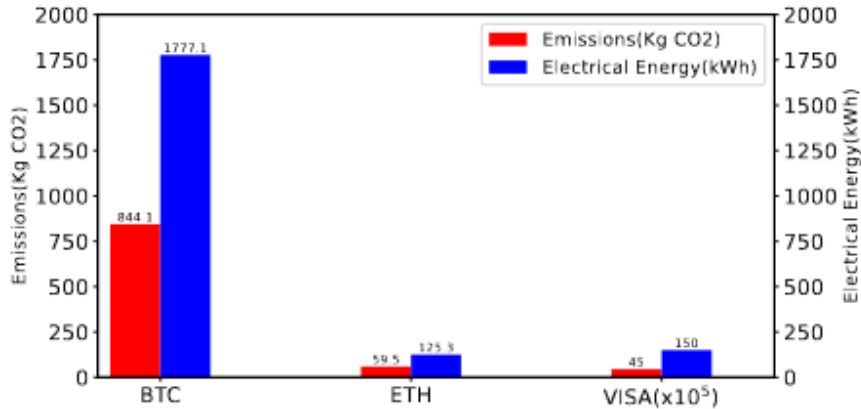


Fig. 3: Electrical energy consumption and CO₂ emissions per transaction for Bitcoin, Ethereum and Visa [23, 27].

Πίνακας 6 Ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές CO₂ ανά συναλλαγή για Bitcoin, Ethereum και Visa

1.3 Μηχανισμός συναίνεσης: Αποδεικτικά στοιχεία εργασίας

Ο PoW ήταν ο πρώτος προτεινόμενος αλγόριθμος συναίνεσης για δίκτυα blockchain (Nakamoto, 2008). Ο Paul Haunter, ένας προγραμματιστής του Ethereum, παραδέχτηκε ότι οι υψηλές ενεργειακές ανάγκες του PoW (Fairley, 2019) οδήγησαν στη δημιουργία του Ethereum 2.0. Αν και ο πλεονασμός στη λειτουργία και την κυκλοφορία των δικτύων bitcoin συμβάλλει επίσης στην ενέργεια κατανάλωσης (όπως θα συζητηθεί στην επόμενη ενότητα), οι ίδιες οι συναλλαγές απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια από τη διαδικασία PoW. Έχει αποδειχθεί ότι η εξόρυξη PoW θέτει σημαντικά όρια στη συνεχή χρήση και την επεκτασιμότητα των κρυπτονομισμάτων λόγω των υψηλών απαιτήσεων επεξεργασίας. Πρόσφατη μελέτη δείχνει ότι η εξόρυξη PoW του Bitcoin απαιτεί σχεδόν 18 GW ενέργειας την εβδομάδα για 100 εκατομμύρια συναλλαγές (Mishra, x.x.), καθιστώντας αμφίβολη την πρακτική χρησιμότητα του Bitcoin. Μια έρευνα του 2021 προέβλεψε ότι, λόγω της ταχείας επέκτασης των κρυπτονομισμάτων, οι δραστηριότητες εξόρυξης PoW μόνο στην Κίνα θα χρησιμοποιούσαν σχεδόν 300 TWh ηλεκτρικής ενέργειας και θα παρήγαγαν 130 MtCO₂ έως το 2024 (Jiang et al, 2021) με βάση τις τρέχουσες τάσεις. Για να κατανοήσουμε τη σημασία αυτού του ενεργειακού προβλήματος, πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τη λειτουργία του. Το σχήμα 4 απεικονίζει τη διαδικασία εξόρυξης

Bitcoin χρησιμοποιώντας PoW. Σε κάθε νέο μπλοκ που προτείνεται κάθε T λεπτά εκχωρείται ένας κατακερματισμός που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον κατακερματισμό 256-bit του προηγούμενου μπλοκ, το Nonce και τη ρίζα Merkle χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$S_{HA256}(H_{prev} + MB + Nonce) \leq Target$ (IPCC, 2022), όπου SHA256 είναι η συνάρτηση κατακερματισμού, H_{prev} είναι ο κατακερματισμός 256-bit του προηγούμενου μπλοκ, Nonce είναι ένας θετικός ακέραιος που χρησιμοποιείται μόνο μία φορά και MB είναι η Merkle ρίζα. Μετά τον υπολογισμό του κατακερματισμού, συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή κατακερματισμού. Αυτός ο αριθμός στόχου έχει σχεδιαστεί για να αυξάνει τη δυσκολία εξόρυξης έτσι ώστε ο χρόνος που απαιτείται για την προσθήκη ενός μπλοκ στην αλυσίδα να παραμένει σταθερός. Το χρονόμετρο του Bitcoin έχει ρυθμιστεί στα 10 λεπτά. Εάν ο κατακερματισμός είναι μεγαλύτερος από την προκαθορισμένη τιμή, η ρίζα Merkle τροποποιείται, υπολογίζεται το nonce και δημιουργείται ένας νέος κατακερματισμός. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου ο εξορύκτης πετύχει μια τιμή κατακερματισμού χαμηλότερη από την προκαθορισμένη τιμή στόχου.

Αυτή η τεχνική συναίνεσης αναφέρεται ως PoW επειδή η εύρεση του nonce είναι υπολογιστικά εντατική και ως εκ τούτου προσφέρει στοιχεία για την ποσότητα της υπολογιστικής ισχύος που χρησιμοποιείται από τον εξορύκτη, εξ ου και ο όρος. Δεδομένου ότι η διαδικασία αναζήτησης λύσεων δεν μπορεί να επιταχυνθεί με την παραλληλοποίηση και άλλους αλγόριθμους (Wang et al, 2019), η ανταμοιβή ενός εξορύκτη είναι ανάλογη με την ποσότητα της επεξεργαστικής ισχύος που διαθέτει στο δίκτυο bitcoin (de Vries, 2021). Καθώς η εξόρυξη γίνεται πιο δύσκολη με την πάροδο του χρόνου, το PoW εξελίσσεται σε έναν ανταγωνισμό μεταξύ υπολογιστικής ισχύος και πόρων, καθώς οι εξορύκτες με όλο και πιο ισχυρό εξοπλισμό υπολογίζουν περισσότερα hashes ανά δευτερόλεπτο.

1.4 Πλεονασμός σε Λειτουργία και Κυκλοφορία

Ενώ οι αλυσίδες μπλοκ Proof-of-Work (PoW) έχουν ενεργειακές δυσκολίες που προέρχονται κυρίως από τη μέθοδο της συναίνεσης, η χρήση ενέργειας των μπλοκ αλυσίδων μη PoW λόγω διπλών δραστηριοτήτων και κίνησης δικτύου γίνεται ολοένα και πιο σημαντική.

Category	<i>BE</i> Energyconsumption	<i>BE</i> CO ₂ emission
Visa/Bitcoin	1,195,657	1,870,875
Visa/Ethereum	83,574	132,334

Πίνακας 7 Νεκρό Σημείο για τον αριθμό συναλλαγών Visa ανά Bitcoin Και Ethereum

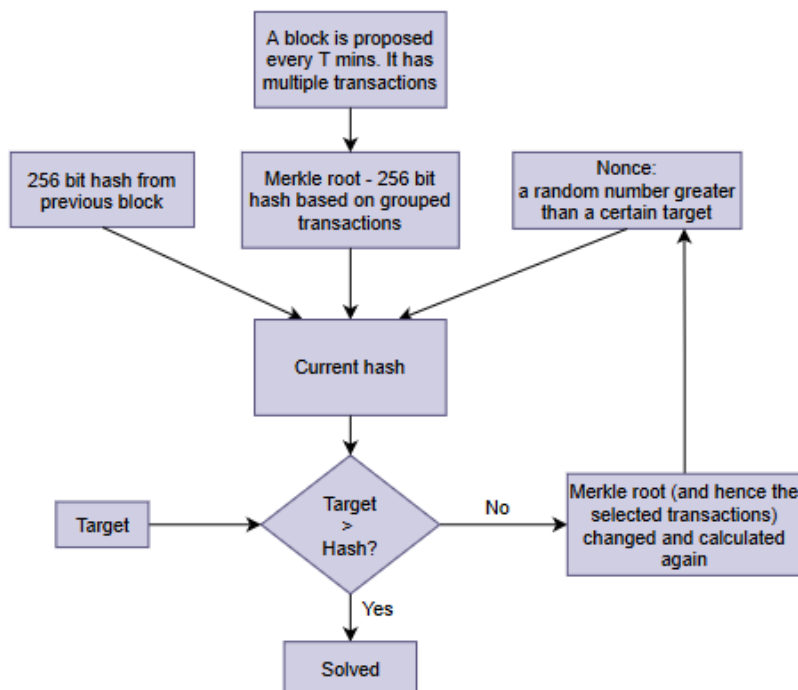
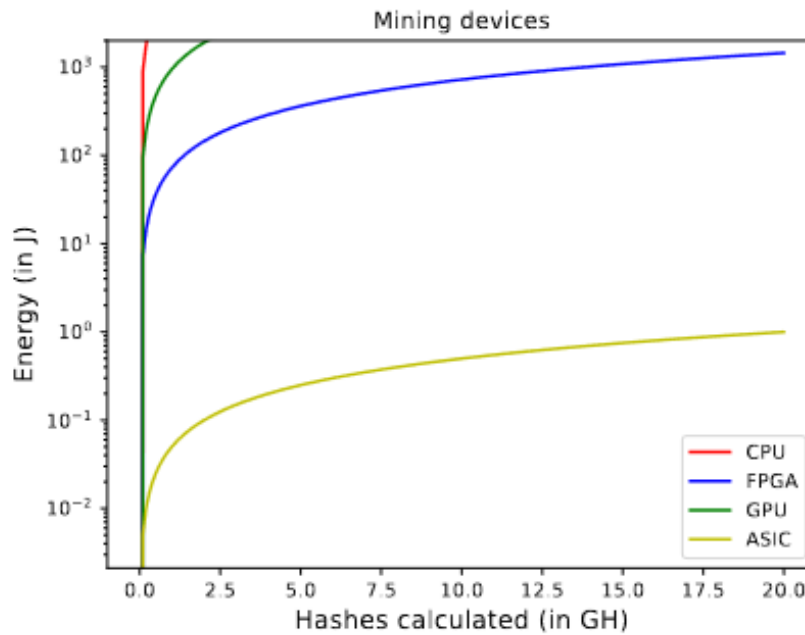


Fig. 4: The mining process in Bitcoin.

Πίνακας 8 Η διαδικασία εξόρυξης Bitcoin



Πίνακας 9 Λογαριθμική ανάλυση της ηλεκτρικής ενέργειας εν αντιθέσει με τα hashes

Table 6: Performance metrics of different mining devices (Sources: [9, 14, 59]).

Hardware type	Mining rate (GH/s)	Efficiency (J/GH)	mEC (TWh)
CPU	0.01	9000	11,000
GPU	0.2 – 2	1500 – 400	3,000
FPGA	0.1 – 25	100 – 45	250
ASIC	44,000	0.05	1.46

Πίνακας 10 Απόδοση των διαφορετικών εργαλείων Εξόρυξης

Προκύπτει από το ότι το σύστημα διατηρεί ολόκληρο το καθολικό σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Επιπλέον, κάθε κόμβος εκτελεί αυτόνομα δραστηριότητες που σχετίζονται με συναλλαγές ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα συναλλαγών. Επιπλέον, η διπλή κίνηση δικτύου συμβάλλει επίσης σε αυτό το ζήτημα (Zhang & Liu, 2021).

Ο πλεονασμός μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος και αυξάνει τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Sedlmeier et al, 2020).

Σύμφωνα με τους Sedlmeier et al (2020), ο πλεονασμός δικτύου προκύπτει από τον αριθμό των κόμβων και το φορτίο σε κάθε κόμβο. Στα ευρήματα της προσομοίωσης των Zhang και Liu (2021) για τον πλεονασμό της κυκλοφορίας δικτύου καταδείχθηκε η επίδραση του στο μέγεθος του δικτύου, τον αριθμό των ομοτίμων και το μήκος δρομολόγησης. Πάνω από το 98% της κίνησης δικτύου είναι διπλό, γεγονός που δείχνει ότι ο τρέχων μηχανισμός μετάδοσης Bitcoin είναι αναποτελεσματικός. Η αποτελεσματική κίνηση αυξήθηκε κατά 0,3 GB ανά 1000 κόμβους, αλλά η συνολική επισκεψιμότητα αυξήθηκε κατά 24 GB, υποδηλώνοντας πλεονασμό 23,7 GB. Επιπλέον, η έρευνα ανακάλυψε μια θετική σχέση μεταξύ του μήκους διαδρομής δρομολόγησης και του πλεονασμού της κυκλοφορίας του δικτύου, υποδεικνύοντας ότι τα πυκνότερα δίκτυα με μικρότερα μήκη δρομολόγησης περιλαμβάνουν λιγότερη περιττή κίνηση.

1.5 Εξοπλισμός Μονάδων Εξόρυξης

Σύμφωνα με ένα άρθρο στο Economist (2015) έχει υποστηριχθεί ότι εάν όλες οι εγκαταστάσεις εξόρυξης χρησιμοποιούσαν τις ίδιες εξαιρετικά αποδοτικές συσκευές εξόρυξης βασισμένες σε ASIC όπως το KnCMiner Facility στη Σουηδία, η παγκόσμια διαδικασία εξόρυξης Bitcoin θα κατανάλωνε περίπου 1,46 TWh, πολύ λιγότερο από τις τρέχουσες εκτιμήσεις των 184 TWh, 135,12 TWh και 69,63 TWh για το 2021 (U. of Cambridge, 2022).

Αυτή η διαφορά δείχνει ότι μη αποδοτικό hardware εξόρυξης χρησιμοποιείται παγκοσμίως λόγω του ότι φυσικά οι κάρτες γραφικών χαμηλότερης απόδοσης είναι φθηνότερες αλλά και λόγω της διαθεσιμότητας του συγκεκριμένου hardware τα τελευταία χρόνια. Κατά συνέπεια, ο αναποτελεσματικός εξοπλισμός εξόρυξης συμβάλλει σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας (Houy, 2019).

Λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας της εξόρυξης, από την έναρξη του Bitcoin το 2009, πολλές συσκευές έχουν χρησιμοποιηθεί, πρώτα με CPU το 2009, μετά GPU το 2010, FPGA το 2011 και ASIC από το 2013. Τα ποσοστά κατακερματισμού αυτών των συσκευών, η απόδοση και η ελάχιστη συνολική κατανάλωση ενέργειας φαίνονται στον

Πίνακα 6. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται με την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται όταν αυτή η μονάδα εξόρυξης Bitcoin λειτουργεί παγκοσμίως. Η CPU παρέχει τη μικρότερη ποσότητα επεξεργαστικής. Ενώ οι συσκευές που βασίζονται σε ASIC που χρησιμοποιούνται στην έρευνα δίνουν τη μέγιστη ισχύ επεξεργασίας με 44.000 GH/s με απόδοση 0,05 J/GH. Το σχήμα 5 δείχνει μια λογαριθμική γραφική παράσταση της χρήσης λογαριθμικής ενέργειας σε σχέση με τον υπολογισμένο αριθμό των γιγαβατών. Το γραφικό απεικονίζει την υψηλή κατανάλωση ενέργειας των συσκευών CPU, ακολουθούμενες από τις GPU, FPGA και ASIC ως τις πιο ενεργειακά αποδοτικές. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 10, οι συσκευές που βασίζονται σε ASIC παρέχουν μεταξύ 40.000 και 200.000 φορές την υπολογιστική ικανότητα των GPU.

Ορισμένοι αλγόριθμοι εξόρυξης είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί σε ASIC ακυρώνοντας έτσι το πλεονέκτημα της χρήσης αυτών, καθώς η επίλυση ορισμένων αλγορίθμων με ASIC είναι είτε αδύνατη είτε παρόμοια με την απόδοση της GPU. Τέτοιοι αλγόριθμοι, όπως ο X16Rv2 στο Ravencoin και ο Ethash στο Ethereum, υποχρεώνουν τους εξορύκτες να χρησιμοποιούν φθηνότερο και γενικής χρήσης υλικό, όπως GPU, με αποτέλεσμα δυσανάλογα υψηλό επίπεδο χρήσης ενέργειας (Galledorfer et al, 2020).

Αναφορικά με το Ravencoin είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι λόγω του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί όπως προαναφέρθηκε, παρόλο που το νόμισμα κατέχει μόλις 0.06% της συνολικής κεφαλοποίησης της αγοράς, καταφέρνει να έχει αντίστοιχα 4.32% μερίδιο στην συνολική κατανάλωση ενέργειας από τα κρυπτονομίσματα, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Table 1. Top 20 Mineable Cryptocurrencies by Market Capitalization on 03/27/2020

#	Name	Symbol	Algorithm	Market cap [USD million]	Market cap [%]	Hashes/s (network)	Efficiency (device) [Hashes/s/W]	Rated power (network) [kW]	Rated power (network) [%]
1	Bitcoin	BTC	SHA-256	122.768	79.69%	1.09E+20	2.53E+10	4.291.366	68.39%
2	Ethereum	ETH	Ethash*	15.209	9.87%	1.64E+14	2.28E+05	719.087	11.46%
3	Bitcoin Cash	BCH	SHA-256	4.183	2.72%	3.88E+18	2.53E+10	153.374	2.44%
4	Bitcoin SV	BSV	SHA-256	3.181	2.07%	3.04E+18	2.53E+10	120.077	1.91%
5	Litecoin	LTC	Scrypt	2.595	1.68%	1.36E+14	8.27E+05	164.796	2.63%
6	Monero	XMR	RandomX*	864	0.56%	1.27E+09	6.00E+00	210.277	3.35%
7	Dash	DASH	X11	639	0.41%	4.59E+15	1.23E+08	37.386	0.60%
8	Ethereum C	ETC	Ethash*	597	0.39%	9.87E+12	2.28E+05	43.278	0.69%
9	Zcash	ZEC	Equihash	310	0.20%	4.42E+09	9.00E+01	49.022	0.78%
10	DogeCoin	DOGE	Scrypt	229	0.15%	1.30E+14	8.27E+05	157.494	2.51%
11	Bitcoin Gold	BTG	ZHash*	133	0.09%	2.64E+06	0.00E+00	8.949	0.14%
12	Decred	DCR	Blake	125	0.08%	4.16E+17	1.89E+10	22.013	0.35%
13	RavenCoin	RVN	X16Rv2*	89	0.06%	3.14E+13	1.16E+05	270.792	4.32%
14	MonaCoin	MONA	Lyra2REv2	85	0.05%	9.16E+13	1.17E+07	7.844	0.13%
15	Bytom	BTM	Tensority	61	0.04%	5.30E+08	1.82E+02	2.915	0.05%
16	SiaCoin	SC	Sia	55	0.04%	5.70E+15	1.22E+09	4.664	0.07%
17	DigiByte	DGB	SHA-256	53	0.03%	6.60E+16	2.53E+10	2.608	0.04%
18	Horizen	ZEN	Equihash	48	0.03%	6.86E+08	9.00E+01	7.606	0.12%
19	Komodo	KMD	Equihash	46	0.03%	6.08E+07	9.00E+01	674	0.01%
20	Bytecoin	BCN	CryptoNight	43	0.03%	2.33E+08	5.00E+02	467	0.01%
TOTAL	-	-	-	151.315	98.23%	-	-	6.274.688	100%

Πίνακας 11 Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin , Stoll et all (2020).

Οι Kufeoglu & Ozkuran, (2019) εξέτασαν την κατανάλωση ενέργειας της εξόρυξης Bitcoin το 2019 αναλύοντας την απόδοση 269 μονάδων υλικού εξόρυξης (111 CPU, 111 GPU, 4 FPGA και 43 ASIC) σε ένα δίκτυο Bitcoin 160 GB. Αξιολόγησαν τις πληροφορίες που κυκλοφόρησαν από τον κατασκευαστή που σχετίζονται με τη συσκευή, καθώς και ιστοτόπους σημείων αναφοράς χρήστη και σημείων πρόσβασης για να προσδιορίσουν την αξιοπιστία της εταιρείας. Χρησιμοποιώντας τις περιφερειακές τιμές ενέργειας, η έρευνα εξέτασε επίσης τις δεξαμενές εξόρυξης όπως αυτή του blockchain (Blockchain.com) για να δημιουργήσει εκτιμήσεις. Η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας (mEC) και η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας (MEC) αναπτύχθηκαν ως μέτρα που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας των πιο αποδοτικών και λιγότερο αποδοτικών συσκευών ανάλογα με το πλαίσιο. Σε σύγκριση με την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας των 23.000 TWh, η mEC αποκάλυψε ότι η συνεχής χρήση μόνο συσκευών CPU θα απαιτούσε τουλάχιστον 11.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συσκευές GPU και FPGA βρέθηκαν να ξοδεύουν τουλάχιστον σχεδόν 3.000 TWh και 250 TWh, αντίστοιχα, αλλά οι συσκευές ASIC χρησιμοποιούσαν τη λιγότερη ενέργεια.

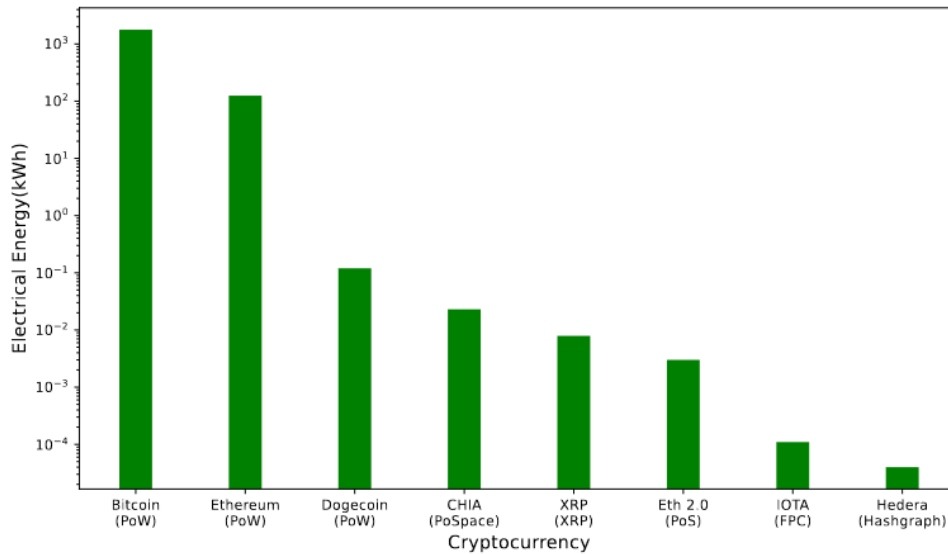


Fig. 6: Energy consumption per transaction for various cryptocurrencies and their consensus mechanisms.

Πίνακας 12 Ενεργειακή κατανάλωση ανά συναλλαγή διαφόρων κρυπτονομισμάτων και οι μηχανισμοί ομοφωνίας

Καθορίστηκε ότι οι ελάχιστες και μέγιστες απαιτήσεις ισχύος για όλες τις συσκευές είναι 2 GW και 6 GW, αντίστοιχα.

1.6 Ενεργειακοί πόροι

Όπως φαίνεται στον Πίνακα-2, το ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα της εξόρυξης αλουμινίου αναμένεται να είναι 90 MtCO₂, ενώ αυτό του Ομάν είναι 68,8 MtCO₂. Λαμβάνοντας υπόψη τις πρόσφατες προβλέψεις εκπομπών έως και 90 MtCO₂ και 64,18 MtCO₂ για το Bitcoin και 26,13 MtCO₂ αντίστοιχα για το Ethereum, είναι ανησυχητικό να παρατηρούμε εκπομπές άνθρακα σε εθνικό και βιομηχανικό επίπεδο από σχετικά νέες πλατφόρμες συναλλαγών. Οι πρώτες μελέτες σχετικά με την επίδραση της χρήσης ενέργειας στα οικολογικά αποτυπώματα από τους Chen et al (2007) ανακάλυψαν τις επιζήμιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ορυκτών καυσίμων. Στη συνέχεια, μελέτες αποκάλυψαν ότι η υπερβολική χρήση ορυκτών καυσίμων από τον κλάδο παραγωγής χαρτοπολτού στα Καναδικά Λιβάδια είχε επιζήμια επίδραση στο οικολογικό αποτύπωμα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτά τα συμπεράσματα μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην εξόρυξη bitcoin με χρήση μη ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας. Ενώ οι ίδιες οι πηγές ενέργειας δεν ευθύνονται για την υπερβολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις μπλοκ αλυσίδες PoW, η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά αποτυπώματα άνθρακα (Liu et al, 2021).

Λόγω της αποκεντρωμένης φύσης των δικτύων κρυπτονομισμάτων, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η αναλογία των ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται κατά την εξόρυξη. Επιπλέον, υπάρχει μεταβλητότητα στους υπολογισμούς ανάλογα με τον εξοπλισμό εξόρυξης που χρησιμοποιείται. Ενώ ορισμένες μελέτες όπως αυτές που πραγματοποιήθηκαν από τους Li et al (2018) υποστηρίζουν ότι η κύρια πηγή ενέργειας για τα κρυπτονομίσματα είναι ανανεώσιμη με μερίδιο σχεδόν 80%, το 3ο GCBS δείχνει εξάρτηση 61% από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με μια πρόσφατη έρευνα των Stoll et al (2019), η εξόρυξη κρυπτονομισμάτων στην Κίνα τροφοδοτείται από υδροηλεκτρική ενέργεια το 58% του χρόνου και από ηλεκτρική ενέργεια βαρέως άνθρακα το 42% του χρόνου. Χρησιμοποιώντας ένα σταθμισμένο μέσο όρο των πλούσιων σε υδρογονανθράκων και των περιοχών με βαρύ άνθρακα του Σιτσουάν και της Εσωτερικής Μογγολίας, οι ερευνητές προσδιόρισαν ότι ο συντελεστής προσαρμογής εκπομπών της Κίνας είναι 550 g/kWh. Λαμβάνοντας υπόψη το μερίδιο της ομάδας εξόρυξης με βάση το hashrate (αριθμός κατακερματισμών που υπολογίζεται ανά δευτερόλεπτο) 46% στην Κίνα και την πρόβλεψη 130 MtCO₂ του δικτύου Bitcoin έως το 2021 μόνο στην Κίνα, μαζί με τη συνεχιζόμενη χρήση απολιθωμάτων καυσίμων, υπάρχει πραγματική απειλή για το περιβάλλον, γεγονός που καθιστά πραγματική πιθανότητα την αναμενόμενη άνοδο του 2C που θα συνεισφέρει το Bitcoin μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Για να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ των κρυπτονομισμάτων, είναι ζωτικής σημασίας να αναπτυχθούν φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις (Kohli et al, 2022).

1.7 Λύσεις

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα σύγχρονα κρυπτονομίσματα επιβάλλουν δυσκολίες υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO₂ λόγω ποικίλων παραγόντων, όπως η απόδειξη εργασίας, ο πλεονασμός, η αποδοτικότητα της συσκευής και οι πηγές ενέργειας. Αυτή η ενότητα διερευνά και προσφέρει στρατηγικές

για την επίλυση αυτών των ανησυχιών προσφέροντας παραδείγματα προηγούμενης εργασίας σε συγκεκριμένους τομείς εναλλακτικών διαδικασιών συναίνεσης και μείωσης των επικαλύψεων. Επιπλέον, η έκθεση εξετάζει τον πιο δημοφιλή και αποτελεσματικό εξοπλισμό εξόρυξης από τον Ιούλιο του 2021 και παρέχει μια εις βάθος έρευνα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κορυφαίες περιοχές εξόρυξης ως εναλλακτικές λύσεις στα ορυκτά καύσιμα για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα των κρυπτονομισμάτων (Kohli et al, 2022).

Table 7: Proposed ASIC-based mining devices for cryptocurrency mining as of March 2021 [68].

Device	Cost (\$)	Hashrate (TH/s)	Power (W)	Efficiency (J/TH)	MAC (GWh)
Whatsminer M32-70	6,200	70	3,360	48	29.43
Antminer S7	Variable	4.73	1,293	273.36	11.32
AvalonMiner 1246	Variable	90	3,420	38	29.95
WhatsMiner M32-62T	1,075	62	3,348	54	29.32
AvalonMiner A1166 Pro	2,199	81	3,400	41.97	29.78

Πίνακας 13 Προτεινόμενες συσκευές εξόρυξης για κρυπτονομίσματα με βάση το ASIC

1.8 Εναλλακτικές διαδικασίες συναίνεσης

Η διαδικασία συναίνεσης είναι η μεγαλύτερη συνεισφορά στη χρήση ενέργειας των υπαρχόντων κρυπτονομισμάτων που χρησιμοποιούν PoW, από τις τέσσερις ανησυχίες που περιγράφονται παραπάνω. Κατά συνέπεια, μια πιθανή εναλλακτική θα ήταν η διερεύνηση άλλων διαδικασιών συναίνεσης που είναι πιο ενεργειακά αποδοτικές από το PoW. Το σχήμα 6 παρουσιάζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά συναλλαγή (EEC/trans) για μια ποικιλία κρυπτονομισμάτων, που προέκυψε από διάφορες έρευνες που έχουν διενεργηθεί και παρουσιάζονται από τους Kohli et al (2022). Το Proof of Stake (PoS) είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες εναλλακτικές λύσεις στο Proof of Work (PoW). Αρχικά χρησιμοποιήθηκε στο Peercoin ως ενεργειακά αποδοτική εναλλακτική λύση στο PoW. Επιπλέον, έχει προταθεί στο Ethereum 2.0,. Στο Proof-of-Stake, η απόδειξη λαμβάνεται από τα στοιχεία ή τις συνεισφορές των εξορυκτών στο blockchain, και όχι από την ισχύ επεξεργασίας. Αυτό εξαλείφει τον υπολογιστικό αγώνα που σχετίζεται με το Proof-of-Work, μειώνοντας έτσι τη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές CO2 κατά την εξόρυξη. Σε μια εργασία των Benton et al (2014), οι συγγραφείς ενίσχυσαν το Proof of Work (PoW) με Proof of Stake (PoS) και

πρότειναν το Proof of Activity (PoA), το οποίο μείωσε τις ανάγκες επικοινωνίας και αποθήκευσης δικτύου χωρίς να θυσιάζει την ασφάλεια. Το Proof of Burn (PoB) είναι μια άλλη συναινετική προσέγγιση που καταναλώνει λιγότερη ενέργεια. Οι ανθρακωρύχοι κερδίζουν συμφωνία «καίγοντας» νομίσματα και αφαιρώντας τα από την κυκλοφορία για πάντα. Αυτή η διαδικασία εκκινείται από εξορύκτες που χρησιμοποιούν εικονικές εξορύξεις εξόρυξης σε αντίθεση με τον πραγματικό εξοπλισμό εξόρυξης. Η ισχύς εξόρυξης ενός ανθρακωρύχου αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα των κερμάτων που καίγονται και όχι από την ισχύ επεξεργασίας. Το PoB έχει υιοθετηθεί σε κρυπτονομίσματα όπως το SlimCoin, καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι βιώσιμο και εξαιρετικά αποκεντρωμένο.

Το Hedera είναι ένα εξω-φιλικό κρυπτονομίσμα που χρησιμοποιεί μια πολύ αποτελεσματική τεχνική συναίνεσης που ονομάζεται Hashgraph που βασίζεται στο πρωτόκολλο κουτσομπολιού. Το συνεργατικό ιστορικό κουτσομπολιού διατηρείται ως κατακερματισμός, το οποίο κάθε μέλος του δικτύου χρησιμοποιεί για να καταλήξει σε συναίνεση με βάση τη γνώση του για το τι θα μπορούσε να γνωρίζει ένας άλλος κόμβος. Οι Popov & Buchanan (2021) επινόησαν την Fast Probabilistic Consensus, μια πιθανοτική διαδικασία (FPC). Χρησιμοποιείται μέσα στο νόμισμα IOTA. Είναι ένα πολύ αποτελεσματικό και ασφαλές δυαδικό σύστημα ψηφοφορίας στο οποίο μια ομάδα κόμβων μπορεί να καταλήξει σε συμφωνία για την αξία ενός μόνο bit και όχι μέσω υπολογισμού. Έχει επίσης αναπτυχθεί μια διαδικασία βασισμένη στην εμπιστοσύνη που αναφέρεται ομόφωνα ως XRP, όπου οι συμμετέχοντες συνάπτουν συμφωνία χωρίς πλήρη συναίνεση μεταξύ όλων των μελών του δικτύου. Το Hashgraph, το FPC και το XRP δεν χρειάζονται μεγάλη επεξεργαστική ισχύ και επομένως ξοδεύουν πολύ λιγότερη ενέργεια από το PoW, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.

Οι Doley & Strong (1983) και οι Luu et al (2016) πρότειναν το Stellar Consensus Protocol (SCP). Εξαλείφει τους χρονικούς περιορισμούς επεξεργασίας μπλοκ επιτρέποντας ευελιξία στις ρυθμίσεις δυσκολίας PoW και επεξεργάζεται πολλά μπλοκ παράλληλα. Επομένως, η αυξημένη επεξεργαστική ισχύς ενισχύει τη διεκπεραίωση του συστήματος, ενισχύοντας επομένως την επεκτασιμότητα και τη βιωσιμότητά του, καθώς περισσότερα μπλοκ υποβάλλονται σε επεξεργασία στο ίδιο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας ανάλογη με το αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι συναίνεσης που βασίζονται σε αποθήκευση. Το SCP χρησιμοποιείται στο δίκτυο Pi. Οι Miller et al (2014) πρότειναν

το Proof of Retrievability, μια συναινετική τεχνική που βασίζεται στην κατανεμημένη αποθήκευση (PoR). Ωστόσο, δεδομένου ότι το προτεινόμενο σύστημα δεν διαθέτει διαδικασία εκλογής κόμβου ηγέτη, το Proof of SpaceTime, μια συγκρίσιμη μεθοδολογία βασισμένη στο PoR, σύμφωνα με τα όσα παρουσίασαν οι Moran & Orlov (2019). Το PoST είναι μια τεχνική συναίνεσης που βασίζεται στην αποθήκευση, καθώς επαληθεύει ότι τα σχετικά δεδομένα έχουν αποθηκευτεί για ορισμένο χρονικό διάστημα. Το PoST κοστίζει λιγότερη ενέργεια λόγω του γεγονότος ότι η πολυπλοκότητα της απόδειξης μπορεί να μεταβληθεί με την παράταση της περιόδου αποθήκευσης δεδομένων παρά με την αύξηση της υπολογιστικής ικανότητας. Στο SpaceCoin και στο CHIA, εφαρμόστηκε η συναινετική μέθοδος Proof of Space (PoSpace), η οποία βασίζεται σε μερίδια αποθήκευσης. Το PoSpace χρειάζεται μικρή επεξεργαστική ισχύ και μπορεί να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε μηχάνημα με ελεύθερο χώρο αποθήκευσης και πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Οι Ball et al (2017) υποστηρίζουν την εφαρμογή χρησιμοποιήσιμων αποδείξεων εργασίας (uPoW) για το ζήτημα των Ορθογώνιων Διανυσμάτων (OV). Ορίζουν τη χρησιμότητα ως την ανάθεση υπολογιστικών εργασιών σε εξορύκτες έτσι ώστε οι λύσεις των εργασιών να μπορούν να ανακατασκευαστούν γρήγορα και επαληθεύσιμα από τις απαντήσεις των ανθρακωρύχων. Το uPoW μετατρέπει την ποσότητα της άχρηστης εργασίας σε PoW σε παραγωγική εργασία χωρίς να θυσιάζει τη δυσκολία. Η έρευνα για την αποδοτική εξόρυξη πόρων (REM) (Zhang et al, 2017) για το Bitcoin δημιούργησε την πρώτη ολοκληρωμένη εφαρμογή του SGX-blockchain με υπολογιστικό κόστος 5-15%.

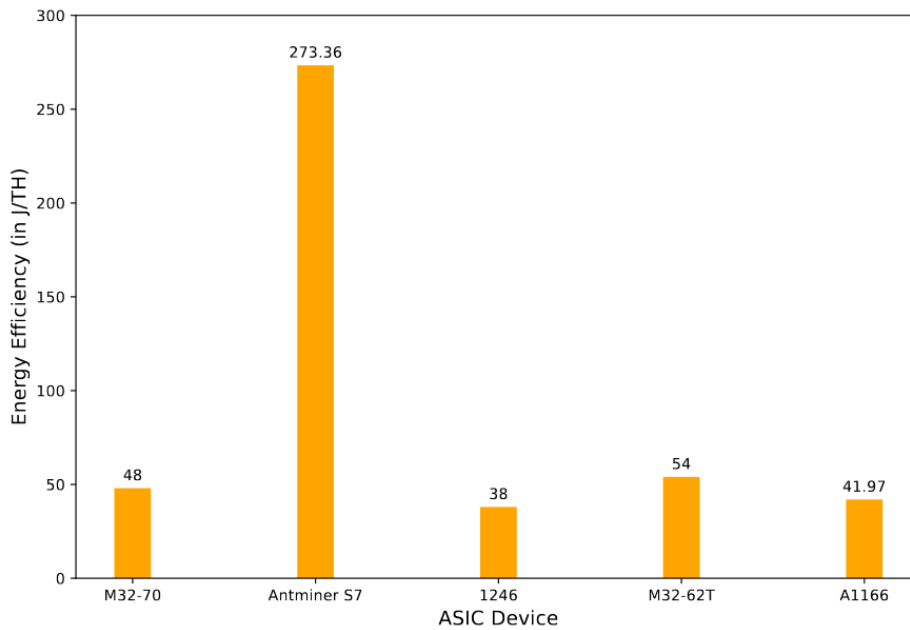


Fig. 7: Energy efficiency (energy consumption per TH) of various ASIC devices.

Πίνακας 14 Ενεργειακή επάρκεια (ενεργειακή κατανάλωση ανά TH) των διαφόρων συσκευών ASIC

Αυτές οι μέθοδοι είναι συγκρίσιμες με το uPoW (Wang et al, 2019). Οι πελάτες παρέχουν τον φόρτο εργασίας τους στον προστατευμένο από SGX θύλακα ως εργασίες. Το χαρακτηριστικό της υπηρεσίας βεβαίωσης στο SGX που διασφαλίζει την ελικρίνεια ελέγχει και μετρά το πρόγραμμα που λειτουργεί σε θύλακα. Ο θύλακας καθορίζει τυχαία ποια εργασία υπολογιστών οδηγεί σε έγκυρη απόδειξη μπλοκ.

1.9 Δίκτυο Pi

Εδώ αξίζει να κάνουμε μια παρένθεση για να αναφερθούμε στο δίκτυο Pi το οποίο αναφέρθηκε προηγουμένως. Στο (P.Network, 2022), οι συγγραφείς κάνουν μια εισαγωγή στο δίκτυο Pi που αντιμετωπίζει τα δύο προβλήματα που μαστίζουν το δίκτυο Bitcoin: την υπερβολική χρήση ενέργειας και τη συγκέντρωση των εξορυκτών.

Το δίκτυο Pi χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη έκδοση του Stellar Consensus Protocol (SCP) (Mazieres, 2017) σε αντίθεση με την ενεργοβόρα τεχνική συναίνεσης PoW. Ενώ τέτοια δίκτυα χρειάζονται πολλές ανταλλαγές μεταξύ κόμβων για να επιτευχθεί συμφωνία και μπορεί να συμβάλλουν στη συμφόρηση του δικτύου, η κατανάλωση ενέργειας τους είναι σημαντικά χαμηλότερη.

Ενώ ο αρχικός σκοπός του Bitcoin ήταν να προσφέρει έναν αποκεντρωμένο μηχανισμό συναλλαγών, η αύξηση της τιμής και οι μεγαλύτερες αποδόσεις έχουν καταστήσει το δίκτυο όλο και πιο συγκεντρωμένο, με περίπου το 87% των BTC να ελέγχεται από το 1% των κόμβων. Το δίκτυο Pi δίνει τη δυνατότητα σε κάθε χρήστη με κινητό τηλέφωνο να εξορύσσει κρυπτονομίσματα χωρίς να χρειάζεται ακριβό υλικό ASIC. Ως εκ τούτου, καθιστά την εξόρυξη πιο προσιτή και προσιτή (Kohli et al, 2022).

1.10 Τεχνικές Μείωσης Πλεονασμού

Μια πιθανή λύση που προσφέρεται στη βιβλιογραφία για τη μείωση του πλεονασμού αποθήκευσης σε δίκτυα blockchain είναι το "sharding", το οποίο συνεπάγεται τη διαίρεση του δικτύου σε υποτμήματα που ονομάζονται "shards" ανάλογα με τη διαδικασία συναίνεσης και την ενημέρωση των συναλλαγών εντός των ορίων κάθε θραύσματος. Οι Zamani et al (2018) διεξήγαγαν έρευνα για την κλιμάκωση της αλυσίδας μπλοκ με χρήση διαμοιρασμού και ανέπτυξαν μια αξιόπιστη προσέγγιση διαμοιρασμού χαμηλής αποτυχίας. Ενώ η διάσπαση των δικτύων blockchain σε θραύσματα είναι πρόκληση λόγω της αποκέντρωσης της επεξεργαστικής ισχύος στο PoW, είναι δυνατή σε PoS και PoSpace ανάλογα με τις αναλογίες των στοιχημάτων και την αποθήκευση (Wang et al, 2019).

Οι Jia et al (2018) ανέπτυξαν μια άλλη προσέγγιση (που ονομάζεται ElasticChain) για να μειώσουν τον πλεονασμό. Στο ElasticChain, οι κόμβοι της αλυσίδας αποθηκεύουν ένα τμήμα ολόκληρου του καθολικού με βάση μια ρυθμιστική μέθοδο για την αναλογία διπλασιασμού. Η μελέτη καταδεικνύει τον ίδιο βαθμό σταθερότητας, ασφάλειας και ανοχής σε σφάλματα με το παρόν σύστημα blockchain, ενώ αυξάνει την επεκτασιμότητα της αποθήκευσης. Η σημασιολογική διαφορική συναλλαγή (SDT) προτάθηκε από τους Xue & Lu (2020) για την εξάλειψη της διπλοτυπίας στην ενσωμάτωση της Μοντελοποίησης Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) με το blockchain. Το SDT καταγράφει τοπικές τροποποιήσεις σε ένα μοντέλο ως BIM Change Contracts (BCC), οι οποίες είναι 0,02% τόσο μεγάλες όσο το Industry Foundation Classes (IFC) (το πρότυπο για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας στις πλατφόρμες BIM, την προσαπία τους σε μια αλυσίδα μπλοκ και την επαναφορά τους όταν χρειάζεται).

Επομένως, το SDT μειώνει τον πλεονασμό στα συστήματα BIM-blockchain. Στην έρευνα των Zhang & Liu (2021) σχετικά με τον πλεονασμό της κυκλοφορίας δικτύου προτείνει τη μείωση του μέσου μήκους ζεύξης δρομολόγησης μεταξύ δύο κόμβων στο δίκτυο Bitcoin, προκειμένου να μειωθεί ο πλεονασμός κίνησης. Η χρήση αποδείξεων μηδενικής γνώσης (ZKP) όπως το SNARKS είναι μια επιπλέον κατηγορία προσεγγίσεων που προτείνονται για την εξάλειψη του λειτουργικού πλεονασμού σε blockchains. Το ZKP δεν χρειάζεται περίπλοκη κρυπτογράφηση. Ενισχύει το απόρρητο των χρηστών αποτρέποντας τη δημοσίευση προσωπικών πληροφοριών, όπως συμβαίνει με τις δημόσιες αλυσίδες μπλοκ όπως το Bitcoin. Επιπλέον, προσφέρει ασφάλεια ενώ ενισχύει την επεκτασιμότητα και την απόδοση του δικτύου bitcoin, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται από τους συγγραφείς του χρησιμοποιεί το ZKP για να ελαχιστοποιήσει το χρόνο που απαιτείται για την απόδειξη και την επαλήθευση μεγάλων διαδοχικών υπολογισμών σε σύγκριση με άλλες υπάρχουσες υλοποιήσεις ZKP (Ishai et al, 2015).

1.11 Επιλογή Εξοπλισμού Μεταλλείων

Ενώ οι αποδοτικές συσκευές θα βοηθήσουν σε χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανεξάρτητα από τη διαδικασία συναίνεσης, καθίσταται ζωτικής σημασίας η υιοθέτηση εξαιρετικά αποδοτικών συσκευών όπως το ASIC εάν συνεχίσει να χρησιμοποιείται το PoW (Houy, 2019).

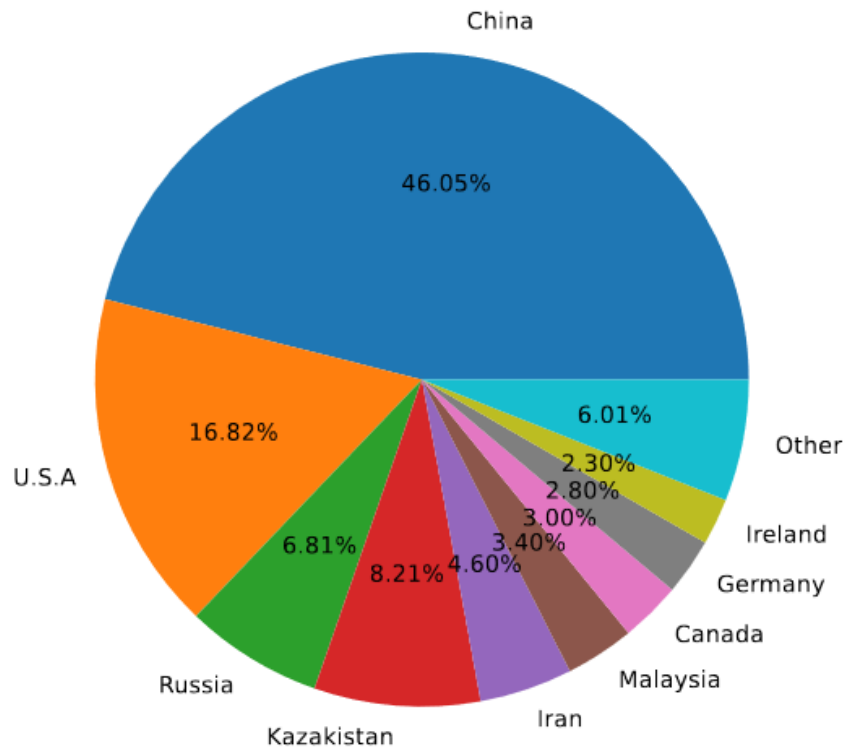


Fig. 8: Mining share based on hashrates [19].

Πίνακας 15 Μεριδίο εξόρυξης ανά hashrate

Όπως φαίνεται στον Πίνακα-6 και στο Σχήμα-5, οι συσκευές που βασίζονται σε ASIC ξοδεύουν τη μικρότερη ποσότητα ενέργειας ανά κατακερματισμό και παρέχουν τη μεγαλύτερη ισχύ επεξεργασίας με ρυθμό κατακερματισμού 40.000 GH/s και κατανάλωση ενέργειας 0,05 J/GH. Η χρήση συσκευών ASIC, όπως στο εργοστάσιο KnCMiner στο Boden της Σουηδίας, μπορεί να μειώσει την παγκόσμια ετήσια κατανάλωση ενέργειας της εξόρυξης σε 1,46 TWh, σύμφωνα με μία μελέτη που δημοσιεύθηκε στον Economist και μία ακόμα από τους Kufeoglu & Ozkuran, (2019). Το techradar.pro (2021) (καλύπτει τις πέντε κορυφαίες συσκευές εξόρυξης που βασίζονται σε ASIC από τον Μάρτιο του 2021, δηλαδή τις Whatsminer M32-70, Antminer S7, Avalon- Miner 1246, WhatsMiner M32-62T και AvalonMiner A1166 Pro. Το κόστος, ο ρυθμός κατακερματισμού, η κατανάλωση ενέργειας, η απόδοση και η μέγιστη ετήσια κατανάλωση (MAC) παρέχονται για καθεμία από αυτές τις συσκευές στον Πίνακα 7. Η απόδοση των άλλων τεσσάρων συσκευών είναι παρόμοια με αυτή του AvlonMiner 1246, η οποία είναι η πιο αποδοτική ενεργειακά στα 38 J/TH. Εκτός

από τον υπολογισμό των αποδόσεων, έχουμε υπολογίσει και το MAC (σε GWh) αυτών των συσκευών.

$MAC = P \cdot 24 \cdot 365 \cdot 106 \cdot (4)$ όπου P (σε W) είναι η κατανάλωση ενέργειας της συσκευής πολλαπλασιαζόμενη επί τον αριθμό των ωρών σε ένα έτος ως 24 365 για να ληφθεί το ισοδύναμο ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Ο πίνακας αποκαλύπτει ότι, από τις πέντε εναλλακτικές λύσεις, το Antminer S7 ξόδεψε τη λιγότερη ενέργεια παρόλο που παρείχε τη χαμηλότερη απόδοση. Οι άλλες τέσσερις συσκευές εξόρυξης που βασίζονται σε ASIC έχουν ισοδύναμες τιμές MAC που κυμαίνονται από 29,32 GWh έως 29,95 GWh, υποδηλώνοντας ότι η πιο αποτελεσματική επιλογή είναι το AvalonMiner 1247.

4.4. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Πρέπει να αντιμετωπίσουμε τις επιπτώσεις των εκπομπών τους και την επιδείνωση του οικολογικού τους αποτυπώματος υπό το φως της υπερβολικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας των υπαρχόντων μπλοκ αλυσίδων PoW. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις εκπομπές CO₂ (Dong et al, 2020). Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDG) για την οικονομική ανάπτυξη και το εμπόριο που προτείνονται από μια μελέτη για τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τον αντίκτυπό τους (Ethereum.org, 2022) περιλαμβάνουν τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την εφαρμογή φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών παραγωγής, την επιβολή του πράσινου εμπορίου, εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση. Εκτός από το ότι είναι σχετικές με τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και το εμπόριο γενικά, αυτές οι οδηγίες ισχύουν και για τα κρυπτονομίσματα. Οι Liu et al (2021) αποδεικνύουν ότι οι νομικές εκτιμήσεις, καθώς και η συνέχεια και το κόστος της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι οι πιο σημαντικές μεταβλητές για τον προσδιορισμό του τύπου των εργασιών εξόρυξης κρυπτονομισμάτων. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια αποδείχθηκε ότι είναι οι μεγαλύτερες ενεργειακές επιλογές για δίκτυα blockchain. Η χρήση αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα καταστήσει την υψηλή χρήση ενέργειας των PoW νομισμάτων πιο φιλική προς το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, συνιστάται ανεπιφύλακτα τα κράτη με υψηλό επίπεδο εξόρυξης κρυπτονομισμάτων να επενδύσουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από τον Ιούλιο του 2021, ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει την κατανομή των μετοχών εξόρυξης ανάλογα με τα hashrates. Οι πληροφορίες προέρχονται από τον δείκτη κατανάλωσης ενέργειας του Cambridge Bitcoin (U. of Cambridge (2022), Κίνα (46%), Ηνωμένες Πολιτείες (16,8%), Καζακστάν (8,2%), Ρωσία (6,8%), Ιράν (4,6%), Μαλαισία (3,4%), Καναδάς (3%),

Γερμανία (2,8%), και η Ιρλανδία (2,2%) είναι οι κορυφαίες χώρες εξόρυξης Bitcoin στον κόσμο. Χρησιμοποιώντας την εκτίμηση του Digiconomist (2022) των 135,12 TWh για το Bitcoin και υποθέτοντας ότι τα ενεργειακά μερίδια είναι ανάλογα με τα μερίδια hashrate, μπορούμε να υπολογίσουμε την εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας (EEC) ως εξής:

$$EEC = 135,12 \times \text{μερίδιο (\%)}$$

Table 8: Mining shares, renewable energy capacities installed and evaluation metrics: Estimated Energy Consumptions (EEC), Maximum Energy Generation (MEG), Renewable Capacity Ratio (RCR) for major Bitcoin mining regions.

Region	Bitcoin mining [19, 23]		Renewable energy capacity installed (MW [93])							MEG (TWh)	RCR	Relative RCR
	Share (%)	EEC (TWh)	Total capacity	Hydropower	Wind	Solar	Bioenergy	Geothermal	Marine			
World	100	135.12	2,799,094	1,331,889	733,267	713,970	126,557	14,050	527	24520.06	-	-
China	46	62.15	894,879	370,160	281,993	254,335	18,687	0	5	7839.14	126.12	0.4134
U.S.A	16.8	22.70	292,065	103,058.00	117,744	75,572	12,372	2,587	0	2558.48	112.70	0.3694
Kazakhstan	8.2	11.07	4,997	2,785	486	1,719	8	-	-	43.77	3.95	0.0129
Russia	6.8	9.18	54,274	51,811	945	1,428	1,370	74	2	475.44	51.74	0.1696
Iran	4.6	6.21	12,922	13,233	303	414	12	-	-	113.19	18.21	0.0597
Malaysia	3.4	4.59	8,699	6,275	-	1,493	931	-	-	76.20	16.58	0.0543
Canada	3	4.05	101,188	81,058	13,577	3,325	3,383	-	20	886.40	218.67	0.7168
Germany	2.8	3.78	131,739	10,720	62,184	53,783	10,364	40	-	1154.03	305.02	1.0000
Ireland	2.3	3.10	4,685	529	4,300	40	107	-	-	41.04	13.20	0.0432
Other	6	8.24	1,293,646	692,260	251,735	321,861	79,323	11,349	500	11332.33	-	-

Πίνακας 16 Μερίδιο Εξόρυξης, ικανότητες ανανεώσιμης ενέργειας και αξιολόγηση metrics

Σύμφωνα με τον Πίνακα-16, η Κίνα μόνο χρησιμοποίησε 62,15 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι παρόμοια με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελβετία (56,35 TWh). Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας για αυτές τις βασικές τοποθεσίες εξόρυξης να εργαστούν για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής ζημίας και της υπερθέρμανσης του πλανήτη που προκαλείται από την εξόρυξη αιχμαλώτων. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 συγκεντρώθηκαν από τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IREA) και αφορούν εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2020. Το διάγραμμα περιλαμβάνει επίσης τη Μέγιστη Παραγωγή Ενέργειας (MEG) από ανανεώσιμες πηγές, ανάλογα με τις εγκατεστημένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάθε χώρας χωρητικότητα. Το MEG (σε TWh) προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$MEG = \text{Συνολική χωρητικότητα πολλαπλασιασμένη επί } 24 \cdot 365 \cdot 106$$

Συγκεκριμένα, το MEG καθορίζεται ως η μέγιστη εφικτή ετήσια παραγωγή ενέργειας με χρήση της εγκατεστημένης ισχύος. Επιπλέον, ο λόγος ανανεώσιμων πηγών ικανότητας (RCR) για κάθε έθνος προσδιορίζεται ως ο λόγος του MEG προς το EEC χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

RCR = MEG EEC

Το RCR αντιπροσωπεύει το κλάσμα της διαθέσιμης ανανεώσιμης ενέργειας ανά TWh χρήσης ενέργειας εξόρυξης Bitcoin. Ένα υψηλό RCR υποδηλώνει μεγαλύτερη δυνατότητα εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη διαδικασία εξόρυξης.

Κεφάλαιο 2^ο: Το Bitcoin και η ενεργειακή του κατανάλωση

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση της ανταλλαγής μέσω Διαδικτύου ως ευνοημένης μεθόδου μεταφοράς χρημάτων έχει εκραγεί. Σε αντίθεση με τις συμβατικές διαδικτυακές υπηρεσίες μεταφοράς χρημάτων που προσφέρονται από διαφορετικές τράπεζες και εταιρείες ανταλλαγής νομισμάτων, όλο και περισσότεροι ιδιώτες επικεντρώνονται στο κρυπτογραφικό/ψηφιακό νόμισμα λόγω της απλότητας χρήσης, της ασφάλειας, της ψευδωνυμίας στην επικοινωνία και των γρήγορων διαδικτυακών συναλλαγών. Συνήθως, αυτά τα κρυπτονομίσματα επιτρέπουν στους χρήστες να αγοράζουν και να πουλούν μάρκες ή νομίσματα με πραγματική αξία, όπως το (USD-Δολάριο Ηνωμένων Πολιτειών), μέσω μιας ποικιλίας διαδικτυακών πλατφορμών (π.χ. Karken, Poloniex). Το Bitcoin, το Ripple και το Ethereum είναι μερικά από τα πιο σημαντικά ψηφιακά νομίσματα. Το Poloniex, για παράδειγμα, επιτρέπει στους πελάτες να μετατρέψουν το Bitcoin σε Ripple μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα με ένα μόνο κλικ. Σχεδόν όλα τα κρυπτονομίσματα βασίζονται στη διάσημη τεχνολογία «Blockchain» (Yun et al, 2019), η οποία διευκολύνει και επαληθεύει τη μεταφορά ψηφιακού νομίσματος μεταξύ ατόμων. Αυτή η διαδικασία επαλήθευσης (γνωστή ως «εξόρυξη») πραγματοποιείται με τη βοήθεια γεωγραφικά διασκορπισμένων υπολογιστών Blockchain. Λόγω της στενής συσχέτισης μεταξύ των μπλοκ με μοναδικά κατακερματισμένα και του γνωστού μηχανισμού απόδειξης εργασίας, το blockchain είναι πολύ ανθεκτικό στην παραβίαση από χάκερ (εξηγείται αργότερα σε επόμενες ενότητες). Το Bitcoin (BTC) φαίνεται να είναι πολύ ανώτερο από άλλα ψηφιακά νομίσματα όσον αφορά την αξία, τη χρήση και τον αντίκτυπο στην αγορά. Κατά συνέπεια, το υπόλοιπο αυτού του άρθρου επικεντρώνεται μόνο στο BTC. Παρά τα προαναφερθέντα οφέλη, το Bitcoin και άλλα κρυπτονομίσματα έχουν το ζήτημα της επικύρωσης συναλλαγών που απαιτεί σημαντική ποσότητα ενέργειας. Αυτή η

κατανάλωση ενέργειας μπορεί να φτάσει σε μια εκτιμώμενη τιμή περίπου 213.101.865 kWh (κιλοβατώρα) κάθε μέρα (τελευταία ενημέρωση τον Ιανουάριο του 2020 στο digiconomist.net (2022), υπερβαίνοντας την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιούν εκατομμύρια σπίτια σε μια μεγάλη μητρόπολη. Αρχικά, όταν ο Satoshi Nakamoto δημιούργησε το Bitcoin το 2008 ως ένα αποκεντρωμένο δίκτυο για την ανταλλαγή ψηφιακού νομίσματος, ο αριθμός των χρηστών BTC και των ανθρακωρύχων ήταν μικρός, επομένως οι απλοί επεξεργαστές υπολογιστών επαρκούσαν για τη διεξαγωγή της λειτουργίας εξόρυξης BTC. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα της σημερινής δημοτικότητας του BTC και της αύξησης των τιμών που είχε το 2017, όταν έφτασε σε υψηλό επίπεδο έως και 20.000 USD, το δίκτυο BTC έχει εκραγεί σε μέγεθος και σημασία (Mir, 2020).

Το Bitcoin λειτουργεί στην καρδιά του ως ένα δίκτυο peer-to-peer (P2P) εξορυκτών που προσπαθούν να λύσουν ένα μαθηματικό πρόβλημα προκειμένου να επαληθεύσουν ένα μπλοκ συναλλαγών. Αυτό το μαθηματικό ζήτημα γίνεται πιο δύσκολο να λυθεί καθώς ο αριθμός των ανθρακωρύχων αυξάνεται. Επιπλέον, η ομάδα ανθρακωρύχων που λύνει το αίνιγμα πιο γρήγορα λαμβάνει το έπαθλο. Ωστόσο, ο ενθουσιασμός τους μπορεί να αυξήσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Η πρόσφατη κριτική για την κατανάλωση ενέργειας BTC ήταν σκληρή, σύμφωνα με τον Hern (2018) που χρησιμοποίησε εκφράσεις όπως «Το Bitcoin βλάπτει τον κόσμο» και «Η χρήση ενέργειας του BTC είναι τεράστια - δεν μπορούμε να το αγνοήσουμε». Πριν λάβουμε μια απόφαση, είναι σημαντικό να εξετάσουμε όλες οι σχετικές πτυχές της λειτουργίας της BTC, συμπεριλαμβανομένων των αιτιών που οδηγούν στην υψηλή κατανάλωση ενέργειας της BTC και τυχόν προσπαθειών που μπορεί να συμβάλουν στη χρήση πράσινης ενέργειας για συναλλαγές BTC. Η τρέχουσα ακαδημαϊκή έρευνα στερείται οποιασδήποτε εργασίας που να τονίζει τις προαναφερθείσες ανησυχίες (Mir, 2020).

Τα διακριτικά χαρακτηριστικά του Bitcoin σε σχέση με τα παραδοσιακά νομίσματα fiat ήταν ένας κρίσιμος λόγος για την αυξανόμενη γοητεία του μεταξύ των επενδυτών, των ρυθμιστικών αρχών και των ακαδημαϊκών (Böhme et al., 2015). Ωστόσο, σοβαρές ανησυχίες έχουν επίσης εγερθεί πρόσφατα από οικονομολόγους σχετικά με την αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας στη διαδικασία εξόρυξης (De Vries, 2018). Το Bitcoin λειτουργεί στην τεχνολογία blockchain όπου εκτελείται ο αλγόριθμος απόδειξης εργασίας (PoW) (ένα είδος κρυπτογραφικού παζλ) για την επαλήθευση των συναλλαγών και τη δημιουργία νέων Bitcoin. Οι τύποι μηχανημάτων που εκτελούν τους αλγοριθμικούς υπολογισμούς PoW εξαρτώνται από τεράστιες ενεργειακές

απαιτήσεις (Symitsi, & Chalvatzis, 2018.). Ωστόσο, οι κορυφαίες τιμές του Bitcoin σε συνδυασμό με τις προσδοκίες για σταθερές ταμειακές ροές παρέχουν κίνητρα στους ανθρακωρύχους για τη διαχείριση των ενεργοβόρων μηχανών. Κατά συνέπεια, η συνολική κατανάλωση ενέργειας από ολόκληρο το δίκτυο Bitcoin έχει κλιμακωθεί σε επικές διαστάσεις. Μέχρι το 2018, οι ετήσιες εκτιμώμενες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας του Bitcoin ανέρχονται πλέον σε 52,06 Terawatt–Hours (TWh), το οποίο είναι συγκρίσιμο με τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες πολλών μεγαλύτερων χωρών που καταναλώνουν ενέργεια στον κόσμο (Böhme et al, 2015). Ο πίνακας 12 παρουσιάζει την κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin σε σχέση με πολλές χώρες (εκφρασμένο σε ποσοστό) έως το 2018. Οι στατιστικές τάσεις υποδηλώνουν έντονα την απαίτηση εντατικής κατανάλωσης ενέργειας για την εξόρυξη Bitcoin. Ωστόσο, μπορεί να μην αφορά τους ανθρακωρύχους, εφόσον είναι σε θέση να αποφέρουν σημαντικά κέρδη. Τελευταία, οι εξορύκτες Bitcoin υποφέρουν συσσωρευμένες απώλειες αναγκάζοντάς τους να σταματήσουν την εξόρυξη ή να στραφούν σε άλλες μορφές κρυπτονομισμάτων (De Vries, 2018). Για παράδειγμα, το Fortress Blockchain, ένας Καναδός εξορύκτης Bitcoin, αναφέρει καθαρή απώλεια 1,16 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ μέχρι το τρίτο τρίμηνο Τρίτο του 2018 (Katsiampa, 2017). Η κερδοφορία των κατασκευαστών εξοπλισμού εξόρυξης, όπως το Bitmain και το GMO Internet, καταρρίπτεται επίσης εξίσου. Οι Symitsi and Chalvatzis (2018) υποστηρίζουν ότι όσο αυξάνεται ο όγκος των συναλλαγών, περισσότεροι ανθρακωρύχοι εισβάλλουν στην επιχείρηση ανταγωνίζονται μέσω του δικτύου. Με τον αυξημένο ανταγωνισμό, ο κρυπτοαλγόριθμος επίλυσης γίνεται επίπονος, γεγονός που ενισχύει τη δυσκολία εξόρυξης Bitcoin. Η παράμετρος δυσκολίας της εξόρυξης Bitcoin καθορίζεται από την έκταση της πολυπλοκότητας που εμπλέκεται στην εύρεση ενός κατακερματισμού κάτω από τον στόχο ορίου που καθορίζεται από το πρωτόκολλο Bitcoin. Το hashrate στο δίκτυο του Bitcoin είναι ένας δείκτης του ρυθμού με τον οποίο εντοπίζεται κάθε κατακερματισμός με την επίλυση του κωδικού κρυπτογράφησης από τους εξορύκτες. Καθώς η ζήτηση για Bitcoin κλιμακώνεται, περισσότεροι ανθρακωρύχοι εισέρχονται στον εικονικό χώρο εκτός από την εισαγωγή προηγμένου υλικού εξόρυξης που με τη σειρά του αυξάνει το hashrate. Πρόσφατα, οι Li et al. (2019) διαπιστώνουν ότι η απόδοση εξόρυξης (που ορίζεται ως ο λόγος των κατακερματισμών ανά δευτερόλεπτο με την κατανάλωση ενέργειας) καθορίζεται κυρίως από τον αλγόριθμο κατακερματισμού. Έτσι, δεδομένων των τεράστιων ενεργοβόρων αλγοριθμικών απαιτήσεων του Bitcoin στον απόηχο του αυξανόμενου παγκόσμιου ενεργειακού

κόστους εν μέσω πτωτικών συναισθημάτων της αγοράς, θα μπορούσε να είναι ένας κρίσιμος παράγοντας τόνωσης πίσω από τη μείωση των εσόδων του εξορύκτη Bitcoin - την οποία αναφέρουμε ως αχίλλειο πτέρνα. Οι προηγούμενες μελέτες σχετικά με τις διαφοροποιημένες πτυχές του Bitcoin εστιάζονται σε μεγάλο βαθμό από την πλευρά του επενδυτή (Katsiampa, 2017; Urquhart, 2016). Ωστόσο, η αναπαράσταση της οπτικής του ανθρακωρύχου είναι περιορισμένη στη βιβλιογραφία. Σε αυτό το άρθρο, προσθέτουμε μια νέα διάσταση στη βιβλιογραφία των κρυπτονομισμάτων εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας του Bitcoin και των εσόδων του εξορύκτη. Βρίσκουμε σημαντική αρνητική επίδραση της κατανάλωσης ενέργειας όταν τα έσοδα είναι χαμηλά και ασταθή.

Λόγω των δυνατοτήτων επένδυσης και διαφοροποίησης, τα κρυπτονομίσματα θεωρούνται ελκυστικά τόσο για έμπειρους όσο και για ερασιτέχνες επενδυτές. Ωστόσο, τα υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά το hashing αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, ειδικά στις χώρες όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στον άνθρακα. Ο δείκτης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του Cambridge Bitcoin (CBECI) εκτιμά ότι η ετήσια χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την εξόρυξη ανέρχεται σε περίπου 114,81 TWH.¹ Από περιβαλλοντικής άποψης, αυτή η τεράστια κατανάλωση ενέργειας προκαλεί σοβαρή ανησυχία. για το λόγο αυτό, η σε βάθος ανάλυση των στοιχείων που επηρεάζουν τα κέρδη των miners και συνεπώς την «διάθεση» τους για να συνεχίσουν την εξόρυξη κρυπτονομισμάτων είναι πολύ σημαντική.

2.1 Hashrate

Η λειτουργία εξόρυξης κρυπτονομισμάτων περιλαμβάνει ένα δίκτυο στο οποίο οι συμμετέχοντες πραγματοποιούν συναλλαγές σκόπιμα μέσω μιας δραστηριότητας επικύρωσης έντασης πόρων. Η διαδικασία παραγωγής κρυπτονομισμάτων περιλαμβάνει υπολογιστική προσπάθεια και αναφέρεται συνήθως ως hashrate (επίσης γνωστή ως ισχύς κατακερματισμού, προσπάθεια εξόρυξης, ισχύς κατακερματισμού). Η αποτελεσματικότητα επεξεργασίας ή η υπολογιστική ισχύς οδηγεί τη διαδικασία εξόρυξης για την παραγωγή περισσότερων Bitcoin. Η διαδικασία εξόρυξης περιλαμβάνει ένα εξειδικευμένο υλικό με υπολογιστική ισχύ που μετράται σε hashes ανά δευτερόλεπτο. Με απλά λόγια, οι κατακερματισμοί μπορούν να θεωρηθούν ως η ισχύς επεξεργασίας ενός μικροτσίπ CPU που καθορίζει τον αριθμό των μεμονωμένων υπολογισμών ανά δευτερόλεπτο. Για κάθε μεμονωμένο miner, τα υπολογισμένα hashes

προστίθενται σε μια διαδικτυακή ισχύ δικτύωσης. Επομένως, η διαδικασία εξόρυξης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο από τον αριθμό των εξορυκτών αλλά και από την υπολογιστική απόδοση. Το hashrate τείνει να αυξάνεται καθώς βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην υπολογιστική ισχύ, δηλαδή οι εξορύκτες με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ έχουν καλύτερες πιθανότητες να βρουν νέα Bitcoin από άλλους εξορύκτες. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας αποκλειστικό υλικό και λογισμικό για την εύρεση μιας συγκεκριμένης σειράς αριθμών ή μιας συνάρτησης κατακερματισμού. Ο πρώτος εξορύκτης αποζημιώνεται με έναν σταθερό αριθμό πρόσφατα εκδοθέντων Bitcoin, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να δημοσιεύσουν μια συλλογή από εκκρεμείς συναλλαγές ή μπλοκ σε μια αλυσίδα μπλοκ. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο εξορύκτης επαληθεύει την εγκυρότητα των συναλλαγών Bitcoin και αν το μπλοκ προστίθεται στο blockchain (με αποτέλεσμα την ανάπτυξή του), το οποίο διαφορετικά μπλοκάρεται σε περίπτωση μη έγκυρης συναλλαγής. Η διαδικασία επικύρωσης της ανάρτησης συναλλαγών αποτελεί πηγή εσόδων για τους επιτυχημένους εξορύκτες, καθώς οι χρεώσεις συναλλαγών περιλαμβάνονται στις εκκρεμείς συναλλαγές Bitcoin. Σε αυτή τη διαδικασία, ο εξορύκτης συλλέγει τις εκκρεμείς συναλλαγές σε μπλοκ, τις συγκρίνει με τη λύση υπολογισμού και, στη συνέχεια, προσθέτει τις συναλλαγές των μπλοκ στο blockchain. Ο αριθμός των Bitcoin που λαμβάνονται από μια διεύθυνση για μεταφορά σε άλλη διεύθυνση καθορίζεται μέσω συναλλαγών, ενώ οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ δύο αριθμών καταγράφεται από τον εξορύκτη ως τέλη συναλλαγής. Ο συμμετέχων στην υποκείμενη συναλλαγή διατηρεί την απόφαση να επιβάλει τέλος, ενώ το ποσοστό έκδοσης νέων Bitcoin εξαρτάται από τη δυσκολία των υπολογιστικών προβλημάτων. Με άλλα λόγια, οι υποκείμενοι αλγόριθμοι ορίζουν το επίπεδο δυσκολίας έτσι ώστε, μετά από κάθε 10 λεπτά, κατά μέσο όρο, να προστίθεται ένα μόνο μπλοκ στην αλυσίδα μπλοκ (144 μπλοκ την ημέρα). Αυτή η δυσκολία αυξάνεται όταν προστίθενται νέα μπλοκ με ταχύτερο ρυθμό από τον επιθυμητό, κάτι που μπορεί να αποδοθεί ως προηγμένη τεχνολογία εξόρυξης ή αυξημένος αριθμός miners. Όταν ο ρυθμός είναι αργός, γίνεται μια προσαρμογή κάθε 14 ημέρες, ένα άθροισμα ισοδύναμο μπλοκ του 2016.

2.2 Παραδοσιακή ανταλλαγή χρημάτων έναντι κρυπτονομίσματος/ψηφιακού νομίσματος

Τα παραδοσιακά τραπεζικά συστήματα που αναπτύσσονται παγκοσμίως βασίζονται στον σχεδιασμό "fiat". Στις περισσότερες χώρες, οι κυβερνήσεις διαχειρίζονται και ρυθμίζουν το νόμισμα fiat, του οποίου η αξία κυμαίνεται ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση και δεν υποστηρίζεται από υλικά περιουσιακά στοιχεία όπως ο χρυσός ή τα διαμάντια. Όλα τα συμβατικά νομίσματα (π.χ. το δολάριο ΗΠΑ) ταιριάζουν στο πεδίο εφαρμογής της αρχιτεκτονικής fiat. Συνήθως, για να δημιουργήσουν έναν τραπεζικό λογαριασμό, τα άτομα πρέπει να παρέχουν πολλές προσωπικές πληροφορίες και να συμπληρώσουν έναν μεγάλο αριθμό εγγράφων. Επίσης απαιτείται φυσική παρουσία και χειρόγραφες υπογραφές. Οι τράπεζες προσφέρουν στους πελάτες τους ποικίλες υπηρεσίες, όπως διαδικτυακές μεταφορές χρημάτων, έκδοση χρεωστικών και πιστωτικών καρτών, διεθνή ανταλλαγή χρημάτων, πρόσβαση σε ATM (αυτόματη ταμειακή μηχανή) και επιταγές πληρωμής, μεταξύ άλλων.

Τις περισσότερες φορές, δεν απαιτείται σύνδεση δικτύου κατά την εργασία με το νόμισμα fiat. Οι αρχιτεκτονικές της Fiat είναι πιο αποδεκτές για την πλειοψηφία των ανθρώπων λόγω της παγκόσμιας δημοτικότητας και ευκολίας τους. Αν και οι τραπεζικές συναλλαγές με τη μορφή διαδικτυακής μεταφοράς ή χρήσης ATM/πιστωτικής/χρεωστικής κάρτας έχουν το πλεονέκτημα ότι καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε την τεράστια ισχύ που χρησιμοποιούν γεωγραφικά τοποθετημένα τραπεζικά υποκαταστήματα (με υψηλά μηχανήματα) και το τεράστιο ανθρώπινο δυναμικό που απαιτείται για τη λειτουργία της τράπεζας λειτουργίες κατά τον υπολογισμό της ενέργειας για αρχιτεκτονικές fiat.

Σε αντίθεση με τις συναλλαγές σε νομίσματα fiat, τα κρυπτονομίσματα συμπεριφέρονται διαφορετικά, καθώς κάθε νόμισμα ή διακριτικό διατηρεί μια διαδικτυακή αξία σε σχέση με τα πραγματικά χρήματα (π.χ. 1 νόμισμα BTC ισούται με 500 USD). Ένας χρήστης πρέπει να εγγραφεί σε έναν αξιόπιστο αντιπρόσωπο ή ιστότοπο για να αγοράσει ή να πουλήσει κρυπτονομίσματα. Η διαδικασία εγγραφής είναι συχνά απλή και χρειάζεται βασικά προσωπικά στοιχεία και ταυτότητα για να ξεκινήσει. Η αξία των κρυπτονομισμάτων δεν καθορίζεται από κεντρική τράπεζα ή κρατική υπηρεσία. Αυτή η τιμή αλλάζει ανάλογα με το ενδιαφέρον, τη χρήση και την αποδοχή των καταναλωτών και των πωλητών στην ψηφιακή αγορά. Συνήθως, μια συναλλαγή ψηφιακού χρήματος διασχίζει πολλούς κόμβους, καθένας από τους οποίους

προσπαθεί να λύσει ένα μαθηματικό πρόβλημα. Μια συναλλαγή εγκρίνεται εάν η επικύρωση της πλειοψηφίας των κόμβων είναι επιτυχής. Επιπλέον, το ψηφιακό χρήμα έχει πλεονεκτήματα όπως η ψευδωνυμία, η απρόσκοπτη πρόσβαση στον λογαριασμό και το χαμηλότερο κόστος συναλλαγής. Από την άλλη πλευρά, τα κρυπτονομίσματα δεν έχουν φυσική υποδομή, δεν γίνονται αποδεκτά από την πλειοψηφία των τραπεζών και των κυβερνήσεων, είναι λιγότερο αξιόπιστα από τους ανθρώπους και χρειάζονται σύνδεση στο διαδίκτυο για την ολοκλήρωση των συναλλαγών. Επιπλέον, κάθε συναλλαγή Blockchain που περιλαμβάνει ένα κρυπτονόμισμα απαιτεί μια τεράστια ποσότητα ενέργειας, η οποία είναι μια σημαντική ανησυχία. Στις επόμενες ενότητες, επεκτείνω αυτό το θέμα που σχετίζεται με την ενέργεια. Το Σχήμα 1 αντιπαραβάλλει τις τυπικές και τις μεταφορές χρημάτων σε κρυπτονομίσματα. Σύμφωνα με το πεδίο εφαρμογής αυτού του άρθρου, το Bitcoin είναι το κρυπτονόμισμα που προτιμώ. Για απλότητα, η εικόνα απεικονίζει έναν πελάτη που προσπαθεί να πληρώσει για τα παντοπωλεία σε ένα κατάστημα. Τεκμαίρεται ότι ο καταναλωτής δεν διαθέτει επαρκή μετρητά για την ολοκλήρωση αυτής της συναλλαγής. Σαφώς, η τυπική συναλλαγή (με πιστωτική κάρτα) απαιτεί πολλά στάδια πριν σταλούν τα χρήματα στον εγγεγραμμένο τραπεζικό λογαριασμό του παντοπωλείου. Αυτό απαιτεί επαλήθευση από την τράπεζα του πελάτη και τον πάροχο της πιστωτικής κάρτας, τα οποία χρεώνουν αμοιβή στον αγοραστή και στον πωλητή. Η συναλλαγή BTC, από την άλλη πλευρά, φαίνεται να είναι σχετικά απλή και σύντομη. Η πληρωμή πραγματοποιείται μέσω του πορτοφολιού BTC του πελάτη, το οποίο επικυρώνεται από το δίκτυο blockchain. Η πληρωμή γίνεται στη συνέχεια με χρέωση στο πορτοφόλι του σούπερ μάρκετ. Παρά την απλότητα και την ψευδωνυμία των συναλλαγών, η ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται από τους διασκορπισμένους κόμβους του blockchain μπορεί να αναιρεί τα οφέλη που παρέχει το δίκτυο BTC.

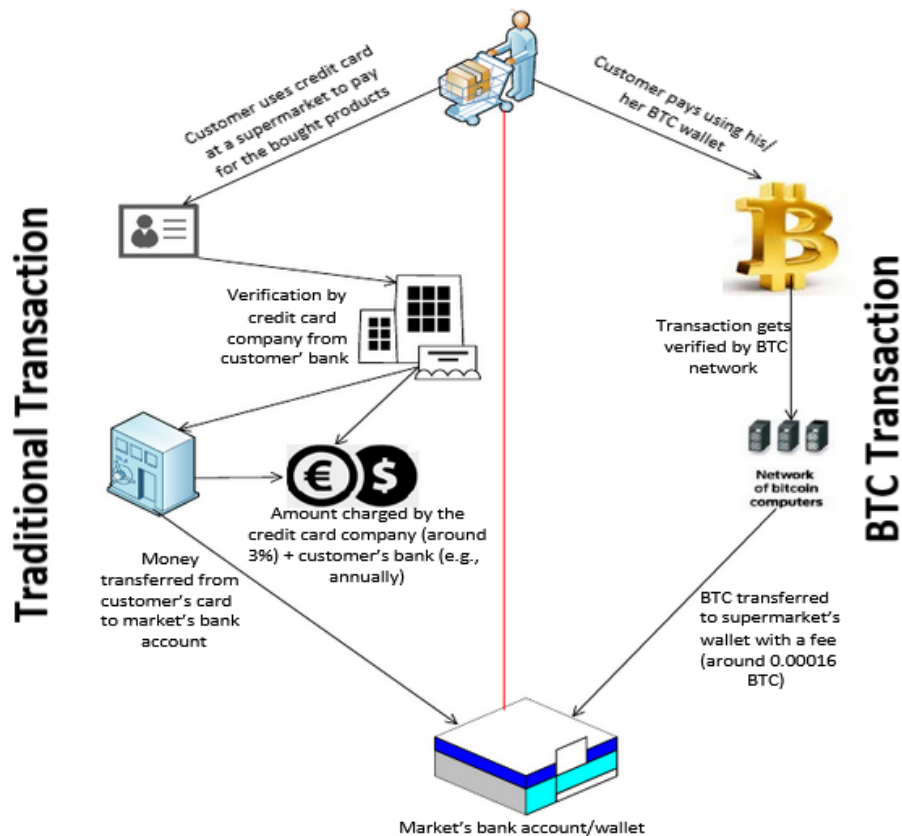


Fig. 1. Fiat exchange vs. BTC transfer

Πίνακας 17 Συναλλαγές απτών νομισμάτων εν αντιθέσει με συναλλαγές με bitcoin

2.3 Η χρήση ενέργειας Bitcoin

Οι αναλυτές κρυπτονομισμάτων συμφωνούν σε ένα σημείο: η χρήση ενέργειας του Bitcoin είναι τεράστια. Τα τελευταία χρόνια, αυτή η κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί με εκθετικό ρυθμό. Ορισμένοι σκεπτικιστές υποστηρίζουν ότι οι συναλλαγές Bitcoin καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από ένα ολόκληρο έθνος. Για παράδειγμα, το δημοφιλές ιστολόγιο που διατηρεί ο Digiconomist (2022) εκτιμά ότι η χρήση ενέργειας του BTC είναι περίπου 0,3% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Ομοίως, σύμφωνα με τον Laura (2022), η ενέργεια που χρησιμοποιείται από μία μόνο συναλλαγή BTC είναι ισοδύναμη με την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την τροφοδοσία σχεδόν εννέα κατοικιών στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σε πολλές περιοχές της Βενεζουέλας, η μαζική αύξηση των συναλλαγών Bitcoin έχει προκαλέσει ολικές διακοπές λειτουργίας (Laura, 2022). Στο powercompare.co.uk (2022) βαθμολογείται το Bitcoin ως το 61ο πιο διασπασμένο για ενέργεια έθνος στον κόσμο. Ομοίως, σε ένα πολύ γνωστό δοκίμιο που δημοσιεύτηκε τον Μάιο του 2018

[6] ο de Vries υπολογίζει μια κατά προσέγγιση τιμή 2,55 γιγαβάτ προσθέτοντας τη ζήτηση ισχύος δικτύου από το υλικό BTC στις δαπάνες ψύξης και άλλων ενεργειακών δαπανών (GW). Αυτές οι εκτιμήσεις έλαβαν υπόψη μια ποικιλία συσκευών εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένων των γνωστών Antminer, AvalonMiner και Bitfury. Στο εγγύς μέλλον, εάν συνεχιστεί η παρούσα τάση, ο συγγραφέας πιστεύει ότι η κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin μπορεί να φτάσει περίπου τα 7,7 GW, κάτι που είναι μάλλον ανησυχητικό. Ομοίως, ο Das (2020) βασίζονται τη μελέτη τους στην ιδέα ότι το τρέχον κόστος υλικού για τη διαδικασία εξόρυξης είναι υπερβολικό και μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο εισόδημα για τους ανθρακωρύχους στο μέλλον εάν δεν χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές πράσινης ενέργειας. Για να επιβεβαιώσουν τη μελέτη τους, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τη γνωστή προσέγγιση της ποσοτικής παλινδρόμησης (QR), η οποία υπολογίζει την επίδραση της κατανάλωσης ενέργειας του BTC στα κέρδη των ανθρακωρύχων. Τα εμπειρικά ευρήματα καταδεικνύουν αδιαμφισβήτητα ότι η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin έχει επιζήμια επίδραση στο εισόδημα των ανθρακωρύχων, απαιτώντας από τους ανθρακωρύχους να αναζητούν άλλες φθηνές πηγές ενέργειας (όπως ο άνθρακας) για να διατηρήσουν τα κέρδη τους. Ομοίως, οι Stoll et al (2018) παρέχουν μια τεχνική για την εκτίμηση της χρήσης ενέργειας του bitcoin και του αντίκτυπου του άνθρακα. Η εκτιμώμενη χρήση ενέργειας βασίζεται σε πληροφορίες που παρέχονται από μεγάλους κατασκευαστές υλικού (όπως το Bitmain), εγκαταστάσεις εξόρυξης (που ποικίλλουν από μέτριο έως μεγάλο μέγεθος) και χώρους εξόρυξης. Αυτές οι εκτιμήσεις ενέργειας μετατρέπονται στη συνέχεια σε οριακούς και μέσους συντελεστές εκπομπής αποτυπώματος άνθρακα για μια γεωγραφική περιοχή. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι εκτιμήσεις άνθρακα για BTC είναι μάλλον υψηλές και επομένως καθόλου φιλικές προς το περιβάλλον. Ο Πίνακας 2 παρέχει μια συνοπτική περίληψη ορισμένων σημαντικών στατιστικών σχετικά με τη χρήση ενέργειας του BTC. Σχεδόν όλες οι επισημασμένες πηγές συμφωνούν ότι η διαδικασία εξόρυξης bitcoin είναι μία από τις κύριες αιτίες της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Στον πυρήνα του, το Bitcoin χρησιμοποιεί τη γνωστή μέθοδο απόδειξης εργασίας (PoW) (Yun et al, 2019), στην οποία οι εξορύκτες επαληθεύουν τη μαθηματική εγκυρότητα κάθε συναλλαγής Bitcoin και ο πρώτος εξορύκτης που το κάνει ανταμείβεται (ως μάρκες ή νομίσματα). Έτσι, ο εξορύκτης με τη μεγαλύτερη υπολογιστική ικανότητα είναι επιτυχημένος και λαμβάνει το έπαθλο. Σύμφωνα με τον Hern (2018) σε άρθρο που δημοσίευσε στη Guardian, η διαδικασία εξόρυξης BTC είναι

συγκρίσιμη με μια μάχη προσφορών στην οποία οι συμμετέχοντες που υποβάλλουν προσφορά πιο γρήγορα μπορεί να έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να κερδίσουν. Προφανώς, για να διεκπεραιώσουν γρήγορα τις συναλλαγές και να διατηρήσουν το προβάδισμα στον αγώνα για την ανταμοιβή εξόρυξης, οι εξορύκτες χρειάζονται ισχυρές συσκευές επεξεργασίας, οι οποίες χρησιμοποιούν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε 10 λεπτά, με έναν ανθρακωρύχο να λαμβάνει το έπαθλο κάθε φορά. Με άλλα λόγια, κάθε 10 λεπτά, ένας ανθρακωρύχος λαμβάνει μια ανταμοιβή για την κατανάλωση ενέργειας, αλλά η ενέργεια που χρησιμοποιείται από όλους τους άλλους ανθρακωρύχους σπαταλιέται αφού δεν κερδίζουν τίποτα από τη διαδικασία εξόρυξης. Ορισμένοι από τους προαναφερθέντες ιστότοπους έχουν επίσης (με ακρίβεια) συγκρίνει τη χρήση ενέργειας του Bitcoin με αυτή των τυπικών συναλλαγών Visa και νομίσματος fiat. Σύμφωνα με το [10], μια συναλλαγή Bitcoin κοστίζει το ίδιο με εκατό χιλιάδες συναλλαγές Visa.

Επιπλέον, οι O'Dwyer & Malone (2014) συνδυάζουν το hashrate (τη διαδικασία εντοπισμού του επόμενου μπλοκ και λήψης της ανταμοιβής για τον εξορύκτη) με την αποτελεσματικότητα διαφόρων υλισμικών (π.χ. 0,126 Megahash/J για τον επεξεργαστή πυρήνα i7 950) για να προσδιορίσουν το συνολική ενέργεια που χρειάζεται το δίκτυο BTC για εξόρυξη. Αυτή η ενέργεια είναι 1010 J/sec, που είναι μεγαλύτερη από τις ενεργειακές απαιτήσεις της Ιρλανδίας. Ωστόσο, οι προαναφερθείσες εκτιμήσεις δεν περιλαμβάνουν την ισχύ που απαιτείται από έναν αριθμό γραφείων έκδοσης βίζας που διανέμονται σε ολόκληρο τον κόσμο με προσωπικό για διανομή και φυσικές μεταφορές κεφαλαίων από μια τοποθεσία σε άλλη, καθώς και τις δαπάνες βενζίνης. Επιπλέον, κρίσιμα στοιχεία όπως η ασφάλεια, η εκτύπωση καρτών, η δημιουργία κωδικών σε κινητές συσκευές και η έρευνα για δόλιες πληρωμές και κάρτες έχουν αγνοηθεί στο (O'Dwyer & Malone, 2014).

Παρά τις επικρίσεις για την κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin, αρκετοί ειδικοί στα ψηφιακά νομίσματα είναι σίγουροι για τη σημασία του Bitcoin και το μακροπρόθεσμο μέλλον του. Αυτή η εμπιστοσύνη υποκινείται κυρίως από την ευκολία με την οποία οι χρήστες BTC μπορούν να μετακινούν κεφάλαια και νομίσματα από έναν λογαριασμό σε άλλο. Αυτά τα άτομα αισθάνονται άβολα με τα πολυάριθμα στάδια επαλήθευσης, επικύρωσης και προσωπικών πληροφοριών που απαιτούνται από τις συμβατικές τράπεζες για τη δημιουργία λογαριασμών και τη μεταφορά κεφαλαίων. Επιπλέον, με τρέχουσα αξία περίπου 7500 USD ανά κέρμα, το BTC προσφέρει την ελευθερία να μετακινείτε νομίσματα αξίας έως και αρκετών χιλιάδων USD (σχεδόν 25000 USD κάθε

μέρα κατά μέσο όρο) με μερικά κλικ και σε λίγα δευτερόλεπτα. Έτσι, οι αισιόδοξοι πιστεύουν ότι τα πλεονεκτήματα του Bitcoin δεν μπορούν να αγνοηθούν λόγω του ενεργειακού περιορισμού του. Σύμφωνα με τους New York Times (Popper, 2018), αντί να διογκώνεται η κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin, θα πρέπει κανείς να αναγνωρίσει την αξία του ως παγκόσμιο ψηφιακό χρήμα και να αναζητήσει φθηνότερες και φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια και η ηλιακή ενέργεια για τις συναλλαγές Bitcoin.





Το γνωστό ιστολόγιο που διατηρεί το BitStarz news επικρίνει τα ενεργειακά δεδομένα BTC που αναφέρονται στο digiconomist.net (2022) ως μη ρεαλιστικά. Έχει αναφερθεί επίσης ότι το "Bitcoin είναι πιο πράσινο από όσο νομίζετε" σε σύγκριση με τις μεταφορές χρημάτων fiat, όπου μια συναλλαγή πρέπει να περάσει από τόσα πολλά κέντρα δεδομένων για επαλήθευση και ανίχνευση απάτης πριν ο χρήστης λάβει πραγματικά τα χρήματα, κάνοντας συναλλαγές fiat ως ενεργοβόρων ως συναλλαγές BTC (Fairley, 2019). Ομοίως, μια πρόσφατη παγκόσμια μελέτη σύγκρισης των Rauchs et al, (2019) δείχνει ότι το ποσοστό των εγκαταστάσεων εξόρυξης που υιοθετούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι περίπου 28 τοις εκατό, ωστόσο αυτή η αναλογία μπορεί να ποικίλλει ανά εγκατάσταση. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια) παραμένει ισχυρή σε εγκαταστάσεις (π.χ. Δυτική Κίνα, Βορειοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες) όπου η ζήτηση είναι πολύ μικρότερη από την προσφορά και η τιμή μονάδας είναι επίσης χαμηλή. Κατά συνέπεια, κίνητρα όπως το χαμηλό κόστος ανά μονάδα και η αφθονία των ανανεώσιμων πόρων μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του προαναφερθέντος ποσοστού. Από την άλλη πλευρά, ορισμένοι ανθρακωρύχοι μπορεί να είναι απρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω του υψηλού κόστους τους. Για παράδειγμα, μια πρόσφατη ιστορία στο «[cointelegraph](http://cointelegraph.com)» περιγράφει το σενάριο στην канаδική επαρχία του Κεμπέκ, όταν βαρέων βαρών κρυπτογράφησης όπως ο Hamel δεν συμμετείχαν στη διαδικασία υποβολής προσφορών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω της υπερβολικής τιμής που επιβλήθηκε από τις τοπικές αρχές (Martin, 2020).

2.4 Στρατηγικές για ενεργειακά αποδοτικές συναλλαγές και εξόρυξη Bitcoin

Πολλά ιστολόγια, φόρουμ και ιστότοποι έχουν αντιμετωπίσει ενεργειακές ανησυχίες που σχετίζονται με το Bitcoin. Συνήθως, αυτά τα ιστολόγια παρέχουν μια εισαγωγή στο Bitcoin μαζί με μια σύντομη εξήγηση της ενεργειακής άποψης. Όταν πρόκειται για

συμβατική E&A με έμφαση στη δημιουργία ενεργειακά αποδοτικών αλγορίθμων για συναλλαγές BTC, υπάρχει μια ποικιλία ερευνητικών δραστηριοτήτων. Ωστόσο, δεδομένης της έκτασης αυτού του άρθρου, θα απαριθμήσω τα πιο σημαντικά εδώ. Ο Πίνακας 3 υπογραμμίζει περαιτέρω τις βασικές πτυχές των μεθοδολογιών που συζητήθηκαν προηγουμένως.

Η διαδικασία εξόρυξης και χρήσης κρυπτονομισμάτων μπορεί να είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα λόγω των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία τους. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα ψηφιακά νομίσματα και τα περιουσιακά στοιχεία σημαίνει ότι απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την τροφοδοσία των δικτύων πίσω από αυτά (moneysupermarket, 2020 όπως αναφέρετε στον Mir, 2020). Αλλά δεν είναι όλα τα κρυπτονομίσματα ίδια. Το Bitcoin και το ETH προς το παρόν φαίνεται να είναι τα κυρίαρχα κρυπτονομίσματα όχι μόνο όσον αφορά την κεφαλαιοποίηση της αγοράς αλλά και την ενεργειακή τους κατανάλωση.

	Crypto Currency	kWh per transaction
	Bitcoin	1173
	Ethereum	87.29
	Bitcoin Cash	18.957
	Litecoin	18.522

Πίνακας 18 Ενεργειακή κατανάλωση των πιο δημοφιλών κρυπτονομισμάτων
(<https://www.moneysupermarket.com>)

Τα τελευταία χρόνια, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας των συναλλαγών κρυπτονομισμάτων έχει αυξηθεί σημαντικά, εν μέρει λόγω της αυξανόμενης δυσκολίας εξόρυξης, αλλά και του τεράστιου αριθμού νέων παικτών της αγοράς που έλκονται από τις αυξανόμενες αξίες αυτού του αναπτυσσόμενου χρηματοοικονομικού περιουσιακού στοιχείου. Η συνολική παραγωγή άνθρακα από την εξόρυξη σίγουρα ξεπερνά αυτή των βιομηχανικών χωρών επί του παρόντος (Corbet et al., 2021). Η συμμετοχή στη διαδικασία επικύρωσης του blockchain Bitcoin, για παράδειγμα, απαιτεί εξειδικευμένη

τεχνολογία και μεγάλες ποσότητες ενέργειας, με αποτέλεσμα σημαντική επίδραση στον άνθρακα (Stoll et al., 2019). Η ηλεκτρική ενέργεια είναι το βασικό καύσιμο για καθεμία από αυτές τις διαδικασίες υπολογισμού/επικύρωσης.

Μέχρι τον Οκτώβριο του 2018, η ισχύς του υπολογιστή που χρειαζόταν για να απαντηθεί ένα παζλ Bitcoin ανέβηκε κατά περισσότερο από τέσσερις φορές, με αποτέλεσμα την αύξηση της χρήσης ενέργειας (De Vries, 2018). Από τον Νοέμβριο του 2018, αναμένεται ότι η ετήσια χρήση ενέργειας του BTC ήταν έως και 45,8 TWh, ενώ οι ετήσιες εκπομπές CO₂ ήταν περίπου 23 μεγατόνοι (Stoll, Klaaßen, & Gallersdo, 2019). Επιπλέον, αναμένεται ότι το BTC μπορεί να εκπέμπει επαρκείς εκπομπές άνθρακα για να αυξήσει την παγκόσμια θερμοκρασία περισσότερο από 2 βαθμούς Κελσίου σε λιγότερο από τρεις δεκαετίες, υπονομεύοντας έτσι τη Συμφωνία του Παρισιού (Mora et al., 2018). Σύμφωνα με το Nic Carte του Harvard Business Review, το Bitcoin χρησιμοποιεί επί του παρόντος περίπου 110 ώρες τετραβατ ετησίως, που είναι περίπου παρόμοια με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας μικρών εθνών όπως η Μαλαισία ή η Σουηδία (<https://hbr.org>). Και αυτό είναι απλώς Bitcoin. Αν συμπεριλάβουμε το Ethereum, το οποίο χρησιμοποιεί ένα σημαντικό ποσό TWh κάθε χρόνο, καθώς και τα αμέτρητα άλλα blockchain που χρησιμοποιούν το Proof of Work, τα στατιστικά θα είναι ακόμη χειρότερα. Προβλέπεται ότι μια μεμονωμένη συναλλαγή Bitcoin εκπέμπει κατά μέσο όρο 300 κιλά διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Ομοίως, μια μεμονωμένη συναλλαγή Ethereum μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για έξι ημέρες σε μια οικογένεια των ΗΠΑ (Reeder, 2021).

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των κρυπτονομισμάτων. Πρώτον, υπάρχει σημαντική αντίθεση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας ενός συστήματος και των εκπομπών άνθρακα. Αν και ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας είναι αρκετά απλός, είναι αδύνατο να γίνει παρέκταση των αντίστοιχων εκπομπών άνθρακα χωρίς να γνωρίζουμε το συγκεκριμένο ενεργειακό μείγμα ή τη σύνθεση των διαφόρων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται από τις μηχανές εξόρυξης Bitcoin. Για παράδειγμα, μια μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας θα έχει πολύ μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον από μια μονάδα ενέργειας που κινείται με άνθρακα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε σε ποιες χώρες ή περιοχές πραγματοποιείται η εξόρυξη. Εάν συμβεί σε χώρες με ηλεκτρικά συστήματα με βάση τον άνθρακα, το αποτύπωμα θα είναι μεγαλύτερο.

Οι εικασίες σχετικά με την πηγή καυσίμου του παρόντος πρωτογενούς δικτύου Bitcoin περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τον κινεζικό άνθρακα, την ισλανδική γεωθερμική ενέργεια και τις κρατικές επιδοτήσεις της Βενεζουέλας (The Economist, 2018).

Χωρίς κέντρο ανταλλαγής, μπορούν να ανταλλάσσονται κρυπτονομίσματα. Για παράδειγμα, τα αρχεία συναλλαγών Bitcoin μπορεί να επιβεβαιωθούν και να προστεθούν στο blockchain από οποιονδήποτε έχει σύνδεση στο διαδίκτυο και επαρκή εξοπλισμό. Η κοινή φράση «Εξόρυξη» αναφέρεται στην επαλήθευση και την προσθήκη συναλλαγών στο blockchain. Οι υπολογιστικές συσκευές είναι οι ίδιοι οι εξορύκτες. (Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη bitcoin). Οι Li et al. (2019) διεξήγαγε μια έρευνα σχετικά με τη χρήση ενέργειας της εξόρυξης κρυπτονομισμάτων.

Αφού ολοκληρώσουν τα περιεχόμενα του μπλοκ, οι εξορύκτες μπορούν να κατασκευάσουν νέα μπλοκ. Κάθε μπλοκ περιλαμβάνει τα δεδομένα συναλλαγής από το προηγούμενο μπλοκ. Έτσι, κάθε μπλοκ αποτελείται από μια σειρά μπλοκ που μαζί αντιπροσωπεύουν μια σημαντική ποσότητα εργασίας ([https://en.bitcoin.it/wiki/Proof of work](https://en.bitcoin.it/wiki/Proof_of_work)). Η αλλαγή ενός μπλοκ απαιτεί την αναγέννηση όλων των διαδόχων και την επανεκτέλεση του έργου που φέρουν. Η διαδικασία απαιτεί υψηλό ρυθμό κατακερματισμού και ως εκ τούτου καθιστά την τροποποίηση της αλυσίδας μπλοκ πιο δύσκολη. Το Bitcoin, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο κατακερματισμού απόδειξης εργασίας (PoW) ως τον πυρήνα εξόρυξης για τη δημιουργία μπλοκ. Ο πιο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος κατακερματισμού είναι ο SHA-256, ο οποίος περιλαμβάνεται στο Bitcoin ((Ενεργειακή χρήση της εξόρυξης κρυπτονομισμάτων)). Οι Li et al. διεξήγαγε μια έρευνα σχετικά με τη χρήση ενέργειας της εξόρυξης κρυπτονομισμάτων. Κάθε μέθοδος PoW απαιτεί ισχύ για τον υπολογισμό του κατακερματισμού. Καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα του δικτύου, αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας. Υπολογιζόμενο σε ολόκληρο το παγκόσμιο δίκτυο εξόρυξης εξόρυξης ASIC/GPU, η συνολική ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι σημαντική. Σύμφωνα με το Digiconomist, έναν ιστότοπο που μετρά τη χρήση ενέργειας του Bitcoin και του Ethereum, το Bitcoin και το Ethereum χρησιμοποιούν περίπου 40 TWh και 10 TWh ενέργειας, αντίστοιχα. Αυτή η μαζική χρήση ισχύος έχει προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα των συστημάτων blockchain που βασίζονται σε Proof-of-Work (Έρευνα συναινετικών αλγορίθμων σε δημόσια συστήματα blockchain για κρυπτονομίσματα, Ferdous et al).

2.5 Απόδειξη ελέγχου ταυτότητας (PoAh)

Το Proof of Authentication (PoAh) είναι μια ελαφριά (ενεργειακά αποδοτική) τεχνική που καθιερώθηκε από τους Puthal et al (2019) για τις μπλοκ αλυσίδες IoT. Δεδομένου ότι οι συσκευές σε ένα blockchain IoT έχουν περιορισμένους πόρους μπαταρίας, οι τυπικοί αλγόριθμοι PoW και PoS δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα. Συνήθως, σε PoW και PoS, οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο για να δημιουργήσουν μπλοκ και στη συνέχεια να επιστρέψουν εκτός σύνδεσης. Ως εκ τούτου, οι κόμβοι μπορεί να λάβουν κίνητρα για να είναι εκτός σύνδεσης. Το PoAh ξεπερνά το προαναφερθέν πρόβλημα πληρώνοντας μόνο ομοτίμους που παραμένουν ενεργοί κατά τη διαδικασία εξόρυξης. Επιπλέον, το PoAh βελτιώνει την ασφάλεια των κόμβων αφού η ανταμοιβή πηγαίνει σε ενεργούς (διαδικτυακούς) χρήστες και η διατήρηση των χρημάτων για μεγαλύτερη διάρκεια (απλώς εκτός σύνδεσης) δεν παρέχει κίνητρο στους εξορύκτες. Μεταγενέστερες υλοποιήσεις της μεθόδου σε προσομοίωση και δοκιμές σε πραγματικό χρόνο έδειξαν ότι ο αλγόριθμος PoAh αποδίδει χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο από την κλασική τεχνική PoW.

Οι Luo et al (2017) προτείνουν ένα νέο σύστημα συναλλαγών BTC που επιτρέπει στους συμμετέχοντες στην αγορά να αγοράζουν και να πουλούν bitcoin χωρίς κεντρική αρχή ή διακομιστή. Ωστόσο, η κλασική μεθοδολογία blockchain έχει χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση των συναλλαγών BTC. Η δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος υπολογιστή που δεσμεύει κάθε συναλλαγή BTC με μια συμφωνία ή σύμβαση είναι μια άλλη σημαντική πτυχή του Blockchain Evolution. Οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι το μοντέλο BE τους είναι επιτυχημένο και επεκτάσιμο με βάση τις πραγματικές περιπτώσιολογικές μελέτες, ωστόσο δεν παρέχεται καμία απόδειξη. Παρουσιάζεται επίσης ένα έξυπνο πρωτόκολλο για βελτιστοποίηση ενέργειας, ωστόσο υποφέρει από τους ίδιους περιορισμούς. Για τους σκοπούς αυτής της έρευνας, η τεχνική που περιγράφεται από τους Hahn et al (2017) έχει ονομαστεί Smart Contract-based Energy Auctions (EASC).

2.6 Bitcoin Green (BTC-G)

Εκτός από τα παραπάνω, νέα έρευνα περιλαμβάνει μια χούφτα ενδιαφέρουσες λευκές βίβλους που αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις ενεργειακής απόδοσης για τα δίκτυα BTC. Η Bitcoin Green Team έχει κάνει την πιο συναρπαστική δουλειά για να παρέχει έναν αποκεντρωμένο μηχανισμό αγοράς και πώλησης BTC με έμφαση στην ενεργειακή απόδοση. Η χρήση του αλγορίθμου «απόδειξη στοιχήματος» (PoS) αντί του τυπικού μηχανισμού απόδειξης εργασίας (PoW) είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του. Το PoS αποζημιώνει τους ανθρακωρύχους με βάση τον πλούτο (ή τα νομίσματα) που αναζητούν, σε αντίθεση με το PoW. Επομένως, οποιοσδήποτε χρήστης με βασικό επιτραπέζιο υπολογιστή μπορεί να συμμετάσχει σε εξόρυξη BTC, καθώς δεν απαιτούνται άλλες εξουσίες επεξεργασίας. Αυτό μειώνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας του υλικού. Επιπλέον, έχει εφαρμοστεί ένα νέο «Πράσινο Πρωτόκολλο» που παρέχει στους ανθρακωρύχους μια προκαθορισμένη ποσότητα νομισμάτων ή μάρκες για τον μετριάσμο των επιπτώσεων των αδικαιολόγητων ανταμοιβών (π.χ. 10 νομίσματα την ημέρα). Αυτή η πληρωμή καθορίζεται ανεξάρτητα από το πόσα νομίσματα έχει μια ανθρακωρύχος στο πορτοφόλι της (The Bitcoin Green Team, 2017).

2.7 Bitcoin Clean (BTC-C)

Σε μια λευκή βίβλο (bitcoinclean, 2018), παρέχεται ένας αλγόριθμος γνωστός ως «απόδειξη πράσινου (PoG)», ο οποίος είναι μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα εναλλακτική προσέγγιση. Η βασική προϋπόθεση της προτεινόμενης προσπάθειας είναι να μετατοπιστεί η προσοχή των ανθρακωρύχων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως η ηλιακή) για τις συναλλαγές BTC. Για να είναι κατάλληλοι για εξόρυξη BTC, οι ανθρακωρύχοι πρέπει να προσκομίσουν τεκμηρίωση για τη χρήση πράσινων πηγών ενέργειας, όπως έναν λογαριασμό από έναν προμηθευτή ηλιακής ενέργειας. Η ανάπτυξη ενός συστήματος αξιολόγησης που επιτρέπει στους έμπειρους ανθρακωρύχους να συστήνουν ή να απορρίπτουν αρχάριους ανθρακωρύχους. Μια ανθρακωρύχος πληροί τις προϋποθέσεις για εξόρυξη εάν η κατάταξή της είναι μεγαλύτερη από εκατό (100). Επιπλέον, οι ανθρακωρύχοι έχουν επιρροή στις ψήφους και τις συστάσεις άλλων ανθρακωρύχων. Για παράδειγμα, ένας εξορύκτης με τιμή αποτελέσματος πέντε (5) θεωρείται έμπειρος και αξιοσέβαστος, αλλά αυτή η τιμή αντίκτυπου παραμένει χαμηλή για αρχάριους και λιγότερο σεβαστούς ανθρακωρύχους. Οι σχεδιαστές του PoG είναι πεπεισμένοι ότι η στρατηγική τους θα έχει σημαντική

επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας του Bitcoin (BTC). Ωστόσο, η επίτευξη αυτού του στόχου στο εγγύς μέλλον φαίνεται απίθανη.

2.8 Proof-of-Elapsed (PoE) από την Intel

Πρόσφατα, η Intel παρουσίασε έναν πολλά υποσχόμενο νέο αλγόριθμο που υποστηρίζει την προσπάθεια πράσινης ενέργειας για συναλλαγές blockchain. Αυτή η τεχνική, γνωστή ως PoE, εξαρτάται από το λογισμικό blockchain «Hyperledger Sawtooth» που η Intel σκοπεύει να ενσωματώσει σε μελλοντικές CPU. Αυτό το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα σε κάθε εξορύκτη να εισάγει μια τυχαία περίοδο ύπνου ή αδράνειας. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα πληρώνει τον πρώτο εξορύκτη που θα αφυπνιστεί και θα υποβάλει μια προσφορά εξόρυξης. Έτσι, σε σύγκριση με το PoW, μόνο ένας ανθρακωρύχος συμμετέχει στη διαδικασία εξόρυξης ανά πάσα στιγμή με το PoE, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, τέτοιο υλικό με ενσωματωμένο λογισμικό μπορεί να είναι πιο ακριβό. Επιπλέον, ο αλγόριθμος PoE μπορεί να επιλέξει τον εξορύκτη με τη χαμηλότερη προσφορά εάν δεν υπάρχει ανταγωνισμός κατά τη φάση υποβολής προσφορών.

Οι εργασίες στην προηγούμενη συζήτηση προέρχονται τόσο από τον ακαδημαϊκό χώρο όσο και από τη βιομηχανία. Στο The Bitcoin Green Team (2017) χρησιμοποιείται PoS, προτείνεται PoAh, εξαρτάται από το PoG και βασίζεται στους αλγόριθμους PoE της Intel. Στην πλειονότητα των τεχνικών, το hashrate θεωρείται ως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού, ψηφοφορίας και λήψης αποφάσεων. Κάθε αλγόριθμος αναπτύσσεται έχοντας κατά νου τον ελάχιστο περιορισμό ισχύος του υλικού. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται από τους Luo et al (2017) και οι Hahn et al (2017) δίνουν περαιτέρω στους ανθρακωρύχους αύξηση στους πόρους ενέργειας/ενέργειας τους μετά την επιτυχή ολοκλήρωση μιας συναλλαγής.

2.9 Τρέχουσες τάσεις και μελλοντικά εμπόδια

Πρόσφατα, η τιμή του Bitcoin κυμαίνεται γύρω στο επίπεδο των 6000 USD. Άλλα γνωστά νομίσματα, όπως το Ripple, το Ethereum, το Litecoin, το BitcoinCash κ.λπ., επηρεάζονται επίσης από τις τρέχουσες συνθήκες της αγοράς. Οι επενδυτές είναι προσεκτικοί να συνεισφέρουν περαιτέρω κεφάλαια έως ότου είναι σίγουροι για την

κερδοφορία των επενδύσεών τους σε ψηφιακό νόμισμα. Οι κυβερνήσεις της Κίνας, της Ρωσίας και της Ινδίας έχουν υιοθετήσει σκληρά βήματα που συνέβαλαν στην τρέχουσα αστάθεια των τιμών. Λίγοι αισιόδοξοι, από την άλλη πλευρά, συνεχίζουν να πιστεύουν ότι το BTC είναι εδώ για να μείνει και θα σκαρφαλώσει παρά όλα τα εμπόδια. Πρόσφατα συστήματα που βασίζονται σε κρυπτογράφηση είχαν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την πειρατεία. Ωστόσο, αυτό το θέμα είναι πέρα από το επίκεντρο της μελέτης μου. Αυτή η ενότητα εστιάζει μόνο στις τάσεις και τις δυσκολίες που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας του Bitcoin. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με άλλα σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με το Bitcoin (ιδιαίτερα την ασφάλεια) (Conti et al, 2018).

2.10 Κρυπτονομίσματα και εναλλακτικές πηγές Ενέργειας

Η κύρια προτεραιότητα του BTC είναι οι πηγές ενέργειας του. Λόγω έλλειψης ενθουσιασμού, λιγότερων πόρων και ανεπαρκούς υποστήριξης υποδομών, τα άτομα στην πλειονότητα των εθνών δεν επιδιώκουν εναλλακτικές λύσεις (όπως ηλιακή και υδροηλεκτρική ενέργεια) για τον έλεγχο ταυτότητας των συναλλαγών BTC. Σε μικρές χώρες όπως η Ουγγαρία, όπου οι συναλλαγές BTC μπορούν να χρησιμοποιούν έως και το 50 τοις εκατό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, είναι επιτακτική ανάγκη να αναπτυχθούν νέες, φιλικές προς το περιβάλλον μέθοδοι για την εξοικονόμηση ενέργειας που σπαταλάται στις συναλλαγές BTC. Οι κυβερνήσεις αυτών των εθνών θα πρέπει επίσης να προωθήσουν το πρόγραμμα πράσινης ενέργειας, να παρέχουν βοήθεια στους εξορύκτες και να ζητήσουν από μεγάλους επενδυτές κρυπτονομισμάτων να συμβάλουν στην ανάπτυξη υποδομής πράσινης ενέργειας. Τα βήματα που υιοθέτησαν οι Κινέζοι ανθρακωρύχοι θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως οριακή στιγμή. Παρά τις επίσημες προσπάθειες να τεθεί εκτός νόμου το Bitcoin και να εισαχθεί ένα νέο κρυπτονόμισμα σε συνεργασία με τη ρωσική κυβέρνηση, ορισμένοι Κινέζοι ανθρακωρύχοι συνεχίζουν να διερευνούν τη χρήση ηλιακής, αιολικής και ηλεκτρικής ενέργειας φράγματος για συναλλαγές Bitcoin. Άλλα έθνη, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, όπου μόνο ένα μικρό ποσοστό από τα 80.000 έως 90.000 πιθανά φράγματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, μπορεί επίσης να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν φράγματα για την παραγωγή ενέργειας (Mir, 2020).

2.11 Αλγοριθμική Αλλαγή

Ορισμένοι αλγόριθμοι συναίνεσης υιοθετούν μια διαφορετική προσέγγιση στην οποία δεν βασίζονται αποκλειστικά στο PoW. Το Proof-of-Stake, για παράδειγμα, επινοήθηκε για να βελτιώσει τα αντιληπτά μειονεκτήματα του Proof-of-Work. Πρώτον, το Proof-of-Stake δεν απαιτεί την τεράστια κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται από το Proof-of-Work, επειδή τα νομίσματα είναι απλά κλειδωμένα σε ένα συγκεκριμένο έξυπνο συμβόλαιο στο blockchain. Για αυτόν τον λόγο, τα άτομα που επικρίνουν την κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin προτιμούν το Proof-of-Stake. Οι υποστηρικτές του Proof-of-Stake ισχυρίζονται επίσης ότι το PoS είναι πιο ασφαλές από οικονομική άποψη από το PoW, ωστόσο, αυτό έχει συζητηθεί επανειλημμένα χωρίς κανένα συμπέρασμα. Επιπλέον, δεδομένου ότι το Bitcoin δεν έχει ποτέ χακαριστεί και υπάρχουν σχετικά λίγα αποκεντρωμένα συστήματα PoS, οι ισχυρισμοί ότι το PoS είναι πιο ασφαλές από το PoW έχουν παραμείνει καθαρά θεωρητικές και δεν βασίζονται σε καμία εμπειρική απόδειξη (<https://river.com/learn/proof-of-work-pow-vs-pos-proof-of-stake/>). Το Ethereum ανακοίνωσε ότι θα ενημερώσει το blockchain του με τον αλγόριθμο PoS προκειμένου να βελτιώσει την ενεργειακή του απόδοση. Επί του παρόντος, πάνω από 10 εκατομμύρια αιθέρας (ETH) είναι πλέον κλειδωμένοι στο συμβόλαιο πονταρίσματος Eth 2.0 της Ethereum πριν από την προγραμματισμένη αναβάθμιση σε blockchain απόδειξης στοιχήματος (Malwa, 2022).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο αλγόριθμος PoW που χρησιμοποιείται από το Bitcoin έχει περιορισμούς. Είναι κατασκευασμένο με τρόπο που σπαταλά περισσότερη ενέργεια σε περιττούς υπολογισμούς. Υπάρχουν άλλοι αλγόριθμοι όπως το PoG και το PoS για να βοηθήσουν το έργο της πράσινης ενέργειας και άλλα γνωστά κρυπτονομίσματα (όπως το Ethereum (Lee et al, 2019), το Dash, το Neo και το Reddcoin) έχουν αρχίσει να υιοθετούν το PoS, αλλά απαιτείται περισσότερη δουλειά για την εφαρμογή αυτών των προσεγγίσεων για συναλλαγές Bitcoin.

Μια άλλη κρίσιμη πτυχή είναι το υλικό που χρησιμοποιείται για τις συναλλαγές Bitcoin. Οι εξορύκτες BTC προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν πιο σύνθετο υλικό υπολογιστή με υψηλή επεξεργαστική ισχύ και ταχύτητα προκειμένου να λάβουν αποζημίωση, γεγονός που αυξάνει το κόστος υλικού και την κατανάλωση ενέργειας.

Εάν το Bitcoin είχε ξεκινήσει το 2008 με τον ίδιο αριθμό συναλλαγών και εξορύκτες όπως και τώρα, θα είχε χρησιμοποιήσει την ίδια ποσότητα ενέργειας με ολόκληρη την υδρόγειο. Ο μόνος λόγος που δεν βρισκόμαστε σε αυτή τη δύσκολη θέση είναι επειδή η τεχνολογία των υπολογιστών και οι δυνατότητες επεξεργασίας συνεχώς εξελίσσονται. Επιπλέον, οι συναλλαγές BTC ενδέχεται να επηρεάσουν την ηλεκτρική υποδομή σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες όπου η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται παράνομα. Το πρόσφατο μπλακ άουτ που συνέβη στη Βενεζουέλα ως αποτέλεσμα της παράνομης χρήσης ενέργειας από ανθρακωρύχους αποτελεί παράδειγμα της ζημιάς που μπορεί να κάνουν οι συναλλαγές BTC σε οποιαδήποτε αναπτυγμένη ηλεκτρική υποδομή (Holthaus, 2017).

Οι καταναλωτές BTC από εύπορες χώρες γνωρίζουν καλά την τεράστια κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, οι ανθρακωρύχοι σε υπανάπτυκτες χώρες όπου το BTC έχει γίνει ένας ευνοημένος τρόπος ανταλλαγής νομισμάτων πρέπει να εκπαιδεύονται. Διάσημες πλατφόρμες ανταλλαγής BTC (όπως το poloniex, το kraken και πολλές άλλες) θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εκστρατεία εξοικονόμησης ενέργειας, εμφανίζοντας «εμβλήματα πράσινης κατανάλωσης ενέργειας» στους ιστότοπούς τους, για παράδειγμα. Οι κυβερνήσεις των υπανάπτυκτων χωρών θα πρέπει να αναγνωρίσουν τα οφέλη του Bitcoin και να βοηθήσουν τους εξορύκτες στην αναζήτησή τους για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Όπως περιγράφεται από τον Fairley (2017), είναι δυνατό να αναπτυχθούν πλατφόρμες που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών και ψηφιακών συστημάτων νομισμάτων. Οι αξιοσημείωτες τράπεζες θα μπορούσαν να μοιραστούν το ενεργειακό φόρτο ενώ οι πελάτες τους απολαμβάνουν την άνεση των διαδικτυακών πορτοφολιών, τις ασφαλείς και αποκεντρωμένες συναλλαγές και τη διαφάνεια του δικτύου blockchain.

Η επεκτασιμότητα της τεχνολογίας blockchain είναι μια άλλη διαδεδομένη και ουσιαστική ανησυχία. Σύμφωνα με τους Xie et al (2019), η επεκτασιμότητα των ψηφιακών νομισμάτων μπορεί να επηρεαστεί από τρεις μεταβλητές. Πρώτον, η απόδοση είναι περιορισμένη, καθώς οι υπάρχουσες συναλλαγές blockchain είναι λίγες σε αριθμό (επτά συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο). Έπειτα, η αποθήκευση επειδή η ποσότητα των δεδομένων που δημιουργείται από κάθε κόμβο εξόρυξης υπερβαίνει τη χωρητικότητα ενός βασικού υπολογιστή και, τέλος, η δικτύωση καθώς δημιουργείται μεγάλη κίνηση δικτύου λόγω της προσέγγισης εκπομπής του blockchain. Κατά συνέπεια, τεχνικές όπως αυτή που παρέχεται από τους Biswas et al (2019) πρέπει να σχεδιάζονται έχοντας κατά νου τα ζητήματα επεκτασιμότητας.

2.12 Αύξηση των Ηλεκτρονικών Αποβλήτων (e-Waste)

Σύμφωνα με το digiconomist (2021), μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις με το BTC είναι ο αυξανόμενος όγκος ηλεκτρονικών απορριμμάτων (e-waste). Σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρονται στο digiconomist (2021), οι ανθρακωρύχοι αλλάζουν τον εξειδικευμένο εξοπλισμό τους συνήθως κάθε 1,5 χρόνο για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί. Αυτό κάνει το παλιό υλικό να καταστεί απαρχαιωμένο και δημιουργεί σημαντική ποσότητα απορριμμάτων (σχεδόν 11,5 κιλοτόνους ετησίως με ημερομηνία Ιανουαρίου 2020). Ως εκ τούτου, πρέπει να αναπτυχθούν ειδικοί κανονισμοί και δραστηριότητες για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος των απορριμμάτων. Μία από τις επιλογές που συζητούνται στο digiconomist (2021) και τονίζεται σε αυτό το άρθρο είναι η πλήρης αντικατάσταση της διαδικασίας εξόρυξης του BTC με αλγόριθμους όπως PoS, PoG κ.λπ.

Κεφάλαιο 3^ο: Ενεργειακή κατανάλωση και κρυπτονομίσματα πέρα από το Bitcoin

Για να εκτιμήσουμε την κατανάλωση ενέργειας κρυπτονομισμάτων εκτός του Bitcoin, χρησιμοποιούμε μια μέθοδο που περιγράφεται από τους Krause και Tolaymat2 που χρησιμοποιεί τους ρυθμούς κατακερματισμού των δικτύων κρυπτονομισμάτων και τον κατάλληλο εξοπλισμό εξόρυξης. Τα ποσοστά κατακερματισμού αντικατοπτρίζουν την ισχύ επεξεργασίας. αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των προσπαθειών ανά δευτερόλεπτο για την επίλυση ενός μπλοκ κατά τη λεγόμενη μέθοδο εξόρυξης "απόδειξης εργασίας". Το Bitcoin, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο SHA-256, ο οποίος επιτρέπει την εξόρυξη χρησιμοποιώντας εξαιρετικά εξειδικευμένες συσκευές βασισμένες σε ASIC που είναι πολύ πιο ενεργειακά αποδοτικές από τις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPU). Οι GPU χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη του Monero, το οποίο απαγορεύει στα ASIC να συμμετέχουν στη διαδικασία επικύρωσής του (Li et al, 2019).

Η ονομαστική ισχύς κάθε δικτύου προκύπτει διαιρώντας τον ρυθμό κατακερματισμού του δικτύου με την απόδοση της συσκευής εξόρυξης. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τη συνολική κεφαλαιοποίηση της αγοράς και την ισχύ κατάταξης των είκοσι κρυπτονομισμάτων με τη μεγαλύτερη αξία: Το νούμερο ένα, το Bitcoin, αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Οι αριθμοί δύο

έως είκοσι αντιστοιχούν στο ένα τρίτο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα κρυπτονομίσματα με αλγόριθμους ανθεκτικούς σε ASIC απαιτούν δυσανάλογη ποσότητα ενέργειας σε σχέση με την αγοραία αξία τους. Το RavenCoin αντιπροσωπεύει το 4,32 τοις εκατό της συνολικής ονομαστικής ισχύος, ωστόσο η κεφαλαιοποίηση της αγοράς του αντιστοιχεί μόλις στο 0,06 τοις εκατό των κορυφαίων είκοσι. Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι το Monero, το οποίο μετά από μια ενημέρωση του Μαρτίου 2018 έγινε ανθεκτικό σε ASIC. Η ενημέρωση μείωσε απροσδόκητα την υπολογιστική ικανότητα του δικτύου κατά σχεδόν 80%. Λίγες ημέρες μετά την ενημέρωση, ο ρυθμός κατακερματισμού επανήλθε στα προ-ενημέρωση επίπεδα, καθώς οι εξορύκτες άλλαξαν από ενεργειακά αποδοτικά ASIC σε λιγότερο αποδοτικές GPU (Li et al, 2019). Το Διάγραμμα 11 απεικονίζει μια εκτίμηση της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας που είναι μάλλον χαμηλή σε απόλυτες τιμές. Εναλλακτικές τεχνικές εκτίμησης (όπως οι βοηθητικές απώλειες σε διαδικασίες εξόρυξης) υποδηλώνουν ότι η πραγματική κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin μπορεί να είναι υψηλότερη: Το Digiconomist υπολογίζει 7,9 γιγαβάτ (GW), ενώ ο Δείκτης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας του Cambridge Bitcoin (CBECI)5 αναφέρει 6,1 GW. Ωστόσο, υπολογίζουμε 4,3 GW (όλες οι εκτιμήσεις με καταληκτική ημερομηνία 27/03/2020, εκτός εάν αναφέρεται διαφορετικά).

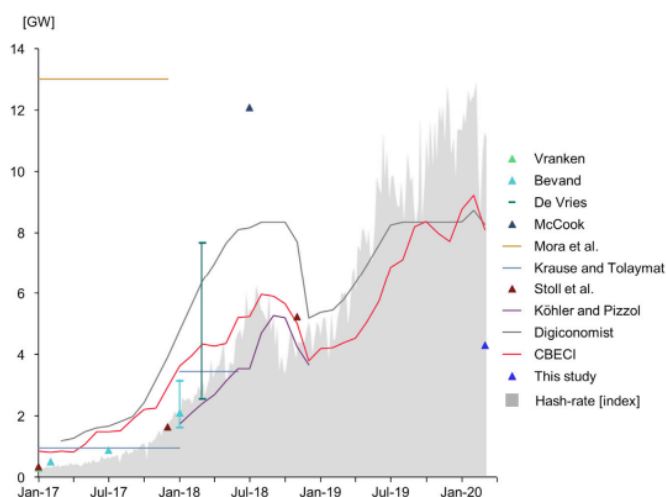


Figure 1. Bitcoin Energy Consumption Estimates 2017-2020
Energy consumption is presented in gigawatt (GW). Details on the underlying methodologies and date sources can be found in the [Supplemental Information](#) and [Table S1](#).

Πίνακας 19 Υπολογισμοί Ενεργειακής Κατανάλωσης Bitcoin (2017-2020)

Το Διάγραμμα 11 δείχνει τους μηνιαίους μέσους όρους τόσο για το Digiconomist όσο και για το CBECI. Το CBECI χρησιμοποιεί μια μεθοδολογία από κάτω προς τα πάνω, ενώ το Digiconomist χρησιμοποιεί μια μεθοδολογία από πάνω προς τα κάτω (η οποία έχει επικριθεί για πιθανή υπερεκτίμηση στο παρελθόν (Bevand, 2017)). Δεδομένου ότι ακολουθείτε συνεχώς η τεχνική από κάτω προς τα πάνω των Krause και Tolaymat (2018) σε καθένα από τα 20 νομίσματα, οι αυξημένοι απόλυτοι αριθμοί δεν θα επηρέαζαν τα σχετικά μερίδια (αν υποθέσουμε ότι οι παραμελημένοι παράγοντες ισχύουν εξίσου για όλα τα νομίσματα). Όλοι οι υπολογισμοί ενέργειας και οι σχετικές παραδοχές είναι ωστόσο επιρρεπείς σε ασάφεια. Δεδομένου ότι ο τομέας εξόρυξης λειτουργεί υπό μυστικότητα, η επιλογή και η λειτουργία του εξορυκτικού εξοπλισμού αποτελεί ουσιαστικό εμπόδιο. Σε αντίδραση στις διακυμάνσεις του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και των τιμών της αγοράς, οι ανθρακωρύχοι ενδέχεται να κλείσουν προσωρινά και να αυξήσουν τη λειτουργία ορισμένου εξοπλισμού (δηλαδή, όταν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας υπερβαίνει τα έσοδα εξόρυξης, όπως φαίνεται κατά την πανδημία του κορωνοϊού, όταν οι τιμές της αγοράς και τα ποσοστά κατακερματισμού κατρακύλησαν) (Kooimey, 2019). Έχει προσδιοριστεί ότι η συμπερίληψη απαρχαιωμένου και ασύμφορου εξοπλισμού εξόρυξης στην εκτίμηση στρεβλώνει την εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης και υπερεκτιμά τις προκύπτουσες εκπομπές άνθρακα κατά συντελεστή (Digicomomist.net, 2022; CBECI, 2020; Houy, 2019). Και πάλι, υποθετικές αλλαγές σε απόλυτες ποσότητες πιθανότατα θα είχαν παρόμοια επίδραση στις εκτιμήσεις όλων των κρυπτονομισμάτων. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Η κατανάλωση ενέργειας δεν αποτελεί ανησυχία στο πλαίσιο της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι καθαροί πόροι παραγωγής, όπως ο άνεμος και η ηλιακή, παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να παράγουν αέρια θερμοκηπίου (GHG), τα οποία παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα και επιβάλλουν κυρώσεις στις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές. Αυτές οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκαλούνται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα από άνθρακα και αέριο. Ως αποτέλεσμα, ο συντελεστής εκπομπής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τη σύνθεση του μείγματος πόρων παραγωγής, το οποίο διαφέρει ανάλογα με τα έθνη και τις τοποθεσίες. Για να δημιουργηθεί μια ακριβής εκτίμηση των εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου, ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω μελέτη σχετικά με στοιχεία που αφορούν συγκεκριμένα νομίσματα, όπως το αποτύπωμα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων.

Η μετατροπή της χρήσης ενέργειας σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αυξάνει την αβεβαιότητα. Για παράδειγμα, οι Krause και Tolaymat² χρησιμοποιούν τους μέσους συντελεστές εκπομπής της χρήσης ενέργειας σε πολλά έθνη για να σχεδιάσουν μια σειρά από πιθανά αποτελέσματα των οποίων οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές διαφέρουν κατά περισσότερο από τέσσερις. Καθώς οι ανθρακωρύχοι αναζητούν μέρη με χαμηλό κόστος ενέργειας, ορισμένες μελέτες υποθέτουν σημαντικά ποσοστά φθηνής ανανεώσιμης ενέργειας, με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις των εκπομπών να είναι πολύ χαμηλότερες (Bendiksen, & Gibbons, 2019). Από την άποψη του συστήματος ισχύος, οι συντελεστές οριακής εκπομπής θα ήταν η πιο ακριβής μέθοδος. Η επιπλέον ζήτηση που προκαλείται από τις εξορυκτικές δραστηριότητες ενεργοποιεί πρόσθετους πόρους παραγωγής. Η αύξηση των ωρών πλήρους φορτίου ορισμένων πόρων παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα αλλαγής καυσίμου και αλλαγή στις τοπικές εντάσεις εκπομπών (Koomey, 2019). Οι Stoll et al. (2019) χρησιμοποιούν παράγοντες μέσου όρου εκπομπών ως δείκτη για να εξισορροπήσουν τον αντίκτυπο των μεγαλύτερων εκπομπών στο περιθώριο και την εξόρυξη σε περιοχές με μεγάλα ποσοστά καθαρής ενέργειας, καθώς αυτή η στρατηγική απαιτεί συγκεκριμένες τοποθεσίες εξόρυξης και στατιστικά φορτίου, τα οποία είναι εξαιρετικά δύσκολο να ληφθούν. Συμπεράσματα Αυτό το σχόλιο καταδεικνύει την ανάγκη να επεκταθεί η συζήτηση για τις περιβαλλοντικές συνέπειες των κρυπτονομισμάτων πέρα από το Bitcoin. Παρά τις δυσκολίες στην εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας και των αντίστοιχων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των κρυπτονομισμάτων, η εκτίμησή μας για τα υπομελετημένα νομίσματα καταδεικνύει τη σημασία της ενσωμάτωσής τους στη συζήτηση. Συμπεραίνουμε, με βάση τους υποκείμενους αλγόριθμους, τα τρέχοντα ποσοστά κατακερματισμού και τον βιώσιμο εξοπλισμό εξόρυξης, ότι το Bitcoin αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα της συνολικής χρήσης ενέργειας, ενώ τα κρυπτονομίσματα που δεν έχουν μελετηθεί αντιπροσωπεύουν το υπόλοιπο ένα τρίτο. Κατά συνέπεια, τα μη μελετημένα νομίσματα συμβάλλουν περίπου στο 50% στις ενεργειακές ανάγκες του Bitcoin, κάτι που μπορεί ήδη να προκαλέσει σημαντική περιβαλλοντική βλάβη (Stoll et al, 2019). Η ενσωμάτωση των άλλων εκατοντάδων νομισμάτων και μάρκων με δυνατότητα εξόρυξης, που αντιπροσωπεύουν το 1,77 τοις εκατό της αγοραίας αξίας που δεν καλύπτεται από τα 20 κορυφαία, θα αύξανε το

ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας που προκαλείται από κρυπτονομίσματα εκτός του Bitcoin.

Στο μέλλον, μια ολοκληρωμένη γνώση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί επίσης να βοηθήσει τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στη θέσπιση κατάλληλων κανονισμών για τα κρυπτονομίσματα και τις εφαρμογές blockchain γενικά. Η πλειονότητα της ακαδημαϊκής έρευνας έχει επικεντρωθεί όχι μόνο πλήρως στο Bitcoin αλλά και ιδιαίτερα στις εξωτερικές επιδράσεις που προκύπτουν από τη χρήση ενέργειας από τη διαδικασία εξόρυξης. Παρά το γεγονός ότι η φάση χρήσης συμβάλλει κυρίως στο αποτύπωμα άνθρακα των παραδοσιακών κέντρων δεδομένων (Masanet et al, 2013), αυτό μπορεί να μην ισχύει για τα κρυπτονομίσματα λόγω της αστάθειας των τιμών και των τεχνικών προόδων. Η ολοκλήρωση της εικόνας με τη μετατροπή της συνολικής χρήσης ενέργειας σε εκπομπές άνθρακα και τη συμπερίληψη των ενσωματωμένων εκπομπών από την κατασκευή εξοπλισμού εξόρυξης και τα ηλεκτρονικά απόβλητα (Kohler & Pizzol, 2019) θα υποδηλώνει την πλήρη περιβαλλοντική βλάβη που προκαλούν τα κρυπτονομίσματα. Τα μαθήματα από τα κρυπτονομίσματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στις ταχέως αναδυόμενες καινοτόμες εφαρμογές blockchain. Στην ενεργειακή βιομηχανία, για παράδειγμα, έχει εξελιχθεί ένας αυξανόμενος αριθμός περιπτώσεων χρήσης blockchain, που κυμαίνονται από το peer-to-peer εμπόριο ενέργειας έως τη διαχείριση εκπομπών άνθρακα για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (Andoni et al, 2019; Howson, 2019). Ωστόσο, με βάση τα διδάγματα που αντλήθηκαν από τα κρυπτονομίσματα, είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ ενεργοβόρων και ενεργειακά αποδοτικών αλγορίθμων (π.χ. τα ιδιωτικά/εξουσιοδοτημένα δίκτυα δεν χρειάζονται διαδικασίες επικύρωσης έντασης ενέργειας) και να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ των το μικρό και το μεγάλο.

Κεφάλαιο 4^ο: Το Ethereum και η κατανάλωση ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το Ethereum, δεν έχει συγκεντρώσει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον όσο το Bitcoin. Το Ethereum έχει επίσης δυσκολίες ενέργειας και επεκτασιμότητας που θα αναλυθούν παρακάτω. Αυτή η έκδοση προσπαθεί να αντιμετωπίσει προβλήματα βιωσιμότητας, επεκτασιμότητας και ασφάλειας. Τα θέματα ασφάλειας είναι πέρα από το πεδίο αυτής της μελέτης, επομένως θα επικεντρωθούμε στη βιωσιμότητα και την επεκτασιμότητα (Kohli et al, 2022).

4.1 Βιωσιμότητα:

Το Ethereum 2.0 επιδιώκει να λύσει το ενεργειακό ζήτημα μεταβαίνοντας από το PoW στο PoS συναίνεση. Το PoS χρησιμοποιεί πολύ λιγότερη ενέργεια, καθώς απαιτεί λιγότερους μαθηματικούς υπολογισμούς και, επομένως, λιγότερη ισχύ υπολογιστή. Προσφέρει επίσης ασφάλεια έναντι επιθέσεων όπως η επίθεση κατά 51% και αναστέλλει την υπερσυγκέντρωση των ανθρακωρύχων, καθώς λαμβάνεται υπόψη η ιδιοκτησία των νομισμάτων και όχι το ποσοστό της επεξεργαστικής ισχύος για τις διανομές κινήτρων. Αυτή η ενημέρωση αλγορίθμου συναίνεσης αναμένεται να χρησιμοποιεί λιγότερο από το 99% των πόρων της παρούσας μεθόδου PoW (Fairley, 2019).

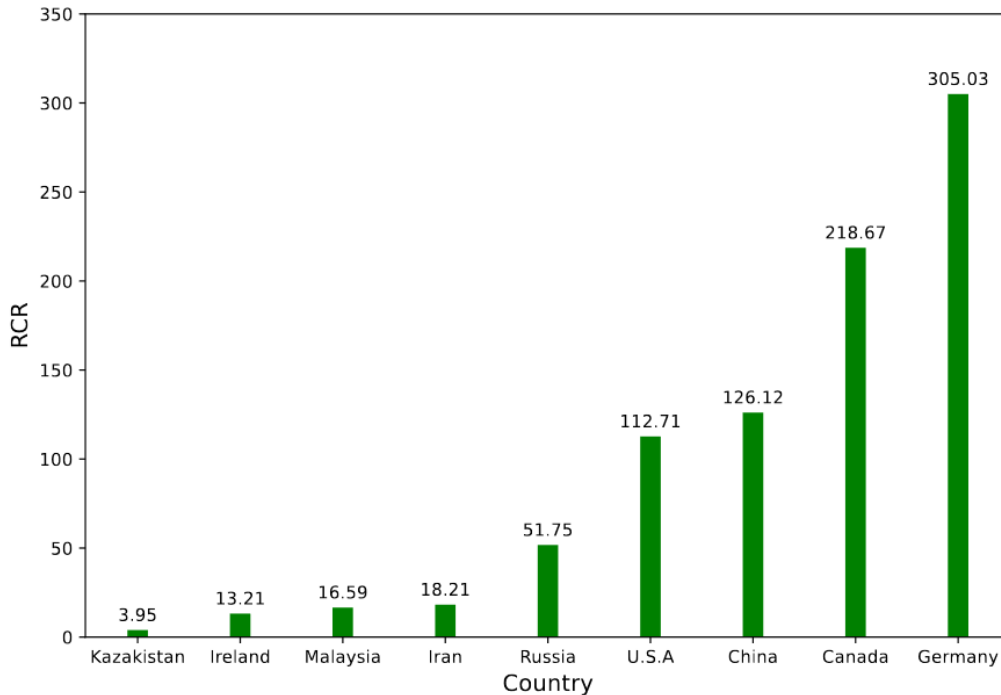


Fig. 9: Renewable Capacity Ratio for major Bitcoin mining regions.

Πίνακας 20 Ανανεώσιμος Δείκτης για κύριες περιοχές εξόρυξης Bitcoin

4.2 Επεκτασιμότητα:

Λόγω της αύξησης της συμφόρησης δικτύου και του πλεονασμού δεδομένων που προκαλείται από την προσθήκη κόμβων και συναλλαγών, η παρούσα έκδοση του Ethereum δεν είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμη. Εκτός από την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου bitcoin, αυτό επιβραδύνει τη διαδικασία συναλλαγής. Με το Ethereum 2.0, το Ethereum σκοπεύει να εφαρμόσει την έννοια του διαμοιρασμού μέσω του "Beacon Chain". Sharding είναι η διαδικασία κατανομής του φορτίου δικτύου μεταξύ πολλών κόμβων ή ομάδων κόμβων προκειμένου να μετριαστεί η συμφόρηση του δικτύου και να ενισχυθεί η απόδοση. Επιπλέον, θα εισαχθούν 64 επιπλέον αλυσίδες, με κάθε αλυσίδα να αποτελείται από ένα ποσοστό των κόμβων που επαληθεύουν τις συναλλαγές. Έτσι, περισσότερες συναλλαγές μπορούν να ολοκληρωθούν παράλληλα, με ένα μόνο υποσύνολο των κόμβων να απαιτεί πρόσβαση στις πληροφορίες συναλλαγής. Αυτό μειώνει την αναποτελεσματικότητα, τη συμφόρηση και τη χρήση ενέργειας (Kohli et al, 2022).

Το Ethereum είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον blockchain. Χρησιμοποιείται μια διαδικασία συναίνεσης που βασίζεται σε απόδειξη στοιχήματος που μπορεί να λειτουργήσει σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης και δεν χρειάζεται εντατική χρήση υπολογιστών για να συμμετάσχει. Σε αντίθεση με την απόδειξη εργασίας, η μέθοδος απόδειξης στοιχήματος του Ethereum προστατεύει το δίκτυο με δεσμευμένο ETH και όχι με δαπανημένη ενέργεια. Η μετάβαση στην απόδειξη στοιχήματος μειώνει την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται από το δίκτυο Ethereum σε περίπου 0,01 TWh ετησίως. Δαπάνη ενέργειας απόδειξης στοιχήματος (Ethereum.org, 2022).

Η κατανάλωση ενέργειας του Ethereum είναι περίπου ισοδύναμη με το κόστος λειτουργίας ενός μικρού φορητού υπολογιστή για κάθε κόμβο δικτύου. Για να συγκριθούν τα blockchain με άλλες επιχειρήσεις, πολλά έγγραφα υπολογίζουν το ενεργειακό κόστος "ανά συναλλαγή". Αυτό έχει την αρετή του να είναι απλό στην κατανόηση. Η ενέργεια που απαιτείται για την πρόταση και την επαλήθευση ενός μπλοκ είναι ανεξάρτητη από το ποσό των συναλλαγών που περιλαμβάνονται σε αυτό. Μια μονάδα ενεργειακής δαπάνης ανά συναλλαγή υποδηλώνει ότι λιγότερες συναλλαγές θα οδηγήσουν σε χαμηλότερες ενεργειακές δαπάνες και αντίστροφα, κάτι που δεν συμβαίνει. Μια εκτίμηση ανά συναλλαγή εξαρτάται εξαιρετικά από τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται η απόδοση των συναλλαγών ενός blockchain και είναι δυνατό να χειριστεί κανείς αυτόν τον ορισμό για να κάνει την τιμή να φαίνεται υψηλότερη ή χαμηλότερη (Ethereum.org, 2022).

Στο Ethereum, για παράδειγμα, η απόδοση των συναλλαγών δεν είναι μόνο αυτή του βασικού επιπέδου, αλλά και το σύνολο των ρυθμών διεκπεραίωσης συναλλαγών όλων των συναθροίσεων του επιπέδου 2, οι οποίες συχνά εξαιρούνται από τους υπολογισμούς και θα τις μείωναν σημαντικά. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο τα εργαλεία σύγκρισης χρήσης ενέργειας ανά συναλλαγή σε όλες τις πλατφόρμες είναι παραπλανητικά (Ethereum.org, 2022).

Πιο σημαντική είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας του δικτύου και ο αντίκτυπος του άνθρακα. Από αυτές τις αξίες, μπορούμε να εκτιμήσουμε τι προσφέρει αυτό το δίκτυο στους χρήστες του και στην κοινωνία στο σύνολό της και να προσδιορίσουμε πιο ολοκληρωμένα εάν αυτή η ενεργειακή δαπάνη είναι δικαιολογημένη ή όχι. Τα μέτρα ανά συναλλαγή, από την άλλη πλευρά, υποδεικνύουν ότι η αξία του δικτύου

προέρχεται μόνο από τη συμμετοχή του σε μεταφορές λογαριασμών κρυπτογράφησης σε κρυπτογράφηση και αποτρέπουν μια ειλικρινή ανάλυση κόστους-οφέλους (Ethereum.org, 2022).

Το Digiconomist δίνει τη συνολική χρήση ενέργειας του δικτύου του Bitcoin και του Ethereum και τα αποτυπώματα άνθρακα. Τη στιγμή της γραφής, το Bitcoin καταναλώνει περίπου 200 TWh/έτος ενέργειας, εκπέμπει περίπου 100 MT (μεγατόνους) διοξειδίου του άνθρακα ετησίως και παράγει πάνω από 32.000 τόνους ηλεκτρικών αποβλήτων από ξεπερασμένη τεχνολογία ετησίως. Σε σύγκριση με το Bitcoin, το συνολικό ενεργειακό κόστος του Ethereum είναι πιο κοντά στο 0,01 TWh/έτος (Ethereum.org, 2022).

4.3 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε τεραβατώρες

Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει την εκτιμώμενη ετήσια χρήση ενέργειας σε TWh για διάφορους τομείς (ανακτήθηκε τον Ιούνιο του 2022). Σημειώστε ότι οι εκτιμήσεις που παρέχονται στο γράφημα προέρχονται από δημόσια προσβάσιμες πηγές που αναφέρονται στο κείμενο που ακολουθεί. Είναι μόνο για επεξηγηματικούς σκοπούς και δεν είναι επίσημες εκτιμήσεις, υποσχέσεις ή προβλέψεις (Ethereum.org, 2022).

Για να διαμορφώσουμε τη χρήση ενέργειας του Ethereum, μπορούμε να συγκρίνουμε ετήσια στοιχεία από άλλες επιχειρήσεις. Θεωρώντας το Ethereum ως πλατφόρμα για την ασφαλή διατήρηση ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων ως επενδύσεις, μπορούμε να το συγκρίνουμε με την εξόρυξη χρυσού, η οποία προβλέπεται να χρησιμοποιεί περίπου 240 TWh ετησίως. Ως πλατφόρμα ψηφιακών πληρωμών, μπορεί να είμαστε συγκρίσιμοι με το PayPal (εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας: 0,26 TWh). Ως πλατφόρμα ψυχαγωγίας, μπορούμε ίσως να το συγκρίνουμε με τον τομέα των τυχερών παιχνιδιών, ο οποίος αναμένεται να δαπανά περίπου 34 TW ετησίως μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η χρήση ενέργειας του Netflix αναμένεται να ποικίλλει από περίπου 0,45 TWh/έτος (όπως δηλώθηκε από το Netflix το 2019) έως περίπου 94 TWh/έτος (όπως εκτιμάται από το Shift Project) - οι υποθέσεις στις οποίες βασίζονται αυτά τα στοιχεία συζητούνται στο Carbon Brief. Εναλλακτικά,

το Ethereum μπορεί να συγκριθεί με το YouTube, το οποίο πιστεύεται ότι χρησιμοποιεί περίπου 244 TWh ετησίως, αλλά αυτές οι εκτιμήσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος των βίντεο της συσκευής που μεταδίδονται σε ροή και την ενεργειακή απόδοση της υποδομής υποστήριξης, όπως τα κέντρα δεδομένων. Οι εκτιμήσεις για τη χρήση ενέργειας του YouTube έχουν διαχωριστεί ανά κανάλι και βίντεο. Αυτές οι εκτιμήσεις υποδηλώνουν ότι το 2019, οι θεατές του Gangnam Style χρησιμοποίησαν 45 φορές περισσότερη ενέργεια από ό,τι το proof-of-stake Ethereum σε ένα χρόνο (Ethereum.org, 2022).

4.4 Ένα βιώσιμο επίπεδο εφαρμογής

Παρά την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας του Ethereum, μια μεγάλη, διευρυνόμενη και εξαιρετικά ενεργή κοινότητα αναγεννητικής χρηματοδότησης (ReFi) αναπτύσσεται στην πλατφόρμα. Οι εφαρμογές ReFi κατασκευάζουν οικονομικές εφαρμογές με θετικές εξωτερικές επιδράσεις για το περιβάλλον χρησιμοποιώντας στοιχεία DeFi. Το ReFi είναι ένα συστατικό του κινήματος «solarpunk», το οποίο συνδέεται στενά με το Ethereum και φιλοδοξεί να συνδυάσει την πρόοδο της τεχνολογίας με την περιβαλλοντική φροντίδα. Το Ethereum είναι το σωστό θεμέλιο για τις ομάδες ReFi και solarpunk, καθώς είναι αποκεντρωμένο, χωρίς άδεια και επεκτάσιμο. Με την ανάπτυξη αυτών (και άλλων τεχνολογιών, όπως το DeSci), το Ethereum γίνεται μια οικολογικά και κοινωνικά επωφελής τεχνολογία (Ethereum.org, 2022).

4.5 Ενεργειακό αποτύπωμα του Ethereum

Η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας Ethereum είναι πολύ χαμηλή, ωστόσο αυτό δεν συνέβαινε πάντα. Το τρίτο τρίμηνο του 2022, το Ethereum ενεργοποίησε τον μηχανισμό συναίνεσης απόδειξης στοιχήματος. Από το 2014 έως το 2022, το Ethereum χρησιμοποίησε μια τεχνική απόδειξης εργασίας, η οποία είχε πολύ μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο (Ethereum.org, 2022).

Από τη δημιουργία του, το Ethereum προσπάθησε να υιοθετήσει έναν μηχανισμό συναίνεσης που βασίζεται στην απόδειξη του στοιχήματος, αλλά για να το επιτύχει

αυτό χωρίς να διακυβευτεί η ασφάλεια και η αποκέντρωση απαιτούσε χρόνια εντατικής μελέτης και ανάπτυξης. Κατά συνέπεια, χρησιμοποιήθηκε μια τεχνική απόδειξης εργασίας για την εκκίνηση του δικτύου. Η συναίνεση για την απόδειξη της εργασίας απαιτεί οι ανθρακωρύχοι να χρησιμοποιούν τον υπολογιστικό εξοπλισμό τους για να λύσουν μια πρόκληση ενώ καταναλώνουν ενέργεια. Η απάντηση στο αίνιγμα δείχνει ότι ο εξορύκτης έχει καταναλώσει ενέργεια, υποδεικνύοντας ότι έχει επενδύσει πραγματική αξία για να συνεισφέρει στο blockchain. Τον Φεβρουάριο του 2022, εν μέσω του ζενίθ της αγοράς κρυπτονομισμάτων, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του Ethereum κορυφώθηκε λίγο κάτω από τις 94 TWh/έτος. Το καλοκαίρι πριν από την εφαρμογή της απόδειξης συμμετοχής, η κατανάλωση ενέργειας ήταν πιο κοντά στις 60 TWh/έτος, παρόμοια με εκείνη του Ουζμπεκιστάν, με εκπομπές άνθρακα συγκρίσιμες με εκείνες του Αζερμπαϊτζάν (33 MT/έτος) (Ethereum.org, 2022).

Η απόδειξη εργασίας και η απόδειξη στοιχήματος είναι απλώς τεχνικές για τον προσδιορισμό του ποιος μπορεί να συνεισφέρει στο επόμενο μπλοκ. Η αντικατάσταση της απόδειξης συμμετοχής με την απόδειξη εργασίας, στην οποία η πραγματική αξία που επενδύεται είναι ETH που ποντάρεται απευθείας σε ένα έξυπνο συμβόλαιο, εξαλείφει την ανάγκη των εξορυκτών να χρησιμοποιούν ενέργεια για να συνεισφέρουν στο blockchain. Κατά συνέπεια, το περιβαλλοντικό κόστος της ασφάλειας του δικτύου μειώνεται δραματικά (Ethereum.org, 2022).

4.6 Απόδειξεις εργασίας για το Ethereum

Η απόδειξη εργασίας είναι μια αποτελεσματική μέθοδος ασφάλειας δικτύου. Οι συναλλαγές στο blockchain Ethereum επιβεβαιώθηκαν από εξορύκτες με τη μέθοδο προηγούμενης απόδειξης εργασίας. Οι εξορύκτες οργάνωσαν τις συναλλαγές σε μπλοκ και τις έβαλαν στο blockchain Ethereum. Τα νέα μπλοκ διανεμήθηκαν σε όλους τους άλλους χειριστές κόμβων, οι οποίοι εκτελούν ανεξάρτητα τις συναλλαγές και επαληθεύουν την εγκυρότητά τους. Οποιαδήποτε ανεντιμότητα εμφανίζεται ως ασυνέπειες μεταξύ των κόμβων. Η προσθήκη ειλικρινών μπλοκ στο blockchain τα έκανε ανεξίτηλο κομμάτι της ιστορίας. Η δυνατότητα οποιουδήποτε εξορύκτη να συνεισφέρει νέα μπλοκ είναι βιώσιμη μόνο εάν η εξόρυξη είναι δαπανηρή και είναι αδύνατο να προβλεφθεί ποιος κόμβος θα υποβάλει το επόμενο μπλοκ. Αυτές οι

απαιτήσεις ικανοποιούνται με την απαίτηση αποδείξεων απασχόλησης. Για να είναι κατάλληλος για να συνεισφέρει ένα μπλοκ συναλλαγών, ένας εξορύκτης πρέπει να υποβάλει την απάντηση σε ένα υπολογιστικά έντονο πρόβλημα πριν από οποιονδήποτε άλλο. Για να καταλάβει αποτελεσματικά τον έλεγχο του blockchain, ένας ανέντιμος ανθρακωρύχος θα πρέπει να κερδίζει συνεχώς τον αγώνα απόδειξης εργασίας ξοδεύοντας περισσότερο υλικό και ενέργεια από την πλειονότητα των άλλων ανθρακωρύχων (Ethereum.org, 2022).

Αυτή η τεχνική ασφάλειας δικτύου είναι προβληματική για διάφορους λόγους. Πρώτον, οι ανθρακωρύχοι θα ενίσχυαν τις πιθανότητές τους για επιτυχία επενδύοντας σε πιο ισχυρό εξοπλισμό, δημιουργώντας τις συνθήκες για έναν αγώνα εξοπλισμών στον οποίο οι ανθρακωρύχοι αποκτούν εξοπλισμό εξόρυξης πιο ενεργοβόρου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της χρήσης ενέργειας του δικτύου και της σπατάλης υλικού. Δεύτερον, το σύστημα απόδειξης εργασίας του Ethereum (πριν από τη στροφή του στην απόδειξη στοιχήματος) είχε ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας συγκρίσιμη με αυτή της Φινλανδίας και αποτύπωμα άνθρακα συγκρίσιμο με αυτό της Ελβετίας (Ethereum.org, 2022).

Η απόδειξη στοιχήματος χρησιμοποιεί επικυρωτές και όχι εξορύκτες. Οι επικυρωτές εκτελούν την ίδια δουλειά με τους ανθρακωρύχους, αλλά αντί να ξοδεύουν αμέσως τα περιουσιακά τους στοιχεία ως ενεργειακό κόστος, στοιχηματίζουν το ETH ως εγγύηση έναντι της ανέντιμης δραστηριότητας. Αυτό το πονταρισμένο ETH μπορεί να καταστραφεί εάν ο επικυρωτής ενεργήσει ανεύθυνα, με αυστηρότερες ποινές για πιο κακόβουλη συμπεριφορά. Αυτό δίνει ουσιαστικά κίνητρα για την ενεργό και αξιόπιστη δέσμευση στην ασφάλεια του δικτύου χωρίς να απαιτείται σημαντική προσπάθεια. Δεδομένου ότι σχεδόν όλη η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για τη διασφάλιση του δικτύου απόδειξης εργασίας προήλθε από τον αλγόριθμο εξόρυξης, η μετάβαση στην απόδειξη στοιχήματος μείωσε δραστικά την κατανάλωση ενέργειας. Στο πλαίσιο της απόδειξης συμμετοχής, δεν υπάρχει κανένα πλεονέκτημα για την επένδυση σε πιο ισχυρό εξοπλισμό, επομένως δεν υπάρχει κούρσα εξοπλισμών και λιγότερα ηλεκτρικά απόβλητα. Οι επικυρωτές για το Ethereum ενδέχεται να λειτουργούν σε τυπικούς φορητούς υπολογιστές ή συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, όπως το Raspberry Pi (Ethereum.org, 2022).

Κεφάλαιο 5^ο: Συγκριτική μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης Ethereum έναντι της Αγοραστικής τιμής του

Όταν πρόκειται για διαφανείς συναλλαγές, το blockchain είναι η ασφαλέστερη και πιο αξιόπιστη επιλογή που διατίθεται αυτή τη στιγμή. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή όχι μόνο νομισματικών συναλλαγών αλλά και ευαίσθητων δεδομένων. Η βασική ιδέα του Blockchain είναι ότι τα δεδομένα του αποθηκεύονται σε μπλοκ που είναι συνδεδεμένα αλλά απρόσιτα μεταξύ τους.

Η πρόσβαση σε ένα μπλοκ παρέχεται είτε από τον διαχειριστή του μπλοκ είτε κερδίζεται από το άτομο που δημιουργεί το μπλοκ. Στη συνέχεια, το μπλοκ κρυπτογραφείται, καθιστώντας το περιεχόμενό του μη αναγνώσιμο σε κανέναν στο δίκτυο blockchain που δεν έχει τον αντίστοιχο κωδικό κατακερματισμού. Ένα νέο μπλοκ δημιουργείται κάθε φορά που ολοκληρώνεται μια ομάδα συναλλαγών δικτύου. Η ανάπτυξη του blockchain επωφελείται από αυτή την τάση. Κατά την εξόρυξη, χρησιμοποιούνται μόνο τα πιο σύγχρονα εξαρτήματα υλικού ή/και σχέδια. Το υλικό απαιτεί μια σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να εκτελούνται οι εξελιγμένοι αλγόριθμοι στο blockchain. Σε αντάλλαγμα, ο εξοπλισμός θερμαίνεται και εκπέμπει θερμότητα και διοξείδιο του άνθρακα. Η αγορά bitcoin αναπτύσσεται καθώς περισσότεροι άνθρωποι τη βλέπουν ως ένα αξιόπιστο μέσο πληρωμής. Στην αγορά η αξία των γνωστών κρυπτονομισμάτων (όπως Bitcoin, Ethereum κ.λπ.) αυξάνεται καθημερινά. Παρά την αργή επέκτασή τους, τα νέα κρυπτονομίσματα κερδίζουν γρήγορα έλξη σε εξειδικευμένες περιοχές. Ο ανταγωνισμός για το μερίδιο αγοράς θερμαίνεται καθώς ο αριθμός των νέων νομισμάτων εισέρχεται σε κυκλοφορία, ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην αργή σύλληψη. Η διαδικασία εξόρυξης επηρεάζει άμεσα την αξία των ψηφιακών νομισμάτων στην αγορά (Joshi & Walvekar, 2020).

Η εξόρυξη Bitcoin ξεκίνησε το 2008 και εξακολουθεί να είναι ισχυρή σήμερα. Εκτός από το bitcoin, άλλα ψηφιακά νομίσματα εξορύσσονταν επίσης χρησιμοποιώντας CPU και GPU. Η εξόρυξη Ethereum (digiconomist.net, 2022) χρησιμοποιεί μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPU) που βρίσκονται σε κάθε σύγχρονο οικιακό υπολογιστή (Palacio, 2018). Η εξόρυξη Ethereum απαιτεί πολύ λιγότερη ενέργεια από την εξόρυξη bitcoin. Η μέθοδος Proof-of-Work, που χρησιμοποιείται επί του παρόντος στην εξόρυξη Ethereum, είναι ταυτόχρονα αποτελεσματική και αποτελεσματική αλλά και απίστευτα διψασμένη για ενέργεια. Ο

αλγόριθμος Proof-Of-Work χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια, με αποτέλεσμα υψηλότερες εκπομπές θερμότητας και διοξειδίου του άνθρακα, έτσι ώστε οι CPU να έχουν τη μέγιστη απόδοση. Μια μεμονωμένη συναλλαγή Ethereum χρησιμοποιεί 1,02 KWh ενέργειας, αρκετή για να τροφοδοτήσει αρκετά σπίτια στις Ηνωμένες Πολιτείες για μια ημέρα (digiconomist.net, 2022). Υπολογίζεται ότι περίπου το 60% των εσόδων από την εξόρυξη θα διατεθεί για δαπάνες ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανθρακωρύχοι αθροίζουν τώρα τα συσσωρευμένα κέρδη εξόρυξης σε δολάρια για να λογοδοτήσουν αυτή την απώλεια. Για να λάβετε το κόστος σε κιλοβατώρες, απλώς διαιρέστε με το μέσο κόστος ανά kWh. Η εξόρυξη blockchain επιβαρύνει τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, καθώς απαιτεί πολλή ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια για την εξόρυξη προέρχεται τόσο από ανανεώσιμες όσο και από μη ανανεώσιμες πηγές. Δεν υπάρχει τρόπος αποθήκευσης αυτής της ενέργειας (Joshi & Walvekar, 2020).

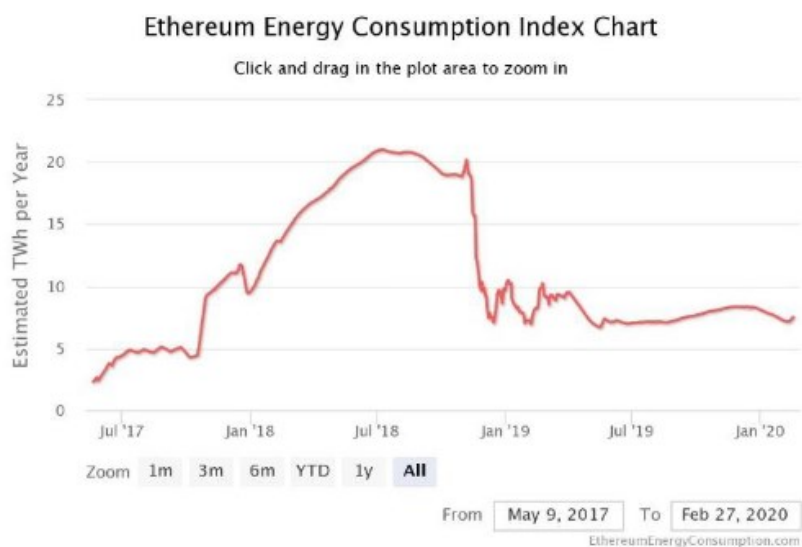
Η διατήρηση της παραγωγής ενέργειας είναι απαραίτητη για την παροχή μιας σταθερής ροής ηλεκτρικής ενέργειας για την εκτέλεση των αλγορίθμων. Μπορεί να μειώσουμε την καθημερινή μας χρήση ενέργειας χρησιμοποιώντας λιγότερες ηλεκτρικές συσκευές. Επειδή η παραγωγή μας είναι περιορισμένη, είμαστε σε θέση να μειώσουμε τη χρήση ενέργειας. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που βασίζονται σε ανανεώσιμους φυσικούς πόρους έχουν ένα σαφές πλεονέκτημα έναντι των τεχνητών ομολόγων τους. Ο αέρας και το νερό είναι δύο από τους πιο άφθονους πόρους της φύσης και όταν χρησιμοποιούνται σωστά, μπορεί να παρέχουν καλύτερη πηγή ενέργειας. Η εξόρυξη blockchain χρησιμοποιεί πολλή ηλεκτρική ενέργεια και ως εκ τούτου δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένης της απελευθέρωσης θερμότητας και υποπροϊόντων άνθρακα που ανεβάζουν τη θερμοκρασία της γης. Ως αποτέλεσμα της συρροής μεταβλητών, η μέση θερμοκρασία επιφάνειας της Γης αυξάνεται πρόσφατα. Η εξόρυξη δικτύων blockchain συμβάλλει σημαντικά στην άνοδο των μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών. Όταν πρόκειται για δωρεές, το bitcoin είναι πολύ μπροστά από το Ethereum. Κέρματα όπως το bitcoin και ο αιθέρας εξορύσσονται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που ονομάζεται "Proof-of-Work" (POW). Το ζήτημα της κρυπτογραφίας επιλύεται δοκιμάζοντας συνεχώς διαφορετικές μεταθέσεις και συνδυασμούς ενός κατακερματισμού. Η CPU και η GPU χρησιμοποιούνται στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο (Joshi & Walvekar, 2020).

5.1 Η κατανάλωση ενέργειας Ethereum

Η κατανάλωση ενέργειας για την εξόρυξη χρημάτων Ethereum συγκρίνεται λεπτομερώς με την τιμή αγοράς του Ethereum που εξαρτάται από τις συναλλαγές, η οποία συζητείται στην εργασία. Η πρώτη έκδοση του Ethereum κυκλοφόρησε το 2015 (Ethereum.org, 2022). Το πρώτο blockchain κατασκευάστηκε και η παραγωγή χρημάτων ξεκίνησε μέσα σε ένα χρόνο. Το Ethereum αναγνωρίστηκε επίσημα και άρχισε να διατηρεί παγκόσμια αρχεία το 2016. Αν και το Bitcoin έχει διατηρήσει τη θέση του ως το πιο πολύτιμο κρυπτονόμισμα, η αξία του Ethereum έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται και της παραγωγής στο Ethereum. Η εξόρυξη Ethereum έχει διατηρήσει τον προηγούμενο ρυθμό χρήσης ενέργειας. Στις 9 Ιουλίου 2018, (etherscan.io, 2022) μετά από μια περίοδο σταθερής ανάπτυξης, το γράφημα του Ethereum Energy Consumption Index (EECI) έφτασε τις 21,01011718583486 TWh. Σημαντική αντιστροφή σημειώθηκε στην αυξητική τάση του γραφήματος του δείκτη κατανάλωσης ενέργειας Ethereum (EECI) μετά τις 7 Νοεμβρίου 2019. Στις 6 Φεβρουαρίου 2019, το γράφημα έφτασε στο ιστορικό χαμηλό, υποδεικνύοντας ελάχιστη κατανάλωση 6,954909097083333 TWh ενέργειας. Μετά τις περικοπές, η κατανάλωση ρεύματος παρέμεινε στο εύρος των 7-11 TWh. Δεν υπήρξε καμία αισθητή αλλαγή στο γενικό πρότυπο χρήσης ενέργειας (Joshi & Walvekar, 2022).

Όταν εξετάζουμε τις συναλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο χρονικό πλαίσιο, βλέπουμε ένα μοτίβο που μοιάζει αρκετά με τον δείκτη κατανάλωσης ενέργειας Ethereum (EECI). Σύμφωνα με τα αρχεία συναλλαγών του Ethereum, ο αριθμός ρεκόρ των συναλλαγών σημειώθηκε στις 4 Ιανουαρίου 2018[8]. Είναι πιθανό ο Δείκτης Κατανάλωσης Ενέργειας Ethereum (EECI) να εκτιναχθεί απότομα μετά τις 4 Ιανουαρίου 2018. Το ότι υπάρχει αγορά για το Ethereum είναι πολύ εμφανές. Στις 6 Ιουλίου του τρέχοντος έτους, σημειώθηκαν μόλις 459075 συναλλαγές, οι λιγότερες του έτους. Η ζήτηση της αγοράς για συναλλαγές Ethereum κορυφώθηκε στις 9 Ιουλίου 2018, αυξάνοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Η αστάθεια της αγοράς Ethereum επηρεάζεται επίσης από τον όγκο των συναλλαγών της. Το πραγματικό κόστος ενός Ethereum κυμαίνεται ανάλογα με τις αλλαγές στη ζήτηση (Joshi & Walvekar, 2022).

Ενεργειακής Απόδοσης του δείκτη Ethereum (EEIN): Τα δεδομένα σχετικά με την ισχύ που απαιτείται για την εξόρυξη χρημάτων Ethereum φαίνονται γραφικά παρακάτω. Οι θερμοβατόρες είναι η τυπική μονάδα για την περιγραφή της ενέργειας (Τερβατόρα). Η κατανάλωση ενέργειας όπως μετράται σε τεραβατόρες εμφανίζεται σε σχέση με το χρόνο (Joshi & Walvekar, 2020).

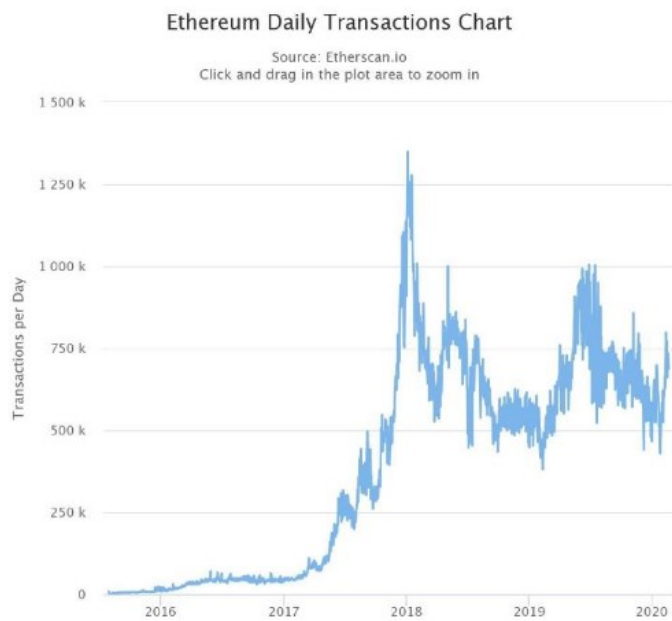


^a. Image [2]

Fig. 1. Ethereum Energy Consumption Index(EECI)

Πίνακας 21 Δείκτης Ενεργειακής Κατανάλωσης Ethereum

Η γραφική απεικόνιση των καθημερινών συναλλαγών Ethereum είναι διαθέσιμη στο β) Γράφημα Ημερήσιας Συναλλαγής Ethereum. Η μέση διάρκεια μπλοκ, ο μέσος αριθμός μπλοκ, ο συνολικός αριθμός των θείων και ο αριθμός των νέων διευθύνσεων είναι μερικές μόνο από τις μετρήσεις που αντιπροσωπεύονται από κάθε τιμή.



^b. Image [6]

Fig. 2. Ethereum Daily Transaction Chart

Πίνακας 22 Ημερήσιες συναλλαγές Ethereum

Το γράφημα δείχνει τη μηνιαία τιμή του Ethereum σε δολάρια ΗΠΑ. Η τιμή του Ethereum επηρεάζεται τόσο από εξωτερικούς όσο και από εσωτερικούς παράγοντες. Η έμφαση της έρευνας δίνεται σε εσωτερικά θέματα.

5.2 Η αρχή της ζήτησης και προσφοράς

Η Ζήτηση-Προσφορά είναι μια βασική αντίστροφη σχέση μεταξύ του αγοραστή (καταναλωτής) και του πωλητή (παραγωγός). Όταν ένας σημαντικός αριθμός αγοραστών είναι διαθέσιμος ή παρών στην αγορά, η ζήτηση για ένα συγκεκριμένο προϊόν αυξάνεται. Για να καλύψει τη ζήτηση των καταναλωτών, ο πωλητής (παραγωγός) αυξάνει την προσφορά της αγοράς. Καθώς κάθε καταναλωτής χρησιμοποιεί το προϊόν και μένει ικανοποιημένος, η ζήτηση του προϊόντος μειώνεται καθημερινά. Η εταιρεία συνεχίζει να παράγει αγαθά για να ικανοποιήσει τη ζήτηση. Σε κάποιο σημείο, η πλειοψηφία των καταναλωτών είναι ικανοποιημένη, αλλά ο παραγωγός συνεχίζει να παράγει την ίδια ποσότητα ειδών ανεξαρτήτως ζήτησης, με αποτέλεσμα μια αγορά με λιγότερους αγοραστές παρά την υψηλή προσφορά. Αντίθετα,

ο πωλητής (παραγωγός) διατηρεί λίγη προσφορά εμπορευμάτων παρά την έντονη ζήτηση της αγοράς. Ως αποτέλεσμα της αντίστροφης αναλογικότητας της σχέσης, επηρεάζεται η τιμολόγηση του προϊόντος. Καθώς η ζήτηση αυξάνεται και η προσφορά μειώνεται, το εύρος τιμών ενός προϊόντος διευρύνεται. Όταν ένα προϊόν έχει μεγάλη προσφορά και μικρή ζήτηση, οι προμηθευτές μπορεί να αλλάξουν την τιμή καθώς το εύρος τιμών μειώνεται. Αυτή η σύνδεση είναι προσβάσιμη σε όλες τις αγορές. Αυτή η έννοια χρησιμοποιείται συχνά ως προσέγγιση για πολλές αγορές (Joshi & Walvekart, 2020).

Το κρυπτονομίσματα είναι ένας καινοτόμος και ασφαλής τρόπος συναλλαγών. Tokens που εξορύσσονται μέσω του blockchain. Οι αρνητικές επιπτώσεις της τεχνολογίας blockchain, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και οι ανησυχίες για την αποθήκευση, θα επιδεινωθούν στο μέλλον. Η διατήρηση επαρκούς προσφοράς κρυπτονομισμάτων στην αγορά μειώνει τη ζήτηση εξόρυξης. Το Proof-of-Work, ο τρέχων αλγόριθμος, καταναλώνει περισσότερη ενέργεια. Ως εκ τούτου, το Proof-of-Stake, ένας νέος αλγόριθμος, προσφέρεται ως αντικατάσταση. Εφαρμόστε το proof ofstake για εξόρυξη το συντομότερο δυνατό για να μετριαστεί το ζήτημα της θερμοκρασίας (Joshi & Walvekart, 2020).

5.3 Η πρόβλεψη μείωσης της ενέργειας από το Ethereum

Επειδή ο Sarcos ενδιαφερόταν να βοηθήσει άτομα με μια μεγάλη ποικιλία δραστηριοτήτων, δεν δημιούργησε το XO για μια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης. Ο Wolff αναφέρεται στη μέθοδο με την οποία ένας χρήστης χειρίζεται ένα XO ως "έλεγχος εξόδου από το δρόμο". Οι αισθητήρες της στολής καταγράφουν την ταχύτητα, τη δύναμη και την κατεύθυνση των κινήσεων των άκρων του χρήστη, επιτρέποντάς του να τις αναπαράγει γρήγορα. Ο Wolff εξηγεί ότι το κόστούμι είναι τόσο διαισθητικό γιατί ακολουθεί κάθε σου ενέργεια. Οι πελάτες μπορεί να έχουν διάφορες ανησυχίες για την ασφάλεια, παρά το γεγονός ότι οι βιομηχανικοί εξωσκελετές κατασκευάζονται με γνώμονα τον χρήστη. Ο Bill Billotte είναι ο αντιπρόεδρος μιας ομάδας στην ASTM International που αναπτύσσει πρότυπα για εξωσκελετούς. Κατά τη γνώμη του, οι επιχειρήσεις θα αντιμετωπίσουν πολλά από τα ίδια ζητήματα που εμφανίστηκαν όταν τα συνεργατικά ρομπότ εισήχθησαν για πρώτη φορά στις γραμμές παραγωγής.

Ρωτάει, "Πώς το κάνετε να λειτουργήσει, αν έχετε ένα άτομο που φοράει εξωσκελετό αλλά εργάζεται δίπλα σε άλλα άτομα που δεν φοράνε εξωσκελετό;"

Για εταιρείες που είναι πρόθυμες να επενδύσουν παρόλα αυτά, η Sarcos προσφέρει ένα σχέδιο "ρομπότ ως υπηρεσία" στο οποίο τα Guardian XO της εταιρείας αποστέλλονται στην τοποθεσία του πελάτη, αγκυροβολούνται και συντηρούνται σε τακτική βάση. Σύμφωνα με τον Wolff, ένα πακέτο XO "κοστίζει περίπου το ίδιο με την πρόσληψη κάποιου σε επίπεδο 25 \$ ανά ώρα με ένα πλήρες πακέτο παροχών." Ο Wolff ισχυρίζεται ότι οι εταιρείες μπορούν να εξοικονομήσουν κόστος επενδύοντας σε XO, καθώς η χρήση εξωσκελετού αυξάνει την παραγωγικότητα κατά τέσσερις έως οκτώ φορές και μειώνει την πιθανότητα τραυματισμού στην εργασία. Το βήμα του στα εργοστάσια ήταν: "Σκεφτείτε να προσλάβετε αυτό το ρομπότ" (Fairley, 2019).

Το νόμισμα έχει 99% χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από ό,τι πριν από ένα χρόνο. Το μεγαλύτερο μέρος της προσοχής και της κριτικής που στρέφεται στα κρυπτονομίσματα επικεντρώνεται στο Bitcoin, επιτρέποντας στο Ethereum να τα βγάλει πέρα στο παρασκήνιο. Το Ethereum, ωστόσο, δεν είναι μια μικρή πλατφόρμα. Την ώρα που δημοσιεύτηκε, η αγοραία αποτίμησή του ήταν περίπου 10 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και η χρήση της ενέργειας ήταν εξίσου τεράστια. Η εξόρυξη Ethereum χρησιμοποιεί μόλις το ένα τέταρτο έως το μισό περισσότερη ενέργεια από την εξόρυξη Bitcoin, ωστόσο το 2018, εξακολουθούσε να χρησιμοποιεί περίπου τόση ενέργεια όση όλη η Ισλανδία. Στην πραγματικότητα, η ενέργεια που απαιτείται για την επεξεργασία μιας τυπικής συναλλαγής Ethereum είναι μεγαλύτερη από αυτή που καταναλώνει ένα τυπικό αμερικανικό σπίτι σε μια ολόκληρη μέρα. Ακόμα κι αν η ρύπανση και το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι πρόβλημα για εσάς, αυτό εξακολουθεί να είναι τεράστια σπατάλη πόρων. Ο Vitalik Buterin, ο Ρωσο-Καναδός επιστήμονας υπολογιστών που δημιούργησε το Ethereum σε ηλικία 18 ετών, λέει: "Υπάρχουν γνήσιοι καταναλωτές - πραγματικοί άνθρωποι - των οποίων η ζήτηση για δύναμη αντικαθίσταται από αυτό το υλικό" (Fairley, 2019)

Ο Buterin έχει ορίσει το 2019 ως το έτος που θα αρχίσει να διορθώνει την ενεργειακή αναποτελεσματικότητα της εφεύρεσής του. Το Buterin, το Ίδρυμα Ethereum που βοήθησε να δημιουργηθεί, και το μεγαλύτερο κίνημα ανοιχτού κώδικα που ωθεί το κρυπτονομίσμα προς τα εμπρός, όλα έχουν στόχο να δοκιμάσουν την υποσχεμένη ενημέρωση του κώδικα Ethereum φέτος. Εάν αυτοί οι προγραμματιστές είναι σωστοί,

μέχρι το τέλος του 2019 ο νέος κώδικας για το Ethereum θα χρειάζεται μόνο το ένα τοις εκατό της ενέργειας που χρησιμοποιείται τώρα για τη διεξαγωγή συναλλαγών. Ο σύμβουλος κρυπτονομισμάτων της Cosmos, Zaki Manian, προβλέπει ότι η φετινή «πιο συναρπαστική τεχνολογία που θα ακολουθήσει» θα είναι αυτή που σχετίζεται με την απόπειρα ανάστασης του Ethereum. Σύμφωνα με τον Manian, η διαδικασία ανάπτυξης του Ethereum απαιτεί ανοιχτή συνεργασία μεταξύ πολλών προγραμματιστών και οργανισμών, συναίνεση στις προδιαγραφές, την εφεύρεση των απαραίτητων τεχνολογιών για την επίτευξη αυτών των απαιτήσεων και την ομαλή ενσωμάτωση όλων αυτών των στοιχείων. Το πιο τεχνικά φιλόδοξο ανοιχτό κοινοτικό έργο που έχει αναληφθεί ποτέ, σύμφωνα με τον Manian. Παρόμοια με το Bitcoin, το Ethereum λειτουργεί σε «block-chain» ή κατανεμημένη ψηφιακή εγγραφή συναλλαγών που διαχειρίζονται συλλογικά οι χρήστες του δικτύου. (Ονομάζεται blockchain επειδή κάθε συναλλαγή καταγράφεται ως ένα "μπλοκ" δεδομένων που προσαρτάται σε μια ήδη υπάρχουσα "αλυσίδα" μπλοκ.) Η Buterin σχεδίαζε το Ethereum να είναι κάτι περισσότερο από ένα αποκεντρωμένο καθολικό. Το Ethereum, στο μυαλό του, θα γινόταν ένας παγκόσμιος υπολογιστής λόγω της κατανεμημένης φύσης του, της καθολικής προσβασιμότητας και της αντίστασης στο hacking, τη λογοκρισία και άλλες μορφές απάτης. Η υπόσχεση του blockchain Ethereum πηγάζει από τα χαρακτηριστικά του, τα οποία περιλαμβάνουν αποθήκευση δεδομένων, βοήθεια λήψης αποφάσεων και αυτοματοποιημένη μεταφορά αξίας. Τα έξυπνα συμβόλαια, γραμμένα από χρήστες ή προγραμματιστές στη μητρική γλώσσα του Ethereum, χειρίζονται αυτές τις ευθύνες (Fairley, 2019).

Αν και υπάρχουν άμεσες οικονομικές χρήσεις για τα έξυπνα συμβόλαια, ο απώτερος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη των εφαρμογών του Ethereum, κάτι που θα το έκανε την καλύτερη πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους. Αυτός ο ιδεαλιστικός στόχος έρχεται σε αντίθεση με την κατάσταση του Ethereum αυτή τη στιγμή. Παρά το γεγονός ότι τροφοδοτεί πολλές εφαρμογές πολλών εκατομμυρίων δολαρίων, ακόμη και ο Buterin παραδέχεται ότι έχει τις αμφιβολίες του για το εάν το Ethereum αξίζει ή όχι τους πόρους που καταναλώνει. Η συνεχής εξόρυξη είναι το κύριο ζήτημα. Το Ethereum, όπως και άλλα ψηφιακά νομίσματα, επικυρώνεται μέσω ενός υπολογιστικού διαγωνισμού που είναι γνωστός ως proof of work (PoW). Οι

συμμετέχοντες στο Proof-of-Work (PoW) ανταγωνίζονται για να προσθέσουν κρυπτογραφικά ασφαλείς συναλλαγές στο κατακεμημένο καθολικό που διατηρεί το blockchain. Μπορείτε να κερδίσετε ολοκαίνουργια κρυπτονομίσματα σε αυτόν τον διαγωνισμό για ένα άτομο. Κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες επιτυχίας σας, τόσο περισσότερη υπολογιστική ισχύ έχετε. Για καλό λόγο, η εξόρυξη PoW είναι μια πρόκληση. Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι καμία οντότητα δεν έχει κυριαρχία στο blockchain. Εάν το μηχάνημα ενός εξορύκτη Bitcoin έλεγχε περισσότερο από το 50% της ισχύος εξόρυξης του δικτύου, ο εξορύκτης ενδέχεται να διαπράξει απάτη αντιστρέφοντας ήδη συναλλαγές που έχουν ολοκληρωθεί. Δεδομένου ότι οι εξορύκτες Bitcoin μπορεί να παραμείνουν ανώνυμοι, οι καταναλωτές έχουν περιορισμένη μόχλευση. Θεωρητικά, το PoW εξακολουθεί να διατηρεί την εξόρυξη ως αποκεντρωμένη λειτουργία. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, πολλά κρυπτονομίσματα ελέγχονται από μια μικρή ομάδα λόγω της ανάπτυξης ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για συγκεκριμένες εφαρμογές (ASIC) που επιταχύνουν την εξόρυξη. Αυτά τα ASIC κατασκευάζονται από έναν μικρό αριθμό κατασκευαστών τσιπ στην Κίνα (Fairley, 2019).

Χρησιμοποιώντας μια μέθοδο PoW έντασης μνήμης για την εξόρυξη "αιθέρα", όπως ονομάζεται το διακριτικό αξίας του, το Ethereum πηγαίνει τον αγώνα ενάντια στην κεντρική εξουσία ένα βήμα παραπέρα. Αυτή η τεχνική για την εξόρυξη αιθέρα μειώνει το όφελος από τη χρήση εξειδικευμένου υλικού. Ωστόσο, η τεράστια επέκταση των πόρων υπολογιστών που αφιερώνονται στην εξόρυξη αιθέρα δεν έχει επιβραδυνθεί από τον αλγόριθμο PoW του Ethereum. Το 2017, όταν η αξία του διακριτικού αυξήθηκε από 8 \$ σε 862 \$, οι εταιρείες εξόρυξης δημιούργησαν εξειδικευμένα κέντρα δεδομένων γεμάτα με μονάδες επεξεργασίας ραφικών γενικής χρήσης, που είναι κατάλληλα για εξόρυξη αιθέρα. Αυτό οδήγησε σε περισσότερο από 25 φορές αύξηση της υπολογιστικής ικανότητας που επικεντρώθηκε σε αυτήν τη λειτουργία (Fairley, 2019).

Κατά συνέπεια, οι περιβαλλοντολόγοι μιλούν εναντίον αυτής της τάσης λόγω της αυξημένης ανάγκης για ενέργεια που έχει γεννήσει. Ενώ οι εξορύκτες bitcoin επωφελούνται από τη φθηνή ενέργεια, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι κοινότητες αντιμετωπίζουν οικονομικό κίνδυνο και πιθανό κόστος εάν εξυπηρετούν τους εξορύκτες κρυπτονομισμάτων. Εάν η τιμή των κρυπτονομισμάτων πέσει και οι εργασίες εξόρυξης πάψουν να υφίστανται, οι αλλαγές στον εξοπλισμό που μπορεί να

χρειαστεί να αναλάβουν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για να εξυπηρετήσουν τους εξορύκτες μπορεί να είναι περιττές (Fairley, 2019).

Οι τρέχουσες συνθήκες της αγοράς έχουν δώσει αξιοπιστία στις ανησυχίες των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Τον Ιανουάριο του 2018, η τιμή του αιθέρα έφτασε στο υψηλό των 1.385 \$. Έκτοτε, μειώνεται σταθερά. Τον Νοέμβριο, έπεσε κάτω από τα 120 δολάρια, που ήταν αρκετά χαμηλό για να εξαλείψει το περιθώριο κέρδους των ανθρακωρύχων και να αναγκάσει ορισμένους να μειώσουν την παραγωγή ή να κλείσουν τις μηχανές τους. Ο Digiconomist, ένας ιστότοπος που αναπτύχθηκε από τον Alex de Vries, ανώτερο συνεργάτη και εμπειρογνώμονα blockchain στην PricewaterhouseCoopers, προβλέπει ότι οι εξορύκτες Ethereum θα μειώσουν τη συνολική χρήση ενέργειας περισσότερο από το μισό σε λιγότερο από 20 ημέρες (Fairley, 2019).

Γι' αυτό δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι ορισμένες εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η Hydro-Québec στο Μόντρεαλ, χρεώνουν περισσότερο την ενέργεια από τους ανθρακωρύχους. Οι συνέπειες για την ασφάλεια των κρυπτονομισμάτων που βασίζονται σε PoW ενδέχεται να αυξηθούν εάν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι αρχές τους απωθήσουν. Λόγω των αυξημένων τιμών της ενέργειας και των λιγότερων διαθέσιμων πηγών ενέργειας, λιγότεροι ανθρακωρύχοι θα εισέλθουν στην αγορά, οδηγώντας σε μεγαλύτερη συγκέντρωση της ισχύος εξόρυξης. Οι δυνατότητες διαφθοράς και μονοπώλησης μεγαλώνουν όσο μεγαλώνουν (Fairley, 2019).

Η Buterin θεωρούσε πάντα τις δραστικές μειώσεις στη χρήση ενέργειας ως αναπόσπαστο στοιχείο του μέλλοντος του Ethereum. Η πλειοψηφία των υποστηρικτών του Ethereum συμφωνεί με αυτήν την εκτίμηση. Η κοινότητα του Ethereum στο σύνολό της συμφωνεί ότι το Proof-of-Work καταναλώνει υπερβολικά ποσά ενέργειας. Ο Paul Hauner, συνιδρυτής της αυστραλιανής εταιρείας κυβερνοασφάλειας και ανάπτυξης blockchain Sigma Prime και συνεργάτης του Ethereum, πιστεύει ότι αυτό είναι το κύριο μέλημά του (Fairley, 2019).

Το Proof of Stake (PoS), μια εναλλακτική τεχνική για καταναμημένη συναίνεση, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε ένα κρυπτονόμισμα με την κυκλοφορία του Peercoin το 2012 και το Ethereum σκοπεύει να το χρησιμοποιήσει αντί του PoW. Το PoS επιλέγει έναν μόνο επεξεργαστή τυχαία για να χειρίζεται όλες τις συναλλαγές αντί

να χρησιμοποιεί εκατομμύρια επεξεργαστές ταυτόχρονα. Στο PoS, οι συμμετέχοντες αναφέρονται ως επικυρωτές και όχι ως εξορύκτες και η διατήρηση της ειλικρίνειάς τους είναι απαραίτητη. Για να γίνει αυτό, το PoS απαιτεί από κάθε επικυρωτή να «ποντάρει» μερικούς από τους πόρους του, ή, στην περίπτωση του Ethereum, μια μεγάλη ποσότητα αιθέρα. Ενώ ένας επικυρωτής με υψηλότερο ποντάρισμα θα έχει μεγαλύτερες πιθανότητες να κερδίσει, αν εντοπιστεί ότι απάτη, θα έχει επίσης πολλά περισσότερα να χάσει. Ο Buterin ισχυρίζεται ότι η μετάβαση σε PoS θα μείωνε την κατανάλωση ενέργειας του Ethereum ανά συναλλαγή πάνω από 100 φορές, λέγοντας: "Το στοιχείο PoW είναι αυτό που χρησιμοποιεί αυτές τις τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Στο σύνολό τους, οι συναλλαγές blockchain δεν χρειάζονται μεγάλη επεξεργαστική ισχύ . Απλά μια απλή διαδικασία ελέγχου ταυτότητας ψηφιακών υπογραφών. Δεν είναι σαν να χρησιμοποιούμε έναν τεράστιο χάρτη τρισδιάστατης μήτρας ή να κάνουμε μηχανική μάθηση σε terabyte δεδομένων", εξηγεί. Η χρήση λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας και υπολογιστικών πόρων δεν είναι απλώς ένα πράσινο πράγμα (Fairley, 2019).

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι θα πρέπει να μειώσει την ποσότητα του νέου αιθέρα που παράγεται για να ανταμείψει τους επικυρωτές, που είναι χρήματα που μειώνουν την αξία ενός νομίσματος. Η Rocket Pool, που εδρεύει στο Μπρίσμπεϊν της Αυστραλίας, αναπτύσσει μια εφαρμογή που θα συναρμολογεί ομάδες πονταρίσματος, πληρώνοντας τόκους στους ιδιοκτήτες αιθέρα που συμμετέχουν στην πισίνα. «Επειδή οι επικυρωτές PoS δεν ξοδεύουν όλη αυτή την ενέργεια, δεν χρειάζεται να τους ανταμείβουμε τόσο πολύ», λέει ο Darren Langley, ανώτερος προγραμματιστής blockchain με την Rocket Pool. Εκτός από την ευκολία, η μετάβαση σε PoS μπορεί επίσης να βελτιώσει την ασφάλεια. Εάν ένα εργαλείο επικύρωσης παραβιάζει τους κανόνες, η τοποθεσία του λογαριασμού μπορεί να διαγραφεί, καθώς είναι γνωστή στο κοινό στο PoS. Ο κύριος προγραμματιστής PoS στο Ίδρυμα Ethereum Vlad Zamfir το εξισώνει με την κοινότητα του Bitcoin που έχει τη δυνατότητα να κάψει τα κέντρα δεδομένων ενός καταχρηστικού εξορύκτη. Τα οφέλη του PoS έχουν ήδη πείσει την κοινότητα του Ethereum να κάνει τη μετάβαση μέχρι το 2015 και ηγέτες όπως ο Buterin περίμεναν ότι θα χρειαζόταν μόνο ένα ή δύο χρόνια. Προκειμένου να κάνουν προφανείς τους στόχους τους, οι βασικοί προγραμματιστές του Ethereum επανέγραψαν τον αλγόριθμό τους PoW για να προκαλέσουν εκθετική αύξηση της δυσκολίας εξόρυξης. Η παραγωγή νέων μπλοκ συναλλαγών επιβραδύνθηκε στα τέλη του 2016

και η «βόμβα δυσκολίας» προβλέφθηκε ότι θα ακινητοποιήσει πλήρως την εξόρυξη αιθέρα τα επόμενα χρόνια (Fairley, 2019).

Στην πράξη, αυτή η ωρολογιακή βόμβα έμοιαζε περισσότερο με ξυπνητήρι με κουμπί αναβολής. Αφού οι χρόνοι εξόρυξης είχαν σχεδόν τετραπλασιαστεί στα 30 δευτερόλεπτα τον Οκτώβριο του 2017, η ομάδα ανάπτυξης του Ethereum επανέφερε το ρολόι, αγοράζοντας περισσότερο χρόνο μέχρι να πεθάνει τελικά το PoW. Και μάλλον θα ξανακοιμηθούν πολύ σύντομα. Δεν χρειάζεται να ανησυχείτε ότι η ομάδα του Ethereum χαλαρώνει. Ο Buterin ισχυρίζεται ότι η ομάδα πίσω από το Ethereum έχει ήδη αντιμετωπίσει τα περισσότερα θεωρητικά προβλήματα με το PoS. Ωστόσο, η πρόοδος ήταν πιο αργή από ό,τι αναμενόταν στη μετάφραση τέτοιων θεωρητικών απαντήσεων σε λειτουργικό λογισμικό. Η ηγεσία του Ethereum αγκάλιασε μια τολμηρή νέα στρατηγική τον Ιούνιο του 2018 που μας δίνει λόγο για αισιοδοξία για το 2019 (Fairley, 2019).

Όταν αυτό δεν συνέβη, άρχισαν να σχεδιάζουν την ενσωμάτωση του PoS στο προϋπάρχον δίκτυο Ethereum. Τον Ιούνιο, πήραν την απόφαση να ξεκινήσουν ξανά δημιουργώντας ένα blockchain που βασίζεται μόνο στο Proof-of-Stake. Επειδή η διατήρηση της προηγούμενης αλυσίδας θα απαιτούσε τον σχεδιασμό του μηχανήματος του PoS ως ένα προηγμένο σύνολο έξυπνων συμβάσεων, η λύση δύο αλυσίδων - που ονομάζεται Ethereum 2.0 - κάνει τεράστια διαφορά για τους προγραμματιστές του Ethereum. Σύμφωνα με τον Hauner, ο οποίος διευθύνει το έργο Lighthouse για την ανάπτυξη ενός πελάτη λογισμικού Ethereum 2.0, η γλώσσα έξυπνων συμβάσεων Ethereum παρουσιάζει προκλήσεις κατά την προσπάθεια δημιουργίας εξελιγμένων εφαρμογών. «Το περιβάλλον του υπολογιστή στο οποίο συντάσσονται τα έξυπνα συμβόλαια είναι αρκετά περιορισμένο. Εξηγεί ότι η συσκευή είναι περιορισμένη στην ικανότητά της να κάνει πολύπλοκες εργασίες (Fairley, 2019).

Οι απαιτήσεις PoS για το Ethereum 2.0 συντάχθηκαν και περισσότερες από μισή ντουζίνα ομάδες εργάζονταν ήδη σε εφαρμογές λογισμικού σε μια σειρά γλωσσών προγραμματισμού μέσα σε λίγους μόλις μήνες από την απόφαση για αλλαγή. Η ομάδα του Hauner στο Sigma Prime, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί το Rust για να δημιουργήσει έναν πελάτη Ethereum 2.0. Από τις αρχές του 2019, αναμένει ότι αυτή η εφαρμογή και άλλες παρόμοιες θα λειτουργούν σε PoS σε δοκιμαστικά δίκτυα. Η Buterin ισχυρίζεται ότι μέχρι το τέλος του 2019, τα δημόσια δοκιμαστικά δίκτυα θα μπορούν να διαχειρίζονται αλυσίδες με πολυάριθμα υποκαταστήματα για να αυξήσουν

τη διεκπεραίωση των συναλλαγών, κάτι που είναι άλλη μια σημαντική ανακάλυψη του Ethereum 2.0. Αλλά προειδοποιεί ότι «άγνωστοι άγνωστοι» μπορεί να περιμένουν ακόμα στα φτερά για να καθυστερήσουν την πρόοδό τους (Fairley, 2019).

Το δίκτυο Ethereum αξίζει δισεκατομμύρια δολάρια, επομένως πρόκειται να χάσει πολλά εάν η νέα του τεχνολογία έχει σφάλματα ή ελαττώματα ασφαλείας. Για να συμμετάσχουν στην αλυσίδα PoS του Ethereum, οι κάτοχοι αιθέρων πρέπει πρώτα να καταθέσουν ένα έξυπνο συμβόλαιο στην αρχική αλυσίδα Ethereum που μεταφέρει μόνιμα τον αιθέρα τους στην αλυσίδα PoS. Ολόκληρη η κοινότητα των προγραμματιστών και των έργων που χρησιμοποιούν τα έξυπνα συμβόλαια του Ethereum μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο από ένα μόνο λάθος. Ωστόσο, το Ethereum πρόκειται να χάσει πολλά αν καθυστερήσει πολύ περισσότερο. Οι Cardano, Dfinity, Eosio και Manian's Cosmos, για να αναφέρουμε μερικές, είναι μεταξύ των πολλών καλά χρηματοδοτούμενων πρωτοβουλιών που αναπτύσσουν τις δικές τους blockchains που βασίζονται σε PoS. Όπως και το Ethereum, προσπαθούν να δείξουν ότι η υψηλή ασφάλεια και η υψηλή απόδοση δεν χρειάζεται να αλληλοαποκλείονται (Fairley, 2019).

Όποιος είναι ο πρώτος που θα συνειδητοποιήσει τις πλήρεις δυνατότητες του blockchain πιθανότατα θα κυβερνήσει τον κόσμο των υπολογιστών του μέλλοντος. Όσοι έχουν απομείνει πιθανότατα θα πεθάνουν. Ο Manian εξηγεί ότι το περιβάλλον είναι εγγενώς εξαιρετικά αρπακτικό. «Μόνο ένα σύστημα θα διατηρηθεί» (Fairley, 2019).

Κεφάλαιο 6^ο: Τα κέρδη των miner's σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση

Η αποκεντρωμένη και αμετάβλητη φύση του blockchain έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τον τρόπο διατήρησης των δεδομένων. Η πλειοψηφία των κρυπτονομισμάτων χρησιμοποιεί τη συναινετική μέθοδο Proof of Work (PoW), η οποία περιλαμβάνει τη λειτουργία ενός λογισμικού υπολογιστή για την επίλυση ενός υπολογιστικού προβλήματος προκειμένου να επικυρωθούν οι συναλλαγές και να προστεθεί η εγγραφή στο blockchain. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως εξόρυξη. Ο αλγόριθμος Proof of Work του Bitcoin είναι SHA258. Ως κίνητρο, οι ανθρακωρύχοι παίρνουν μέρος της αξίας του νομίσματος. Ωστόσο, η εξόρυξη καταναλώνει μια σημαντική ποσότητα ενέργειας, επομένως τα κρυπτονομίσματα χρησιμοποιούν διαφορετικό αλγόριθμο για

τη λειτουργία του συστήματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ενέργεια που απαιτείται από διαφορετικούς αλγόριθμους που εξορύσσονται από τέσσερις κοινώς προσβάσιμες, γενικής χρήσης Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών (GPU) ωθεί στην αναγκαιότητα της αξιολόγησης της κερδοφορίας κάθε κρυπτονομίσματος δεδομένου του μεριδίου εξόρυξης που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 24 ωρών. Αυτό είναι σημαντικό γιατί, παρά το γεγονός ότι το blockchain δεν έχει σχεδιαστεί κυρίως για κρυπτονομίσματα, το σύστημα blockchain που βασίζεται σε PoW βασίζεται σημαντικά στη διαδικασία εξόρυξης. Εάν οι εξορύκτες κρίνουν ότι δεν είναι πλέον επικερδές, μπορούν απλώς να μεταφερθούν στην εξόρυξη άλλου κρυπτονομίσματος και χωρίς τους εξορύκτες, το σύστημα blockchain θα έπαυε να λειτουργεί. Το πείραμα αποκαλύπτει ότι μόνο 15 (46,88%) από τα 32 πειραματικά σύνολα είναι προσοδοφόρα. Η λειτουργία του μηχανισμού PoW εξαρτάται από τους εξορύκτες. Από έρευνα που διενεργήθηκε διαφάνηκε ότι μόνο το 46,88% των 32 σετ νομισμάτων είναι προσοδοφόρα. Όσον αφορά την κερδοφορία, τα νομίσματα Equihash, Ethash και Cryptonight7 έχουν την καλύτερη απόδοση, ενώ τα νομίσματα Blake2b, Blake25 και Lyra2REv2 έχουν τη χειρότερη απόδοση. Εκτός από το SiaCoin, το Ethereum και το Decred, η πλειοψηφία των νομισμάτων που δοκιμάστηκαν απαιτούν λιγότερο από 1 TWh (110.000.000,00 \$) ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως (Dillak et al, 2019).

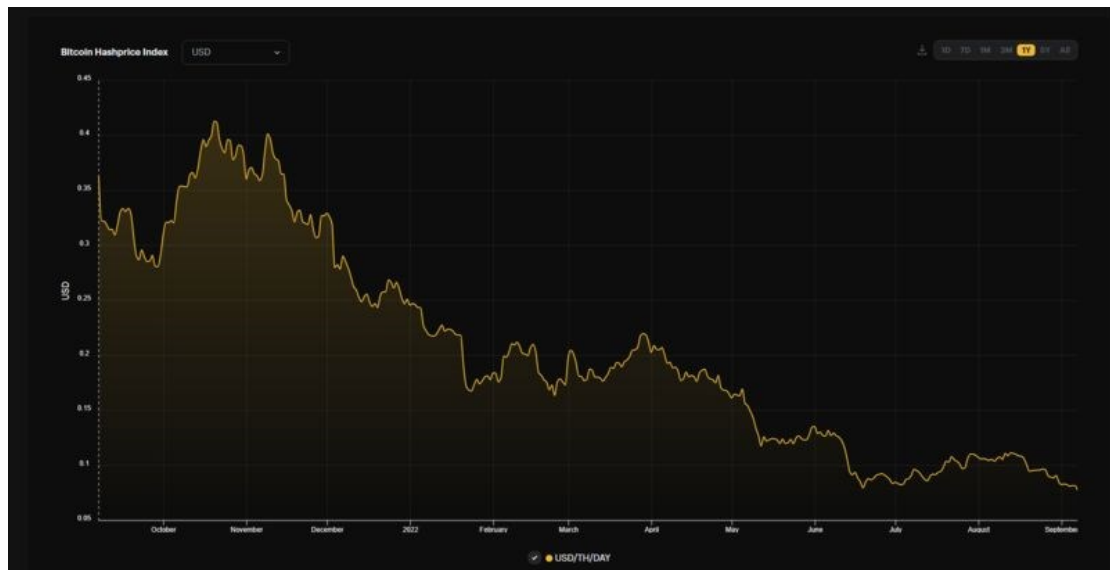
Η υψηλότερη κερδοφορία δείχνει ότι οι εξορύκτες είναι πιθανό να συνεχίσουν να συνεισφέρουν στο σύστημα. Η κερδοφορία βασίζεται επίσης στη συναλλαγματική ισοτιμία του νομίσματος, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη συναλλαγματική ισοτιμία BTC. Είναι επίσης σημαντικό να τονιστεί ότι η τιμή ενός κρυπτονομίσματος καθορίζεται καθαρά από την προσφορά, τη ζήτηση και τις προσδοκίες του κατόχου. Καμία κεντρική τράπεζα, κυβέρνηση ή άλλη οντότητα δεν μπορεί να αλλάξει την τιμή εάν αυτή αυξηθεί ή μειωθεί. Επειδή το blockchain δεν έχει άδεια, οι ανθρακωρύχοι μπορούν να στραφούν αμέσως στην εξόρυξη πιο προσοδοφόρων νομισμάτων. Στη σφαίρα των κρυπτονομισμάτων, ενέργειες όπως hard forks, αλλαγές αλγορίθμων ή συναινετικών μηχανισμών είναι συνηθισμένες. Αυτό καθιστά το δημόσιο blockchain χωρίς άδεια που βασίζεται σε PoW με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας (Dillak et al, 2019)

Μια εξαιρετικά παρακολουθούμενη μέτρηση των κερδών εξόρυξης Bitcoin έχει πέσει στο χαμηλότερο επίπεδο εδώ και περίπου δύο χρόνια, καθώς ο ανταγωνισμός

εντείνεται και οι τιμές πέφτουν, ενώ το κόστος ενέργειας εκτοξεύεται στα ύψη. Ο δείκτης τιμών κατακερματισμού, ο οποίος αντιπροσωπεύει το εισόδημα εξόρυξης ανά μονάδα ισχύος υπολογιστή, μειώθηκε σε περίπου 7,7 σεντς ανά terahash, το χαμηλότερο επίπεδο από τον Σεπτέμβριο του 2020, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της εταιρείας παροχής υπηρεσιών κρυπτοεξόρυξης Luxor Technologies. Τον Ιούνιο, μετά την κρίση της αγοράς κρυπτονομισμάτων, αρκετοί ανθρακωρύχοι αναγκάστηκαν να πουλήσουν νομίσματα που διατηρούνταν ως επενδύσεις για τη χρηματοδότηση δαπανών. Ο δείκτης χρησιμοποιεί διάφορες μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της τιμής Bitcoin και των τελών συναλλαγής, για τον υπολογισμό των συνολικών κερδών των ανθρακωρύχων (Pan 2022).

Οι εξορύκτες Bitcoin χρησιμοποιούν ισχυρούς υπολογιστές για να ανταγωνιστούν για να βρουν πρώτοι μια μέθοδο επαλήθευσης συναλλαγών που είναι κρυπτογραφημένες από το δίκτυο Bitcoin και να κερδίσουν μια ανταμοιβή με τη μορφή νομισμάτων νέας κοπής. Ωστόσο, αυτά τα οφέλη είναι περιορισμένα και όσο περισσότερος είναι ο ανταγωνισμός του δικτύου, τόσο λιγότερες ανταμοιβές θα κερδίσει κάθε εξορύκτης.

Μετά την πιο πρόσφατη διεβδομαδιαία προσαρμογή της την περασμένη εβδομάδα, η δυσκολία εξόρυξης, ένα μέτρο της υπολογιστικής ισχύος των εξορυκτών Bitcoin για ολόκληρο το δίκτυο, φλερτάρει με υψηλό ρεκόρ. Παρά το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις εξόρυξης συγκέντρωσαν δισεκατομμύρια δολάρια για την κατασκευή υποδομής εξόρυξης και την ανάπτυξη εξόρυξης κατά τη διάρκεια της ανοδικής αγοράς του περασμένου έτους, η ισχύς των υπολογιστών μόλις άρχισε να αυξάνεται φέτος. Ο Jarand Mellerud, αναλυτής εξόρυξης στην εταιρεία ανάλυσης ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων Arcane Crypto, δήλωσε: «Όταν υπολογίζονται όλα τα έξοδα, μόνο οι εξορύκτες με εξαιρετικά χαμηλές τιμές ενέργειας λειτουργούν τώρα κερδοφόρα» (Pan, 2020).



Source: Luxor Technologies

Μια εξαιρετικά παρακολουθούμενη μέτρηση των κερδών εξόρυξης Bitcoin έχει πέσει στο χαμηλότερο επίπεδο εδώ και περίπου δύο χρόνια, καθώς ο ανταγωνισμός εντείνεται και οι τιμές πέφτουν, ενώ το κόστος ενέργειας εκτοξεύεται στα ύψη. Ο δείκτης τιμών κατακερματισμού, ο οποίος αντιπροσωπεύει το εισόδημα εξόρυξης ανά μονάδα ισχύος υπολογιστή, μειώθηκε σε περίπου 7,7 σεντς ανά terahash, το χαμηλότερο επίπεδο από τον Σεπτέμβριο του 2020, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της εταιρείας παροχής υπηρεσιών κρυπτοεξόρυξης Luxor Technologies. Τον Ιούνιο, μετά την κρίση της αγοράς κρυπτονομισμάτων, αρκετοί ανθρακωρύχοι αναγκάστηκαν να πουλήσουν νομίσματα που διατηρούνταν ως επενδύσεις για τη χρηματοδότηση δαπανών. Ο δείκτης χρησιμοποιεί διάφορες μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της τιμής Bitcoin και των τελών συναλλαγής, για τον υπολογισμό των συνολικών κερδών των ανθρακωρύχων (Pan, 2020).

Οι εξορύκτες Bitcoin χρησιμοποιούν ισχυρούς υπολογιστές για να ανταγωνιστούν για να βρουν πρώτοι μια μέθοδο επαλήθευσης συναλλαγών που είναι κρυπτογραφημένες από το δίκτυο Bitcoin και να κερδίσουν μια ανταμοιβή με τη μορφή φρεσκοκομμένων νομισμάτων. Ωστόσο, αυτά τα οφέλη είναι περιορισμένα και όσο περισσότεροι είναι ο ανταγωνισμός του δικτύου, τόσο λιγότερες ανταμοιβές θα κερδίσει κάθε εξορύκτης. Μετά την πιο πρόσφατη διεβδομαδιαία προσαρμογή της την περασμένη εβδομάδα, η δυσκολία εξόρυξης, ένα μέτρο της υπολογιστικής ισχύος των εξορυκτών Bitcoin για ολόκληρο το δίκτυο, φλερτάρει με υψηλό ρεκόρ. Παρά το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις

εξόρυξης συγκέντρωσαν δισεκατομμύρια δολάρια για την κατασκευή υποδομής εξόρυξης και την ανάπτυξη εξόρυξης κατά τη διάρκεια της ανοδικής αγοράς του περασμένου έτους, η ισχύς των υπολογιστών μόλις άρχισε να αυξάνεται φέτος (Pan, 2020).

Ο Jarand Mellerud, αναλυτής εξόρυξης στην εταιρεία ανάλυσης ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων Arcane Crypto, δήλωσε: «Όταν υπολογίζονται όλα τα έξοδα, μόνο οι εξορύκτες με εξαιρετικά χαμηλές τιμές ενέργειας λειτουργούν τώρα κερδοφόρα». Η παρατεταμένη πτώση της τιμής του Bitcoin φέτος και τα επίμονα υψηλά ενεργειακά έξοδα έχουν επίσης αποδυναμώσει τα κάποτε συγκρίσιμα περιθώρια κέρδους της επίσημης επιχείρησης, η οποία προηγουμένως συμβαδίζει με τους κατασκευαστές ειδών πολυτελείας. Η αξία του μεγαλύτερου κρυπτονομίσματος με βάση την κεφαλαιοποίηση της αγοράς έχει μειωθεί κατά περίπου 60 τοις εκατό φέτος, σε περίπου 19.000 δολάρια (Pan, 2020).

«Την τελευταία φορά που οι τιμές της ενέργειας ήταν σε αυτό το επίπεδο, ήταν πολύ χαμηλότερες σε γενικές γραμμές», δήλωσε ο Nick Hansen, Διευθύνων Σύμβουλος της Luxor. Ανάλογα με το πού ζείτε, η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος έχει αυξηθεί τουλάχιστον κατά 30 τοις εκατό και σε ορισμένες περιοχές έχει σχεδόν διπλασιαστεί. Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και το κύμα καύσιμα που έσπασε ρεκόρ στην πρωτεύουσα εξόρυξης κρυπτονομισμάτων του Τέξας έχουν ωθήσει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Χάνσεν είπε ότι κάτω από τέτοιες συνθήκες, είτε οι ανθρακωρύχοι με δική τους παραγωγή ενέργειας είτε εκείνοι που είχαν ήδη αγοράσει ηλεκτρική ενέργεια με φθηνότερο κόστος είναι σε καλύτερη θέση για να αντέξουν τα υψηλά ποσοστά. Ο Bill Cannon, επικεφαλής διαχείρισης χαρτοφυλακίου στη Valkyrie Investments, είπε ότι εάν μειωθούν οι θερμοκρασίες, τα περιθώρια για τους ανθρακωρύχους ενδέχεται να αυξηθούν. Είπε ότι οι δημόσιες επιχειρήσεις εξόρυξης εκπληρώνουν τον στόχο τους για την ανάπτυξη της επεξεργαστικής ισχύος εγκαθιστώντας επιπλέον υπολογιστές, όταν σε προηγούμενους κύκλους ήταν απρόθυμες. Παρόλα αυτά, οι μετοχές της εξορυκτικής εταιρείας τιμωρήθηκαν αυστηρά φέτος. Η Marathon Digital Holdings Inc. μειώθηκε κατά 65%, η Riot Blockchains Inc. κατά 71% και η Core Scientific Inc. κατά 81% (Pan, 2020).

Κεφάλαιο 7^ο: Δείγμα και Μεθοδολογία

7.1 Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας έρευνας αποτελεί η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης των κρυπτονομισμάτων και ειδικότερα του Bitcoin και του Ethereum. Η εργασία έχει επικεντρωθεί σε αυτά τα δυο κρυπτονομίσματα καθώς είναι τα πιο εδραιωμένα. Οι Das και Dutta με την δημοσίευσή τους « Bitcoin's energy consumption: Is it the Achilles heel to miner's revenue?» εξετάσανε την σχέση που προκύπτει μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης του bitcoin και των κερδών των miners του κρυπτονομίσματος αυτού. Τα εμπειρικά τους αποτελέσματα δείχνουν με στατιστική σημαντικότητα ότι όντως το ενεργειακό κόστος αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τα κέρδη των miners όταν αυτά είναι χαμηλά. Στα υψηλά κέρδη ούτε το μεγάλο ενεργειακό κόστος δεν φαίνεται να μπορεί να αντισταθμίσει το οικονομικό κέρδος από Bitcoins που έχουν αξία 30.000 ευρώ. Οι ερευνητές βέβαια σημειώνουν ότι τα δεδομένα αφορούσαν μια περίοδο με ιδιαίτερα υψηλή μεταβλητότητα στην αγορά του Bitcoin, οπότε τα αποτελέσματα ενδεχομένως να διαφέρουν σε μακροοικονομικά regimes.

Το πρόβλημα της ενεργειακής κατανάλωσης των κρυπτονομισμάτων έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε πληθώρα εργασιών τα τελευταία χρόνια. Αυτό μπορεί να αποδειχτεί και εύκολα με μια αναζήτηση στο ScienceDirect των papers που έχουν τις λέξεις «energy, consumption, cryptocurrencies». Όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα μόνο το 2020 έχουν αναρτηθεί περισσότερα papers απ' όσα τα έτη 2015-2019.

The screenshot shows a ScienceDirect search interface. At the top left is the ScienceDirect logo. Below it is a search bar containing the text 'energy consumption cryptocurrencies' and a search button. Below the search bar is a link for 'Advanced search'. The search results are displayed below, showing '1,205 results'. On the left side, there is a 'Refine by:' section with a 'Years' filter. The years listed are 2023 (72), 2022 (401), 2021 (325), 2020 (229), 2019 (104), 2018 (51), 2017 (12), 2016 (5), and 2015 (6). The year 2022 is highlighted in yellow. On the right side, there are two search results. The first is a 'Research article' titled 'An analysis of energy consumption and carbon footprints of cryptocurrencies and possible solutions' by Varun Kohli, Sombuddha Chakravarty, and Sheraji Zeedally, published in Digital Communications and Networks, available online 11 July 2022. The second is a 'Mini review' titled 'Energy consumption boomtowns in the United States: Community responses to a cryptocurrency boom' by Pierce Greenberg and Dylan Bugden, published in Energy Research & Social Science, 20 December 2018.

Πίνακας 23 Αναζητήσεις με λέξεις “Energy, Consumption, Cryptocurrencies”.

Όσον αφορά την παρούσα εργασία , κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια προσομοίωση των αποτελεσμάτων των Das & Dutta υπό το πρίσμα περισσότερων δεδομένων αλλά και με την συμπερίληψη και του κρυπτονομίσματος Ethereum, το οποίο όπως προαναφέρθηκε έχει αποκτήσει ήδη μεγάλη φήμη και σιγουρά αποτελεί για πολλούς μια πιο «οργανωμένη» μορφή κρυπτονομίσματος με εύχρηστες λειτουργίες όπως τα smart contracts και μια διοικητική οργάνωση από πίσω που μπορεί να πάρει αποφάσεις για την πορεία / λειτουργία του νομίσματος (βλέπε Ethereum 2.0 το οποίο αναφέρθηκε στην εισαγωγή της εργασίας).

Συνοψίζοντας, τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας είναι :

- 1) Πως διαμορφώνεται η ενεργειακή κατανάλωση του Bitcoin και Ethereum παγκοσμίως
- 2) Ποιες μεταβλητές επηρεάζουν τα κέρδη το miners?
- 3) Είναι σε αυτές τις μεταβλητές η ενεργειακή κατανάλωση?
- 4) Αν ναι, ποια επίπεδα κερδών επηρεάζει με στατιστική σημαντικότητα?

7.2 Επισκόπηση της βιβλιογραφίας

Λόγω της αυξανόμενης δημοτικότητας και σημασίας του Bitcoin, καθώς και της μεταβλητότητάς του, οι επαγγελματίες και οι ερευνητές άρχισαν πρόσφατα να αξιολογούν το Bitcoin από την οπτική γωνία των οικονομικών και των χρηματοοικονομικών (Bouri et al ,2017). Οι Rogojanu και Badea (2014) διερευνούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του Bitcoin και το συγκρίνουν με άλλα εναλλακτικά νομισματικά συστήματα. Οι Ciaian, Rajcanioana και Kancs (2016) εξετάζουν τη διαμόρφωση των τιμών του BitCoin εστιάζοντας στις δυνάμεις της αγοράς της προσφοράς/ζήτησης και στους ειδικούς παράγοντες των ψηφιακών νομισμάτων. Λίγες μελέτες έχουν παρεκκλίνει από την άποψη ότι το Bitcoin παρουσιάζει μια εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών νομισμάτων σε περιόδους ασθενούς εμπιστοσύνης, όπως κατά τη διάρκεια της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης του 2008, αναφερόμενοι έτσι στο Bitcoin ως ψηφιακό χρυσό (Rogojanu και Badea 2014- Popper 2015). Άλλοι έχουν εξετάσει τα οφέλη από τη συμπερίληψη του Bitcoin σε ένα χαρτοφυλάκιο μετοχών (Halaburda and Gandal 2014- Eisl, Gasser, and Weinmayer 2015). Οι Baur, Lee και Hong (2015) υποστηρίζουν ότι το Bitcoin είναι ένα υβρίδιο μεταξύ πολύτιμων μετάλλων και συμβατικών νομισμάτων. Επισημαίνουν επίσης τον ρόλο του ως χρήσιμου παράγοντα διαφοροποίησης του χαρτοφυλακίου.

Πολλοί έχουν προσπαθήσει να εξετάσουν την φύση της αγοράς αυτών των δυνητικών επενδυτικών εργαλείων με σκοπό να μοντελοποιήσουν την μεταβλητότητα τους, να δημιουργήσουν μοντέλα πρόβλεψης των τιμών (Atsalakis et al ,2019) και προσφάτως να εξετάσουν τις αλληλεπιδράσεις με την ενεργειακή αγορά. Οι Yava, Ogbonna et al (2020) ανέλυσαν τις αγορές 12 κρυπτονομισμάτων προκειμένου να εξετάσουν την αποτελεσματικότητα των αγορών τους αλλά και την μεταβλητότητα τους. Τα ευρήματα της δημοσίευσης τους σχετικά με το επίπεδο αποτελεσματικότητας των αγορών τους έδειξαν ενδείξεις «random walk» στην αποδόσεις των περισσότερων κρυπτονομισμάτων, συμπεριλαμβανομένου του Bitcoin. Πολλές εργασίες σχετικά με τα κρυπτονομίσματα έχουν δείξει ότι η αγορά τους είναι μια μη αποτελεσματική αγορά, ενώ άλλες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει η δυνατότητα προσέγγισης της κατάστασης αποτελεσματικότητας της αγοράς. Οι διάφοροι συγγραφείς χρησιμοποίησαν διαφορετικά σημεία δεδομένων και τα αποτελέσματά τους ήταν πολύ ευαίσθητα στο χρονικό εύρος του δείγματος που επιλέχθηκε. Κάτι το οποίο παρατηρείται και στην παρούσα εργασία.

Πέραν της μεταβλητότητας μεμονωμένα των «κρυπτό» αγορών έχει γίνει έρευνα και για την σχέση αυτών των αγορών με άλλες νομισματικές αγορές. Οι Elsayed, Gozgor και Lau (2020) έδειξαν ότι υπάρχουν spillover αποδόσεων και μεταβλητότητας μεταξύ των αγορών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου BGSVAR που χρησιμοποίησαν, βρήκαν ότι οι τιμές του Bitcoin και του Litecoin εξαρτώνται έντονα από το κινεζικό γουάν. Την έντονη αυτή σχέση αιτιότητας από το κινεζικό γουάν στο Bitcoin και το Litecoin την δικαιολόγησαν με το επιχείρημα ότι οι κινέζοι πολίτες έχουν μεγάλη ζήτηση για κρυπτονομίσματα και για λόγους hedging ενάντια στον πληθωρισμό. Η εξήγηση αυτή έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα των Charfeddine, Benlagha, και Maouchi, Y. (2020) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι τα εμπειρικά τους ευρήματα δείχνουν ότι η δυνατότητες hedging που προσφέρουν τα κρυπτονομίσματα είναι περιορισμένες.

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση των κρυπτονομισμάτων οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στο Bitcoin. Η πιο σχετική έρευνα με την παρούσα εργασία έχει ήδη αναφερθεί και είναι αυτή των Das and Dutta (2020), οι οποίοι ανέδειξαν μια αρνητική σχέση μεταξύ της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του Bitcoin και των κερδών των miners. Σε συνέχεια αυτής της εργασίας οι Polemis και Tsionas (2021) εξέτασαν σε ένα πιο ευρύ πλαίσιο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της τεχνολογίας Blockchain που χρησιμοποιεί το Bitcoin και επιβεβαίωσαν την στατιστικά σημαντική αρνητική σχέση μεταξύ των κερδών των miners και της κατανάλωσης ενέργειας. Και οι δυο έρευνες χρησιμοποιούν δεδομένα πριν το 2021, έτος καμπί για το Bitcoin καθώς έφτασε τα 60.000 ευρώ.

Ο Okorie (2020) επίσης μελέτησε την σχέση μεταξύ της τεχνολογίας blockchain και της κατανάλωσης ενέργειας στις τρεις πιο τεχνολογικά προηγμένες οικονομίες. Τα αποτελέσματα του επιβεβαιώνουν για άλλη μια φορά αυτή τη σχέση, ενώ εξετάζει επίσης και θέματα περιβαλλοντικής υποβάθμισης εστιάζοντας κυρίως στην κλιματική αλλαγή.

7.3 Δεδομένα

Για την εξέταση της συσχέτισης μεταξύ της κερδοφορίας των miners και της ενεργειακής κατανάλωσης ορίζουμε αρχικά ως εξαρτημένη μεταβλητή τα κέρδη των miners. Ως ανεξάρτητη μεταβλητή ορίζουμε εκτός από την ενεργειακή κατανάλωση και άλλες 6 μεταβλητές οι οποίες προέρχονται από το οικονομικό περιβάλλον των δυο υπό εξέταση κρυπτονομισμάτων. Για την επιλογή των βασικών μεταβλητών βασιστήκαμε στο paper των Das et Dutta.

7.3.1 Συλλογή των δεδομένων

Η εξεταζόμενη περίοδος όσον αφορά τα δυο κρυπτονομίσματα είναι η ακόλουθη : 20/5/2017 έως 26/2/2021. Η επιλογή της συγκεκριμένης περιόδου έναρξης υπαγορεύτηκε αποκλειστικά από την διαθεσιμότητα των δεδομένων για την ενεργειακή κατανάλωση, καθώς επίσης και από την διαθεσιμότητα των δεδομένων για ορισμένους δείκτες του Ethereum. Η συχνότητα των δεδομένων είναι ημερήσια (7 ήμερες) το οποίο αντιστοιχεί σε 1379 παρατηρήσεις για την κάθε μεταβλητή. Για την ανάλυση των χρονοσειρών προβήκαμε αρχικά στον επανα-υπολογισμό τους ως προς την πρώτη λογαριθμική διαφορά προκειμένου να μετριάσει η μεταβλητότητα τους.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι ορισμένες από τις χρονοσειρές είχαν ελλείψεις σε δεδομένα ορισμένων ημερών. Προκειμένου να έχουμε ισάριθμο αριθμό παρατηρήσεων για κάθε χρονοσειρά, υπολογιστικέ η μέση τιμή της κάθε χρονοσειράς και έγινε εισαγωγή αυτής σε κάθε null παρατήρηση.

Παρακάτω γίνεται περιγραφή των εκάστοτε μεταβλητών για κάθε κρυπτονομίσμα, του τρόπου υπολογισμού τους (στις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχαν έτοιμα δεδομένα) καθώς και τον πηγών από τις οποίες συλλέχθηκαν.

7.3.2 Μεταβλητές συλλογής δεδομένων για το Ethereum

Ακολουθεί πίνακας με την περιγραφή των μεταβλητών για τις οποίες συλλέχθηκαν/υπολογίστηκαν δεδομένα.

Variables Ethereum		
Name	Description	Source
LOG_TWH_ETH	Estimated energy consumption for mining Ethereum daily in Terawatt–Hours (TWh).	Digiconomist
LOG_ETH_P	Data showing the USD market price of Ethereum	Yahoo Finance
LOG_ADRESSES	Number of unique ethereum addresses	Etherscan
LOG_COUNT_TRANSACTIONS	Number showing the daily number of transactions	Blockchair
LOG_ETH_REVENUE	Data showing (number of ethereum mined per day + transactionfees) * market price.	Calculated
LOG_ETH_MINED	Data showing the total number of ethereum which have been mined	Datahub
LOG_NEW_ETH	Number showing how many new Ethereum are being created by day	Etherscan
LOG_TRANSACTION_FEE	Data showing the estimated total ETH value of transaction fees miners earn per day in USD	Calculated Avg TF * Count of Transactions (Data from Blockchair)

Πίνακας 24 Μεταβλητές Ethereum

7.3.3 Μεταβλητές συλλογής δεδομένων για το Bitcoin

Ακολουθεί πίνακας με την περιγραφή των μεταβλητών για τις οποίες συλλέχθηκαν/υπολογίστηκαν δεδομένα.

Variables Bitcoin		
Name	Description	Source
LOG_TWH	Estimated energy consumption for mining Bitcoin daily in Terawatt–Hours(TwH).	Digiconomist
LOG_P_BTC	Data showing the USD market price of Bitcoin	Quandl
LOG_ADDRESSES	Number of unique bitcoin addresses used per day	Quandl
LOG_CPT	Data showing miners revenue divided by the number of transactions	Quandl
LOG_REVENUE	Historical data showing (number of bitcoins mined per day + transactionfees) * market price.	Quandl
LOG_MINED_BTC	Data showing the historical total number of bitcoins which have been mined daily	Quandl
LOG_TRANSACTION_FEE	Data showing the total BTC value of transaction fees miners earn per day in USD	Quandl
LOG_ENERGY_INDEX	Unweighted index for 4 major Chinese Energy Companies	Calculated (data from Yahoo Finance)

Πίνακας 25 Μεταβλητές Bitcoin

7.4 Μεθοδολογία

Για την ανάλυση έγινε χρήση του οικονομετρικού software “Eviews”. Για την εξέταση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών μας χρησιμοποιήσαμε την Quantile regression όπως έγινε και στο paper των Das και Dutta. Η παλινδρόμηση κατά ποσοστά είναι μια επέκταση της γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται όταν δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις της

γραμμικής παλινδρόμησης. Καθώς η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων εκτιμά τον υπό συνθήκη μέσο όρο της μεταβλητής απόκρισης σε όλες τις τιμές των μεταβλητών πρόβλεψης, η παλινδρόμηση κατά τεταρτημόρια (Quantile Regression) εκτιμά την υπό συνθήκη διάμεσο (ή άλλα τεταρτημόρια) της μεταβλητής απόκρισης. Αυτό το χαρακτηριστικό αυτής της παλινδρόμησης είναι ιδιαίτερα εύχρηστο σε μια ανάλυση αυτού του τύπου καθώς μας ενδιαφέρει η συμπεριφορά των miners που έχουν μικρά κέρδη ως προς την ενέργεια καθώς και επίσης η αντίστοιχη συμπεριφορά αυτών που έχουν μεγάλα κέρδη.

Προκειμένου όμως να χρησιμοποιήσουμε την Quantile Regression εξακριβώσαμε πρώτα εάν οι προϋποθέσεις του παραδοσιακού γραμμικού μοντέλου (linearity, homoscedasticity και normality) παραβιάζονται. Για να πραγματοποιηθεί αυτός ο έλεγχος αρχικά προσαρμόσαμε τις χρονοσειρές ως προς την πρώτη τους λογαριθμική διαφορά και υστέρα κάναμε το ADF Test προκειμένου να επιβεβαιώσουμε ότι οι χρονοσειρές είναι στάσιμες.

Έπειτα δημιουργήθηκε αρχικά ένα γραμμικό μοντέλο ελαχίστων τετραγώνων (OLS) και στην συνέχεια έγιναν οι εξής έλεγχοι εγκυρότητας/παρουσίασης των δεδομένων :

- Residual Diagnostics – Histogram Normality Test (OLS model)
- Residual Diagnostics – Serial Correlation LM test (OLS model)
- Residual Diagnostics – Heteroskedasticity Test BPG (OLS model)

Οι ανωθι έλεγχοι επιβεβαίωσαν την αποδοχή των υποθέσεων που παραβιάζουν τις προϋποθέσεις του γραμμικού μοντέλου (θα αναλυθεί στα αποτελέσματα πιο αναλυτικά), οπότε προχωρήσαμε στην δημιουργία των αντίστοιχων quantile regression models. Για το Bitcoin δημιουργήθηκαν μοντέλα για τα ποσοστημόρια 0.10 , 0.50 και .90 . Ενώ για το Ethereum η ανάλυση έγινε για το 0.50 ποσοστημόριο. Προς εγκυρότητα και των αποτελεσμάτων των quantile regressions models έγιναν και οι ακόλουθοι έλεγχοι :

- Quantile Process – Process Coefficients Graphs
- Quantile Process – Process Coefficients Table
- Quantile Process – Slope Equality Test
- Quantile Process – Symmetric Quantiles Test

Κεφάλαιο 8^ο : Αποτελέσματα

8.1 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα

Στην περιγραφική στατιστική οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση την πρώτη λογαριθμική διαφορά για να μειωθεί η μεταβλητότητα. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο για το Ethereum και το Bitcoin.

Ethereum:

	LOG_ETH_...	LOG_TWH_...	LOG_TRAN...	LOG_NEW_...	LOG_ETH_P	LOG_ETH_M...	LOG_COUN...	LOG_ADRE...
Mean	0.000929	0.001688	0.005021	-0.000541	0.001802	0.000163	0.001629	0.003077
Median	0.010761	0.001372	0.010006	0.000302	0.001384	0.000129	-0.002715	0.001406
Maximum	2.203542	0.081583	2.294839	0.219937	0.236072	0.000324	0.439328	0.021250
Minimum	-7.351975	-0.130366	-2.280093	-0.205556	-0.423570	9.45E-05	-0.394444	0.000522
Std. Dev.	0.381569	0.014967	0.337606	0.017228	0.055602	4.94E-05	0.091698	0.003745
Skewness	-5.236185	-1.318651	-0.005432	-0.700451	-0.546213	0.863968	0.298657	2.299080
Kurtosis	106.5909	24.21519	12.62907	56.36531	8.321402	3.014027	5.090505	7.857630
Jarque-Bera	622439.2	26241.70	5323.624	163627.1	1694.407	171.4438	271.4084	2568.801
Probability	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	1.280216	2.325596	6.918304	-0.745235	2.482924	0.224082	2.245305	4.239582
Sum Sq. Dev.	200.4841	0.308451	156.9473	0.408715	4.257062	3.36E-06	11.57863	0.019310
Observations	1378	1378	1378	1378	1378	1378	1378	1378

Πίνακας 26 Μέτρα περιγραφικής στατιστικής δείγμα Ethereum

Bitcoin:

	LOG_REVE...	LOG_TRAN...	LOG_TWH	LOG_P_BTC	LOG_MINE...	LOG_ENER...	LOG_CPT	LOG_ADDR...
Mean	0.001814	0.001587	0.001265	0.002359	9.55E-05	-0.000180	0.001764	0.000196
Median	-0.002594	-0.008710	0.002425	0.002025	0.000103	0.000000	0.005737	-0.005613
Maximum	0.639339	2.233017	0.032355	0.246615	0.000268	0.367905	0.469710	0.414164
Minimum	-0.651361	-2.355911	-0.189446	-0.496601	0.000000	-0.380772	-0.764312	-0.478639
Std. Dev.	0.128702	0.283337	0.009243	0.043425	2.81E-05	0.084513	0.125607	0.126220
Skewness	0.180483	0.229521	-10.68667	-1.045986	-0.552849	0.056345	-0.401594	0.136309
Kurtosis	4.586729	9.696059	176.8112	18.36362	3.379594	8.942246	4.974047	3.207493
Jarque-Bera	152.0397	2586.501	1760806.	13803.96	78.46908	2028.128	260.7849	6.739226
Probability	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.034403
Sum	2.499372	2.186577	1.743841	3.250722	0.131619	-0.248537	2.430917	0.270636
Sum Sq. Dev.	22.80890	110.5453	0.117635	2.596602	1.09E-06	9.835048	21.72508	21.93762
Observations	1378	1378	1378	1378	1378	1378	1378	1378

Πίνακας 27 Μέτρα περιγραφικής στατιστικής δείγμα Bitcoin

8.2 OLS Μοντέλα και έλεγχος προϋποθέσεων.

Ethereum

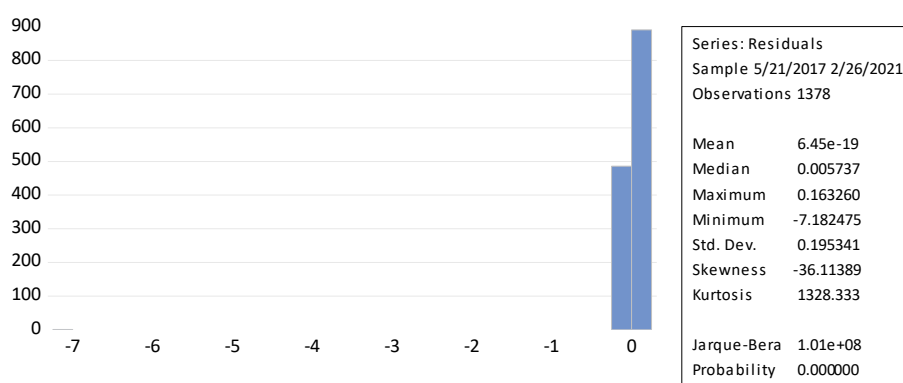
Αρχικά δημιουργήθηκε ένα γραμμικό μοντέλο ώστε να προχωρήσουμε τους αντίστοιχους ελέγχους στο Eviews.

Dependent Variable: LOG_ETH_REVENUE
Method: Least Squares
Date: 01/09/22 Time: 13:09
Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
Included observations: 1378 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TWH_ETH	-0.277059	0.360512	-0.768514	0.4423
LOG_TRANSACTION_FEE	0.928520	0.017341	53.54540	0.0000
LOG_NEW_ETH	0.169237	0.307349	0.550636	0.5820
LOG_ETH_P	1.053334	0.098438	10.70051	0.0000
LOG_ETH_MINED	144.4260	161.5905	0.893778	0.3716
LOG_COUNT_TRANSAC	-0.083634	0.062636	-1.335237	0.1820
LOG_ADRESSES	-1.111996	2.154692	-0.516081	0.6059
C	-0.025000	0.022423	-1.114927	0.2651

R-squared	0.737916	Mean dependent var	0.000929
Adjusted R-squared	0.736577	S.D. dependent var	0.381569
S.E. of regression	0.195839	Akaike info criterion	-0.417257
Sum squared resid	52.54363	Schwarz criterion	-0.386903
Log likelihood	295.4898	Hannan-Quinn criter.	-0.405901
F-statistic	551.0482	Durbin-Watson stat	1.015983
Prob(F-statistic)	0.000000		

Πίνακας 28 OLS Model Ethereum



Πίνακας 29 Jarque-Bera Normality Test Ethereum

Απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης Jarque-Bera, τα οπότε residual δεν έχουν κανονική κατανομή.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:
Null hypothesis: No serial correlation at up to 4 lags

F-statistic	2.020314	Prob. F(4,1366)	0.0893
Obs*R-squared	8.104305	Prob. Chi-Square(4)	0.0878

Πίνακας 30 Serial Correlation Test Ethereum

Αποδοχή μηδενικής υπόθεσης (σε $p < .10$) του ελέγχου Breusch-Godfrey, οπότε υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των residuals.

Heteroskedasticity Test: Harvey
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	5.043406	Prob. F(7,1370)	0.0000
Obs*R-squared	34.61792	Prob. Chi-Square(7)	0.0000
Scaled explained SS	39.42634	Prob. Chi-Square(7)	0.0000

Πίνακας 31 Homoskedasticity Test Ethereum

Αποδοχή μηδενικής υπόθεσης του ελέγχου ετεροσκεδαστικότητας Harvey, οπότε υπάρχει ετεροσκεδαστικότητα μεταξύ των residuals.

Σε συνέχεια των άνωθι θα πρέπει να προχωρήσουμε με την δημιουργία ενός quantile regression model καθώς οι προϋποθέσεις ενός OLS μοντέλου δεν πληρούνται.

Bitcoin

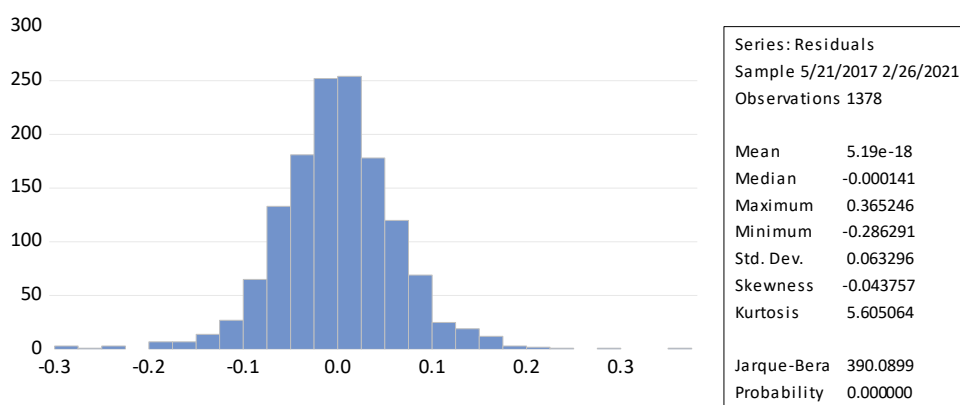
Αντίστοιχα και εδώ Αρχικά δημιουργήθηκε ένα γραμμικό μοντέλο ώστε να προχωρήσουμε τους αντίστοιχους ελέγχους στο Eviews.

Dependent Variable: LOG_REVENUE
Method: Least Squares
Date: 01/09/22 Time: 12:26
Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
Included observations: 1378 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TRANSACTION_FEE	-0.011065	0.008103	-1.365506	0.1723
LOG_TWH	-0.067464	0.187146	-0.360486	0.7185
LOG_P_BTC	0.100733	0.042233	2.385162	0.0172
LOG_MINED_BTC	226.0390	62.35607	3.624971	0.0003
LOG_ENERGY_INDEX	-0.012267	0.020414	-0.600914	0.5480
LOG_CPT	0.930543	0.016788	55.42757	0.0000
LOG_ADDRESSES	0.796122	0.019328	41.19087	0.0000
C	-0.021711	0.006185	-3.510259	0.0005

R-squared	0.758132	Mean dependent var	0.001814
Adjusted R-squared	0.756896	S.D. dependent var	0.128702
S.E. of regression	0.063457	Akaike info criterion	-2.671112
Sum squared resid	5.516749	Schwarz criterion	-2.640758
Log likelihood	1848.396	Hannan-Quinn criter.	-2.659756
F-statistic	613.4631	Durbin-Watson stat	2.697399
Prob(F-statistic)	0.000000		

Πίνακας 32 OLS Model Bitcoin



Πίνακας 33 Jarque-Bera Normality Test Bitcoin

Απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης Jarque-Bera, τα οπότε residual δεν έχουν κανονική κατανομή.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	149.9146	Prob. F(2,1368)	0.0000
Obs*R-squared	247.7260	Prob. Chi-Square(2)	0.0000

Πίνακας 34 Serial Correlation Test Bitcoin

Αποδοχή μηδενικής υπόθεσης ($p < .10$) του ελέγχου Breusch-Godfrey, οπότε υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των residuals.

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	3.792564	Prob. F(7,1370)	0.0004
Obs*R-squared	26.19536	Prob. Chi-Square(7)	0.0005
Scaled explained SS	59.61735	Prob. Chi-Square(7)	0.0000

Πίνακας 35 Homoskedasticity Test Bitcoin

Αποδοχή μηδενικής υπόθεσης του ελέγχου ετεροσκεδαστικότητας Harvey, οπότε υπάρχει ετεροσκεδαστικότητα μεταξύ των residuals.

Σε συνέχεια των άνωθι θα πρέπει να προχωρήσουμε με την δημιουργία ενός quantile regression model καθώς οι προϋποθέσεις ενός OLS μοντέλου δεν πληρούνται.

8.3 Quantile regression για το Ethereum

Dependent Variable: LOG_ETH_REVENUE
Method: Quantile Regression (Median)
Date: 01/09/22 Time: 13:14
Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
Included observations: 1378 after adjustments
Huber Sandwich Standard Errors & Covariance
Sparsity method: Kernel (Epanechnikov) using residuals
Bandwidth method: Hall-Sheather, bw=0.087308
Estimation successfully identifies unique optimal solution

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TWH_ETH	0.093079	0.049599	1.876610	0.0608
LOG_TRANSACTION_FEE	0.917618	0.005794	158.3760	0.0000
LOG_NEW_ETH	0.151903	0.042509	3.573425	0.0004
LOG_ETH_P	1.000556	0.010160	98.48369	0.0000
LOG_ETH_MINED	-11.42992	12.18990	-0.937655	0.3486
LOG_COUNT_TRANSAC	-0.044355	0.009286	-4.776538	0.0000
LOG_ADRESSES	0.065900	0.222021	0.296819	0.7667
C	0.001454	0.001736	0.837379	0.4025
Pseudo R-squared	0.907656	Mean dependent var		0.000929
Adjusted R-squared	0.907184	S.D. dependent var		0.381569
S.E. of regression	0.196113	Objective		13.97483
Quantile dependent var	0.010381	Restr. objective		151.3339
Sparsity	0.027947	Quasi-LR statistic		39320.04
Prob(Quasi-LR stat)	0.000000			

Πίνακας 36 Quantile Regression (Q 0.5) Ethereum

Σύμφωνα με το μοντέλο, προκύπτει ότι η πλειοψηφία των μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντικές. Η ενεργειακή κατανάλωση, τα transaction fees, ο αριθμός των καινούργιων Ethereum tokens αλλά και ο αριθμός των συναλλαγών επηρεάζουν τα κέρδη των miners.

Οπότε για την ανεξάρτητη μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης που ενδιαφερόμαστε κυρίως έχουμε την ακόλουθη ερμηνεία: αν η τιμή της διαμέσου της ενεργειακής κατανάλωσης του Ethereum αυξηθεί κατά 1% τότε τα κέρδη των miners θα αυξηθούν κατά 0.09. Ένα αρκετά ενδιαφέρον αποτέλεσμα καθώς έχουμε μια θετική σχέση σε αντίθεση με την περίπτωση του Bitcoin που αναλύεται ύστερα.

Επίσης το μοντέλο έχει ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα όσον αφορά το R^2 (90%). Οπότε οι ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν επιλεγεί ερμηνεύουν σχεδόν εξ' ολοκλήρου την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, ήτοι των κερδών των miners.

Τέλος, το P value του μοντέλου δείχνει ότι το μοντέλο είναι σταθερό.

Quantile Process Estimates
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_ETH_REVENUE LOG_TWH_ETH LOG_TRANSACTION_FEE
LOG_NEW_ETH LOG_ETH_P LOG_ETH_MINED LOG_COUNT_TRANSAC
LOG_ADRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified process quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Display all coefficients

	Quantile	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TWH_ETH	0.100	-0.049886	0.041949	-1.189219	0.2346
	0.250	0.008416	0.074185	0.113449	0.9097
	0.500	0.093079	0.049599	1.876610	0.0608
	0.750	0.048647	0.087493	0.556005	0.5783
	0.900	7.38E-05	0.069942	0.001055	0.9992
LOG_TRANSACTION...	0.100	0.927062	0.003986	232.5968	0.0000
	0.250	0.925046	0.002755	335.7505	0.0000
	0.500	0.917618	0.005794	158.3760	0.0000
	0.750	0.922289	0.003563	258.8237	0.0000
	0.900	0.931600	0.006872	135.5601	0.0000
LOG_NEW_ETH	0.100	0.227389	0.053639	4.239275	0.0000
	0.250	0.184571	0.083141	2.219987	0.0266
	0.500	0.151903	0.042509	3.573425	0.0004
	0.750	0.176472	0.029068	6.070935	0.0000
	0.900	0.138814	0.040048	3.466212	0.0005
LOG_ETH_P	0.100	0.975592	0.021387	45.61673	0.0000
	0.250	1.000103	0.012797	78.14865	0.0000
	0.500	1.000556	0.010160	98.48369	0.0000
	0.750	0.991648	0.012853	77.15349	0.0000
	0.900	0.943742	0.024363	38.73646	0.0000
LOG_ETH_MINED	0.100	3.308515	34.79936	0.095074	0.9243
	0.250	-24.16309	20.40762	-1.184023	0.2366
	0.500	-11.42992	12.18990	-0.937655	0.3486
	0.750	28.77204	19.28229	1.492149	0.1359
	0.900	74.60207	44.56607	1.673966	0.0944
LOG_COUNT_T...	0.100	-0.082699	0.008491	-9.739447	0.0000
	0.250	-0.063559	0.010269	-6.189470	0.0000
	0.500	-0.044355	0.009286	-4.776538	0.0000
	0.750	-0.056194	0.009543	-5.888841	0.0000
	0.900	-0.082936	0.022386	-3.704830	0.0002
LOG_ADRESSES	0.100	-1.536794	0.591650	-2.597471	0.0095
	0.250	-0.311959	0.356433	-0.875226	0.3816
	0.500	0.065900	0.222021	0.296819	0.7667
	0.750	0.015649	0.257282	0.060823	0.9515
	0.900	0.203206	0.716298	0.283689	0.7767
C	0.100	-0.017680	0.004828	-3.662231	0.0003
	0.250	-0.003894	0.002663	-1.462376	0.1439
	0.500	0.001454	0.001736	0.837379	0.4025
	0.750	0.004547	0.002574	1.766737	0.0775
	0.900	0.010533	0.005498	1.915981	0.0556

Πίνακας 37 Quartile Process Estimates Ethereum

Στον άνωθι πίνακα μπορούμε να δούμε την στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών στα ποσοστημόρια 0.10,0.25,0.50,0.75 και 0.90. Η τιμή του Eth και ο αριθμός συναλλαγών είναι σημαντικές παντού, το οποίο είναι και λογικό καθώς αυτά τα δυο καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα κέρδη.

Η μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης είναι μόνο στατιστικά σημαντική στην διάμεσο και αυτό αν αποδεχτούμε πιθανότητα σημαντικότητας (p-value) μικρότερη του .10.

Αρκετά ενδιαφέρον είναι ότι το πρόσημο προκύπτει μόνο στο 10ο ποσοστημόριο να έχει αρνητικό πρόσημο, μια αρνητική σχέση που υπάρχει και στο Bitcoin στο αντίστοιχο ποσοστημόριο, δυστυχώς όμως η σχέση αυτή στο Ethereum δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος quantile slope equality test. Σύμφωνα με το test Wald, η στατιστική τιμή Chi Square του ελέγχου ισότητας της κλίσης είναι 97.61, η οποία φυσικά είναι στατιστικά σημαντική. Οπότε μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση της ισότητας της κλίσης σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, πράγμα που σημαίνει ότι η ισότητα της κλίσης είναι διαφορετική σε διαφορετικά ποσοστημόρια.

Quantile Slope Equality Test
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_ETH_REVENUE LOG_TWH_ETH LOG_TRANSACTION_F
EE LOG_NEW_ETH LOG_ETH_P LOG_ETH_MINED
LOG_COUNT_TRANSAC LOG_ADRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified test quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Test statistic compares all coefficients

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Wald Test	97.61330	28	0.0000

Πίνακας 38 Slope Equality Test Ethereum

Τέλος, ο έλεγχος συμμετρίας του μοντέλου φαίνεται να δείχνει ότι υπάρχει ασυμμετρία στις συμπεριφορές των μεταβλητών στα διάφορα τεταρτημόρια.

Symmetric Quantiles Test
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_ETH_REVENUE LOG_TWH_ETH LOG_TRANSACTION_F
EE LOG_NEW_ETH LOG_ETH_P LOG_ETH_MINED
LOG_COUNT_TRANSAC LOG_ADRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified test quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Test statistic compares all coefficients

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Wald Test	41.52188	16	0.0005

Πίνακας 39 Symmetric Quantiles Test Ethereum

8.4 Quantile regression για το Bitcoin

Ακολουθούν τα αποτελέσματα για τις Quantile Regressions του Bitcoin. Τα πιο ενδιαφέρον ποσοστημόρια που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν σε αυτήν την ενότητα είναι τα 0.10 , 0.50 και 0.90 . Για την ευκολότερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων έχει συνταχθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με αποτελέσματα. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με αυτά της εργασίας των Das και Dutta.

Dependent Variable: LOG_REVENUE
Method: Quantile Regression (tau = 0.1)
Date: 01/09/22 Time: 12:35
Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
Included observations: 1378 after adjustments
Huber Sandwich Standard Errors & Covariance
Sparsity method: Kernel (Epanechnikov) using residuals
Bandwidth method: Hall-Sheather, bw=0.031092
Estimation successfully identifies unique optimal solution

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TRANSACTION_FEE	-0.016907	0.006574	-2.571788	0.0102
LOG_TWH	-0.226572	0.079468	-2.851119	0.0044
LOG_P_BTC	0.058760	0.069098	0.850382	0.3953
LOG_MINED_BTC	142.9055	108.7800	1.313711	0.1892
LOG_ENERGY_INDEX	0.028304	0.038399	0.737111	0.4612
LOG_CPT	0.920908	0.031786	28.97210	0.0000
LOG_ADDRESSES	0.726990	0.025933	28.03297	0.0000
C	-0.087285	0.010356	-8.428639	0.0000
Pseudo R-squared	0.491562	Mean dependent var		0.001814
Adjusted R-squared	0.488964	S.D. dependent var		0.128702
S.E. of regression	0.098099	Objective		15.28386
Quantile dependent var	-0.152693	Restr. objective		30.06041
Sparsity	0.308974	Quasi-LR statistic		1062.770
Prob(Quasi-LR stat)	0.000000			

Πίνακας 40 Quantile Regression (Q 0.10) Bitcoin

Dependent Variable: LOG_REVENUE
Method: Quantile Regression (tau = 0.9)
Date: 01/09/22 Time: 12:36
Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
Included observations: 1378 after adjustments
Huber Sandwich Standard Errors & Covariance
Sparsity method: Kernel (Epanechnikov) using residuals
Bandwidth method: Hall-Sheather, bw=0.031092
Estimation successfully identifies unique optimal solution

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TRANSACTION_FEE	-0.010211	0.024462	-0.417434	0.6764
LOG_TWH	0.318326	0.185477	1.716254	0.0863
LOG_P_BTC	0.150235	0.082480	1.821468	0.0688
LOG_MINED_BTC	338.2248	97.97927	3.452003	0.0006
LOG_ENERGY_INDEX	-0.003691	0.029902	-0.123440	0.9018
LOG_CPT	0.946632	0.028415	33.31461	0.0000
LOG_ADDRESSES	0.821888	0.046064	17.84232	0.0000
C	0.040510	0.009087	4.457804	0.0000
Pseudo R-squared	0.521620	Mean dependent var		0.001814
Adjusted R-squared	0.519176	S.D. dependent var		0.128702
S.E. of regression	0.097558	Objective		15.28293
Quantile dependent var	0.165031	Restr. objective		31.94727
Sparsity	0.329335	Quasi-LR statistic		1124.444
Prob(Quasi-LR stat)	0.000000			

Πίνακας 41 Quantile Regression (Q 0.90) Bitcoin

Dependent Variable: LOG_REVENUE
 Method: Quantile Regression (Median)
 Date: 01/09/22 Time: 12:37
 Sample (adjusted): 5/21/2017 2/26/2021
 Included observations: 1378 after adjustments
 Huber Sandwich Standard Errors & Covariance
 Sparsity method: Kernel (Epanechnikov) using residuals
 Bandwidth method: Hall-Sheather, bw=0.087308
 Estimation successfully identifies unique optimal solution

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TRANSACTION_FEE	-0.010233	0.007985	-1.281513	0.2002
LOG_TWH	-0.029365	0.214367	-0.136983	0.8911
LOG_P_BTC	0.032371	0.034782	0.930689	0.3522
LOG_MINED_BTC	196.8691	58.64259	3.357100	0.0008
LOG_ENERGY_INDEX	-0.027171	0.019486	-1.394408	0.1634
LOG_CPT	0.969375	0.020998	46.16529	0.0000
LOG_ADDRESSES	0.863441	0.027882	30.96799	0.0000
C	-0.019266	0.005682	-3.390856	0.0007
Pseudo R-squared	0.528403	Mean dependent var		0.001814
Adjusted R-squared	0.525993	S.D. dependent var		0.128702
S.E. of regression	0.063898	Objective		32.16626
Quantile dependent var	-0.002434	Restr. objective		68.20706
Sparsity	0.127524	Quasi-LR statistic		2260.957
Prob(Quasi-LR stat)	0.000000			

Πίνακας 42 Quantile Regression (Q 0.50) Bitcoin

LOG_REVENUE (Y)	Q (0.10)	Q (0.50)	Q (0.90)
LOG_TRANSACTION_FEE	-0,0169*	-0,0102	-0,0102
LOG_TWH	-0,2266*	-0,0294	0,3183**
LOG_P_BTC	0,0588	0,0324	0,1502**
LOG_MINED_BTC	142,9055	196,8691*	338,2248*
LOG_ENERGY_INDEX	0,0283	-0,0272	-0,0037
LOG_CPT	0,9209*	0,9694*	0,9466*
LOG_ADDRESSES	0,7270*	0,8634*	0,8219*
C	-0,0873*	-0,0193*	0,0405*
R-squared	0,49	0,53	0,52
Prob(Quasi-LR stat)	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 43 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Bitcoin

Όπως βλέπουμε και από τον άνωθι πίνακα η μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης είναι στατιστικά σημαντική με $p\text{-value} < 0.05$ στο ποσοστημόριο 0.10 καθώς επίσης και στο ποσοστημοριο 0.90 αλλά με αύξηση των ορίων εμπιστοσύνης με $p\text{-value} < 0.10$. Τα αποτελέσματα είναι σε μεγάλο βαθμό συγκρίσιμα με την έρευνα των Das και Dutta.

Οι μεταβλητές του κόστους ανά συναλλαγή και του αριθμού των διευθύνσεων φαίνονται να είναι οι πιο σημαντικές καθώς είναι στατιστικά σημαντικές σε όλα τα ποσοστιαία σημεία.

Quantile Process Estimates
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_REVENUE LOG_TRANSACTION_FEE LOG_TWH LOG_P_BTC
LOG_MINED_BTC LOG_ENERGY_INDEX LOG_CPT LOG_ADDRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified process quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Display all coefficients

	Quantile	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG_TRANSACTION...	0.100	-0.016907	0.006574	-2.571788	0.0102
	0.250	-0.010573	0.012365	-0.855097	0.3926
	0.500	-0.010233	0.007985	-1.281513	0.2002
	0.750	-0.014606	0.007184	-2.033102	0.0422
	0.900	-0.010211	0.024462	-0.417434	0.6764
LOG_TWH	0.100	-0.226572	0.079468	-2.851119	0.0044
	0.250	-0.105717	0.176708	-0.598261	0.5498
	0.500	-0.029365	0.214367	-0.136983	0.8911
	0.750	0.017362	0.430844	0.040298	0.9679
	0.900	0.318326	0.185477	1.716254	0.0863
LOG P BTC	0.100	0.058760	0.069098	0.850382	0.3953
	0.250	0.046582	0.042712	1.090604	0.2756
	0.500	0.032371	0.034782	0.930689	0.3522
	0.750	0.105220	0.038324	2.745553	0.0061
	0.900	0.150235	0.082480	1.821468	0.0688
LOG_MINED_BTC	0.100	142.9055	108.7800	1.313711	0.1892
	0.250	101.5329	94.32257	1.076443	0.2819
	0.500	196.8691	58.64259	3.357100	0.0008
	0.750	144.9703	71.17528	2.036807	0.0419
	0.900	338.2248	97.97927	3.452003	0.0006
LOG_ENERGY_I...	0.100	0.028304	0.038399	0.737111	0.4612
	0.250	-0.011147	0.023285	-0.478717	0.6322
	0.500	-0.027171	0.019486	-1.394408	0.1634
	0.750	-0.027774	0.018542	-1.497904	0.1344
	0.900	-0.003691	0.029902	-0.123440	0.9018
LOG_CPT	0.100	0.920908	0.031786	28.97210	0.0000
	0.250	0.944693	0.024924	37.90360	0.0000
	0.500	0.969375	0.020998	46.16529	0.0000
	0.750	0.942048	0.019852	47.45338	0.0000
	0.900	0.946632	0.028415	33.31461	0.0000
LOG_ADDRESSES	0.100	0.726990	0.025933	28.03297	0.0000
	0.250	0.793967	0.036156	21.95924	0.0000
	0.500	0.863441	0.027882	30.96799	0.0000
	0.750	0.859964	0.022030	39.03568	0.0000
	0.900	0.821888	0.046064	17.84232	0.0000
C	0.100	-0.087285	0.010356	-8.428639	0.0000
	0.250	-0.047162	0.009588	-4.919032	0.0000
	0.500	-0.019266	0.005682	-3.390856	0.0007
	0.750	0.021182	0.006942	3.051150	0.0023
	0.900	0.040510	0.009087	4.457804	0.0000

Πίνακας 44 Quantile Process Estimates Bitcoin

Στον άνωθι πίνακα μπορούμε να δούμε την στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών στα ποσοστημόρια 0.10,0.25,0.50,0.75 και 0.90. Το κόστος ανά συναλλαγή και ο αριθμός των διευθύνσεων των miners φαίνονται να είναι οι πιο σημαντικές μεταβλητές. Στην περίπτωση του Bitcoin όπότε η τιμή του δεν φαίνεται να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα κέρδη των miners. Αρχικά αυτό ίσως φαίνεται παράδοξο αλλά ίσως είναι αποτέλεσμα της τεράστιας μεταβλητότητας στην τιμή του. Το Bitcoin σε σχέση με το Ethereum έχει πολύ μεγαλύτερες αυξομειώσεις στις τιμές του.

Στην συνέχεια όπως και με το Ethereum πραγματοποιήθηκε και εδώ ο έλεγχος quantile slope equality test. Σύμφωνα με το test Wald, η στατιστική τιμή Chi Square του ελέγχου ισότητας της κλίσης είναι 72.97, η οποία φυσικά είναι στατιστικά σημαντική. Όπότε μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση της ισότητας της κλίσης σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, πράγμα που σημαίνει ότι η ισότητα της κλίσης είναι διαφορετική σε διαφορετικά ποσοστημόρια.

Quantile Slope Equality Test
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_REVENUE LOG_TRANSACTION_FEE LOG_TWH
LOG_P_BTC LOG_MINED_BTC LOG_ENERGY_INDEX LOG_CPT
LOG_ADDRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified test quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Test statistic compares all coefficients

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Wald Test	72.97388	28	0.0000

Πίνακας 45 Quantile Equality Test Bitcoin

Τέλος, ο έλεγχος συμμετρίας του μοντέλου φαίνεται να δείχνει ότι υπάρχει ασυμμετρία στις συμπεριφορές των μεταβλητών στα διάφορα τεταρτημόρια.

Symmetric Quantiles Test
Equation: UNTITLED
Specification: LOG_REVENUE LOG_TRANSACTION_FEE LOG_TWH
LOG_P_BTC LOG_MINED_BTC LOG_ENERGY_INDEX LOG_CPT
LOG_ADDRESSES C
Estimated equation quantile tau = 0.5
User-specified test quantiles: 0.10 0.25 0.50 0.75 0.90
Test statistic compares all coefficients

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Wald Test	30.45698	16	0.0158

Πίνακας 46 Symmetric Quantiles Test Bitcoin

Συζήτηση και συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, οι συναλλαγές με Bitcoin και Ethereum αποτελούν τα τελευταία χρόνια έναν σημαντικό παράγοντα στην αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η κατανάλωση μόνο του Bitcoin μπορεί με ιδιαίτερη ευκολία να συγκριθεί με τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρων χωρών όπως π.χ. η Δανία. Δεδομένου του ότι οι αγορές των κρυπτονομισμάτων από ότι φαίνεται θα συνεχίσουν να επεκτείνονται και τα επόμενα χρόνια, καθώς ακόμη και σε περιόδους τεράστιας αβεβαιότητας - μεταβλητότητας οι τιμές των 2 υπό εξέταση νομισμάτων δεν δείχνουν να μειώνονται δραματικά, αντίθετος αν λάβουμε υπόψιν την τιμή τους σε μακροχρόνια βάση υπάρχει μια ανοδική πορεία, πράγμα που τα έχει καθιερώσει πλέον ως επενδυτικά εργαλεία υψηλού ρίσκου με αντίστοιχη μεγάλη απόδοση, η οποία απόδοση βέβαια παρακινεί τους miners να προβούν στις αντίστοιχες «εξορύξεις».

Όλα αυτά με τα σημερινά δεδομένα υποδηλώνουν αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και των εκπομπών άνθρακα, οι οποίες εκπομπές φυσικά στην παρούσα ιστορική στιγμή αποτελούν το πιο κρίσιμο πρόβλημά στην μάχη ενάντια σε μια επικείμενη οικολογική καταστροφή. Ως εκ τούτου, η δημιουργία, η ανάπτυξη και η χρήση πιο οικολογικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ενθαρρυνθούν σε μεγαλύτερο βαθμό προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές άνθρακα και η υπερθέρμανση του πλανήτη.

Η παρούσα εργασία συμφωνεί εν μέρη με τα αποτελέσματα των Das και Dutta. Όπως φαίνεται και στον κάτωθι πίνακα στα αρχικά ποσοσοστήμοια τα αποτελέσματα έχουν στατιστική σημαντικότητα και υποδεικνύουν μια αρνητική σχέση της ενεργειακής κατανάλωσης και των κερδών των miners. Η σημαντικότητα της σχέσης αυτής όμως φαίνεται να φθίνει στην παρούσα εργασία μετά το 15^ο ποσοστημόριο, μέχρι το οποίο όμως τα αποτελέσματα έχουν πολύ μεγαλύτερη στατιστική σημαντικότητα από τα αποτελέσματα του 2020. Επίσης η παρούσα εργασία εντοπίζει μια θετική σχέση με στατιστική σημαντικότητα στο 90^ο ποσοστήμοιο. Αυτή η σχέση μπορεί να ερμηνευθεί σε πρώτη μάτια ως εξής: οι miners με υψηλά κέρδη από την εξόρυξη είναι ουσιαστικά μονάδες-hubs σε χώρες όπως η Βενεζουέλα και η Κίνα όπου η ελαστικότητα της τιμής της ενέργειας ενδεχομένως να είναι πολύ μικρή λόγω των ρυθμιστικών αρχών και της κλειστής αγοράς του κλάδου της ενέργειας που υπάρχει σε αυτές τις χώρες. Οπότε μια αύξηση των τιμών της ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ενδεχόμενος να επηρεάζει μόνο

τους ιδιώτες miners που δρουν μεμονωμένα. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και με τις αυξήσεις των τιμών σε κάρτες γραφικών όπου λόγω της τεράστιας ζήτησης αυτών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για εξορυκτικούς σκοπούς, πολύ «μικροί» εξορυκτές βγήκαν εκτός συναγωνισμού καθώς το νέο κόστος της απαιτούμενης επένδυσης που διαμορφώθηκε ήταν απαγορευτικό.

Αποτελέσματα ανεξάρτητης μεταβλητής Ενεργειακής Κατανάλωσης (BTC)										
Quantiles	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
<i>Das & Dutta (2018)</i>										
Συντελεστής	-0,239	-	-0,239	-0,188	-0,13	-0,11	-0,13	-0,267	-0,233	-0,421
Στατιστική Σημαντικότητα	0,116	-	0,0908	0,0745	0,832	0,866	0,866	0,865	0,865	0,887
<i>Παρούσα εργασία (δεδομένα 2021)</i>										
Συντελεστής	-0,226	-0,198	-0,126	-0,03	-0,125	-0,029	0,085	0,199	0,807	0,3183
Στατιστική Σημαντικότητα	0,004	0,067	0,195	0,7958	0,549	0,891	0,664	0,259	0,7681	0,0863

Πίνακας 47 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τους Das & Dutta (2018)

Τέλος είναι αρκετά ενδιαφέρον το ότι η σχέση των μεταβλητών στα αποτελέσματα του 2020 φαίνεται να είναι αρνητική σε όλα τα ποσοστημόρια. Αντιθέτως στην παρούσα εργασία μια θετική σχέση παρατηρείται μόνο μετά την διάμεσο, αυτή η διαφορά ίσως να οφείλεται στην τιμή του Bitcoin (και κατ' επέκταση στα κέρδη των miners) η οποία με βάση τα δεδομένα της έρευνας του 2020 (οι Das & Dutta έχουν δεδομένα από τις 10/2/2017 μέχρι 24/3/2019) είχε την υψηλότερη τιμή στις 18/12/201 φτάνοντας περίπου τα 19.000 δολάρια. Στην παρούσα εργασία όμως (περίοδος 5/20/2017 2/26/2021) το Bitcoin είχε φτάσει στις 23/02/2021 μεχρι και τα 55.000 δολάρια. Μια τεράστια διάφορα η οποία πιθανός είναι ένας από τους λόγους που έχουμε θετικό πρόσημο μετά την διάμεσο.

Εν κατακλείδι συμπεραίνουμε ότι τα εμπειρικά ευρήματά τόσο της παρούσας έρευνας όσο και των Das & Dutta(2020) δείχνουν ότι όταν τα κέρδη των miners είναι χαμηλά και υπόκεινται σε μεγάλη αστάθεια τότε η ενεργειακή κατανάλωση και η επακόλουθη αύξηση της τιμής της ενέργειας επηρεάζει αρνητικά τα κέρδη τους.

Αναφορικά με το Ethereum τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι υπάρχει μια θετική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης και των κερδών των miners. Αυτό ίσως μπορεί να ερμηνευθεί και με την προαναφερθείσα εξήγηση για

τα κέντρα mining σε χώρες με σταθερές τιμές ενέργειας. Το αποτέλεσμα σίγουρα απαιτεί μεγαλύτερη διερεύνηση καθώς ο τρόπος λειτουργίας του Ethereum διαφέρει σημαντικά από αυτόν του Bitcoin αλλά και η τιμή του είναι πολύ μικρότερη.

Η εργασία ανέφερε στην βιβλιογραφική επισκόπηση τους τρόπους με τους οποίους ενδεχομένως να αλλάξουν στο μέλλον οι ενεργειακές ανάγκες των κρυπτονομισμάτων. Σιγουρά την αρχή εκανε το Ethereum 2.0 το οποίο είναι σε λειτουργία από τον Σεπτέμβριο του 2022, το οποίο έχοντας αλλάξει τον αλγόριθμο λειτουργίας του χρησιμοποιεί το Bitcoin (proof of work) αποσκοπεί να μειώσει ραγδαία το μερίδιο του στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Πέραν του Ethereum 2.0 αναφερθήκαμε και στο Pi-Network και το sharding, έννοιες και μηχανισμοί οι οποίοι αποσκοπούν στο να αξιοποιήσουν νέους συναινετικούς αλγόριθμους όπως το PoS και το S CP για την κατανομή του φορτίου και τη μείωση των πλεονασμών στα δίκτυα των κρυπτονομισμάτων. Αυτές οι ενέργειες, καταδεικνύουν ότι γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών CO2 που συνδέονται με τα κρυπτονομίσματα στον πραγματικό κόσμο, προκειμένου να καταστούν πιο βιώσιμα και ευρέως αποδεκτά (Kohli et al, 2022).

Επίσης οι μελλοντικές βελτιώσεις στο hardware με αύξηση της υπολογιστικής δύναμης των επεξεργαστών ίσως μπορέσει να συμβάλει στην μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων αυτών των νομισμάτων, αυτό βέβαια προϋποθέτει και την αντίστοιχη διαθεσιμότητα αυτών των Hardware, κάτι το οποίο είναι αρκετά δύσκολο σήμερα καθώς η διαθεσιμότητα αυτών εξαρτάται από ορισμένα ολιγοπώλια (π.χ TMSIC για τους μικροεπεξεργαστές & microchips) τα οποία ακολουθώντας την οικονομική λογική προσαρμόζουν την προσφορά με σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους τους.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση παρουσίασε επίσης τις τέσσερις θεμελιώδεις αιτίες για την υψηλή κατανάλωση ενέργειας κατά την διαδικασία της εξόρυξης : την τεχνική συναίνεσης PoW, τον πλεονασμό δικτύου, τις συσκευές εξόρυξης και τις πηγές ενέργειας. Παρουσιάσαμε επίσης τις νέες τάσεις για αλλαγή ορισμένων μη αποδοτικών αλγορίθμων/λειτουργιών όπως το PoSpace, το PoST, το PoA, το uPoW, το REM και το PoS που είναι το πιο πολλά υποσχόμενο υποκατάστατο του PoW. Όσον αφορά τις πηγές ενέργειας πρέπει να σημειωθεί ότι η χώρες με την μεγαλύτερη δραστηριότητα mining χρησιμοποιούν δυστυχώς μη φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας.

Παραδείγματος χάριν η Κίνα μέχρι και σχετικά πρόσφατα (2021) το 65% της ηλεκτρικής της ενέργειας προερχόταν από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (<https://www.globalxetfs.com/>). Αν οι χώρες αυτές κάνανε μια στροφή προς μην ρυπογόνες πηγές ενεργείας οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κρυπτονομισμάτων θα μειωνόντουσαν δραματικά.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στα κρυπτονομίσματα Bitcoin και Ethereum τα οποία είναι τα πιο γνωστά. Μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να συμπεριλάβει και άλλα κρυπτονομίσματα καθώς πλέον η αγορά έχει χιλιάδες. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν και τον πόλεμο στην Ουκρανία και την συνεπακόλουθη ενεργειακή κρίση θα ήταν πολύ ενδιαφέρον μια αντίστοιχη έρευνα με πρόσφατα δεδομένα ώστε να εξεταστεί η σχέση της κατανάλωσης ενέργειας και των κερδών των miners στα υψηλά ποσοστημόρια. Επιπλέον το αποτέλεσμα της εργασίας όσον αφορά το 90^ο ποσοστημόριο θα μπορούσε να τεθεί υπό πιο λεπτομερή εξέταση ώστε να εντοπιστούν οι παράγοντες που το προκαλούν. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η παρούσα εργασία αλλά και η εργασία των Das και Dutta (2020) έχουν χρησιμοποιήσει τα δεδομένα του Digiconomist, τα οποία έχουν χαρακτηριστεί στο παρελθόν ως μην έγκυρα από τους υποστηρικτές των κρυπτονομισμάτων. Ενδεχομένως μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εξετάσει την σχέση ενεργειακής κατανάλωσης-κερδών και με την χρήση διαφορετικών εκτιμήσεων-χρονοσειρών αναφορικά με την ενεργειακή κατανάλωση.

Βιβλιογραφία

1. Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., and Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 100, 143–174.
2. Antonopoulos A.M., (2014) *Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies,* ” O’Reilly Media, Inc.”.
3. Ball M., A. Rosen, M. Sabin, P. N. Vasudevan (2017) Proofs of useful work., *IACR Cryptol. ePrint Arch.* 2017 (2017) 203.
4. Bendiksen C., S. Gibbons, E. Lim (2018), The bitcoin mining network-trends, marginal creation cost, electricity consumption & sources, *CoinShares Research* 21 (2018) 3–19.
5. Bendiksen, C., and Gibbons, S. (2019). The Bitcoin Mining Network: Trends, Composition, Average Creation Cost, Electricity Consumption & Sources. <https://coinshares.com/assets/resources/Research/bitcoin-mining-network-december-2019.pdf>.
6. Bevand, M. (2017). Serious faults in Digiconomist’s Bitcoin Energy Consumption Index. <http://blog.zorinaq.com/serious-faults-in-beci/>.
7. Biswas S., et al., (2019) A Scalable Blockchain Framework for Secure Transactions in IoT, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, pp. 4650-4659 [bitcoinelectricity-use.pdf](https://arxiv.org/pdf/1905.08111v1).
8. Blandin A., G. C. Pieters, Y. Wu, A. Dek, T. Eisermann, D. Njoki, S. Taylor (2020), 3rd global cryptoasset benchmarking study, Available at SSRN 3700822.
9. BuyBitcoinWorldwide (2022), Bitcoin clock. URL <https://www.buybitcoinworldwide.com/bitcoin-clock/>
10. CBECI (2020). Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. <https://www.cbeci.org>
11. CoinMarketCap (2020). CryptocurrencyMarket Capitalization. <https://coinmarketcap.com/>.
12. CoinMarketCap (2022), Today’s cryptocurrency prices by market cap. URL <https://coinmarketcap.com/>

13. Conti M., et al., (2018) A survey on security and privacy issues of bitcoin,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, pp. 3416-3452.
14. Das D. & Dutta A., (2020) “Bitcoin’s energy consumption: Is it the Achilles heel to miner’s revenue?,” Elsevier Economics Letters, Vol. 186
15. de Vries (2021) A., Bitcoin boom: What rising prices mean for the network’s energy consumption, Joule 5 (3) (2021) 509–513.
16. De Vries A. (2018), “Bitcoin’s growing energy problem,” Joule, Vol. 2, pp. 801-805, 2018.
17. Digiconomist (2020). Bitcoin Energy Consumption Index. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
18. Digiconomist (2021) Bitcoin Electronic Waste Monitor Διαθέσιμο στο: <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/>
19. Digiconomist (2022), Bitcoin energy consumption index.URL <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>
20. Digiconomist.net (2022) Bitcoin energy consumption index Διαθέσιμο στο: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
21. Dillak G.R., Suchendra R. D., Hendriyanto R., Agung A. A. D., (2019) Proof of work: Energy inefficiency and profitability Journal of Theoretical and Applied Information Technology 97(05) Blockchain Project Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/332767387_Proof_of_work_Energy_inefficiency_and_profitability
22. Digiconomist.net (2022) Ethereum Energy Consumption Index Διαθέσιμο στο: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>
23. Digiconomist.net (2022), Digiconomist. URL <https://digiconomist.net/>
24. Dolev D., H. R. Strong (1983), Authenticated algorithms for byzantine agreement, SIAM Journal on Computing 12 (4) (1983) 656–666.
25. Dong K, X. Dong, Q. Jiang, (2020) How renewable energy consumption lower global co2 emissions? evidence from countries with different income levels, The World Economy 43 (6) 1665–1698.
26. Economist T. (2015), The magic of mining. URL: <https://www.economist.com/business/2015/01/08/the-magic-of-mining>
27. Ethereum, Upgrading ethereum to radical new heights. URL <https://ethereum.org/en/eth2/>

28. ethereum.org (2022) What is ethereum Διαθέσιμο στο: <https://ethereum.org/what-is-ethereum/>
29. Etherscan.io (2022) Ethereum Daily Transactions Chart Διαθέσιμο στο: [https://etherscan.io/chart/tx]
30. Fairley P (2017), Blockchain world - feeding the blockchain beast if bitcoin ever does go mainstream, the electricity needed to sustain it will be enormous, IEEE Spectrum, vol. 54, no. 10, pp. 36–59, 2017.
31. Fairley P., (2019) Ethereum plans to cut its absurd energy consumption by 99 percent.
32. Fairley, P. (2019). *Ethereum will cut back its absurd energy use*. *IEEE Spectrum*, 56(01), 29–32. doi:10.1109/mspec.2019.8594790 Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/330071129_Ethereum_will_cut_back_its_absurd_energy_use
33. Gallersdorfer U., L. Klaaßen, C. Stoll, (2020) Energy consumption of cryptocurrencies beyond bitcoin, *Joule* 4 (9) 1843–1846.
34. Hahn A., et al., (2017) Smart contract-based campus demonstration of decentralized
35. Hern A., (2018) Bitcoin’s energy usage is huge – we can’t afford to ignore it Διαθέσιμο στο: <https://www.theguardian.com/technology/2018/jan/17/bitcoin-electricity-usage-huge-climate-cryptocurrency>
36. Holthaus E., (2017) Bitcoin could cost us our clean-energy future Διαθέσιμο στο: <https://grist.org/article/bitcoin-could-cost-us-our-clean-energy-future/>
37. Houy N. (2019), Rational mining limits bitcoin emissions, *Nature Climate Change* 9 (9) (2019) 655–655.
38. Howson, P. (2019). Tackling climate change with blockchain. *Nat. Clim. Chang.* 9, 644–645.
39. impakter (2022) Visa. URL <https://index.impakter.com/visa/>
40. IPCC (2022), Ipcc. URL <https://www.ipcc.ch/>
41. IREA, Country rankings. URL <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>
42. Ishai Y., M. Mahmoody, A. Sahai, D. Xiao (2015) On zero-knowledge pcs: Limitations, simplifications, and applications (2015).

43. Jia D., J. Xin, Z. Wang, W. Guo, G. Wang, (2018) Elasticchain: support very large blockchain by reducing data redundancy, in: Asia-Pacific Web (APWeb) and WebAge Information Management (WAIM) Joint International Conference on Web and Big Data, Springer, 2018, pp. 440–454.
44. Jiang S., Y. Li, Q. Lu, Y. Hong, D. Guan, Y. Xiong, S. Wang, (2021) Policy assessments for the carbon emission flows and sustain ability of bitcoin blockchain operation in china, Nature communications 12 (1) 1–10.
45. Joshi G., Walvekar H., (2020) A Comparative Study on The Energy Consumption Versus Market Price of Ethereum Blockchain mining Διαθέσιμο στο:
https://www.researchgate.net/publication/340477723_A_Comparative_Study_on_The_Energy_Consumption_Versus_Market_Price_of_Ethereum/link/5e8c2ea8a6fdcca789fbf82f/download
46. Katsiampa, P., (2017) Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. Econ. Lett. 158, 3–6.
47. Koenker, R., Bassett, G., (1978). Regression quantiles. Econometrica 46, 33–50.
48. Kohler S., M. Pizzol, (2019) Life cycle assessment of bitcoin mining, Environmental science & technology 53 (23) (2019) 13598– 13606.
49. Kohli V., Chakravarty S., Chamola V., Sangwan S. K., (2022) An Analysis of Energy Consumption and Carbon Footprints of Cryptocurrencies and Possible Solutions Digital Communications and Networks DOI:[10.1016/j.dcan.2022.06.017](https://doi.org/10.1016/j.dcan.2022.06.017) License CC BY-NC-ND 4.0 Blockchain for Industry 4.0 Διαθέσιμο στο:
https://www.researchgate.net/publication/358579746_An_Analysis_of_Energy_Consumption_and_Carbon_Footprints_of_Cryptocurrencies_and_Possible_Solutions
50. Koomey J. (2020), Estimating bitcoin electricity use: A beginner’s guide, May, Coin Center Report,
<https://www.coincenter.org/app/uploads/2020/05/estimating->
51. Koomey, J. (2019). Estimating Bitcoin Electricity Use: A Beginner’s Guide 1.0.
<https://www.coincenter.org/estimating-bitcoin-electricity-use-a-beginners-guide/>.

52. Koutmos, D., (2018) Bitcoin returns and transaction activity. *Econ. Lett.* 167, 81–85.
53. Krause, M.J., and Tolaymat, T. (2018). Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nature Sustainability* 1, 711–718.
54. Kufeoglu S., M. Ozkuran, (2019) Bitcoin mining: A global review of energy and power demand, *Energy Research & Social Science* 58 (2019) 101273.
55. Laura M., (2022) Ethereum vs Bitcoin: Is Ethereum a Better Bitcoin Alternative? Διαθέσιμο στο: <https://www.bitdegree.org/tutorials/ethereum-vs-bitcoin/>
56. Li X., K. J. Chalvatzis, D. Pappas, (2018) Life cycle greenhouse gas emissions from power generation in china’s provinces in 2020, *Applied Energy* 223 (2018) 93–102.
57. Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H., and Wu, Z.(2019). Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy* 168, 160–168.
58. Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H., Wu, Z., (2019). Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy* 168, 160–168.
59. Liu J., J. Lv, H. Dinc,er, S. Yuksel, H. Karakus, (2021) Selection of renewable energy alternatives for green blockchain investments: A hybrid it2-based fuzzy modelling, *Archives of Computational Methods in Engineering* (2021) 1–15.
60. Luo J., et al., (2017) Bit-energy: An innovative bitcoin-style distributed transactional model for a competitive electricity market, *IEEE Power & Energy Society General Meeting, Chicago, USA, 2017.*
61. Malwa S., (2022) 10M Ether Now Locked on Eth 2.0 Staking Contract Διαθέσιμο στο: <https://www.coindesk.com/tech/2022/03/11/10m-ether-now-locked-on-eth-20-staking-contract/>
62. Martin J., (2020) Has Quebec Missed the Ship for Attracting Cryptocurrency Miners? Διαθέσιμο στο: <https://cointelegraph.com/news/has-quebec-missed-the-ship-for-attracting-cryptocurrency-miners>
63. Masanet, E., Shehabi, A., and Koomey, J. (2013). Characteristics of low-carbon data centres. *Nat. Clim. Chang.* 3, 627–630.

64. Mazieres D. (2017), The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus. URL <https://www.stellar.org/papers/stellar-consensus-protocol?locale=en>
65. Mir U., (2020) Bitcoin and Its Energy Usage: Existing Approaches, Important Opinions, Current Trends, and Future Challenges KSII Transactions on Internet and Information Systems Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/343057861_Bitcoin_and_Its_Energy_Usage_Existing_Approaches_Important_Opinions_Current_Trends_and_Future_Challenges
66. Mishra S.P, V. Jacob, S. Radhakrishnan (x.x.), Energy consumption–bitcoin’s achilles heel, Available at SSRN 3076734.
67. Mora, R. L. Rollins, K. Taladay, M. B. Kantar, M. K. Chock, M. Shimada, E. C. Franklin, (2018) Bitcoin emissions alone could push global warming above 2 c, Nature Climate Change 8 (11) 931–933.
68. Moran T., I. Orlov, (2019) Simple proofs of space-time and rational proofs of storage, in: Annual International Cryptology Conference, Springer, 2019, pp. 381–409.
69. Nakamoto S. (2008), Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, Decentralized Business Review 21260.
70. Network P., (2022) Pi white paper. URL <https://minepi.com/white-paper.Pi>
71. O'Dwyer K.J , and D. Malone (2014), “Bitcoin Mining and its Energy Footprint,” in Proc. of 25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies, ISSC’14/CIICT’14), Limerick, Ireland
72. overview/world
73. Palacio S. N., (2018) Blockchain: A technological tool for sustainable development or a massive energy consumption network? Διαθέσιμο στο: <https://www.revistabionatura.com/files/2018.03.04.11.pdf>
74. Pan D., (2022) Bitcoin Mining Revenue Gauge Declines to the Lowest in Two Years Διαθέσιμο στο: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-08/bitcoin-mining-revenue-gauge-declines-to-the-lowest-in-two-years>

75. Popov S., W. J. Buchanan, (2021) Fpc-bi: Fast probabilistic consensus within byzantine infrastructures, *Journal of Parallel and Distributed Computing* 147 (2021) 77–86
76. Popper N., (2018) There Is Nothing Virtual About Bitcoin’s Energy Appetite Διαθέσιμο στο: <https://www.nytimes.com/2018/01/21/technology/bitcoin-mining-energy-consumption.html>
77. powercompare.co.uk (2022) Bitcoin Mining Now Consuming More Electricity Than 159 Countries Including Ireland & Most Countries In Africa Διαθέσιμο στο: <https://powercompare.co.uk/bitcoin/>
78. Puthal D., et al., (2019) Proof-of-Authentication for Scalable Blockchain in Resource-Constrained Distributed Systems, in *Proc. of 37th IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*.
79. Rogeli J., M. Den Elzen, N. Höhne, T. Fransen, H. Fekete, H. Winkler, R. Schaeffer, F. Sha, K. Riahi, M. Meinshausen, (2016) Paris agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 c, *Nature* 534 (7609) (2016) 631–639.
80. Sarkodie S., (2021) Environmental performance, biocapacity, carbon & ecological footprint of nations: drivers, trends and mitigation options, *Science of the Total Environment* 751141912.
81. Sedlmeir J., H. U. Buhl, G. Fridgen, R. Keller, (2020) The energy consumption of blockchain technology: beyond myth, *Business & Information Systems Engineering* 62 (6) 599– 608.
82. Sriman B., S. G. Kumar, P. Shamili, (2021) Blockchain technology: Consensus protocol proof of work and proof of stake, in: *Intelligent Computing and Applications*, Springer, pp. 395–406.
83. Statista.com (2022) Ethereum (ETH) price per day from August 2015 to October 5, 2022 Διαθέσιμο στο: <https://www.statista.com/statistics/806453/price-of-ethereum/>
84. Stoll C., L. Klaaßen, and U. Gellersdörfer (2019), “The carbon footprint of bitcoin,” *Joule*, vol. 3, no. 7, pp. 1647–1661
85. Symitsi, E., Chalvatzis, K.J., (2018). Return, volatility and shock spillovers of bitcoin with energy and technology companies. *Econ. Lett.* 170, 127–130.
86. techradar.pro (2021) Best asic devices for mining cryptocurrency in 2021.URL <https://www.techradar.com/in/best/asic-devices>

87. The Bitcoin Green Team (2017), “Bitcoin Green: The Sustainable, Proof-of-Stake Bitcoin,” Whitepaper, December 2017. <https://savebitcoin.io> transactive energy auctions, in Proc. of IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT’17, Washington, USA
88. U. E. I. Administration, International (2022). URL <https://www.eia.gov/international/>
89. University of Cambridge (2022), Cambridge bitcoin electricity consumption index.
90. Urquhart, A., (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Econ. Lett.* 148, 80–82.
91. Vranken, H. (2017). *Sustainability of bitcoin and blockchains. Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1–9. doi:10.1016/j.cosust.2017.04.011
92. Wang J., Y. Guan, L. Wu, X. Guan, W. Cai, J. Huang, W. Dong, B. Zhang, (2021) Changing lengths of the four seasons by global warming, *Geophysical Research Letters* 48 (6) (2021) e2020GL091753.
93. Wang W., D. T. Hoang, P. Hu, Z. Xiong, D. Niyato, P. Wang, Y. Wen, D. I. Kim (2019), A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks, *IEEE Access* 7 (2019) 22328–22370.
94. Worldometer (2021), Countries in the world by population. URL <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/>
95. Xie J., et al., (2019) A Survey on the Scalability of Blockchain Systems, *IEEE Network*, vol. 33, pp. 166-173, 2019.
96. Xue F., W. Lu, (2020) A semantic differential transaction approach to minimizing information redundancy for bim and blockchain integration, *Automation in construction* 118 (2020) 103270.
97. Yun J., et al. (2019), “MMOG User Participation Based Decentralized Consensus Scheme and Proof of Participation Analysis on the Bryllite Blockchain System,” *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 13, pp. 4093-4107, 2019. Article (CrossRef Link)
98. Zade M., J. Myklebost, P. Tzscheuschler, U. (2019) Wagner, Is bitcoin the only problem? a scenario model for the power demand of blockchains, *Frontiers in Energy Research* 7 21.
99. Zamani M., M. Movahedi, M. Raykova,(2018) Rapidchain: Scaling blockchain via full sharding, in: *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2018, pp. 931–948.

100. Zandalinas S.I, F. B. Fritschi, R. Mittler (2021) Global warming, climate change, and environmental pollution: Recipe for a multifactorial stress combination disaster, Trends in Plant Science
101. Zhang Y – H., X. F. Liu, (2021) Traffic redundancy in blockchain systems: The impact of logical and physical network structures, in: 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), IEEE, 2021, pp. 1–5.
102. The Economist (2018), Why are Venezuelans mining so much bitcoin? | The Economist
103. Nic Carter (2021), <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>.
104. https://www.moneysupermarket.com/gas-and-electricity/features/crypto-energy-consumption/?__cf_chl_jschl_tk__=HKCUa1IP2PreLnrWjGX92z8JTxCfTFoQ44he1g91P94-1641075076-0-gaNycGzNCL0
105. Travis Reeder (2021) : <https://medium.com/gochain/the-truth-about-bitcoin-and-ethereum-energy-consumption-20a325f39b52>
106. Gallersdörfer U, Klaaßen L, Stoll C. Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin. *Joule*. 2020 Sep 16;4(9):1843-1846. doi: 10.1016/j.joule.2020.07.013. Epub 2020 Aug 4. PMID: 32838201; PMCID: PMC7402366.
107. Dillon Jaghory (2022), China Sector Analysis: Energy , <https://www.globalxetfs.com/china-sector-analysis-energy/>
108. Polemis, ML, Tsionas, MG. The environmental consequences of blockchain technology: A Bayesian quantile cointegration analysis for Bitcoin. *Int J Fin Econ*. 2021; 1– 20.
109. Yaya, O. S., Ogbonna, E. A., & Mudida, R. (2019). Market Efficiency and Volatility Persistence of Cryptocurrency during Pre-and Post-Crash Periods of Bitcoin: Evidence based on Fractional Integration. *International Journal of Finance & Economics*.
110. Okorie, D. I. (2020). A network analysis of electricity demand and the cryptocurrency markets. *International Journal of Finance & Economics*.

111. Elsayed, A. H., Gozgor, G., & Lau, C. K. M. (2020). Causality and dynamic spillovers among cryptocurrencies and currency markets. *International Journal of Finance & Economics*.
112. Allen, D., Berg, C., Markey-Towler, B., Novak, M., & Potts, J. (2020). Blockchain and the evolution of institutional technologies: Implications for innovation policy, *Research Policy*, 49 (1)
113. Atsalakis, G., Atsalaki, I., Pasiouras, F., & Zopounidis, C. (2019). Bitcoin price forecasting with neuro-fuzzy techniques, *European Journal of Operational Research*, 276(2), 770-780.
114. Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29, 213–238
115. Bouri, E., Jalkh, N., Molnár, P., & Roubaud, D. (2017) Bitcoin for energy commodities before and after the December 2013 crash: diversifier, hedge or safe haven?, *Applied Economics*, 49:50, 5063-5073
116. Charfeddine, L., Benlagha, N., & Maouchi, Y. (2020). Investigating the dynamic relationship between cryptocurrencies and conventional assets: Implications for financial investors, *Economic Modelling*, 85, 198-217
117. Ana Berman (2018), <https://cointelegraph.com/news/spanish-city-of-valencia-to-create-smart-port-using-blockchain-big-data>.
118. Mora, C., Rollins, R. L., Taladay, K., Kantar, M., Chock, M. L., Shimada, M., & Franklin, E. C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2C. *Nature Climate Change*, 8, 931–933.