



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ  
ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ



## Μελέτη Διεθνών Πρακτικών και Εφαρμογών Distributed Ledger Technologies(DLT) και Κρυπτονομισμάτων(CC) στον Ενεργειακό Κλάδο

---

Η Διπλωματική Εργασία  
παραστάθηκε ενώπιον  
του Διδακτικού Προσωπικού  
του Πανεπιστημίου Αιγαίου

---

Σε Μερική Εκπλήρωση  
των απαιτήσεων για την απόκτηση  
του διπλώματος του  
Μηχανικού Πληροφοριακών  
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

---

Του

Φουσέκη Κωνσταντίνου – 321/2013196

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική περιλαμβάνει τη μελέτη των Distributed Ledger τεχνολογιών και κρυπτονομισμάτων με τις εφαρμογές τους στον ενεργειακό κλάδο. Θα συμπεριληφθούν οι τύποι των αλγορίθμων που κάθε κατηγορία υλοποιεί και εν συνεχεία οι ιδιαιτερότητες του καθενός. Επιπλέον, γίνεται έρευνα στις πρωτοπόρες mining εταιρείες του κλάδου και σε τρόπους με τους οποίους αναδείχθηκαν στην αγορά. Κάθε κρυπτονόμισμα παρουσιάζει ποικίλες διαφορές, βελτιώσεις, αλλά και αδυναμίες όσον αφορά τις ενεργειακές και άλλες απαιτήσεις τους. Η τεχνολογία αυτή, θέτει τα θεμέλια για τις ανερχόμενες προτάσεις για αλλαγές και καινοτομίες στον τομέα της ενέργειας.

© 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΦΟΥΣΕΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

# Study of International Practices and Applications of Distributed Ledger Technologies (DLT) and Cryptocurrencies (CC) on the Energy Sector

## Abstract

The current Thesis includes the study of Distributed Ledger Technologies and Cryptocurrencies, with their approaches on the energy sector. The different algorithms which are implemented by every category, will be explained in detail, with their specific features. In addition, there will be a reference to pioneer mining companies and to their succeeding practices in years. For every cryptocurrency there are many differences, improvements and weaknesses depending on their energy and other requirements that they own. This networking technology sets the bases for the upcoming changes and innovations of the energy district.

© 2019

FOUSEKIS KONSTANTINOS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

*Στην οικογένειά μου και σε όλους όσους στάθηκαν κοντά μου και συντέλεσαν στην πρόοδο μου ως φοιτητής και προπάντων ως άνθρωπος,*

Κωνσταντίνος

# Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	2
Abstract	3
Πίνακας Περιεχομένων	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή	9
1.1 Σκοπός Εργασίας	9
1.2 Δομή Εργασίας	9
1.3 Εισαγωγή στο Bitcoin	10
1.4 Εισαγωγή στο blockchain	11
1.4.1 Τεχνολογική αρχιτεκτονική του Blockchain	12
1.4.2 Κατηγορίες Blockchain	13
1.5 Ιστορική αναδρομή	15
1.6 Προσεγγίσεις και Τεχνολογίες	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Κρυπτονομίσματα και Ενεργειακές Απαιτήσεις	18
2.1 Bitcoin και ενέργεια	18
2.1.1 Αλγόριθμος απόδειξης εργασίας	19
2.1.2 Προσέγγιση ενεργειακής κατανάλωσης του δικτύου Bitcoin	20
2.2 Κρυπτονόμισμα Ethereum	24
2.2.1 Αλγόριθμος απόδειξης εργασίας και Αλγόριθμος κατάθεσης εγγύησης	27
2.3 Έρευνα δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin - Ethereum	29
2.3.1 Bitcoin	29
2.3.2 Ethereum	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Εξόρυξη και ενέργεια	31
3.1 Αγορά και Εξοπλισμός	31
3.2 Εξόρυξη	33
3.3 Εγκαταστάσεις εξόρυξης	35
3.3.1 Εταιρείες εξόρυξης	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Προτάσεις - Εφαρμογές Διαδικτυακής Αγοράς Ενέργειας μέσω Blockchain	39
4.1 Blockchain και Ενεργειακό διαδίκτυο	39
4.1.1 Ενεργειακό διαδίκτυο	40
4.2 Agent - Based Πλατφόρμα Ενέργειας	42
4.2.1 Αρχιτεκτονική Agent - Based προσέγγισης	43
4.2.2 Συμβόλαια Πορτοφολιού και λειτουργίες	45

4.2.3 Υλοποίηση Agent - Based Προσέγγισης σε δίκτυο Raspberry Pies	46
4.3 Co-simulation Network Platform	47
4.3.1 Μεθοδολογία	47
4.3.2 Blockchain και μηχανισμός διπλο - εκλογής	48
4.4 Πλατφόρμα ενεργειακών συναλλαγών και εκλογή	50
4.4.1 Διαδικασία συναλλαγής ενέργειας	50
4.4.2 Επίπεδο κλήσης εκλογής	51
4.4.3 Επίπεδο διπλο-εκλογής	52
4.4.4 Συμβόλαιο Διαδικασίας Συναλλαγής και Ζήτησης	53
4.5 Multi-carrier energy system	54
4.5.1 Εισαγωγικές έννοιες και Blockchain	54
4.5.2 Πρωτόκολλο λειτουργίας	55
4.6 Energy Web Chain	58
4.6.1 Αλγόριθμος Proof of Authority	59
4.7 EnerPort	61
4.7.1 Μελλοντικές υλοποιήσεις	62
4.8 Power Ledger Platform	63
4.8.1 EchoChain	64
4.9 Exergy	65
4.9.1 Brooklyn Microgrid	66
4.10 Pylon Network	67
4.10.1 Αρχιτεκτονική δικτύου	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Ελληνική Πραγματικότητα</b>	69
5.1 Εισαγωγή	69
5.2 Η ελληνική προσέγγιση	70
5.2.1 Parity Platform	70
5.3 Θεσμικό πλαίσιο	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Συμπεράσματα</b>	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Βιβλιογραφία</b>	75

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1 - Διαδικασία αλλαγής hashes ανά block.....	13
Εικόνα 1.2 - Αναπαράσταση περιβάλλοντος DLT με βάση τις ενότητες της εργασίας.....	14
Εικόνα 1.3 - Σύγκριση κατηγοριών του blockchain.....	16
Εικόνα 1.4 - Αναπαράσταση περιβάλλοντος DLT με βάση τις ενότητες της εργασίας και σημαντικών.....	18
Εικόνα 2.1 - Χρονική καμπύλη ενεργειακής κατανάλωσης του Bitcoin.....	19
Εικόνα 2.2 - Διαδικασία υπολογισμού ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin.....	21
Εικόνα 2.3 - Αναπαράσταση μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης με το πέρασμα των χρόνων.....	24
Εικόνα 2.4 - Ethereum ενεργειακή κατανάλωση ανά μήνα, έτους 2018.....	25
Εικόνα 2.5 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Ethereum.....	26
Εικόνα 2.6 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin με άλλων χωρών.....	26
Εικόνα 2.7 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin και Ethereum με άλλων χωρών.....	27
Εικόνα 2.8 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin και Ethereum με άλλων τρόπων πληρωμής.....	27
Εικόνα 2.9 - Εικόνα από medium.com.....	28
Εικόνα 3.1 - Γράφημα από blockchain.com που απεικονίζει την αύξηση του μεγέθους του blockchain σε ένα χρόνο.....	32
Εικόνα 3.2 - Γράφημα από Wccftech.com που απεικονίζει τα έσοδα πώλησης από 2009 έως 2017, καρτών γραφικών NVIDIA – AMD.....	33
Εικόνα 3.3 - Αλυσίδα κατηγοριών εξόρυξης.....	34
Εικόνα 3.4 - Mining pools pie chart.....	35
Εικόνα 3.5 - Ποσοστό εγκαταστάσεων σε Κίνα και Αμερική.....	35
Εικόνα 3.6 - Καταμερισμός mining εγκαταστάσεων ανά χώρα.....	36
Εικόνα 3.7 - Giga Watt.....	37
Εικόνα 3.8 - Genesis Mining.....	38
Εικόνα 3.9 - btc.com Mining pools Blocks mined.....	39
Εικόνα 4.1 - Baidu index για το θέμα blockchain.....	40
Εικόνα 4.2 - Τα χαρακτηριστικά του ενεργειακού διαδικτύου.....	42
Εικόνα 4.3 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας προσομοίωσης.....	44
Εικόνα 4.4 - Σύγκριση μέσου όρου παραγωγής κατανάλωσης ανά εποχή.....	45
Εικόνα 4.5 - Ανάπτυξη δικτύου raspberry pies.....	47
Εικόνα 4.6 - Ενεργειακή κατανάλωση σε gr1 που συμμετείχαν στην αγορά.....	47
Εικόνα 4.7 - Προσομοίωση δικτύωσης κέντρου διανομής και blockchain.....	48
Εικόνα 4.8 - P2P ενεργειακό δίκτυο μεταξύ νοικοκυριών με μηχανισμό διπλο - εκλογής.....	50
Εικόνα 4.9 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας συναλλαγής ενέργειας.....	51
Εικόνα 4.10 - Διαδικασία ταιριάσματος προσφορών αγοραστή-πωλητή.....	53
Εικόνα 4.11 - Σχέδιο δικτύων και υποδικτύων τους για ηλεκτρικό ρεύμα και θέρμανση.....	56
Εικόνα 4.12 - Διαδικασία περιόδου συναλλαγής ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.....	57
Εικόνα 4.13 - Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και νερού σε χειμερινούς μήνες.....	58
Εικόνα 4.14 - Διαδικασία προσθήκης νέου block με τον αλγόριθμο Proof of Authority.....	61
Εικόνα 4.15 - Διαδικασία αγοράς και απευθείας χρήσης POWR tokens.....	64
Εικόνα 4.16 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας Exergy.....	67
Εικόνα 4.17 - Περίπτωση χρήσης πλατφόρμας.....	67
Εικόνα 4.18 - Περίπτωση χρήσης Pylon Network.....	68

Εικόνα 4.19 - Αρχιτεκτονική Pylon Network.....	69
Εικόνα 4.20 - Parity Platform Logo.....	71
Εικόνα 6.1 – Σύγκριση χαρακτηριστικών DLT based Αγορών Ενέργειας.....	74



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να αναλύσει τις διάφορες προσεγγίσεις που υλοποιούν την τεχνολογία των Distributed Ledger, όπως το blockchain, για τη δημιουργία μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας. Μία τέτοια αγορά ενέργειας χρειάζεται ένα ανάλογο ψηφιακό νόμισμα συναλλαγής. Για αυτό θα πραγματοποιηθεί, η ανάλογη έρευνα των ενεργειακών απαιτήσεων γνωστών κρυπτονομισμάτων και των λειτουργιών τους, για την δημιουργία ενός δικτύου που θα επιτρέπει την ασφαλή και αμφίδρομη συναλλαγή ενέργειας, μεταξύ των συμμετεχόντων κόμβων του.

## 1.2 Δομή Εργασίας

Αρχικά και όσον αφορά την δομή της εργασίας, γίνεται εισαγωγή στο κρυπτονόμισμα Bitcoin με την αντίστοιχη ιστορική αναδρομή. Επιπλέον, περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του DLT blockchain και στις τρεις διαφορετικές κατηγορίες του. Θα περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας του Bitcoin και οι σημαντικές διαφορές του με ένα νέο ανερχόμενο κρυπτονόμισμα που ονομάζεται Ethereum. Στόχος είναι η σύγκριση των αλγορίθμων που υλοποιούν και κατά κύριο λόγο οι ενεργειακές διαφορές και απαιτήσεις του καθενός.

Ακολούθως, θα γίνει μια εκτενέστερη περιγραφή στους αλγορίθμους εξόρυξης των δύο αυτών κρυπτονομισμάτων και στις νέες προοπτικές για βελτιώσεις που εμφανίζονται ανά χρόνια από εταιρείες. Σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση των αλγορίθμων, θα επισημανθούν τα ποσοστά ενέργειας που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους.

Σημαντική προσθήκη, αποτελούν γνωστές εταιρείες που πρωτοπόρησαν και επένδυσαν στην εξόρυξη των νομισμάτων. Θα γίνει αναφορά στο πλάνο που ακολούθησαν και πως με το έργο τους άλλαξαν την αγορά ενέργειας. Επιπρόσθετα, θα αναλυθούν οι προοπτικές υλοποίησης των DLT blockchain, στον ενεργειακό κλάδο, όπου συμπεριλαμβάνονται προτάσεις και τεχνικές από άρθρα που έχουν αναρτηθεί τα τελευταία χρόνια και τείνουν προς την εξέλιξη της αγοράς ενέργειας.

Θα γίνει αναφορά της κατάστασης που βρίσκεται η Ελλάδα και γενικότερα η Ευρώπη, στον τομέα των DLT, κρυπτονομισμάτων αλλά και ενεργειακού εμπορίου. Συγκεκριμένα θα επισημανθεί το νομικό πλαίσιο που προβλέπεται στις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης, για τις τεχνολογίες αυτές και η προσπάθεια μιας νέας καινοτόμας ελληνικής προσέγγισης.

### 1.3 Εισαγωγή στο Bitcoin

Με την πάροδο του χρόνου, ολοένα και περισσότερες τεχνολογίες κρυπτογράφησης δημιουργούνται και δοκιμάζονται. Αίτια της ανάγκης αυτής αποτελούν η έκδοση ψηφιακού χρήματος, η διασφάλιση των δεδομένων και των συναλλαγών. Μία από αυτές τις τεχνολογίες έχουν βάση τα blockchain δίκτυα τα οποία δημιουργήθηκαν από τον Satoshi Nakamoto το 2008, για την εξυπηρέτηση ασφαλών συναλλαγών στο κρυπτονόμισμα Bitcoin. Είναι σχεδιασμένα με περίπλοκους κανόνες και προσφέρουν την δυνατότητα έμπιστων, αξιόπιστων και ανωνύμων συναλλαγών, μέσω καταναμημένων μη κεντροποιημένων κόμβων στο διαδίκτυο.

Το Bitcoin λοιπόν, είναι μια συλλογή τεχνολογιών και εννοιών που σχηματίζουν ένα οικοσύστημα ψηφιακών χρημάτων. Οι μονάδες Bitcoin, αφορούν το εικονικό νόμισμα που χρησιμοποιείται για τις συναλλαγές στο δίκτυο των συμμετεχόντων. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία τους βασίζεται στο διαδίκτυο και μπορεί να τρέξει ακόμη και σε φορητούς υπολογιστές και σε κινητά, καθιστώντας την τεχνολογία προσβάσιμη.

Μέσω του δικτύου, οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν όλες τις συναλλαγές που θα έκαναν και με τα υλικά νομίσματα, όπως αγορά και πώληση. Συγκεκριμένα το Bitcoin έχει ταυτόχρονα και τις ιδιότητες ενός αγαθού, το οποίο μπορεί να πωληθεί και να ανταλλαχθεί. Σύμφωνα με τους παραπάνω λόγους, η εφευρέσή του, αποτελεί την κατά μία έννοια, καλύτερη μορφή χρήματος.

Εφόσον το Bitcoin είναι άυλο νόμισμα, με κάθε συναλλαγή οι χρήστες ανταλλάσσουν μια αξία. Κάθε χρήστης κατέχει ένα κλειδί το οποίο ανοίγει την αξία και αναλόγως μεταφέρεται η όχι σε νέο παραλήπτη. Τέτοια κλειδιά συνήθως αποθηκεύονται στο ψηφιακό πορτοφόλι του κάθε λογαριασμού. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει απόλυτος έλεγχος των συναλλαγών λόγω της ύπαρξης των κλειδιών αυτών.

Με βάση την blockchain τεχνολογία, το Bitcoin αποτελεί ένα peer-to-peer(κόμβος σε κόμβο δίκτυο επικοινωνίας) σύστημα υπολογιστών όπου μοιράζονται ισοδύναμα τους πόρους τους. Δεν υπάρχει κάποιο κέντρο ελέγχου ή διακομιστής καθώς το νόμισμα δημιουργείται μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται εξόρυξη ή mining. Η διαδικασία αυτή αποτελεί έναν ανταγωνισμό που δημιουργείται, για την επίλυση ενός μαθηματικού προβλήματος ανά συναλλαγή. Κάθε χρήστης στο δίκτυο, μπορεί να αποτελέσει έναν εξορύκτη ή miner, αν το επιθυμεί, χρησιμοποιώντας την επεξεργαστική ισχύ του υπολογιστή του, για την επεξεργασία των συναλλαγών. Έτσι, λόγω της αποκεντροποίησης αυτής, η παρούσα τεχνολογία, τίθεται σε παγκόσμιο ανταγωνισμό με τις υπάρχουσες τράπεζες.

Το πρωτόκολλο του Bitcoin, περιέχει αλγορίθμους που ρυθμίζουν την λειτουργία της εξόρυξης. Στους εξορύκτες γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις έτσι ώστε ανά αποστολή να χρειάζονται περίπου 10 λεπτά για να την φέρουν εις πέρας ανεξάρτητα το πλήθος των επεξεργαστών που χρησιμοποιούνται εκείνη τη στιγμή. Επιπλέον το πρωτόκολλο μειώνει τον ρυθμό παραγωγής Bitcoin στο μισό ανά τέσσερα χρόνια και

θέτει ως μέγιστο αριθμό νομισμάτων που θα παραχθούν στα 21 εκατομμύρια μέχρι το έτος 2140.

Μία από τις βασικές ιδιαιτερότητες της εξόρυξης, είναι η κατανάλωση ενέργειας που προϋποθέτει. Υπολογίζεται πως η παρούσα ετήσια κατανάλωση ρεύματος για την παραγωγή Bitcoin είναι 44.71 TWh (terawatt hours). Οι TWh αντιστοιχούν σε περίπου ίδιο κόστος παραγωγής και συνολικών εσόδων καθιστώντας την εξόρυξη μία πολύπλοκη επένδυση.

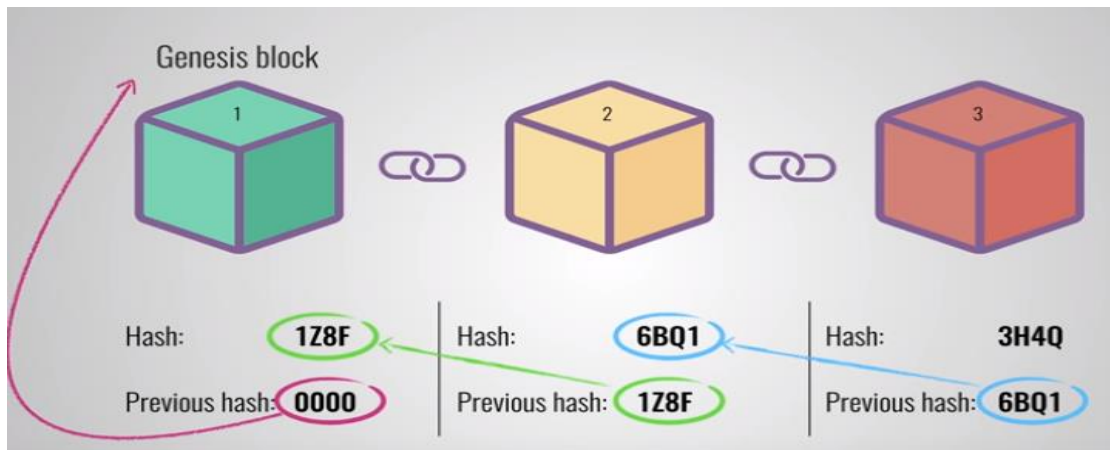
## 1.4 Εισαγωγή στο blockchain

Τα blockchain δίκτυα, είναι ο τρόπος που λειτουργούν με ασφάλεια και ανωνυμία οι συναλλαγές των κρυπτονομισμάτων. Χρειάζεται όμως να περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας τους.

Όπως και το όνομα, blockchain, είναι μια αλυσίδα από blocks [\[1\]](#). Όταν κάποια δεδομένα καταγράφονται μέσα σε ένα block είναι δύσκολο να τροποποιηθούν. Κάθε block περιέχει δεδομένα, το hash τους και το hash του προηγούμενου block.

Το hash, είναι ο επανειλημμένος κατακερματισμός της κεφαλίδας ενός block. Είναι σαν δακτυλικό αποτύπωμα το οποίο πάντα τακτοποιεί κάτι. Όταν ένα block δημιουργείται, το ίδιο γίνεται και με ένα hash. Ακόμη και αν κάτι μέσα στο block αλλάξει, το ίδιο γίνεται με το hash που το συνοδεύει. Τα δεδομένα που βρίσκονται μέσα σε κάθε block, εξαρτώνται από το είδος του Blockchain. Για παράδειγμα, ένα Bitcoin block έχει δεδομένα για τη συναλλαγή δύο ή περισσότερων οντοτήτων, το ποσό των χρημάτων, τη διεύθυνση και την ώρα συναλλαγής.

Κάθε block δείχνει στο hash του προηγούμενου του, με εξαίρεση το πρώτο block της αλυσίδας, το οποίο ονομάζεται genesis block(Εικόνα 1.1). Στην περίπτωση που ένα hash αλλάξει, τότε αυτόματα οι πληροφορίες των υπολοίπων blocks γίνονται μη έγκυρες. Παρ' όλα αυτά, οι υπολογιστές έχουν την δυνατότητα να υπολογίσουν ξανά το καινούριο hash και να ενημερώσουν την αλυσίδα για την αλλαγή, μέσω του αλγορίθμου Απόδειξης εργασίας ή Proof of Work. Αυτό υλοποιείται μέσω του κατακερματισμού κεφαλίδας και ενός τυχαίου αριθμού μέχρι να βρεθεί η λύση που ταιριάζει σε ένα προκαθορισμένο πρότυπο. Έτσι, και στην περίπτωση του Bitcoin χρειάζεται περίπου 10 λεπτά για να γίνουν οι υπολογισμοί του παραπάνω αλγορίθμου και εν τέλη να προστεθεί ένα νέο block στην αλυσίδα. Έτσι η ασφάλεια του blockchain προέρχεται από την δημιουργική χρήση του hashing και του Proof-of-Work μηχανισμού.



Εικόνα 1.1 - Διαδικασία αλλαγής hashes ανά block [35]

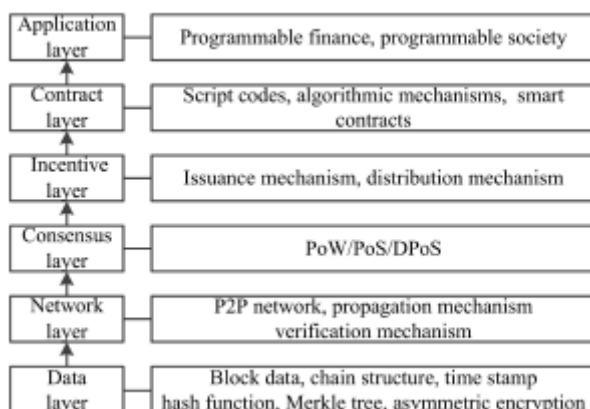
Ένας επιπλέον τρόπος στην ασφάλειά τους είναι αυτός που διανέμονται. Αντί να χρησιμοποιούν ένα κεντρικό διακομιστή, για την οργάνωση της αλυσίδας, το blockchain χρησιμοποιεί ένα peer-to-peer δίκτυο όπου όποιος εισέρχεται έχει πλήρες αντίγραφο του blockchain. Στην περίπτωση που ένα νέο block δημιουργείται, θα αποσταλεί σε όλους τους συμμετέχοντες στο δίκτυο. Στη συνέχεια κάθε κόμβος στο δίκτυο πιστοποιεί την ποιότητα του block, για την αποφυγή τυχόν αλλοίωσης των περιεχομένων του. Έτσι, αν το block επικυρωθεί από όλους τους κόμβους τοποθετείται στο αντίστοιχο υπάρχον blockchain.

Γίνεται κατανοητό πως για να πιστοποιηθεί ένα αλλοιωμένο block, από ένα δίκτυο, θα πρέπει να είναι αλλοιωμένα εξ' αρχής όλα τα block στις αλυσίδες και να έχει γίνει η διαδικασία της εξόρυξης επανειλημμένα. Επιπλέον, θα ισχύει ότι κάποια οντότητα ελέγχει περισσότερο από το 50% του peer-to-peer δικτύου κάτι σχεδόν αδύνατο να συμβεί. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των blockchain δικτύων είναι κατακόρυφη τόσο εσωτερικά (smart contracts ή έξυπνα συμβόλαια) όσο και με την υλοποίησή τους όπως στον κλάδο της ενέργειας και πολλών άλλων.

### 1.4.1 Τεχνολογική αρχιτεκτονική του Blockchain

Η αρχιτεκτονική του blockchain, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.2, αποτελείται από το επίπεδο δεδομένων ή data layer, το επίπεδο δικτύου ή network layer, το επίπεδο συγκατάθεσης ή consensus layer, επίπεδο κινήτρου (στου εξορύκτες), το επίπεδο συμβολαίου ή contract layer, και το επίπεδο εφαρμογών ή application layer [13]. Το επίπεδο δεδομένων διαθέτει τις πληροφορίες του κάθε block όπως τη χρονοσφραγίδα του και αποθηκεύει όλα τα δεδομένα συναλλαγών στο blockchain. Το επίπεδο δικτύου, διαθέτει την τεχνολογία επικοινωνίας (peer-to-peer ή point to point δίκτυο) και μηχανισμούς αυθεντικοποίησης και διάδοσης πληροφοριών. Το επίπεδο συγκατάθεσης διαθέτει τους ανάλογους μηχανισμούς - αλγορίθμους που εξυπηρετούν στο σύστημα επιτρέποντας στους κόμβους να έρθουν σε συμφωνία για την ποιότητα ενός block, σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα. Το επίπεδο κινήτρου, συμπεριλαμβάνει οικονομικούς παράγοντες στην τεχνολογία του blockchain, και διαθέτει μηχανισμούς κατανομής οικονομικών τέτοιων κινήτρων. Με τον όρο κίνητρο, εννοείται η ισοτιμία

που ορίζεται στις ανταμοιβές ανά συναλλαγή, που κινούν το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων στο δίκτυο. Τέλος, το επίπεδο συμβολαίων, διαθέτει διάφορα scripts, αλγορίθμους και έξυπνα συμβόλαια.



Εικόνα 1.2 - Η τεχνολογική αρχιτεκτονική του blockchain [13]

## 1.4.2 Κατηγορίες Blockchain

Εφόσον έχει γίνει μια εισαγωγή στον τρόπο που ένα blockchain δίκτυο λειτουργεί, θα ακολουθήσει η αναφορά στους τρεις διαφορετικούς τρόπους χρήσης του. Καθένας, απευθύνεται στο αντίστοιχο κοινό και όπως ένα εργαλείο, χρησιμοποιείται ανάλογα το έργο προς υλοποίηση.

Έπειτα από την ανάρτηση του ‘Bitcoin White Paper’ , οποιοσδήποτε μπορούσε να ανακτήσει και να χρησιμοποιήσει τον κώδικα του Bitcoin blockchain και να τροποποιήσει το δίκτυο με τους δικούς του κανόνες. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν νέοι τύποι κρυπτονομισμάτων με πολλούς να υλοποιούν παρόμοια δίκτυα σε άλλους κλάδους.

Έτσι, προέκυψε και η ιδέα διαφορετικών τύπων blockchain δικτύων. Ένα από τα κυριότερα παραδείγματα, με σημαντικές βελτιώσεις στο Bitcoin δίκτυο, είναι το κρυπτονομίσμα Ethereum, με την δημιουργία των έξυπνων συμβολαίων ή smart contracts.

### **Ιδιωτικό Blockchain**

Ολοένα και περισσότεροι ιδιωτικοί οργανισμοί, κατανόησαν την δυνατότητα δημιουργίας ενός ασφαλούς ιδιωτικού δικτύου, με μέλη - χρήστες που θα κατέχουν συγκεκριμένες άδειες και θα κινούνται με τους κανόνες που έχουν οριστεί από τους επικεφαλής. Η κατηγορία τέτοιων δικτύων ονομάζεται ‘Ιδιωτικά blockchain δίκτυα’ το οποίο έχει τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών τραπεζών. Μερικά παραδείγματα δημιουργίας ιδιωτικών blockchain δικτύων είναι το Monax και Multichain.

Στα ιδιωτικά blockchain δίκτυα, ο επικεφαλής είναι μία μοναδική οντότητα ή εταιρεία, που μπορεί να τροποποιήσει το δίκτυο όπως επιθυμεί. Επομένως, δεν ισχύει η αποκεντροποίηση που προσφέρει ένα τέτοιο δίκτυο, παρομοιάζοντάς το, με μια

βάση δεδομένων, με κρυπτογραφία για την ασφάλειά της. Ωστόσο, είναι γρήγορο και οικονομικό, σε σχέση με τις ενεργειακές απαιτήσεις άλλων τύπων δικτύων( όπως το δημόσιο blockchain), διότι δεν χρειάζεται πολύς χρόνος και ενέργεια για να πραγματοποιηθεί μία συναίνεση. Παρόλα αυτά, παραμένει ένα δίκτυο το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί ως προς το συμφέρον των ομάδων που το ελέγχουν, καθιστώντας το λιγότερο ασφαλές.

### **Δημόσιο Blockchain**

Τα δημόσια blockchain, βασίζονται σε διάφορους αλγορίθμους λήψης αποφάσεων υπό αποκεντροποιημένων συναίνεσεων και είναι ανοιχτού κώδικα δίχως δικαιώματα και επικεφαλείς. Χαρακτηριστικά τους αποτελούν, η ασφάλεια ως προς την αλλοίωση των δεδομένων τους και τα τεράστια ποσά ενέργειας, χρόνου και χρημάτων που απαιτούνται, λόγω της διαδικασίας εξόρυξης. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων σε δημόσια δίκτυα είναι οι Proof-of-Work και Proof-of-Stake σε Bitcoin και Ethereum αντίστοιχα.

Ο καθένας μπορεί να κατεβάσει τον κώδικα και να ξεκινήσει έναν δημόσιο κόμβο, στην τοπική συσκευή του και να πιστοποιήσει συναλλαγές στο δίκτυο. Με άλλα λόγια, όλοι μπορούν να πραγματοποιήσουν συναλλαγές στο δίκτυο και να αναμένουν την εμφάνισή τους στο blockchain, αν είναι έγκυρες. Υπάρχει ο ανάλογος δημόσιος περιηγητής όπου οι συναλλαγές αυτές εμφανίζονται με διαφάνεια και ανωνυμία.

### **Blockchain σε κοινοπραξία**

Τα blockchain σε κοινοπραξία ή Federated blockchains λειτουργούν υπό την ηγεσία μιας ομάδας. Είναι μια παραλλαγή των ιδιωτικών blockchain δικτύων καθώς απαλλάσσεται σαν κατηγορία από την ηγεσία του ενός. Συγκεκριμένα, είναι ένα σύνολο εταιριών ή εκπροσώπων τους που λαμβάνουν αποφάσεις προς το συμφέρον όλων στο δίκτυο.

Στην κατηγορία αυτή, δεν επιτρέπεται σε κάθε χρήστη να εισέλθει στο διαδίκτυο και να πραγματοποιήσει μία συναλλαγή. Χρησιμοποιούνται περισσότερο στον τραπεζικό κλάδο και παρέχουν ταχύτητα, δίνοντας μεγάλη σημασία στην ιδιωτικότητα των συναλλαγών. Η διαδικασία συναίνεσης όπως αναφέρθηκε, γίνεται από μία ορισμένη ομάδα κόμβων. Για να γίνει ένα block δεκτό στο δίκτυο θα πρέπει τουλάχιστον (π.χ.) 10 στους 15 κόμβους να το επικυρώσουν. Το δικαίωμα ανάγνωσης του blockchain μπορεί να είναι δημοσίως εφικτό ή και περιορισμένο στους συμμετέχοντες, έπειτα από την τροποποίηση των κανόνων του δικτύου. Μερικά παραδείγματα υλοποίησης τέτοιων δικτύων είναι οι R3(τράπεζες), EWF(ενέργεια), B3i(Ασφάλιση).

<b>Items</b>	<b>Public</b>	<b>Private</b>	<b>Consortium</b>
Openness	completely open	open to individual or entity	open to specific organizations or groups

Write access	anybody	completely internal control	specified multiple nodes
Read access	anybody	open to the public or to be restricted by any degree	anybody
Anonymity	high	low	low
Transaction speed	slow	extremely fast	fast
Decentralization	fully distributed	partial decentralization	partial decentralization

Εικόνα 1.3 - Σύγκριση κατηγοριών του blockchain [13]

## 1.5 Ιστορική αναδρομή

Το Bitcoin δημιουργήθηκε το 2008 με την δημοσίευση ενός άρθρου από τον Satoshi Nakamoto. Η εφεύρεση, είχε βάση προηγούμενες όπως b-money και HashCash. Η κύρια καινοτομία του νέου κρυπτονομίσματος ήταν η χρησιμοποίηση ενός κατακευματισμένου υπολογιστικού συστήματος που ονομάζεται αλγόριθμος απόδειξης εργασίας ή Proof-of-Work κατά τον οποίο, διεξάγεται μία παγκόσμια εκλογική ανταγωνιστική διαδικασία κάθε δέκα λεπτά. Έτσι το κατακευματισμένο δίκτυο καταλήγει σε συναίνεση ή consensus σχετικά με την κατάσταση των συναλλαγών.

Το 2009 ξεκίνησε η επίσημα το δίκτυο Bitcoin με βάση την αναφορά υλοποίησης ή reference implementation που δημοσιεύθηκε από τον Satoshi Nakamoto και εν συνεχεία αναθεωρήθηκε από πολλούς προγραμματιστές.

Φαίνεται επιπλέον, πως η υπολογιστική ισχύς που χρειάζεται για την παροχή ασφάλειας και ανθεκτικότητας σε ένα δίκτυο Bitcoin, έχει αυξηθεί εκθετικά με τα χρόνια. Αυτή τη στιγμή, η συνολική αξία της αγοράς του Bitcoin εκτιμάται μεταξύ 5 και 10 δισεκατομμύρια δολάρια στις ΗΠΑ ανάλογα την ισοτιμία των νομισμάτων. Μέχρι και σήμερα η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη συναλλαγή που έχει επιτευχθεί ήταν 150 εκατομμύρια δολάρια άμεσα διαβιβασμένη χωρίς χρεώσεις, όπως προβλέπεται και από την φιλοσοφία του δικτύου.

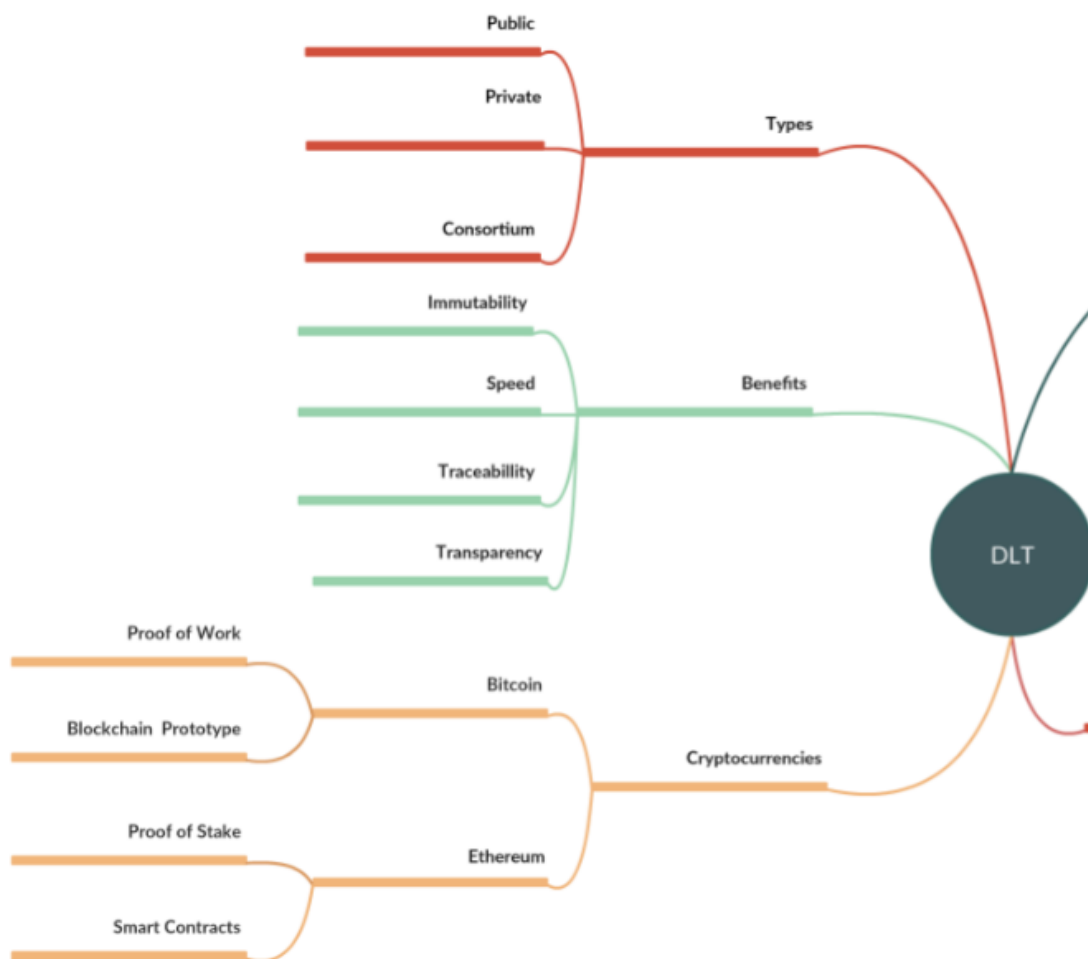
Ο Satoshi Nakamoto αποσύρθηκε από το κοινό τον Απρίλιο του 2011, αφήνοντας τα δικαιώματα ανάπτυξης του κώδικα και του δικτύου Bitcoin σε μια πολλά υποσχόμενη ομάδα εθελοντών. Η ταυτότητα του ή των ανθρώπων που βρίσκονται υπεύθυνοι για το Bitcoin παραμένει άγνωστη, δίχως κάποιος να ασκεί έλεγχο σε αυτό. Η εφεύρεση ως πρωτοποριακή στον τομέα, γεννά νέα πεδία γνώσης στην επιστήμη των κατακευματισμένων συστημάτων αλλά και στον τομέα της ενέργειας.

Με την αφορμή αυτή, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επεξεργαστών. Επιπλέον γίνονται συνεχώς προτάσεις για την υλοποίηση των blockchain δικτύων στο τομέα

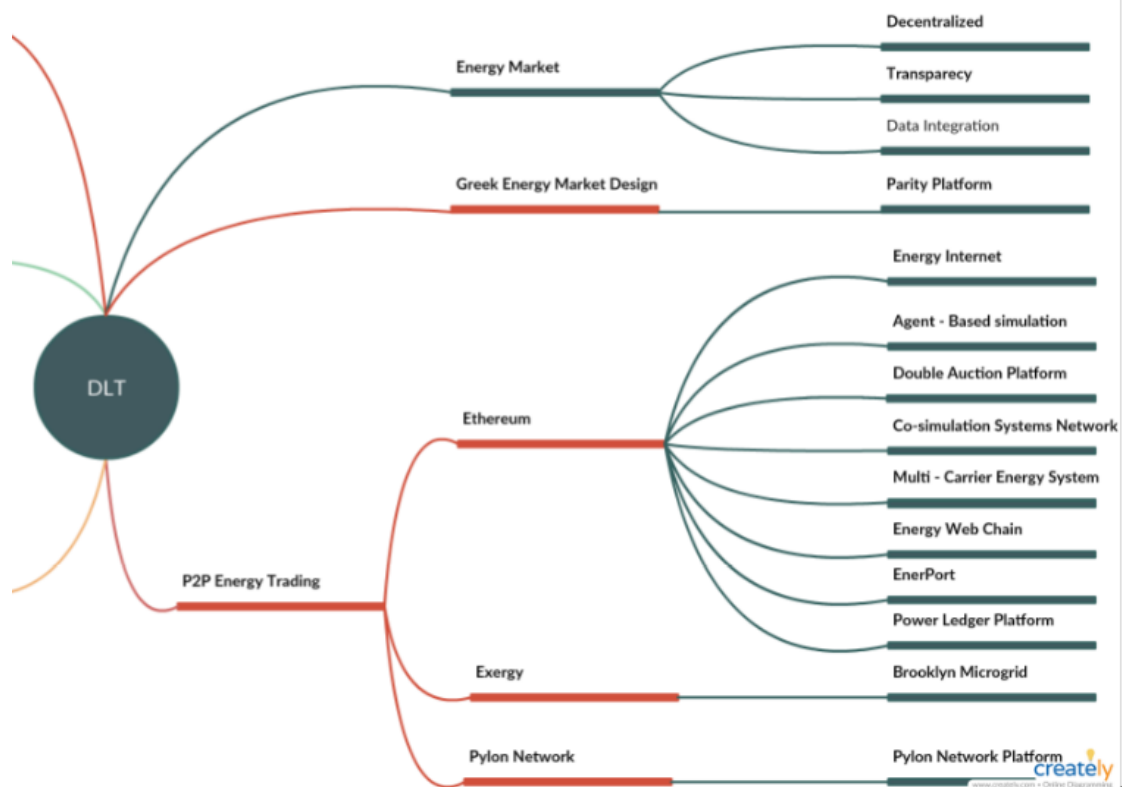
της ενέργειας για την αγορά, πώληση και γενικότερα διανομή ρεύματος από όλους προς όλους.

## 1.6 Προσεγγίσεις και Τεχνολογίες

Σύμφωνα με την δομή της εργασίας, δημιουργήθηκε όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.4, το κατάλληλο διάγραμμα. Σκοπός του διαγράμματος είναι η αναπαράσταση των παραγόντων, των DLT, που συμβάλλουν στη δημιουργία μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας. Τέτοιοι παράγοντες αποτελούν οι κατηγορίες τους Public, Private και Consortium blockchains, όπως και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία τους σε ένα δίκτυο (Benefits).







Εικόνα 1.4 - Αναπαράσταση περιβάλλοντος DLT με βάση τις ενότητες της εργασίας και σημαντικών

Επιπλέον, αναπαρίσταται η σχέση των κρυπτονομισμάτων των Bitcoin και Ethereum με τους αντίστοιχους αλγορίθμους που υλοποιούν τα δίκτυά τους, όπως και οι ιδιαίτερες λειτουργίες του Ethereum που είναι τα smart contracts.

Πλέον, ολοένα και περισσότερες εταιρείες δημιουργούν νέες προσεγγίσεις των DLTs, καθεμία με τις δικές της παραμετροποιήσεις στην διαχείριση της αγοράς που σχεδιάζει. Τα DLT για P2P ενεργειακές συναλλαγές, με τις επιμέρους προσεγγίσεις - Projects τους, που θα αναλυθούν εκτενέστερα εν συνεχεία είναι:

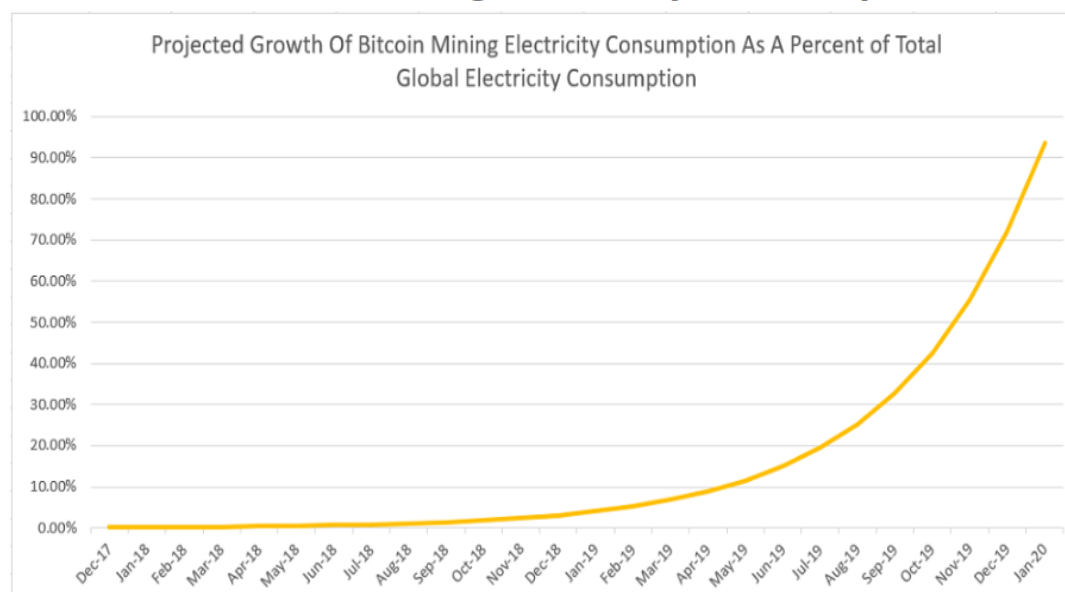
- Ethereum
  - Energy Internet
  - Agent - Based Platform
  - Double Auction Platform
  - Co-simulation Systems Network
  - Multi-Carrier Energy System
  - Energy Web Chain
  - EnerPort
  - Power Ledger Platform
- Exergy
  - Brooklyn Microgrid
- Pylon Network
  - Pylon Network Platform

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Κρυπτονομίσματα και Ενεργειακές Απαιτήσεις

### 2.1 Bitcoin και ενέργεια

Η εξόρυξη του Bitcoin αποτελεί μια πολυδάπανη διαδικασία [5] και χάρη την ραγδαία εξέλιξή του ίσως, να καταναλώνει ενέργεια ίση με την συνολική παγκόσμια κατανάλωση μέχρι τον Φεβρουάριο του 2020.

#### Growth of Bitcoin Mining Electricity Consumption



Εικόνα 2.1 - Χρονική καμπύλη ενεργειακής κατανάλωσης του Bitcoin [5]

Η κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin βρίσκεται στο 0,19% των παγκόσμιων ηλεκτρικών δαπανών και αυξάνεται συνεχώς. Σύμφωνα με το Bitcoin energy consumption index υπολογίζεται πως η κατανάλωση έχει αυξηθεί τον τελευταίο μήνα κατά 29.98% . Στην περίπτωση που ο ρυθμός κατανάλωσης συνεχίσει να αυξάνεται και δεν βρεθούν διαφορετικές τεχνικές παραγωγής ενέργειας τότε η εξόρυξη Bitcoin θα:

- Είναι μεγαλύτερη από τη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος των ΗΠΑ από τον Ιούλιο του 2019 ( 3.913 TWh )
- Καταναλώνει ενέργεια ίση με τη παγκόσμια δαπάνη ενέργειας μέχρι τις αρχές του 2020 ( 21.776 TWh )

### 2.1.1 Αλγόριθμος απόδειξης εργασίας

Ο αλγόριθμος απόδειξης εργασίας ή Proof of Work, είναι δεδομένα, τα οποία κοστίζουν και χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να παραχθούν, αλλά εύκολο προς το κοινό για να τα επαληθεύσει. Ο μηχανισμός αυτός είναι τόσο δαπανηρός που καταναλώνει ποσά ηλεκτρικού ρεύματος, με τη δυνατότητα τροφοδότησης μιας ολόκληρης χώρας, όπως η Ελβετία, για ένα χρόνο. Η τρέχουσα εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του Bitcoin είναι 61.4 TWh, η οποία ισοδυναμεί επίσης με 1,5% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

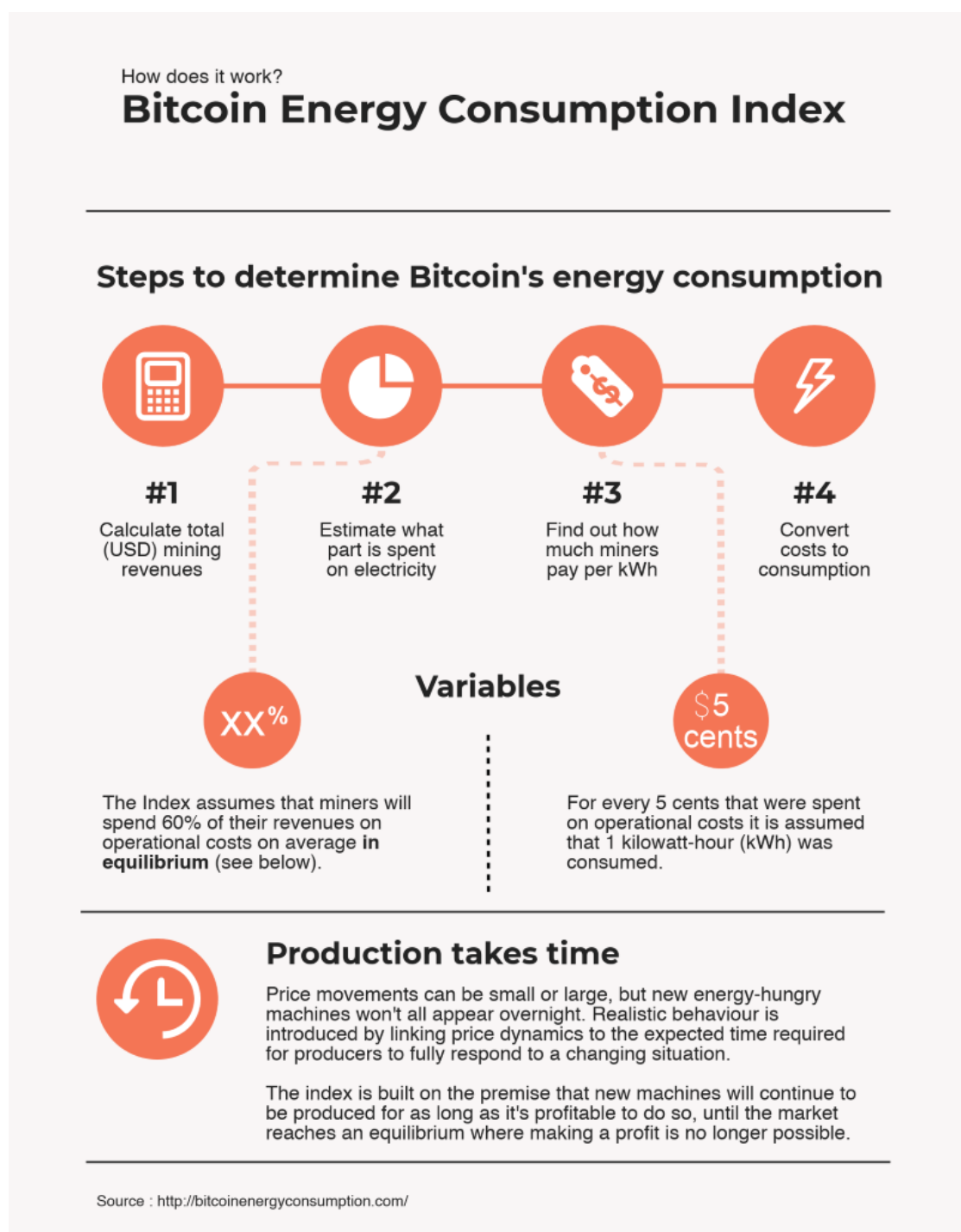
Το Bitcoin blockchain δίκτυο εκτελείται από τους συμμετέχοντες εξορύκτες. Η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας μέχρι και το τέλος του 2018 μπορεί να ανέλθει μέχρι και στα 7.7 GWh, σχεδόν μισό τοις εκατό της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Όμως όπως σε πολλές έρευνες είναι ξεκάθαρο, οι προσεγγίσεις παραμένουν θεωρητικές. Είναι γνωστό το ποσό υπολογιστικής ενέργειας που απαιτείται αυτή τη στιγμή για την λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου, με περίπου 40 εκατομμύρια τρισεκατομμύρια hashes το δευτερόλεπτο. Παρ' όλα αυτά οι εξορύκτες, πραγματοποιούν τους υπολογισμούς σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα με διαφορετικές ενεργειακές παροχές, συμπεραίνοντας πως δεν είναι δυνατό να αντιστοιχήσουμε αυτή τη μεταβλητή, με την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου.

Ο αλγόριθμος απόδειξης εργασίας καθιστά το Bitcoin ένα ασφαλές αποκεντρωμένο δίκτυο. Λόγω της ιδιότητάς του αυτής, κανείς δεν γνωρίζει πόση ενέργεια χρειάζεται ένα τέτοιο δίκτυο. Υπήρξαν ποικίλες προσπάθειες προσδιορισμού των ποσών ενέργειας, όμως δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη λόγω των αβέβαιων υποθέσεων και των μη ρεαλιστικών αποτελεσμάτων τους.

## 2.1.2 Προσέγγιση ενεργειακής κατανάλωσης του δικτύου Bitcoin

Με βάση τα δεδομένα [2] και τη μελέτη αντίστοιχης έρευνας, προτείνεται η παρακάτω πρόταση προσέγγισης [11] ενεργειακής κατανάλωσης του δικτύου. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν είναι εν έτη 2017.



Εικόνα 2.2 - Διαδικασία υπολογισμού ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin [2]

Κατά μέσο όρο, η κατανάλωση ενέργειας όλων των Bitcoin εξορυκτών σε δέκα λεπτά είναι:

$$E = \frac{0.6 (f+rp)}{k}$$

όπου:

E = Ο μέσος όρος κατανάλωσης ηλεκτρισμού κατά τη διαδικασία κατακερματισμού όλων των εξορυκτών, για την ανάθεση νέου block στο δίκτυο, σε kWh .

f = Σύνολο πληρωμών για όλες τις συναλλαγές σε δολάρια Η.Π.Α \$.

r = Ανταμοιβή εξορύκτη, που κέρδισε στην εύρεση ενός block, με βάση το νόμισμα (12.5 BTC )

p = Bitcoin μέση εκτιμώμενη τιμή συναλλαγής σε δολάρια Η.Π.Α. \$ / BTC .

k = Μέση τιμή για την αγορά kWh ( \$/kWh ). Έτσι, για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι τιμή ανά kWh είναι \$0.05/kWh η πρόταση προβλέπει: E = 12 kWh.

Η παρούσα πρόταση εξυπηρετεί στην απάντηση πολλών ερωτημάτων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας του Bitcoin δικτύου. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί με την αλληλουχία των μεταβλητών στην πρόταση, δίνοντας ένα παράδειγμα προς έλεγχο. Παρακάτω παρουσιάζεται η συμπεριφορά των μεταβλητών αυτών αν από 29.98% μηνιαίο ρυθμό αύξησης κατανάλωσης ενέργειας , ανέλθει στο 2225.5%:

k : Ίσως αυξηθεί εκθετικά με τον πληθωρισμό με αποτέλεσμα να μειωθεί ανάλογα και το E (αντιστρόφως ανάλογες τιμές) κάτι εξαιρετικά δύσκολο.

r : Δεν θα βοηθήσει το E να αυξηθεί στο ποσοστό που επιθυμούμε, σε καμία περίπτωση, καθώς αυξάνεται εκθετικά προς άλλη κατεύθυνση.

f : Ίσως αυξηθεί, αλλά και να γίνει εκθετικά και σε μεγάλους ρυθμούς, κάποια στιγμή θα σταθεί εμπόδιο στην ίδια του την πορεία. Έτσι και οι χρήστες θα στραφούν προς άλλα κρυπτονομίσματα για τις συναλλαγές τους και θα αρχίσει ανάλογα η μείωση του.

p : Έχει ολοένα και λιγότερη σημασία κατά καιρούς( λόγω της εκθετικής μείωσης του r που σήμερα βρίσκεται στα 12.5 BTC). Παρ' όλα αυτά, έχει μεγάλη σημασία καθώς βρισκόμαστε στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του Bitcoin. Έτσι στην περίπτωση που το p αυξηθεί εκθετικά σε μεγάλη τιμή μπορεί να επιτευχθεί το ποσοστό στόχος του ρυθμού αύξησης κατανάλωσης ενέργειας. Με άλλα λόγια ο παράγοντας p κινείται ανάλογα με τη ζήτηση. Αν λοιπόν, η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας, μέχρι το Φεβρουάριο του 2020 είναι 29.98%(k=0.15\$, r=12.5 BTC and f=\$9160.50) τότε η τιμή του Bitcoin σε 21,776,000,000 kWh = 21,776 TWh = E = 12 kWh (f+rp) ⇒p =

\$145.2m. Κάποια στιγμή όμως θα υπάρξει και μείωση του ποσού αυτού όπως και με το f. Η τιμή του δολαρίου για τα υπάρχοντα 18.16m Bitcoins(\$2.639 Trillion) θα εξαντλούσε κάθε διαθέσιμη προμήθεια. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε περισσότερο από 12 φορές μεγαλύτερη αξία από κάθε άλλη κτηματική(αξία) που έχει καταγραφεί

στον κόσμο. Το 'φούσκωμα' αυτό, στο παραπάνω σενάριο θα αύξανε την τιμή της kWh σημαντικά που σύμφωνα με την πρόταση που τίθεται, θα μείωνε την ενεργειακή κατανάλωση.

### Παράδειγμα

Υπολογισμός του μέσου όρου κατανάλωσης ενέργειας, για ένα block( ανά 10 λεπτά ), για το Bitcoin εν έτη 2018 αυτή τη φορά ( οι τιμές έχουν προστεθεί από [3][4][6] ):

Μέση τιμή p = \$3957

Ανταμοιβή ανά block, r = 12.5 BTC

Μέσος όρος συναλλαγών ανά block: 2020

Μέσος όρος χρέωσης συναλλαγής: \$0.445 USD  $\Rightarrow$ συνολικές χρεώσεις ανά block f = 2020 \* 0.445 = \$898.9 ( Από 9.160 το 2017)

Μέση τιμή kWh, k=\$0.12

E = 416.682 kWh

$\Rightarrow$ Ενεργειακή κατανάλωση ανά συναλλαγή = E/2020 = 206 kWh

$\Rightarrow$ Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος ανά μέση συναλλαγή = 206 kWh \* k = \$24.72

$\Rightarrow$ Συνολική ενεργειακή κατανάλωση του δικτύου Bitcoin για το έτος 2018: 42.57 TWh

Η παραπάνω πρόταση αποτελεί ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα κατανόησης της κύμανσης του Bitcoin στην αγορά. Παρατηρούνται οι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την κατάσταση του στον οικονομικό κλάδο. Τα στατιστικά βρίσκονται παντού στο διαδίκτυο όμως δύσκολα κατανοείται η αλληλουχία των παραγόντων που συμβάλλουν στην πορεία της οικονομίας του.

Επομένως, οι παράγοντες που επηρεάζουν την καμπύλη της ενεργειακής κατανάλωσης είναι:

f : Συνολικές χρεώσεις συναλλαγών, βασίζεται στην αγορά, αν η ζήτηση μειωθεί το ίδιο και το f .

r : Ανταμοιβή με βάση το νόμισμα. Μειώνεται εκθετικά( στο μισό κάθε 4 χρόνια ).

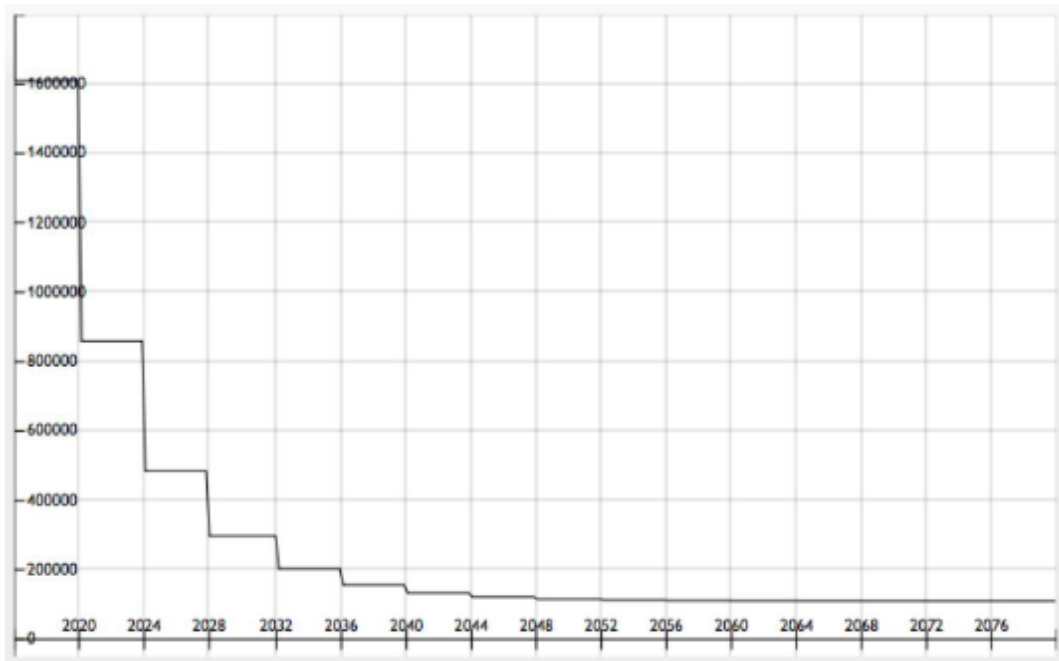
p : Όσο μεγαλύτερη η ισοτιμία, τότε τόσο μεγαλύτερη η κατανάλωση , στο μέλλον όμως δεν θα επηρεάζει τόσο την κατανάλωση λόγω του ότι πολλαπλασιάζεται με το r που μειώνεται συνεχώς.

k : θεωρείται σταθερό, όμως αν αυξηθεί τότε η κατανάλωση μειώνεται.

Έτσι αν για παράδειγμα η τιμή ( p ) του Bitcoin, με την παρούσα υπολογιστική ισχύ και πρωτοκόλλου, ήταν \$100.000, το έτος 2049 θα συντελούσε σε  $0.6 \cdot 0.0244140625 \cdot \$100.000 / 0.12\$ = 150$  MWh ανά block, όπου \$10.000 συντελούν σε  $0.6 \cdot 12.5 \cdot \$10.000 / 0.12 = 1500$  MWh σήμερα.

Τέλος, θα σημειωθεί η επιρροή της ανταμοιβής σε Bitcoin, η οποία μειώνεται ανά ορισμένα χρόνια και της αναλογίας της με την κατανάλωση ενέργειας. Η ζήτηση προς το νόμισμα και αναλόγως οι χρεώσεις και η ισοτιμία του δεν επηρεάζονται από την μείωση της ανταμοιβής στους εξορύκτες. Ουσιαστικά η αντίδραση, προέρχεται από τους εξορύκτες που παγώνουν τις ενέργειές τους, μέχρι οι εναπομείναντες έχουν κέρδος και πάλι. Συνδυαστικά η υπολογιστική ισχύς που διατίθεται από το δίκτυο μειώνεται και αντίστοιχα η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Άρα παρατηρείται μία αλλόκοτη αλλά πραγματική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου. Βεβαίως, αν η ζήτηση και η ισοτιμία αυξηθούν, το ίδιο θα συμβεί και με την κατανάλωση, όμως η ανταμοιβή  $r$ , όπως προκύπτει και από την πρόταση, λόγω της μείωσης της με τα χρόνια, επιβραδύνει την κατανάλωση. Συμπερασματικά, ο παράγοντας  $r$ , αξίζει να αποκαλείται ‘ισοσταθμιστής’ της όλης διαδικασίας.

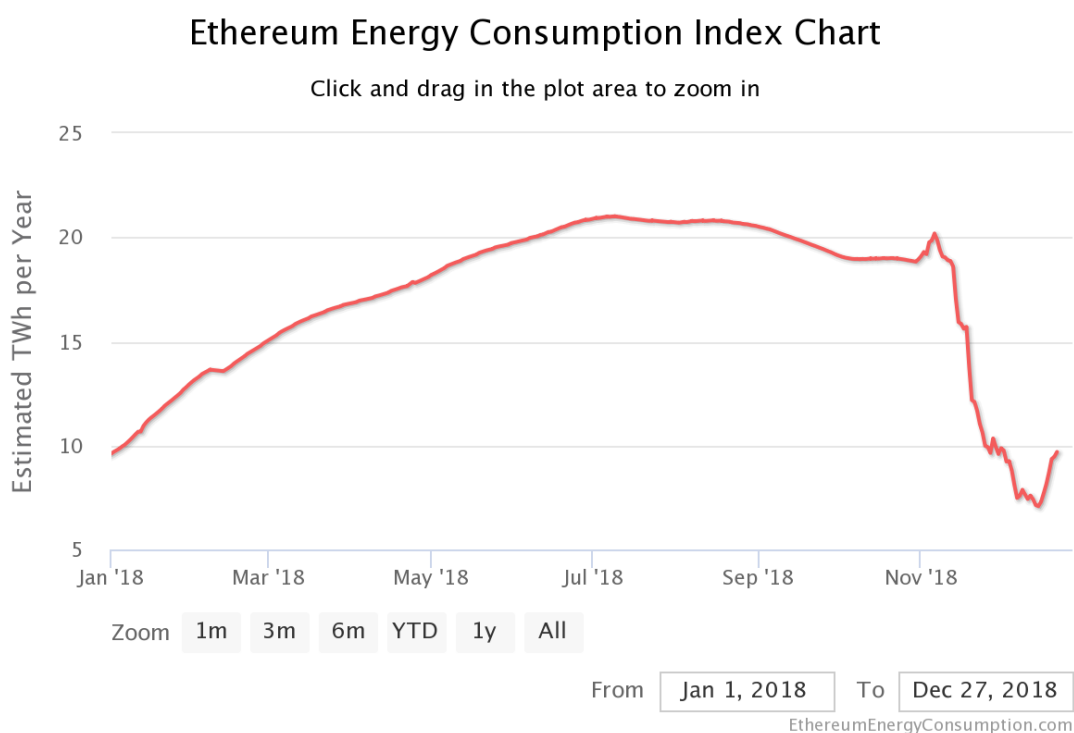
Όπως φαίνεται και από την πρόταση, η μείωση του  $r$ , αναλογεί σε μείωση του  $E$ . Στην Εικόνα 2.3, διακρίνεται πως η κατανάλωση ενέργειας ανά block, μειώνεται με τα χρόνια, έχοντας μόνο το  $r$  να μειώνεται ανά τέσσερα χρόνια και τις υπόλοιπες τιμές σταθερές [11].



Εικόνα 2.3 - Αναπαράσταση μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης με το πέρασμα των χρόνων[2]

## 2.2 Κρυπτονόμισμα Ethereum

Ένα νέο είδος, ανοιχτού κώδικα, blockchain τεχνολογίας αποτελεί το κρυπτονόμισμα Ethereum. Διατρέχει προσωρινά τον ίδιο αλγόριθμο απόδειξης εργασίας με το Bitcoin blockchain δίκτυο και έχει επενδύσει στην βελτίωση τους μέσω ενός νέου αλγορίθμου απόδειξης κατάθεσης εγγύησης ή Proof of Stake. Περιλαμβάνει έξυπνα συμβόλαια ή smart contracts, τα οποία είναι σαν νόμιμα συμβόλαια, μόνο που οι όροι αναγράφονται μέσω γλωσσών προγραμματισμού. Λόγω της αποκεντρωμένης τεχνολογίας του δικτύου, δεν απαιτείται κάποια τρίτη οντότητα για την επικύρωση ενός συμβολαίου. Μία από τις πιο σημαντικές αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου του σε σύγκριση με το Bitcoin blockchain δίκτυο. Παρακάτω, φαίνεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2018 [7].

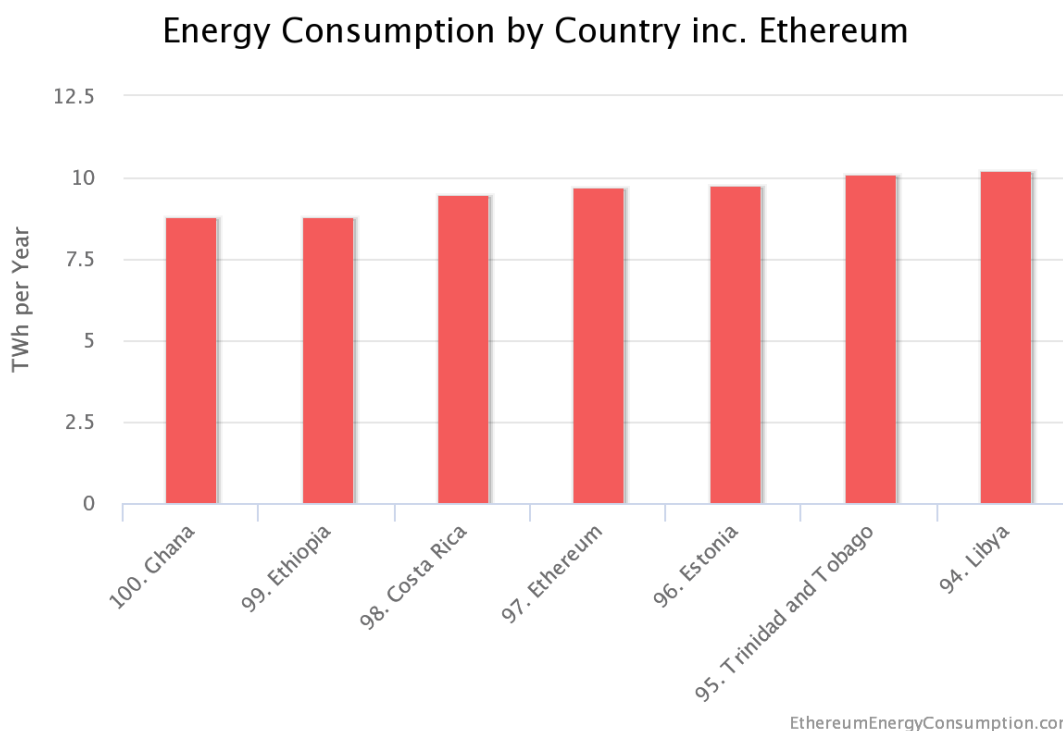


Εικόνα 2.4 - Ethereum ενεργειακή κατανάλωση ανά μήνα, έτους 2018 [7]

Μία σημαντική λεπτομέρεια για την εξόρυξη Ethereum, είναι πως η μέση εκτιμώμενη τιμή kWh για τους εξορύκτες Ethereum, βρίσκεται στα \$0.07 USD. Η τιμή είναι ελάχιστα προσαυξημένη σε σχέση με του Bitcoin, διότι το Ethereum τρέχει EthHash, ένα ASIC-resistant αλγόριθμο απόδειξης εργασίας. Τα ASICs ή Application specific Integrated circuits αποτέλεσαν την βάση για την ανάπτυξη της εξόρυξης του Bitcoin ενώ η εξόρυξη του Ethereum πραγματοποιείται μέσω των καρτών γραφικών που περιέχουν όλοι οι σταθεροί υπολογιστές ακόμη και κατ' οίκον.

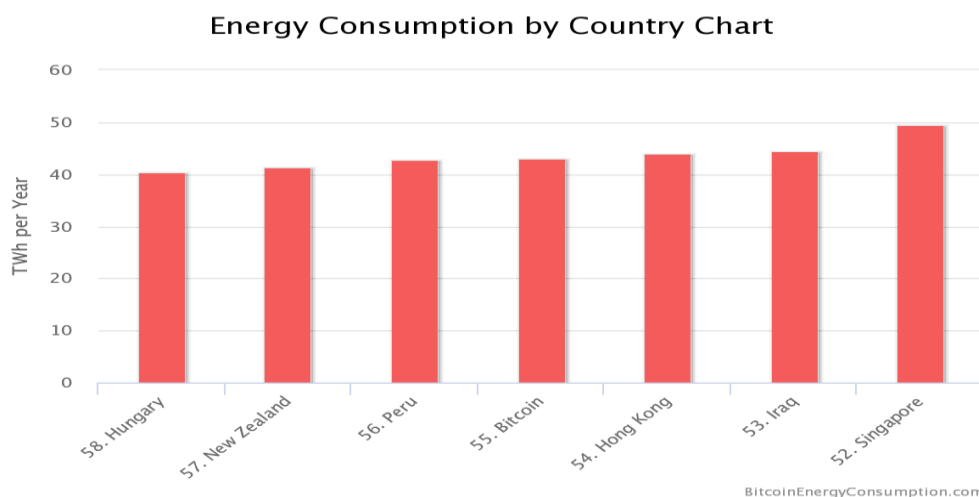


Η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανέρχεται στις 9.69 TWh, το οποίο βρίσκεται κοντά στα ποσοστά κατανάλωσης πολλών χωρών. Με την υπόθεση πως το Ethereum ήταν χώρα, θα βρισκόταν, στην θέση 97, στην παρακάτω σειρά κατάταξης:



Εικόνα 2.5 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Ethereum με άλλων χωρών [7]

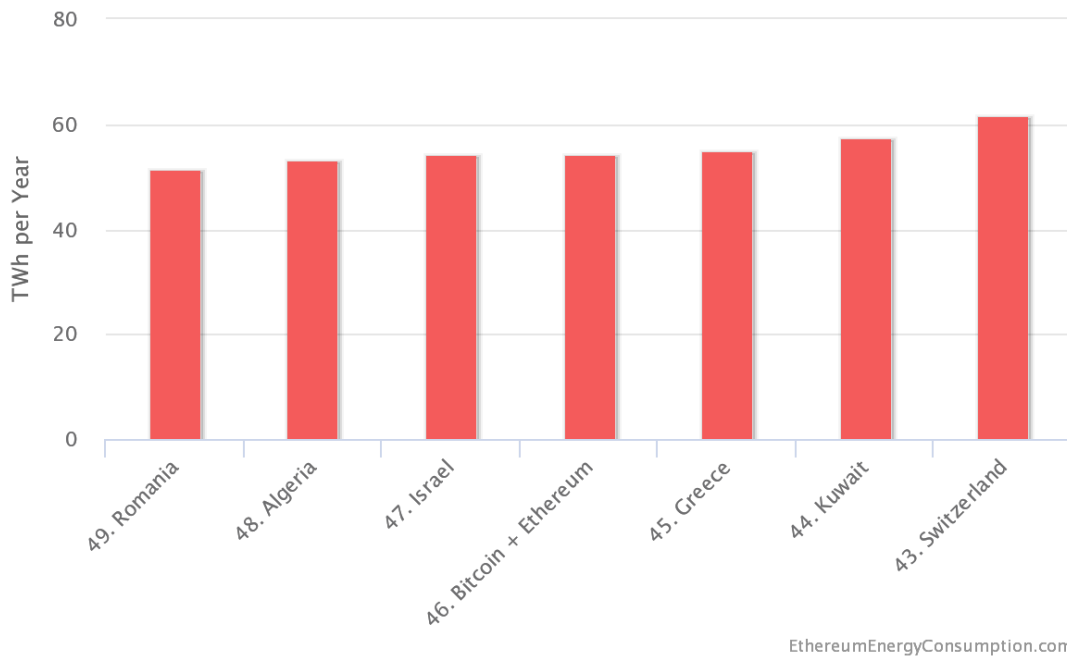
Το Bitcoin στην αντίστοιχη σύγκριση βρίσκεται στη θέση 55, ενεργειακής κατανάλωσης των 43 TWh , περίπου 5 φορές περισσότερη από του Ethereum.



Εικόνα 2.6 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin με άλλων χωρών [7]

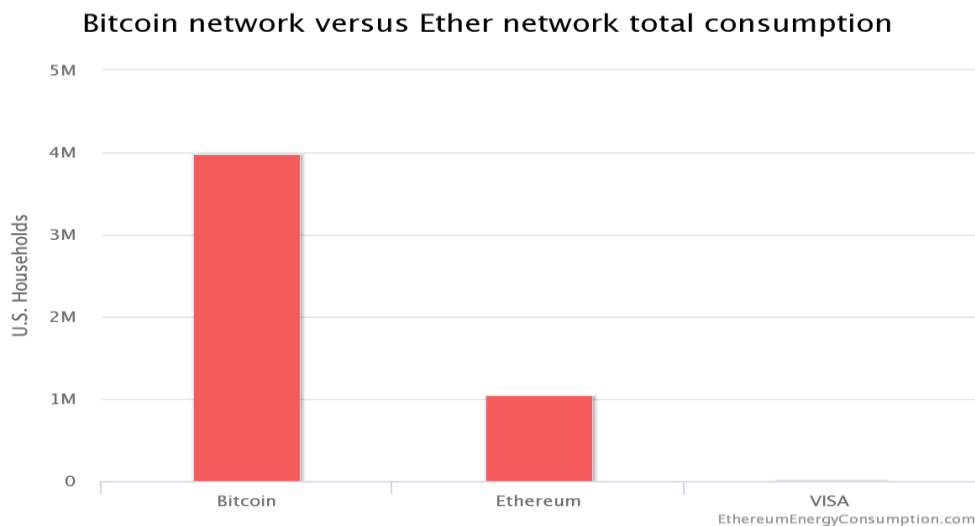
Στην περίπτωση που η κατανάλωση που απαιτούν και τα δύο κρυπτονομίσματα αποτελούσαν μια χώρα θα ανέρχονταν στη θέση 46 με συνολική κατανάλωση των 54.3 TWh.

## Energy Consumption by Country inc. Bitcoin & Ethereum



Εικόνα 2.7 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin και Ethereum με άλλων χωρών [7]

Για την κατανόηση των ποσών ενέργειας που καταναλώνονται, θα γίνει σύγκριση του Ethereum με τα δίκτυα Bitcoin και VISA. Η ενέργεια που απαιτεί κάθε δίκτυο, αντιστοιχεί στην τροφοδότηση 3.984.429 , 1.044.043 και 0 σπιτιών στις ΗΠΑ , από τα παραπάνω δίκτυα αντίστοιχα:



Εικόνα 2.8 - Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin και Ethereum με άλλων τρόπων πληρωμής [7]

## 2.2.1 Αλγόριθμος απόδειξης εργασίας και Αλγόριθμος κατάθεσης εγγύησης



Εικόνα 2.9 - Εικόνα από <http://www.medium.com>

Ο αλγόριθμος απόδειξης εργασίας λειτουργεί, ζητώντας από όλους τους κόμβους να λύσουν ένα ‘παζλ’ κρυπτογράφησης. Ο πρώτος εξορύκτης που θα λύσει το πρόβλημα αυτό είναι και εκείνος που θα λάβει, την ανάλογη ανταμοιβή [1]. Η διαδικασία που αναφέρθηκε είναι και ο λόγος που ολοένα και περισσότεροι επενδύουν στην δημιουργία από μεγαλύτερες ‘φάρμες’ εξόρυξης. Όσο τεχνολογικά εξελιγμένος και σε ποσότητα βρίσκεται ο εξοπλισμός, τόσες περισσότερες και οι πιθανότητες ένας χρήστης να λάβει ανταμοιβή λύνοντας το πρόβλημα δημιουργώντας το επόμενο block της αλυσίδας. Μία επιπλέον παραδοχή που έχει υλοποιηθεί είναι οι γνωστές πισίνες εξόρυξης, όπου πολλοί εξορύκτες συνδυάζουν την υπολογιστική ισχύ του εξοπλισμού τους και στην συνέχεια μοιράζουν την ανταμοιβή ισόποσα στην πισίνα. Συμπερασματικά λοιπόν, χρειάζονται μεγάλα ποσοστά ενέργειας και το δίκτυο από αποκεντρωμένο, κεντροποιείται.

Το 2011 προτάθηκε ο αλγόριθμος κατάθεσης εγγύησης και είναι η μελλοντική επένδυση, για την εφαρμογή του στο Ethereum. Σε αντίθεση με τον αλγόριθμο απόδειξης εργασίας, λειτουργεί με μια διαδικασία εκλογής ενός τυχαίου κόμβου, για την επικύρωση του επόμενου block. Επιπλέον, δεν υπάρχουν εξορύκτες αλλά επικυρωτές και τα block. Ένας κόμβος για να γίνει επικυρωτής, θα πρέπει να διαθέτει ένα συγκεκριμένο ποσό νομισμάτων στο δίκτυο. Το ποσό, συμβάλει σαν μία κατάθεση εγγύησης για την παροχή υπηρεσιών. Η εκλογή δεν γίνεται τελείως τυχαία καθώς το μέγεθος του ποσού εγγύησης που κατατίθεται εκτιμά και τις πιθανότητες ενός κόμβου να επιλεγεί για την δημιουργία του επομένου block στην αλυσίδα.

Αν ένας κόμβος επιλεγθεί, θα πρέπει να ελεγχθεί αν όλες οι συναλλαγές στο εσωτερικό του block, έχουν επικυρωθεί. Αν όλα ισχύουν τότε το block τοποθετείται στην αλυσίδα. και ο κόμβος λαμβάνει τις χρεώσεις από όλες τις συναλλαγές που περιλαμβάνει.

Η επόμενη αναφορά, επισυνάπτεται στην εμπιστοσύνη των κόμβων - επικυρωτών. Εδώ παρουσιάζεται πλέον η σημασία της εγγύησης που έχει καταθέσει ένας κόμβος. Ένας επικυρωτής θα χάσει ένα μέρος της εγγύησής τους, αν επικυρώσει ύποπτες συναλλαγές. Όσο το σύνολο των χρεώσεων από τις συναλλαγές ενός block είναι μικρότερο από την εγγύηση που έχει κατατεθεί, οι κόμβοι θεωρούνται έμπιστοι. Αυτός ο χρηματοοικονομικός συντονιστής καθορίζει την εμπιστοσύνη των επικυρωτών, επιλέγοντάς τους με βάση την εγγύηση τους και το σύνολο των χρεώσεων ενός block.

Σε περίπτωση που ένας κόμβος σταματήσει να επικυρώνει συναλλαγές, η εγγύηση τους και το σύνολο χρεώσεων συναλλαγών, θα επιστραφούν αυτόματα από το δίκτυο μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος αυτός προστίθεται στη διαδικασία έτσι ώστε να προηγηθούν ορισμένοι έλεγχοι από το δίκτυο, σχετικά με την συναλλαγές που έχει επικυρώσει ο κόμβος.

Όπως προαναφέρθηκε στον αλγόριθμο απόδειξης εργασίας υπάρχουν περιπτώσεις δημιουργίας πρίσινας εξόρυξης. Κατά τη διαδικασία αυτή, κόμβοι του δικτύου με επιρροή σε αυτό, ομαδοποιούνται και ελέγχουν μεγάλο μέρος του. Έτσι θα έχουν την δυνατότητα επικύρωσης δόλιων συναλλαγών. Αντίστοιχο πρόβλημα υπάρχει στην περίπτωση που ένας κόμβος καταβάλει εγγύηση μεγέθους που να αντιστοιχεί στο 51% του δικτύου και γνωστή επίθεση στο δίκτυο του Ethereum. Επομένως ο συγκεκριμένος τρόπος επίθεσης είναι πιθανόν εφαρμοστεί αλλά λιγότερο στον αλγόριθμο κατάθεσης εγγύησης.

Μία επιπλέον παροχή που ο αλγόριθμος κατάθεσης εγγύησης, δίνει έμφαση, αποτελεί ο τυχαίος τρόπος επιλογής του επόμενου επικυρωτή. Η επιλογή γίνεται με βάση την εγγύηση που έχει καταθέσει ο κάθε επικυρωτής. Ο αλγόριθμος θα επιλέγει πιο συχνά εκείνους, με αποτέλεσμα να γίνονται 'πλουσιότεροι'. Υπάρχουν πολλές παραδοχές που χρειάζονται περισσότερη έρευνα, ειδικά στα δύο πιο σημαντικά σημεία που είναι ευάλωτος ο αλγόριθμος( 51% έλεγχος δικτύου, τρόπος εκλογής ).

Ο αλγόριθμος κατάθεσης εγγύησης, δεν θεωρείται δίκαιος για την ώρα. Είναι όμως πιο δίκαιος από τον αλγόριθμο απόδειξης εργασίας, όπου όσες περισσότερες kWh καταναλώνονται τόσο καλύτερη θα είναι η τιμή της αντίστοιχης αξίας. Για παράδειγμα 1 kWh = \$1 όμως 1000 kWh = \$800 όχι \$1000 .

Η Ethereum έχει ξεκινήσει τη προσπάθεια υλοποίησης ενός συστήματος που θα τρέχει μέσω του αλγορίθμου κατάθεσης εγγύησης, το οποίο ονομάζεται Casper. Βρίσκεται στο δοκιμαστικό δίκτυο του Ethereum και αναπτύσσεται συνεχώς.

## 2.3 Έρευνα δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης Bitcoin - Ethereum

### 2.3.1 Bitcoin

Με τη χρήση πραγματικών δεδομένων, θα πραγματοποιηθεί έρευνα των ποσοστών ενέργειας που καταναλώνει το Bitcoin δίκτυο. Η παρούσα υπολογιστική ισχύς που αντιστοιχεί στον υπολογισμό hashes αντιστοιχεί σε 42 exahashes/sec . Επιπλέον ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός παρέχει περίπου 13 terahashes το δευτερόλεπτο και ονομάζεται S9 Antiminer. Με μια μετατροπή των τιμών , το παρών hashrate αντιστοιχεί σε 42 εκατομμύρια terahashes. Διαιρώντας τις δύο τιμές , 42/13 terahashes , υπολογίζεται πως ο εξοπλισμός για την διάθεση της παρούσας ισχύος, είναι ίσος με 3.230.000 συσκευές S9 Antiminer.

Οι πλειονότητα των παραπάνω συσκευών λειτουργούν ασταμάτητα , 24 ώρες το 24ωρο. Οπότε είναι δυνατό να υπολογιστεί και η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας. Μία συσκευή S9 Antiminer καταναλώνει περίπου 1500 Watt/ώρα. Άρα, σε μία μέρα θα καταναλωθούν  $1500 * 24 = 36$  kWh ανά συσκευή . Αντίστοιχα σε ένα μήνα μία συσκευή θα καταναλώσει  $36 * 30$  kWh = 1080 kWh . Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν, τον συνολικό πλήθος των συσκευών που υπολογίστηκε,  $3.230.000 * 36$  kWh = 116 εκατομμύρια kWh την ημέρα,  $116 * 30 = 3.488.000$  kWh το μήνα και  $3.488.000 * 12 = 41$  δισεκατομμύρια kWh τον χρόνο. Επιγραμματικά, λοιπόν μια τέτοια ποσότητα ενέργειας, τοποθετεί το δίκτυο Bitcoin στην 46η θέση μεταξύ της κατανάλωσης από χώρες σε όλο τον κόσμο.

Βεβαίως, το ποσό ενέργειας που υπολογίστηκε απέχει από το σύνολο της κατανάλωσης που χρειάζονται τα επιμέρους μέρη μιας τέτοιας εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει διότι στα ποσά, δεν συμπεριλαμβάνεται η κατανάλωση που γίνεται για παράδειγμα της ψύξης που χρειάζονται οι συσκευές ή παλαιότερων μοντέλων συσκευών που συνεχίζουν να λειτουργούν.

Έπειτα από ποικίλες αναλύσεις ενεργειακών δεδομένων, η κατανάλωση του δικτύου του Bitcoin βρίσκεται σε ανώτερα στάδια ακόμη και από εκείνο της Αυστρίας στη θέση 39 της λίστας. Από οικονομικής άποψης μία αναπτυγμένη χώρα όπως η παραπάνω καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα αξίας \$415 δισεκατομμυρίων το χρόνο.

Επιπλέον, αποδείχτηκε πως πρόσφατα το Bitcoin, το οποίο είναι ένα από τα πολλά πλέον κρυπτονομίσματα που τρέχουν με τον αλγόριθμο απόδειξης εργασίας, οργάνωσε συναλλαγές συνολικής αξίας \$70 εκατομμυρίων, για τον μήνα Ιούνιο. Με την παρακολούθηση των παραπάνω τιμών παρατηρείται πως το κόστος, για την παραγωγή του Bitcoin, είναι μεγαλύτερο από τα εν τέλη κέρδη.

### 2.3.2 Ethereum

Με τη χρήση πραγματικών δεδομένων θα πραγματοποιηθεί έρευνα των ποσοστών ενέργειας που καταναλώνει το Ethereum δίκτυο. Υπολογίζεται πως ανέρχεται στα 174 TH/s που αντιστοιχεί σε 174.000.000 Megahashes το δευτερόλεπτο τον τελευταίο μήνα.

Μέχρι και σήμερα το δίκτυο Ethereum τροφοδοτείται από μεγάλες 'φάρμες' με εγκαταστάσεις που αποτελούνται από μεγάλο αριθμό καρτών γραφικών. Υπολογίζονται περίπου 10 εκατομμύρια κάρτες γραφικών στο δίκτυο μεγαλώνοντας συνεχώς την ζήτηση προς τις κατασκευαστικές εταιρίες.

Έστω πως το δίκτυο κατείχε σε κάθε κόμβο το καλύτερο δυνατό υλικό. Η αντιστοιχία του ανέρχεται σε 485 Megahashes/sec και η κατανάλωσή του στα 850 Watt . Επιγραμματικά το υλικό με την παραπάνω υπολογιστική ισχύ , ονομάζεται Innosilicon A10.

Γνωρίζοντας λοιπόν , το συνολικό hashrate του τελευταίου μήνα για το δίκτυο και διαιρώντας με το hashrate που προσφέρει το A10 , αντιστοιχεί σε 356.701 συσκευές. Εν συνεχεία, όπως προαναφέρθηκε, κάθε A10 καταναλώνει 850 Watt, άρα σε μία μέρα θα έχουν καταναλωθεί  $850 * 24 = 20.4$  kWh και σε ένα μήνα ( $20.4 * 30$ ) περίπου 612 kWh. Επομένως οι 356.701 συσκευές, θα καταναλώσουν σε μία μέρα 7.3 εκατομμύρια kWh , σε ένα μήνα 218 εκατομμύρια kWh και ετησίως 2.6 δισεκατομμύρια kWh.

Στην πραγματικότητα όμως, η ενεργειακή κατανάλωση του Ethereum δικτύου είναι σχεδόν διπλάσια καθώς δεν διαθέτει όλο το δίκτυο τον καλύτερο εξοπλισμό. Αν για παράδειγμα περιλάμβανε μία ποικιλία καρτών γραφικών της τάξης των 41 Megahashes/sec που καταναλώνουν 135 Watt/hour , θα βρισκόταν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα απόδοσης σε σχέση με τη συσκευή A10. Ένα παράδειγμα, κάρτας γραφικών, με την αντίστοιχη υπολογιστική ισχύ είναι η Amd Radeon Vega 64.

Αν το δίκτυο περιλάμβανε τον παραπάνω τύπο καρτών γραφικών, ξεκινώντας από τη παρούσα ισχύ των 174.000.000 MH/sec και διαιρώντας δια την ισχύ της κάρτας, υπολογίζονται στις 4.24 εκατομμύρια Vega 64 κάρτες σε ισχύ.

Η κατανάλωση σε μία ημέρα από μία αντίστοιχη κάρτα γραφικών ανέρχεται στις 3.24 kWh και σε έναν μήνα περίπου 77.7 kWh. Άρα, υπολογίζοντας την κατανάλωση του συνολικού πλήθους των καρτών, σε μία μέρα καταναλώνονται  $4.24 * 135 \text{ Watt} * 24 = 13.73$  εκατομμύρια kWh , τον μήνα 412 εκατομμύρια kWh και σε ένα χρόνο 4.94 δισεκατομμύρια kWh. Το ποσό ενέργειας, αντιστοιχεί το δίκτυο του Ethereum στην 97 θέση της λίστας χωρών του κόσμου ανά ενεργειακή κατανάλωση( ( ημερομηνία καταγραφής 26/12/2018).

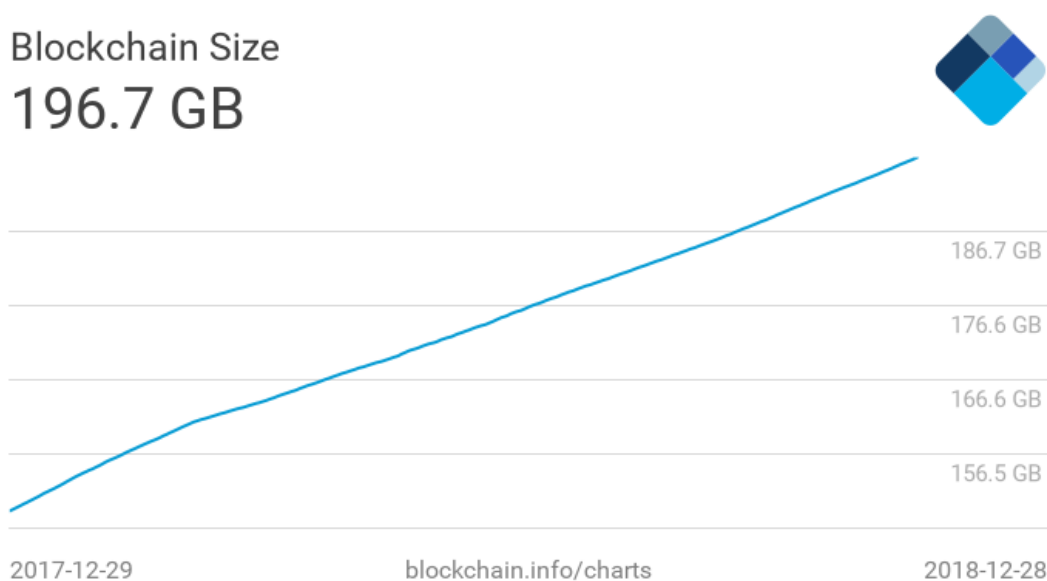
Από οικονομικής άποψης, το Ethereum βρίσκεται μεταξύ της συνολικής κατανάλωσης της Κόστα Ρίκα και της Εσθονία με περίπου \$26 εκατομμύρια σε ενεργειακές απαιτήσεις σαν χώρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Εξόρυξη και ενέργεια

### 3.1 Αγορά και Εξοπλισμός

Ταυτόχρονα με την δημοσιότητα του Bitcoin, αναπτύσσεται και η πολυπλοκότητα του δικτύου του. Παρά το γεγονός του 80% των νομισμάτων έχουν ήδη εξορυχθεί, σύμφωνα με έρευνες , η εκτιμώμενη προμήθεια θα έχει εξαντληθεί μέχρι το έτος 2140. Η κατάσταση αυτή δικαιολογείται, διότι οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την παραγωγή κρυπτονομίσματος γίνονται συνεχώς πιο πολύπλοκοι και η διαδικασία εξόρυξης γίνεται πιο χρονοβόρα και δαπανηρή.

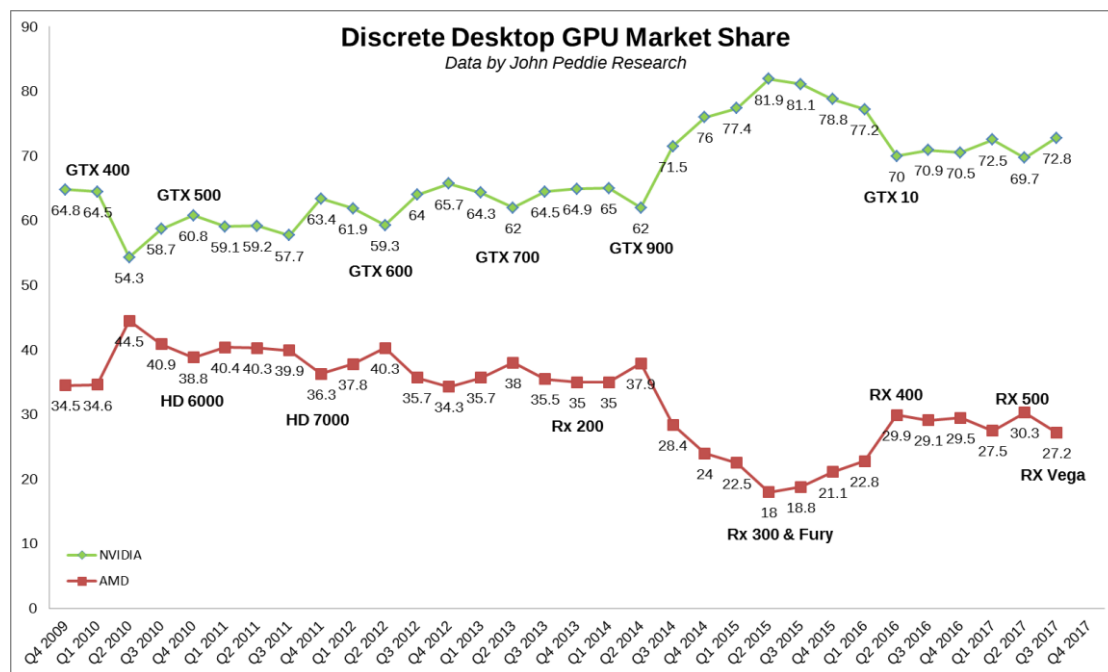
Επιπλέον, 30 με 60 τοις εκατό των εσόδων, χρησιμοποιούνται σε κόστη ενέργειας. Εκτιμάται πως για να διατηρηθεί μια υποδομή παραγωγής Bitcoin στο μέλλον , θα χρειαστούν τρεις πυρηνικοί αντιδραστήρες σε πλήρη ισχύ, για την τροφοδότηση μιας τέτοιας υποδομής.



Εικόνα 3.1 - Γράφημα από blockchain.com που απεικονίζει την αύξηση του μεγέθους του blockchain σε ένα χρόνο [4]

Ακόμη και με την μείωση της ανταμοιβής από την εξόρυξη και την ολοένα και περισσότερη δυσκολία στους υπολογισμούς, οι εξορύκτες μπορούν να ωφεληθούν κατά \$20 εκατομμύρια την ημέρα από την επιβεβαίωση συναλλαγών. Τα ποσά αυτά είναι και εκείνα που οδηγούν συνεχώς και περισσότερους στο κλάδο με τις εταιρείες-κατασκευαστές να επενδύουν στην έρευνα πιο αποτελεσματικών μεθόδων για την παραγωγή Bitcoin.

Μέχρι και το καλοκαίρι του 2017, με την αυξανόμενη ανάπτυξη των κρυπτονομισμάτων, η ζήτηση στην αγορά, αυξήθηκε αντίστοιχα, όχι μόνο στον επαγγελματικό εξοπλισμό, αλλά και στις κάρτες γραφικών ή εν συντομία GPUs. Για το έτος 2017 και μόνο, αγοράστηκαν περισσότερες από τρία εκατομμύρια κάρτες γραφικών, με το συνολικό κόστος τους να ανέρχεται στα \$776 εκατομμύρια [9].



Εικόνα 3.2 - Γράφημα από Wccftech.com που απεικονίζει τα έσοδα πώλησης από 2009 έως 2017, καρτών γραφικών NVIDIA – AMD [9]

Στο δεύτερο τέταρτο του 2017, η εταιρία NVIDIA αύξησε τα έσοδά της κατά 50%, σε σχέση με το δεύτερο τέταρτο του 2016, ανερχόμενη στα \$251 εκατομμύρια. Η εταιρία AMD κατά την ίδια περίοδο αύξησε τα έσοδα της, κατά 18% που αντιστοιχεί στο ποσό των \$1.2 δισεκατομμυρίων. Ακολουθώντας όπως παρουσιάζεται, με την μείωση του ενδιαφέροντος προς την εξόρυξη, οι δύο εταιρείες αναμένουν μείωση των εσόδων τους κατά το δεύτερο τέταρτο του 2018.

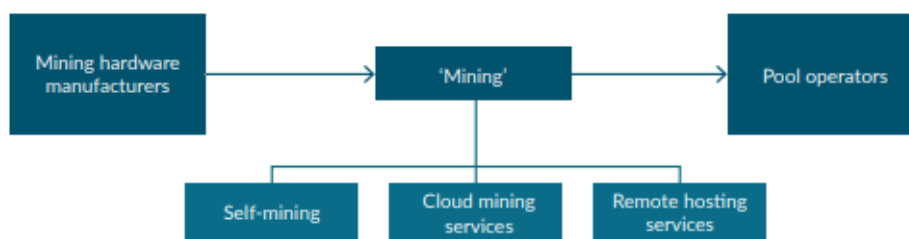
Ταυτόχρονα η εξόρυξη κρυπτονομισμάτων αναπτύσσεται σε διαστάσεις βιομηχανίας. Σε όλο τον κόσμο, οι εξορύκτες έχουν ενωθεί δημιουργώντας εγκαταστάσεις εξόρυξης, με χιλιάδες κάρτες γραφικών συγκεντρωμένες με peta hash υπολογιστικές δυνατότητες. Ορισμένες εταιρείες, αγοράζουν και επενδύουν σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, σημαντικά ποσά για την δημιουργία υποδομών εξόρυξης. Στις 6 Ιουνίου η εταιρία με όνομα CoinMint ανακοίνωσε τα σχέδιά της για τα εγκαίνια μιας Bitcoin-εξόρυξης υποδομής σε ένα πρώην εργοστάσιο αλουμινίου στην Νέα Υόρκη. Κυβερνητικά υποστηριζόμενη, η CoinMint δημιούργησε 150 θέσεις εργασίας μέσα στους επόμενους 18 μήνες και διέθεσε \$700 εκατομμύρια για την ανακαίνιση νέου εργοστασίου 1300 στρεμμάτων σε έκταση.

Ολοένα και περισσότερες εταιρείες βρίσκουν νέες τεχνικές για την μείωση του ενεργειακού κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας του εξοπλισμού τους. Μία από αυτές είναι η γεωγραφική τοποθεσία των εγκαταστάσεών τους όπου οι ανάλογες θερμοκρασίες ποικίλουν ανά περιοχή.



## 3.2 Εξόρυξη

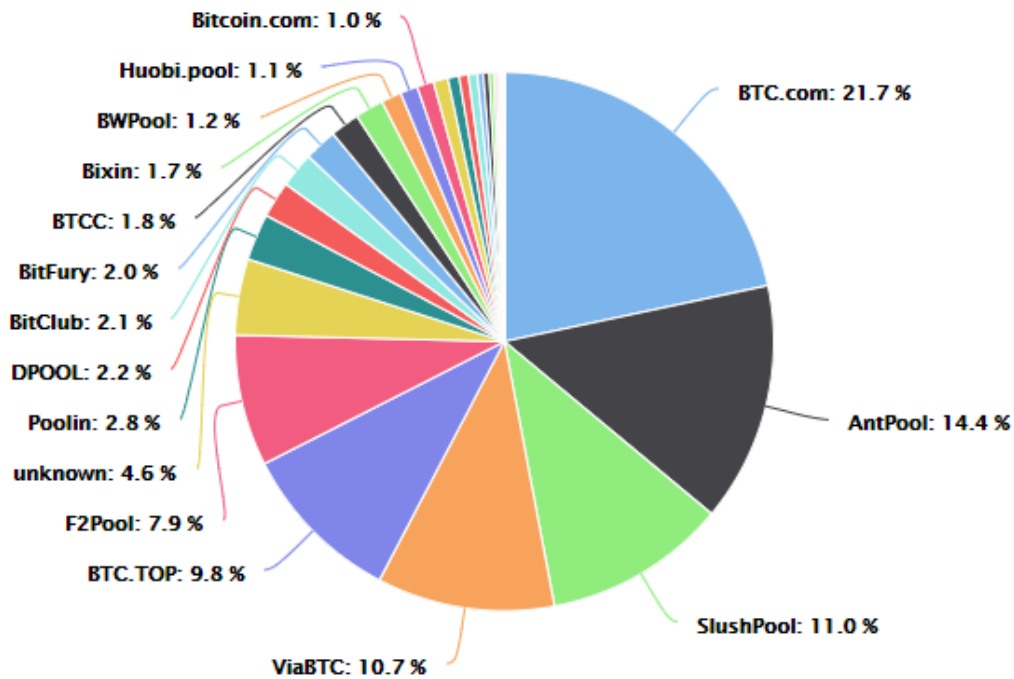
Οι εξορύκτες παίζουν κρίσιμο ρόλο στο σύστημα των κρυπτονομισμάτων, καθώς είναι υπεύθυνοι για την ομαδοποίηση μη επικυρωμένων συναλλαγών, σε νέα blocks και την εν τέλει προσθήκη στο blockchain. Παρέχουν την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ, για την ασφάλεια του blockchain, με τον υπολογισμό των hashes για την εύρεση έγκυρων block. Κάθε έγκυρο block που τοποθετείται στο blockchain, δίνει στον εξορύκτη μία ανταμοιβή. Πλέον η διαδικασία έχει αναπτυχθεί σε βιομηχανικά επίπεδα και χωρίζεται σε πέντε κατηγορίες [10].



Εικόνα 3.3 - Αλυσίδα κατηγοριών εξόρυξης [10]

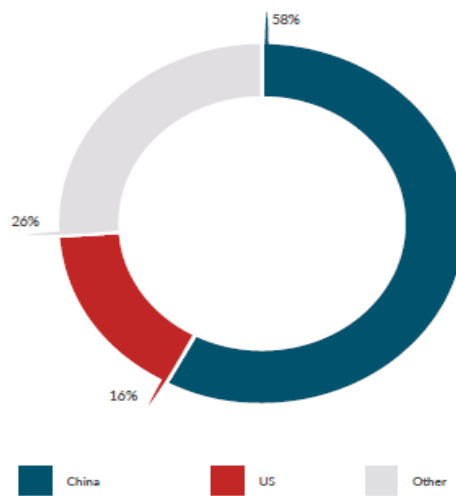
Ένας μικρός αριθμός, κατασκευαστών συσκευών εξόρυξης προμηθεύει την βιομηχανία με το πιο καινοτόμο και νέο υλικό(Εικόνα 3.3). Με τις μεθόδους του Remote hosting και Cloud mining υπηρεσιών δίνεται η δυνατότητα εξόρυξης δίχως την κατοχή κατάλληλου εξοπλισμού, αλλά απομακρυσμένα. Πολλές μεγάλες εταιρείες εξόρυξης έχουν επενδύσει στην συντήρηση των εκτενών υποδομών τους και τα αντίστοιχα κέντρα οργάνωσης των δεδομένων τους, σε όλο τον κόσμο. Κάθε τύπος εξορυκτών, ιδιωτικός ή εταιρικός, προωθούν την υπολογιστική ισχύ που διαθέτουν, στις γνωστές ‘πισίνες’, για την αύξηση των πιθανοτήτων επιλογής για την εύρεση επόμενου block και απονομής της ανταμοιβής τους. Οι πισίνες εξόρυξης ή Mining pools έχουν πλέον γίνει επάγγελμα, με πολλές να διαθέτουν εξυπηρέτηση και επιπλέον υπηρεσίες προς τους πελάτες.

Η εξόρυξη αποτελεί πλέον έναν αρκετά ανταγωνιστικό κλάδο, που χαρακτηρίζεται από την συχνή εισαγωγή νέων πισινών στο δίκτυο και την έξοδο παλαιά επιτυχημένων. Η ‘αγορά’ των πισινών εξόρυξης υπολογίζεται από τον αριθμό των blocks υπό εξόρυξη διά τον συνολικό αριθμό των blocks που θα βρεθούν μέχρι κάποια συγκεκριμένη περίοδο. Ο αριθμός τους ολοένα αυξανόμενος, με μερικές όμως να έχουν κυριαρχήσει τα τελευταία χρόνια στην βιομηχανία. Εκείνες με τα μεγαλύτερα ποσοστά για τον τελευταίο χρόνο παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 3.4 :



Εικόνα 3.4 - Mining pools pie chart [10]

Ελέγχοντας το γεωγραφικό παράγοντα των πρεσβύτερων πισινών, σχεδόν τα τρία τέταρτα του πλήθους βρίσκονται σε δύο χώρες, την Κίνα και τις Η.Π.Α. . Το 58% βρίσκεται στην Κίνα και 26% Η.Π.Α. Βέβαια η τοποθεσία των πισινών εξόρυξης, δεν συμπίπτει με την τοποθεσία των εξορυκτών που προσφέρουν την υπολογιστική τους ισχύ, καθώς ο καθένας τους μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή πισίνα ανεξαρτήτου τοποθεσίας. Οι περισσότερες σελίδες εξυπηρέτησής τους, διαθέτουν Αγγλικές εκδόσεις ενώ το 74% αυτών έχουν και Κινέζικη. Το 63% αυτών διαθέτουν δύο ή παραπάνω γλώσσες διαθέσιμες στην ιστοσελίδα τους, που σημαίνει πως απευθύνονται στο διεθνές κοινό και όχι απλά σε κοντινούς εξορύκτες.

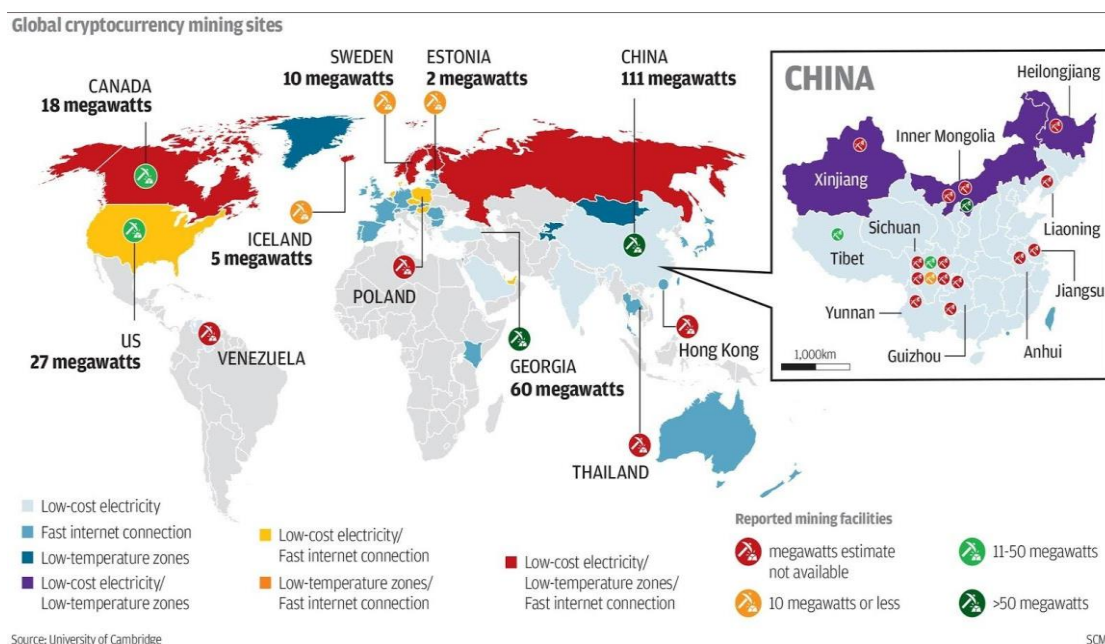


Εικόνα 3.5 - Ποσοστό εγκαταστάσεων σε Κίνα και Αμερική [10]

### 3.3 Εγκαταστάσεις εξόρυξης

Για την επιλογή τοποθεσίας για την δημιουργία υποδομών εξόρυξης υπάρχουν τρεις παράγοντες:

1. Οι εξορύκτες χρειάζονται να έχουν πρόσβαση σε χαμηλού κόστους ηλεκτρικό ρεύμα για την επικερδή εκτέλεση των διαδικασιών τους,
2. Χρειάζονται γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο για την ταχύτερη αποστολή και παραλαβή δεδομένων από άλλους κόμβους στο δίκτυο,
3. Πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εξοπλισμού εξόρυξης, για αυτό προτιμώνται και τοποθεσίες με χαμηλές ζώνες θερμοκρασίας, με πλεονεκτήματα στο κόστος ψύξης.



Εικόνα 3.6 - Καταμερισμός mining εγκαταστάσεων ανά χώρα [10]

Ο χάρτης κρυπτονομισμάτων στην Εικόνα 3.6 δείχνει πως οι περισσότερες εγκαταστάσεις είναι συγκεντρωμένες κατά κύριο λόγο στις τοποθεσίες που ικανοποιούν τους παράγοντες που αναφέρθηκαν. Οι υποδομές εξόρυξης βρίσκονται στην Βόρεια Αμερική, Βόρεια και Ανατολική Αμερική και Κίνα. Η Κίνα, είναι η χώρα που φιλοξενεί τις περισσότερες εγκαταστάσεις και κατέχει την μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος από κάθε άλλη χώρα στην εξόρυξη κρυπτονομισμάτων. Μία μικρή μεγέθυνση δείχνει πως ένας σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων έχει συγκεντρωθεί σε απομακρυσμένες περιοχές με χαμηλό κόστος ρεύματος. Συγκεκριμένα και σύμφωνα με τον χάρτη, υπάρχει πληθώρα στην περιφέρεια της Σιχουάν όπου οι εξορύκτες έχουν πραγματοποιήσει συμφωνίες με τους τοπικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς για προσιτές τιμές ρεύματος.

Ο χάρτης, δείχνει επίσης την τοποθεσία από μεσαίες προς μεγάλες διαδικασίες εξόρυξης σε όλο τον κόσμο. Εκτιμήθηκε πως το σύνολο των εγκαταστάσεων ξοδεύουν 288 Megawatt για την τροφοδότηση εξόρυξης κρυπτονομισμάτων κατά τα έτη 2016 - 2017.

Ωστόσο, η συνολική κατανάλωση των κρυπτονομισμάτων δεν έχει εκφραστεί ως μία τιμή παρά μόνο ως εκτιμήσεις, εφόσον οι τοποθεσίες πολλών εγκαταστάσεων εξόρυξης διατηρούνται κρυφές. Η τιμή των 288 megawatts, σαφώς αυξάνεται με τα χρόνια, και χρησιμοποιείται ως χαμηλό όριο εκτίμησης. Με την σημερινή συνολική υπολογιστική ισχύ του δικτύου Bitcoin, 45 χιλ. PettaHashes/δευτερόλεπτο και με την υπόθεση πως όλοι οι εξορύκτες χρησιμοποιούν τον καλύτερο εξοπλισμό ο χάρτης καταλαμβάνει παραπάνω από την μισή καταναλωμένη ισχύ του δικτύου.

### 3.3.1 Εταιρείες εξόρυξης

#### GigaWatt

Η ανάπτυξη νέων εταιρειών σε μικρά και με συμφέρον μέρη είναι σπάνια και δύσκολο να προβλεφθούν. Ωστόσο, πολλοί από τους σημερινούς δισεκατομμυριούχους, επισκεύαζαν υπολογιστές ή δούλευαν σε κατάσταση με ηλεκτρικές συσκευές. Ένας από αυτούς ήταν και ο Dave Carlson, ο οποίος ξεκίνησε την εξόρυξη με μία απλή κάρτα γραφικών και σήμερα διαθέτει μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης στην Βόρεια Αμερική.

Η GigaWatt εισήλθε στην αγορά το 2012 με έδρα την Ουάσιγκτον, ΗΠΑ και σε έναν χρόνο αποτελούσε μία από τις εταιρείες κολοσσούς στον κλάδο. Η συνολική υπολογιστική ισχύς του εξοπλισμού που διαθέτει ανέρχεται στα 1.3 PettaHashes. Η σημερινή τοποθεσία της εταιρείας βρίσκεται σε μία πρώην αποθήκη βιομηχανίας μακριά από το κοινό.

Με την ανάπτυξη της εταιρείας ο δημιουργός της, υπολογίζει τα μηνιαία έξοδα της, συμπεριλαμβανομένου των 15 εργαζομένων της σε περισσότερα από \$1 εκατομμύριο. Επιπλέον, λόγω της προσέλκυσης ποικίλων επενδυτών, η GigaWatt ξεκίνησε την παραγωγή εξοπλισμού εξόρυξης, βασισμένη στα BitFury τσιπς απευθυνόμενοι στους ενδιαφέροντες προς τη διαδικασία παραγωγής κρυπτονομισμάτων.

Η GigaWatt αποτελεί μία αρκετά κερδοφόρα επιχείρηση, η οποία βασίστηκε στις χαμηλές τιμές ηλεκτρικού ρεύματος της περιοχής έδρας της. Στην Ουάσιγκτον, η τιμή της kWh ανέρχεται στα \$9.56 (ανά kWh) για του ιδιώτες και στα \$8.42 για τις επιχειρήσεις.



Εικόνα 3.7 - Giga Watt από [www.nulltx.com](http://www.nulltx.com)

## Genesis Mining

Μία επιπλέον μεγάλη εταιρεία εξόρυξης αποτελεί η Genesis Mining. Αρχικά, το έργο της εταιρείας επικεντρώθηκε στη Βοσνία και Κίνα ενώ με τα χρόνια, μεταφέρθηκε σε Ισλανδία και Καναδά. Οι χαμηλές θερμοκρασίες των παραπάνω χωρών αλλά και το χαμηλό κόστος ρεύματος που προσφέρουν, δημιουργούν μεγάλο ενδιαφέρον σε νέες εταιρείες του κλάδου, για την αύξηση του κέρδους.

Εκτιμάται πως οι φάρμες της Genesis Mining αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή ρεύματος στην Ισλανδία. Η λεπτομέρειες σχετικά με τις τεχνολογικές πατέντες της κάθε εταιρείας για την ψύξη και την κατανάλωση που αποφέρουν, είναι συνήθως μυστικές όπως και οι ακριβείς τοποθεσίες τους και είναι θέμα ασφάλειας των εγκαταστάσεών τους.



Εικόνα 3.8 - Genesis Mining logo [www.genesis-mining.com](http://www.genesis-mining.com)

## Dalian mining farm

Η Κίνα, είναι γνωστή για τον αριθμό των εγκαταστάσεων που διαθέτει, για τη παραγωγή καρτών γραφικών και συσκευών εξόρυξης όπως τα ASIC. Με άλλα λόγια, οι εγχώριοι εξορύκτες, βρίσκονται σε πλεονάζουσα θέση, καθώς έχουν την δυνατότητα αγοράς εξοπλισμού σε χαμηλότερες τιμές. Επιπλέον τα έξοδα αποστολής είναι χαμηλότερα ή και μηδενικά ανάλογα την εταιρία που συνεργάζονται.

Η Κίνα βρίσκεται στις χώρες με το χαμηλότερο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, όπως και η Βενεζουέλα, Ταιβάν και Ουκρανία. Ο σημαντικότερος παράγοντας από όλους είναι η ενθάρρυνση της Κινεζικής κυβέρνησης προς τη βιομηχανική παραγωγή κρυπτονομισμάτων, μειώνοντας το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος στους κατόχους τέτοιων υποδομών.

Επιπρόσθετα, η χώρα έχει μεγάλο ανταγωνισμό στον εργασιακό κλάδο, λόγω του εκτενούς πληθυσμού της. Λόγω της κατάστασης αυτής πολλοί από τους διαχειριστές υποδομών εξόρυξης διαμένουν σε μικρή απόσταση από εκείνες, για τον πλήρη έλεγχο τους. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες, συμβάλλουν στη δημιουργία των μεγαλύτερων εγκαταστάσεων εξόρυξης όπως στην Λιαονίνγκ. Εκεί βρίσκεται η πόλη Ντάλιαν, η οποία αποτελεί και το κέντρο εξόρυξης κρυπτονομισμάτων για όλη τη Κίνα. Διαθέτει ένα ειδικό σύστημα εξαερισμού στους τρεις ορόφους της και υπολογίζεται πως διαθέτει 3% της υπολογιστικής ισχύος που παρέχεται στο Bitcoin δίκτυο.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία τους ξεκίνησε το 2016 παρέχονται 360.000 Terahashes στο δίκτυο. Η μηνιαία παραγωγή κρυπτονομίσματος ανέρχεται στα 750 BTC με ανάλογες απαιτήσεις ρεύματος στα \$1.170.000 . Με μερικούς υπολογισμούς , με τη

σημερινή ισοτιμία του Bitcoin ,  $750 \cdot 3300 = \$2.475.00$  έσοδα των εταιρειών , δηλαδή περισσότερα από τα μισά έξοδα ρεύματος.

Μία επιπλέον ακμάζουσα εγκατάσταση βρίσκεται στην Σιχουάν, Κίνα. Χτίστηκε πλησίον υδροηλεκτρικών υποδομών λόγω ενεργειακών συμφερόντων, με την ανάπτυξή της να αγγίζει τα 12 PettaHashes τα δύο τελευταία χρόνια στο δίκτυο Bitcoin. Τέλος, μερικές από τις πιο γνωστές εταιρείες - πισίνες στην Κίνα αποτελούν οι [F2Pool](#), [AntPool](#), [BTCC](#) με την κατάταξή τους να φαίνεται στην Εικόνα 3.9:

	Pool	Hashrate Share	Blocks Mined
0	NETWORK	100.00 %	54,481
1	<a href="#">BTC.com</a>	21.68 %	11,809
2	<a href="#">AntPool</a>	14.37 %	7,831
3	<a href="#">SlushPool</a>	10.97 %	5,978
4	<a href="#">ViaBTC</a>	10.66 %	5,808
5	<a href="#">BTC.TOP</a>	9.82 %	5,350
6	<a href="#">F2Pool</a>	7.89 %	4,299
7	unknown	4.56 %	2,483
8	<a href="#">Poolin</a>	2.81 %	1,531
9	<a href="#">DPOOL</a>	2.18 %	1,186
10	<a href="#">BitClub</a>	2.12 %	1,155

Εικόνα 3.9 – [www.btc.com](http://www.btc.com) Mining pools Blocks mined

### Russian farms

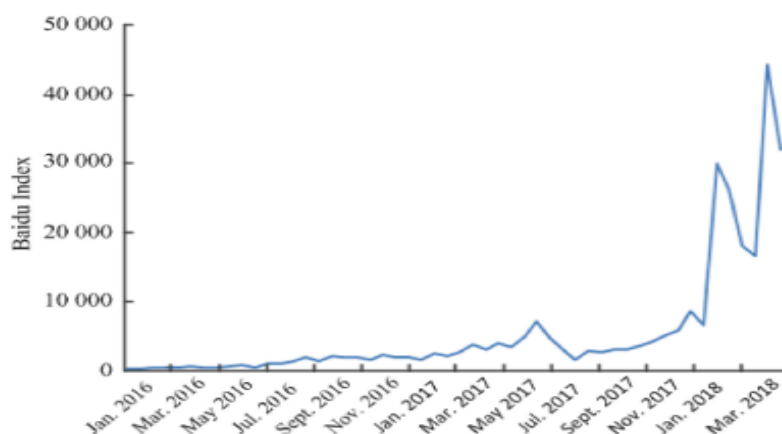
Η Ρωσία, αποτελεί επίσης μία από τις χώρες με μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων εξόρυξης. Οι μεγαλύτερες βρίσκονται στην Μόσχα με μηνιαία εκτιμώμενη παραγωγή στα 600 Bitcoin. Η παραγωγή βασίζεται σε εξοπλισμό 3000 S9 - ASIC εξορυκτών οι οποίοι παρέχουν σε 38 PettaHashes το δευτερόλεπτο, στο δίκτυο. Με μερικούς υπολογισμούς όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μία συσκευή S9 καταναλώνει 1500 Watt /ώρα . Επομένως,  $3000 \cdot 1500 = 4.500.00$  kWh την ώρα, την ημέρα 108 εκ. kWh , τον μήνα 3.2 δις kWh και το χρόνο 3.88 δις kWh σε συνθήκες συνεχόμενης λειτουργίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Προτάσεις - Εφαρμογές Διαδικτυακής Αγοράς Ενέργειας μέσω Blockchain

### 4.1 Blockchain και Ενεργειακό διαδίκτυο

Με την αυξανόμενη ανάπτυξη των βιώσιμων ενεργειακών και δικτυακών τεχνολογιών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον φαίνεται να αποκτά η δημιουργία ενός διαδικτύου ενέργειας [12]. Ωστόσο, η υλοποίηση ενός τέτοιου διαδικτύου περιλαμβάνει πολλές μορφές ενέργειας και περισσότερους συμμετέχοντες με αναμενόμενα εμπόδια και προκλήσεις. Μέχρι και σήμερα, η έρευνα για την υλοποίησή ενός διαδικτύου ενέργεια βρίσκεται σε θεωρητικό και σχεδιαστικό επίπεδο. Επομένως, νέες τεχνολογίες χρειάζονται για την δημιουργία και την ένταξη ενός τέτοιου διαδικτύου στην αγορά.

Με τα χρόνια, έπειτα από την δημοσίευση του πρώτου άρθρου για το Bitcoin, αναπτύχθηκε μεγάλο ενδιαφέρον προς την τεχνολογία που το υλοποιεί ( blockchain). Έτσι, έγινε η γνωστή η δημιουργία ενός συστήματος πληρωμών, βασισμένο στη κρυπτογραφία των συναλλαγών του, επιτρέποντας σε δύο οντότητες να πραγματοποιήσουν αγοραπωλησίες, δίχως την ύπαρξη κάποιου ενδιάμεσου κόμβου ή τράπεζας. Έπειτα από συνεχόμενα δημοσιεύματα, όπως του Economist, 31 Οκτωβρίου 2016, με τίτλο “The promise of the blockchain: the trust machine” [11], η πολλά υποσχόμενη τεχνολογία του blockchain, παρουσιάζονταν ως το κατάλληλο μοντέλο εμπιστοσύνης, για την συνεργασία ανθρώπων και επιχειρήσεων. Τέτοιες δημοσιεύσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1, σύμφωνα με το Baidu Index , το ενδιαφέρον προς το blockchain αυξάνεται συνεχώς ειδικά από το 2017. Το blockchain θεωρείται ως η πέμπτη μεγάλη καινοτομία στη τεχνολογία του κλάδου έπειτα από τους φορητούς και μη υπολογιστές, το διαδίκτυο, κοινωνικά δίκτυα. Τα στοιχεία - κλειδιά της τεχνολογίας, όπως οι μηχανισμοί συγκατάθεσης, οι αλγόριθμοι κρυπτογραφίας, τα έξυπνα συμβόλαια και τα δεδομένα που διανέμονται με αυτούς τους τρόπους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δομή του ενεργειακού διαδικτύου.



Εικόνα 4.1 - Baidu index για το θέμα blockchain [14]

Με τα χρόνια ολοένα και περισσότερες ιδιωτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας δημιουργούνται. Τέτοιες εγκαταστάσεις όπως και η διανομή βιώσιμης ενέργειας - ηλεκτρικό ρεύμα- είναι αλληλένδετα για το ενεργειακό διαδίκτυο. Οι δύο αυτές περιπτώσεις αντιπροσωπεύουν προμηθευτή και πελάτη. Επιπλέον, η παραγωγή, η κατανάλωση και η συναλλαγή τους χρειάζεται να οργανωθεί ξεχωριστά. Η πληροφορία που διατίθεται μεταξύ συστημάτων και ενέργειας συνδέονται άμεσα, για αυτό και η ασφάλεια και διαφάνεια των δεδομένων τους, αποτελούν τα θεμέλια των έξυπνων συναλλαγών. Το ενεργειακό διαδίκτυο, επιτρέπει την πρόσβαση σε πολλαπλούς τύπους ενέργειας, μετατρέποντας την διαχείριση και οργάνωση των συναλλαγών του δικτύου, σε μία σημαντική πρόκληση.

Τα χαρακτηριστικά του ενεργειακού διαδικτύου και του blockchain είναι συγκεκριμένα. Αν λοιπόν, η τεχνολογία του blockchain εφαρμοστεί στο παραπάνω διαδίκτυο, μπορεί να δημιουργηθεί μία αποκεντρωμένη πλατφόρμα αγοράς ενέργειας, βασισμένη στον μηχανισμό συγκατάθεσης που διατίθεται. Εν συνεχεία, οι συναλλαγές θα είναι εγγυημένα εφικτές, με την προσθήκη των έξυπνων συμβολαίων στο δίκτυο και τα δεδομένα ασφαλή λόγω των αλγορίθμων κρυπτογράφησης.

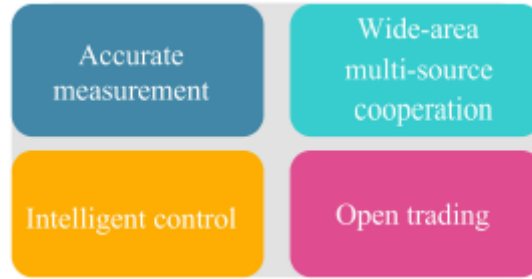
#### **4.1.1 Ενεργειακό διαδίκτυο**

Το 2008, “Future Renewable Power Energy Transmission and Management System”, το έργο του National Science Foundation (NSF), πρότεινε επίσημα την ιδέα του Ενεργειακού διαδικτύου [14]. Η ακαδημαϊκή αυτή έννοια, επισημαίνει το Ενεργειακό διαδίκτυο, ως τον νέο τύπο υποδομής ενεργειακού δικτύου, βασισμένο στη γενιά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στις συσκευές διανομής αποθηκευμένης ενέργειας και το υπάρχον διαδίκτυο.

Με τα χρόνια παρατηρείται μείωση στα αποθέματα πετρελαίου στον κόσμο και η αυξημένη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων, καθιστώντας έτσι την ιδέα για την αντικατάσταση της ρευστής ενέργειας με εκείνη της βιώσιμης κατηγορίας. Το Ενεργειακό διαδίκτυο φαίνεται να μπορεί να δώσει αυτή τη λύση για την υλοποίηση αυτής της ιδέας. Ένας αρχικός ορισμός για το Ενεργειακό διαδίκτυο δίνεται από το [15], ως ένα πολύπλοκο σύστημα που ενώνει τις ροές πολλών διαφορετικών δικτύων, στο οποίο η διανεμηθείσα ανανεώσιμη ενέργεια είναι η κύρια πηγή ενέργειας και είναι στενά συνδεδεμένο με δίκτυα φυσικού αερίου και κέντρα - δίκτυα διανομής ενέργειας. Επομένως, σε σύγκριση με ήδη υπάρχοντες υποδομές διανομής ενέργειας, το ενεργειακό διαδίκτυο, διαθέτει μεγαλύτερη πληθώρα ενεργειών προς διανομή και συμμετεχόντων.

Ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι η ακριβείς μετρήσεις του ή accurate measurement, η ευρείας έκτασης και πολλών πηγών συνεργασία ή Wide-area multi source cooperation, Ο ευφυής έλεγχος του ή Intelligent control και οι ανοιχτού τύπου συναλλαγές ή open trading όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.2.





Εικόνα 4.2 - Τα χαρακτηριστικά του ενεργειακού διαδικτύου [14]

### 1) Ακριβείς μετρήσεις

Οι μετρήσεις είναι οι βάση για τον έλεγχο της λειτουργικής κατάστασης των ενεργειακών συστημάτων, αλλά και η πηγή πληροφορίας για την ίδια την ενέργεια. Επιπλέον, το ενεργειακό διαδίκτυο πρέπει σύμφωνα με τις μετρήσεις να αντιμετωπίζει το πρόβλημα εμπιστοσύνης στην συγκατάθεση των συμμετεχόντων του (blockchain τεχνολογία)

### 2) Ευρεία έκταση και πολλαπλών πηγών συνεργασία

Το ενεργειακό διαδίκτυο έχει το χαρακτηριστικό της ευρείας γεωγραφικής κάλυψης, πολλούς συμμετέχοντες στο δίκτυο και υψηλή αξιοπιστία. Για την επιτυχημένη συνεργασία πολλαπλών πηγών ενέργειας, απαιτείται ο συντονισμός των σχεδίων παραγωγής ενέργειας ,σε συνδυασμό με την συνεργασία κατά την διανομή ενέργειας και τελικού πελάτη.

### 3) Ευφυής έλεγχος

Τα ευφυή συστήματα και οι ανάλογοι αλγόριθμοι που υλοποιούνται, όπως big data analysis and machine learning θα αποτελέσουν σημαντική υποστήριξη στο ενεργειακό διαδίκτυο, για την συνεργασία του και τον συντονισμό των πηγών ενέργειας που θα χρειάζεται να διαχειριστεί. Όλη η διαδικασία, από την παραγωγή μέχρι και τη χρήση της ενέργειας, θέτει ως απαραίτητη την ανάγκη ύπαρξης κάποιου ευφυούς μηχανισμού. Είναι ο παράγοντας που θα εξυπηρετήσει στην επίτευξη αποτελεσματικών ενεργειακών αλλαγών και δρομολόγησης της ενέργειας στο διαδίκτυο. Έτσι, βελτιώνεται η απόδοση και η αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος.

### 4) Ανοιχτού τύπου συναλλαγές

Το ενεργειακό διαδίκτυο, είναι η υποδομή που συμπεριλαμβάνει μεγάλους κεντρικούς κόμβους παραγωγής ενέργειας αλλά και μικρούς ιδιωτικούς. Όλες οι κατηγορίες ενέργειας έχουν την δυνατότητα συμμετοχής στο διαδίκτυο. Οι παραγωγοί μπορούν να είναι ταυτόχρονα και χρήστες ενέργειας. Τέλος το διαδίκτυο μπορεί να υποστηρίξει διάφορες ενεργειακές υπηρεσίες, ανταποκρίνεται στη ζήτηση και διαθέτει υπηρεσίες αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος και προσφορών.

Εκτός από το ενεργειακό διαδίκτυο έχουν υπάρξει πολλές προτάσεις για την δημιουργία μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας. Το ενεργειακό διαδίκτυο είναι ένας γενικός όρος για αυτές τις προτάσεις, καθεμία από τις οποίες ακολουθεί διαφορετική

αρχιτεκτονική αλλά κατά προτίμηση τη χρήση παρόμοιων τεχνολογιών. Φυσικά βασίζονται όλες στην τεχνολογία του blockchain και στοχεύουν στην δημιουργία μιας αποκεντρωμένης αγοράς ενέργειας.

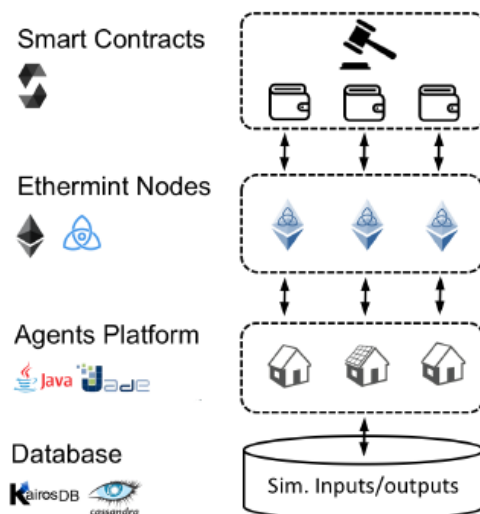
## 4.2 Agent - Based Πλατφόρμα Ενέργειας

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αποκεντρωμένη παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γεννά νέες μεθόδους προσέγγισης της αγοράς. Η τεχνολογία που προσφέρει ένα blockchain δίκτυο, είναι το κλειδί για τη δημιουργία μιας αγοράς ενέργειας, δίχως την ύπαρξη ενδιάμεσου παράγοντα μεταξύ των συναλλαγών. Ακολουθώντας την ιδέα, έγιναν πολλές προτάσεις υλοποίησης με την ανάλογη έρευνα. Ακόμη όμως, δεν έχουν δημιουργηθεί τα κατάλληλα θεμέλια για την δημιουργία μιας πλατφόρμας-προσομοίωσης της ιδέας. Οι περισσότερες προσεγγίσεις και προτάσεις, βασίζονται σε ήδη υπάρχουσες έρευνες οι οποίες δίνουν ιδιαίτερη σημασία, στην χρήση των έξυπνων συμβολαίων ή smart contracts.

Τα έξυπνα συμβόλαια είναι ένα πρωτόκολλο επαλήθευσης ταυτότητας το οποίο εκτελεί και εφαρμόζει του κανόνες που έχουν συμφωνηθεί μεταξύ δύο οντοτήτων χωρίς την ύπαρξη κάπου ενδιάμεσου παράγοντα. Το κρυπτονόμισμα Ethereum ήταν η πρώτη blockchain τεχνολογία που πρότεινε μία αποκεντρωμένη γλώσσα, ονόματι Solidity για την μετέπειτα χρήση των έξυπνων συμβολαίων. Εφαρμόζοντας την τεχνολογία του blockchain και των έξυπνων συμβολαίων στην αγορά ενέργειας, είναι δυνατό κάθε συμμετέχον νοικοκυριό, να ανταλλάξει ποσά ενέργειας μέσω των blockchain κόμβων. Ο ρόλος του 'πλειστηριαστή' σε αυτή την περίπτωση, ορίζεται από τα έξυπνα συμβόλαια, τα οποία πραγματοποιούν τις εναλλαγές των τιμών και προχωρούν στις πληρωμές, με ασφάλεια, όπως ορίζει ο αλγόριθμος διανομής που εκτελείται.

Όμως, δεν υπάρχει ακόμη κάποιο είδος πλατφόρμας για την δοκιμή περιπτώσεων χρήσης με πολλαπλούς διαδικτυωμένους συμμετέχοντες, που θα αλληλοεπιδρούν μέσω του blockchain. Μία από τις προτάσεις αφορά την Agent Based προσέγγιση [\[16\]](#), που επιτρέπει την προσομοίωση αυτόνομων οντοτήτων που θα αλληλοεπιδρούν με το ανάλογο περιβάλλον τους. Η ιδέα, αντιπροσωπεύει και μελετά το κοινωνικοοικονομικό φαινόμενο που παρατηρείται στο αναφερθέν δίκτυο. Η κατανομημένη φύση των agents είναι προσαρμοσμένη στην αρχιτεκτονική ενός αποκεντρωμένου συστήματος όπως το blockchain.

#### 4.2.1 Αρχιτεκτονική Agent - Based προσέγγισης

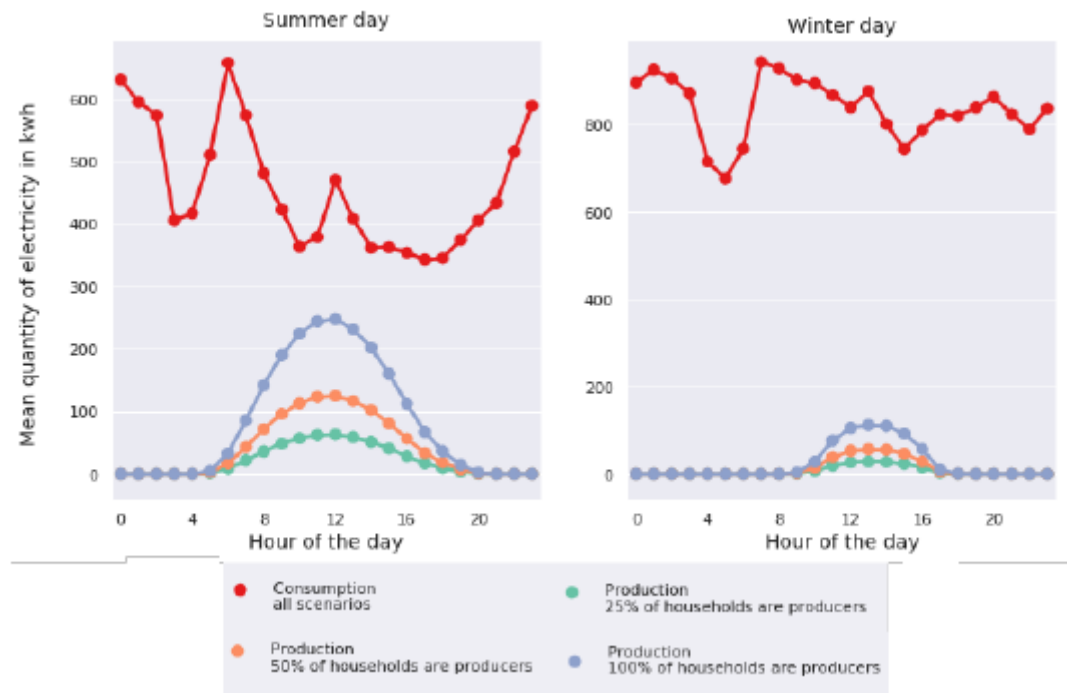


Εικόνα 4.3 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας προσομοίωσης [16]

Όπως παρατηρείται και στην Εικόνα 4.3, η αρχιτεκτονική της Agent - Based προσέγγισης κατανέμεται σε 4 επίπεδα. Η έρευνα [16] που έγινε σε αυτή τη προσέγγιση είχε ως παράδειγμα 200 νοικοκυριά - agents στην πόλη Λιλ της Γαλλίας, για διάστημα δύο εβδομάδων, εκ των οποίων η μία ήταν καλοκαίρι και μήνα Ιούνιο και η δεύτερη χειμώνα και μήνα Ιανουάριο. Τα δεδομένα, ανακτήθηκαν από την γαλλική εταιρεία ενέργειας EDF.

Το πρώτο και χαμηλότερο επίπεδο αφορά την Βάση Δεδομένων ή Database. Αποθηκεύει την κατανάλωση και τα παραγωγικά προφίλ των νοικοκυριών που συμμετέχουν στο δίκτυο με δείγμα ενός λεπτού στο καθένα. Επομένως, η βάση δεδομένων καταγράφει την παραγωγή και κατανάλωση των agents και αποθηκεύει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δίχως να επηρεάζει τα επόμενα επίπεδα της αρχιτεκτονικής.

Για το παράδειγμα το 200 νοικοκυριών στη Λιλ, παρατηρείται πως η ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή είναι ανάλογες των εποχών. Η παραγωγή υποδεικνύεται ως η συνάρτηση του ποσοστού παραγωγών σε μια περιοχή. Στην Εικόνα 4.4, παρατηρείται πως ο μέσος όρος παραγωγής και κατανάλωσης διαφέρει στις δύο εποχές. Η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι λόγω της θέρμανσης των σπιτιών και αντίστοιχα η ποσότητα και η διάρκεια παραγωγής διαφέρουν ανά εποχή. Τέλος, το καλοκαίρι τα ηλιακά πάνελ τροφοδοτούνται με περισσότερη ενέργεια που βοηθά στην άνοδο της καμπύλης παραγωγής κατά το καλοκαίρι.



Εικόνα 4.4 - Σύγκριση μέσου όρου παραγωγής κατανάλωσης ανά εποχή [16]

Το δεύτερο επίπεδο αναφέρεται στην Agent πλατφόρμα. Κάθε agent αντιπροσωπεύει ένα νοικοκυριό, τις πληροφορίες για αυτό, όπως ποσοστά κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας. Βασισμένοι σε αυτά τα δεδομένα προτείνεται η αγορά ή πώληση ενέργειας στο δίκτυο. Η πλατφόρμα βασίζεται στο JADE [17], ένα Java framework που επιτρέπει την υλοποίηση ενός κατακευματισμένου, πολλαπλών agent περιβάλλοντος, όπου κάθε agent αντιστοιχεί σε ένα νήμα ή thread, στον εξοπλισμό του υπολογιστή. Κάθε agent - νοικοκυριό έχει πρόσβαση στον τοπικό κόμβο του στο blockchain.

Το τρίτο επίπεδο βασίζεται στο πρωτόκολλο υλοποίησης του Ethereum και στον μηχανισμό συγκατάθεσης Tendermint [18]. Έτσι κληρονομεί όλες τις δυνατότητες του Ethereum όπως την εικονική μηχανή ή virtual machine και την υποστήριξη των έξυπνων συμβολαίων που διαθέτει. Επιπλέον, αντικαθιστά τον ενεργειακά δαπανηρό μηχανισμό συγκατάθεσης - EthHash του Ethereum με το Tendermint το οποίο προσφέρει ταχύτητα στην επιβεβαίωση συναλλαγών. Το Tendermint μπορεί να παρουσιαστεί ως ένα λογισμικό που τρέχει στον εξοπλισμό του δικτύου και είναι υπεύθυνο για την ασφάλεια. Έτσι, καταπολεμάται το 1/3 των προβλημάτων που οφείλονται σε κακόβουλο λογισμικό και εξωτερικών επιθέσεων λόγω της επιλεκτικής ενδοεπικοινωνίας των κόμβων.

Το τέταρτο και τελευταίο επίπεδο αναφέρεται στα έξυπνα συμβόλαια. Για την περίπτωση που περιγράφεται ορίζονται δύο. Τα συμβόλαια πορτοφολιού, που διαθέτουν τους λογαριασμούς των νοικοκυριών, κάθε ένας από τους οποίους διαθέτει ένα Token ενέργειας, το οποίο αποτελεί το νόμισμα για τη συναλλαγή ενέργειας. Κάθε agent - νοικοκυριό έχει πρόσβαση στο πορτοφόλι του. Επομένως ένα συμβόλαιο στην αντίστοιχη 'αγορά' αντιπροσωπεύει τόσο τον τόπο όπου όλες οι

προσφορές συγκεντρώνονται, αλλά τόσο και την οντότητα που θέτει τις τιμές στην αγορά, χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό διπλής εκλογής για κάθε αγοραπωλησία.

#### 4.2.2 Συμβόλαια Πορτοφολιού και λειτουργίες

Η δημιουργία της ενεργειακής αγοράς και των συμβολαίων πορτοφολιού (ή Wallet contracts) βασίζεται σε μια υλοποίηση μέσω της υψηλού επιπέδου γλώσσας προγραμματισμού Solidity. Υπάρχουν δύο τύποι έξυπνων συμβολαίων. Ο ένας αφορά την Αγορά και ο άλλος το Πορτοφόλι.

Το συμβόλαιο Αγοράς, δημιουργείται μόνο μία φορά στο πρώτο block του blockchain. Συμπεριλαμβάνει, μία δομή προτάσεων των νοικοκυριών για την αγοραπωλησία ενέργειας. Η αξία της ενέργειας αντιπροσωπεύεται από το ενεργειακό νόμισμα της αγοράς, το Energy Coin ή EC. Επιπλέον, το συμβόλαιο, διαθέτει το ποσό ενέργειας σε Watt, την διεύθυνση που έχει θέσει ο agent το πορτοφόλι του και την σειρά συναλλαγής στην αγορά που έχει τεθεί από το σύστημα. Τέλος υπάρχει κατάλληλος πίνακας που διαχωρίζει τις ζητούμενες και τις προς πώληση προτάσεις.

Για να επιτραπεί η εγγραφή των προσφορών ενέργειας στην αγορά, από τα σπίτια, προτείνονται δύο συναρτήσεις. Η πρώτη αφορά την πρόταση πώλησης με όνομα proposeBid και η δεύτερη την πρόταση ζήτησης ενέργειας proposeAsk. Σε κάθε συνάρτηση υπάρχουν οι ανάλογοι παράμετροι, που αφορούν την ποσότητα ενέργειας, την ανάλογη τιμή της (σε EC) τη σειρά συναλλαγής των δύο κόμβων. Οι συναρτήσεις αυτές ενεργοποιούνται όταν είναι η σειρά των κόμβων και διανέμει τα ποσά και ολοκληρώνεται μία συναλλαγή. Ο εντοπισμός της σειρά συναλλαγής γίνεται με την μεταβλητή της γλώσσας Solidity, ονόματι 'now' η οποία επιστρέφει την χρονοσφραγίδα του τελευταίου Block. Τέλος, το συμβόλαιο διαθέτει τις τιμές ενέργειας στο σύστημα που μπορούν να τροποποιηθούν μόνο από εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Στην τελική φάση το συμβόλαιο αγοράς, εκτελεί έναν αλγόριθμο διπλής εκλογής για κάθε συναλλαγή. Συγκεκριμένα, οι προτάσεις πώλησης και αγοράς κατανέμονται κατά φθίνουσα και αύξουσα σειρά αντίστοιχα, μέχρι να βρεθεί κάποιο 'ταίριασμα' στα ποσά που ζητούνται και πωλούνται και αντιστρόφως. Μόλις συμβεί, μία τιμή πώλησης και μία αγοράς δημιουργούνται. Ο αλγόριθμος βρίσκει την καλύτερη τιμή για το ποσά που πωλούνται ή ζητούνται και αναλόγως η απόφαση αυτή επιδρά το ίδιο σε υπόλοιπες ίδιοι ποσού συναλλαγές. Έτσι, τίθεται αδύνατος ο έλεγχος της αγοράς καθώς το ίδιο το σύστημα θέτει τις τιμές και όχι οι agents.

Όσον αφορά τα συμβόλαια του πορτοφολιού, κάθε νοικοκυριό - agent αναπτύσσει και διαχειρίζεται το δικό του πορτοφόλι, το οποίο διαθέτει τα ενεργειακά νομίσματα ή Energy Coins του καθενός. Το κάθε συμβόλαιο αποθηκεύει, επίσης, και τα αποτελέσματα των τελευταίων προτάσεων συναλλαγών. Τα αποτελέσματα, διακρίνονται στο αν η ζήτηση έχει ικανοποιηθεί ή όχι. Στη περίπτωση που έχει ικανοποιηθεί αποθηκεύονται τα ποσά ενέργειας που ανταλλάχθηκαν και η τιμή τους.

### 4.2.3 Υλοποίηση Agent - Based Προσέγγισης σε δίκτυο Raspberry Pies

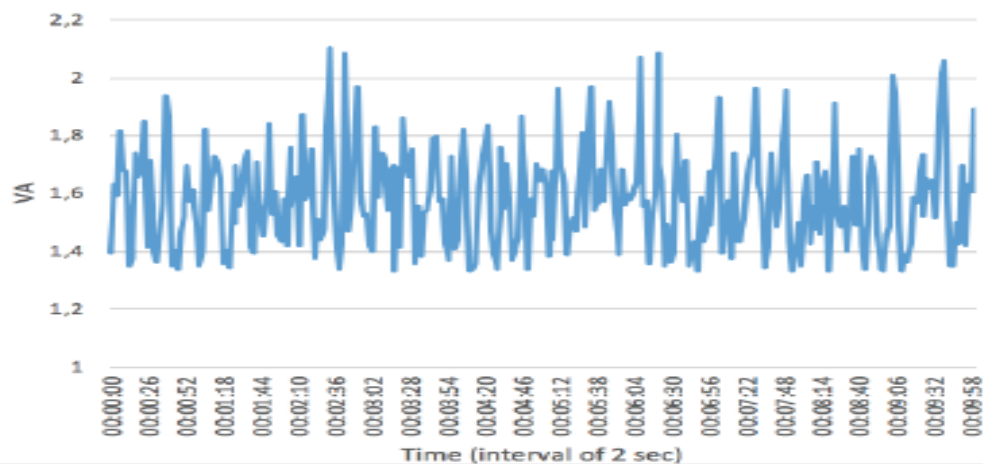
Έπειτα από την περαιτέρω μελέτη της agent based προσέγγισης, παρατηρήθηκε μία αξιόλογη ανάπτυξη της, σε δίκτυο 5 Raspberry Pies(RPi) (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5 - Ανάπτυξη δικτύου raspberry pies [16]

Χρησιμοποιήθηκαν τρίτης γενιάς RPi μοντέλου B συνδεδεμένα σε ασύρματο διακομιστή. Το λογισμικό που διατρέχουν είναι το Raspbian Stretch, μία έκδοση των linux αποκλειστικά για raspberries.

Η JADE agent πλατφόρμα σε JAVA που προαναφέρθηκε, επιτρέπει μέσω διαφορετικών νημάτων να εκτελεστούν πολλοί agents - νοικοκυριά στο παραπάνω δίκτυο, δίχως επιπλέον προσθήκες. Με την εκτέλεση του προτεινόμενου κώδικα από το προηγούμενο κεφάλαιο τέθηκε η σειρά συναλλαγής, στα 15 δευτερόλεπτα και για χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Έτσι υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση για 1 RPi για τον αντίστοιχο χρόνο, να είναι 1.58 Watt. Επιπλέον στην προσομοίωση έγινε δοκιμή για συνολικό χρόνο συναλλαγών σε 1 ώρα. Τα αποτελέσματα κατανάλωσης αντιστοιχούσαν σε 0.304 Wh.



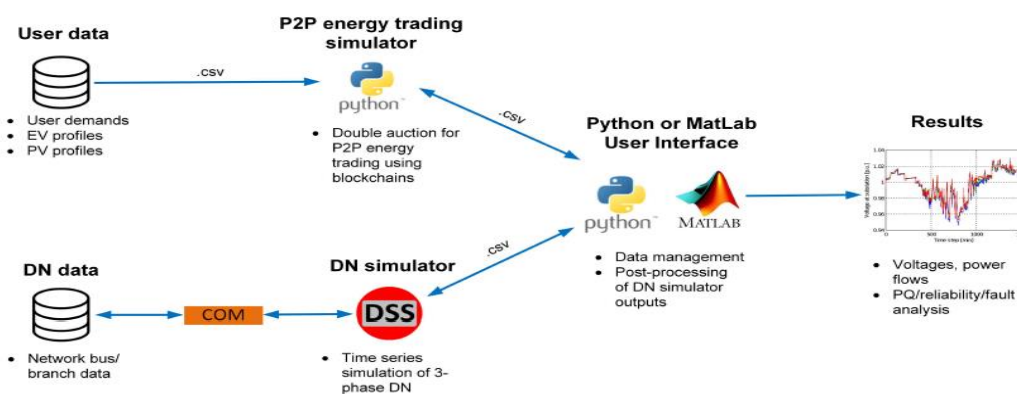
Εικόνα 4.6 - Ενεργειακή κατανάλωση σε rpi που συμμετείχαν στην αγορά [16]

## 4.3 Co-simulation Network Platform

Με το αυξανόμενο ενδιαφέρον στις πλατφόρμες ενεργειακών συναλλαγών, ολοένα και περισσότερες υλοποιήσεις του δικτύου του blockchain φαίνεται να προτείνονται με τα χρόνια. Λόγω της τεχνολογίας που διαθέτει, μέσω της peer-to-peer επικοινωνίας, συμβάλλει σημαντικά στη διασφάλιση των συναλλαγών. Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφεί ένας τρόπος - μεθοδολογία για την συνεργασία τέτοιων τοπικών peer-to-peer δικτύων με συστήματα ανταλλαγής ενέργειας. Η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος είναι δυνατό να γίνει μέσω της ανοιχτού κώδικα distribution πλατφόρμας OpenDSS και αντιστοιχεί στην μελέτη δημοσιευμένης έρευνας [19].

### 4.3.1 Μεθοδολογία

Για την επιτυχή λειτουργία μιας P2P ή από άκρο σε άκρο, ενεργειακής συναλλαγής, θα πρέπει να γίνει αποδεκτή σαν μέθοδος από περεταίρω συστήματα. Είναι απαραίτητη η δυνατότητα κατανόησης των παραδοχών του, για την συνεργασία με άλλα καταναμημένα συστήματα, καθώς και οι επιδράσεις του στην απόδοση του δικτύου. Είναι δυνατή η σχεδίαση ενός δικτύου στο οποίο συνδυάζονται περισσότερα από δύο παρόμοια συστήματα, μέσω του OpenDSS προσομοιωτή δικτύων. Επιτρέπει την αλληλεπίδραση με διάφορες βιβλιοθήκες των γλωσσών MatLab και Python. Επιπλέον με τις αντίστοιχες γλώσσες είναι δυνατή η διαχείριση των δεδομένων εισόδου και εξόδου, αλλά και η αυτοματοποίηση της προσομοίωσης ολόκληρου του δικτύου. Στην Εικόνα 4.7 παρατηρείται δίνεται μία πρώτη ιδέα της πολυ-προσομοίωσης των συστημάτων.



Εικόνα 4.7 - Προσομοίωση δικτύωσης κέντρου διανομής και blockchain [19]

Τα δεδομένα εισόδου, αντιστοιχούν σε 'user data' ή δεδομένα χρηστών, τα οποία περιλαμβάνουν τα προφίλ ζήτησης του κάθε χρήστη. Τα δεδομένα ζήτησης, προσφέρουν στο OpenDSS προσομοιωτή, τις απαραίτητες πληροφορίες της φυσικής υποδομής του καταναμημένου δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της αρχιτεκτονικής του, των χαρακτηριστικών των ενεργειακών γραμμών, τους μετασχηματιστές αλλά και τα στοιχεία ελέγχου του δικτύου όπως οι ρυθμιστές τάσης. Κατά την

προσομοίωση της P2P ενεργειακής συναλλαγής υλοποιείται και ένας κατακεντρωμένος μηχανισμός διπλο - εκλογής παρόμοιος με εκείνον σε προηγούμενη ενότητα με μία εκτενέστερη περιγραφή του.

### 4.3.2 Blockchain και μηχανισμός διπλο - εκλογής

Η διπλο - εκλογή [20], χρησιμοποιείται σαν ένα μοντέλο συναλλαγών από άκρο σε άκρο ή όπως προαναφέρθηκε στο P2P δίκτυο ενεργειακών συναλλαγών. Στην διπλο - εκλογή οι αγοραστές (όσοι χρειάζονται ενέργεια) και οι πωλητές (όσοι έχουν περίσσια ενέργεια) υποβάλουν την τιμή της προσφοράς τους (προς αγορά ή πώληση αντίστοιχα) στον πλειστηριασμό. Η τιμή της προσφοράς που θέτει ένας αγοραστής είναι η μέγιστη τιμή που θα πληρώσει για κάποιο ποσό ενέργειας, ενώ η προσφορά ενός πωλητή είναι η ελάχιστη τιμή που θα πουλήσει κάποιο ποσό ενέργειας που διαθέτει. Κατά τον πλειστηριασμό αποφασίζεται η τελική τιμή της ενέργειας προς συναλλαγή. Καθοριστικό ρόλο παίζει η ύπαρξη ενός μηχανισμού [21] για την διαπίστωση του νικητή στον πλειστηριασμό δηλαδή ποιος θα εμπορευτεί ενέργεια και σε ποια τιμή, μέσω της διπλο - εκλογής. Υπάρχουν όμως ορισμένοι προβληματισμοί σχετικά με την κεντροποιημένη διπλο - εκλογή στην P2P συναλλαγή ενέργειας.

- Η κεντροποιημένη εκλογή δεν είναι αμετάβλητη καθώς ένα σφάλμα στον πλειστηριασμό, θα ακυρώσει όλη τη διαδικασία συναλλαγής.
- Η εμπιστοσύνη του μηχανισμού πλειστηριασμού συζητείται λόγω της πιθανής συμφωνίας με ορισμένους συμμετέχοντες για την τροποποίηση του αποτελέσματος. Γι' αυτό και πρέπει να αξιολογείται η εμπιστοσύνη του πλειστηριαστή από τους peers.
- Η τιμή της ενέργειας μπορεί να καθοριστεί από τους peers που είναι σε μακρινή απόσταση από άλλους. Η προσέγγιση που αναφέρεται στην [21] βρίσκει το νικητή της διπλο - εκλογής. Σύμφωνα με τον αναφερθέν μηχανισμό, η τιμή της ενεργειακής συναλλαγής καθορίζεται από τις προσφορές από αγοραστή και πωλητή. Σε ένα μεγάλο δίκτυο, μπορεί ορισμένα άκρα να απέχουν μεγάλη απόσταση ο ένας από τον άλλο, ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της τιμής συναλλαγής. Έτσι, θα πρέπει να υπάρχει μία εξαίρεση για τέτοιες περιπτώσεις, έτσι ώστε να μην επιδρά στην τιμή ενέργειας του δικτύου.
- Επιπρόσθετα στην απόσταση μπορεί να υπάρξει απώλεια ενέργειας κατά τη διανομή.
- Ευπάθεια στην ασφάλεια των δεδομένων των συναλλαγών από επιθέσεις.

Η λύση για όλα τα παραπάνω προβλήματα, είναι η υλοποίηση μιας blockchain - based κατακεντρωμένης διπλο - εκλογής. Ο μηχανισμός του blockchain επιτρέπει την ασφαλή αποθήκευση των δεδομένων μιας συναλλαγής και από τα δύο άκρα σε ένα P2P δίκτυο. Η ασφάλεια του blockchain βιβλίου συναλλαγών, καθορίζεται από την κρυπτογράφηση των δεδομένων σύμφωνα με το πρωτόκολλο συναίνεσης που ακολουθείται. Τέλος, αποκλείει την απαίτηση ύπαρξης κάποιου τρίτου μεσολαβητή για την επιβεβαίωση των συναλλαγών και αποκλείει την πιθανότητα κάποιος κόμβος



να συμπεριφερθεί παράνομα σαν πλειστηριαστής. Η Εικόνα 4.8 δείχνει μία προτεινόμενη υλοποίηση μιας μεθόδου για P2P ενεργειακό εμπόριο.



Εικόνα 4.8 - P2P ενεργειακό δίκτυο μεταξύ νοικοκυριών με μηχανισμό διπλο – εκλογής [19]

Κάθε peer ενημερώνει τους υπολοίπους για τα αποθέματα ή τη ζήτηση ενέργειας αντίστοιχα σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους κατά τη δημιουργία συναλλαγών. Κάθε άκρο μπορεί να συμπεριφερθεί ως ‘πλειστηριαστής’ αν δεχθεί πολλαπλά αιτήματα από άλλους. Στην περίπτωση που κάποιος αποτύχει να αναδείξει κάποιον νικητή στην διαδικασία της διπλοεκλογής τότε προωθεί τη συναλλαγή σε άλλον peer. Στην περίπτωση που πετύχει, θα αποστείλει τα ανάλογα tokens ενέργειας στους συναλλάσκοντες.

Εδώ λοιπόν, ταιριάζει και η τεχνολογία των έξυπνων συμβολαίων, για να καθοριστεί και ο τρόπος διαμοιρασμού των χρηματικών ποσών μεταξύ των άκρων, εκτός από τα token ενέργειας. Η προσθήκη θα προταθεί σε περαιτέρω ενότητες που προσεγγίζουν πλατφόρμες με την επιπλέον προσθήκη έξυπνων συμβολαίων.

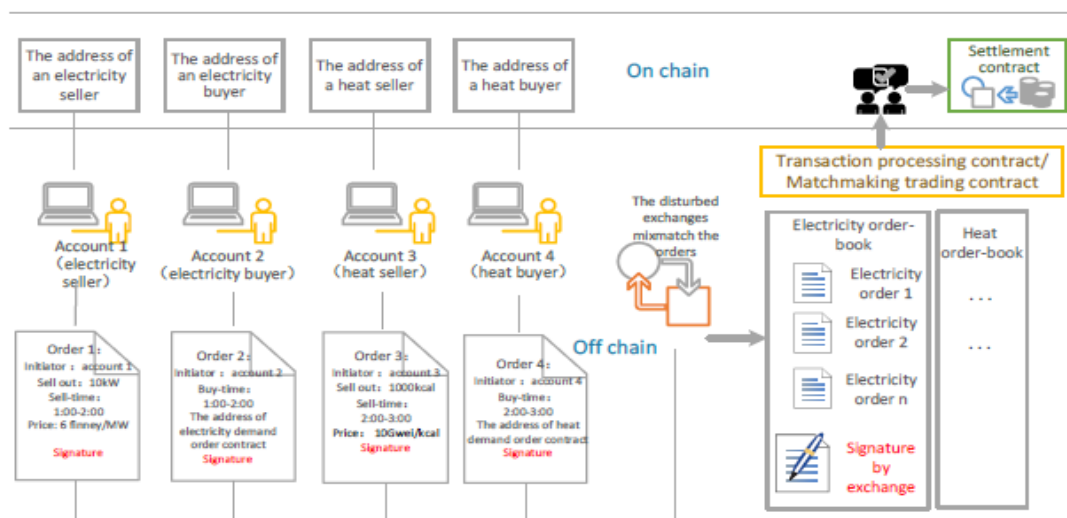
Το blockchain διαθέτει δεδομένα συναλλαγών οπότε είναι δυνατή και η δημιουργία του προφίλ κάθε χρήστη. Με άλλα λόγια κάθε peer θα έχει πρόσβαση στα στατιστικά των συναλλαγών του και θα μπορεί να υπολογίζει τη ζήτηση και τα αποθέματά του. Έτσι και τα tokens που θα διαθέτει δεν θα είναι παραπάνω από αυτά τα ποσά. Η τεχνολογία του blockchain αυτομάτως επίσης, με την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων θα έχει και μια εικόνα της πραγματικής ανάγκης κάθε χρήστη για την αποτροπή τυχόν κακοήθους μεθόδων.

## 4.4 Πλατφόρμα ενεργειακών συναλλαγών και εκλογή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στην δημιουργία πλατφόρμας που θα προσομοιώνει των συνδυασμό τεχνολογιών με βάση το δίκτυο blockchain. Στη παρούσα ενότητα θα γίνει επισήμανση μιας παρόμοιας υλοποίησης με περισσότερες λεπτομέρειες για την λειτουργία του μηχανισμού διπλή εκλογής και με την επεξήγηση της χρήσης έξυπνων συμβολαίων σε αυτή.

### 4.4.1 Διαδικασία συναλλαγής ενέργειας

Στην παρούσα σχεδίαση [22], θεωρείται πως κάθε χρήστης διαθέτει ένα ζευγάρι κλειδιών κρυπτογράφησης και συγκεκριμένα ένα ιδιωτικό και ένα δημόσιο. Επιπλέον, υπάρχει ένα σύστημα ‘έξυπνων μετρήσεων’ ή smart meters, το οποίο είναι υπεύθυνο για την μεταφόρτωση ενέργειας στο δίκτυο. Πριν από κάθε διαδικασία συναλλαγής πρέπει να ορίζεται ένα πλάνο που θα διαθέτει τη χρήση παρούσας ενέργειας. Οι συμμετέχοντες στην διανομή ενέργειας, θα πρέπει να επιβεβαιώσουν την συναλλαγή για να μεταφέρουν ένα σύνολο με tokens, από το blockchain τους, σε άλλα δικτυακά πορτοφόλια. Η διαδικασία συναλλαγής διαιρείται σε δύο επίπεδα, το επίπεδο κλήσης εκλογής ή call auction stage και το επίπεδο συνεχόμενης διπλο-εκλογής ή double auction stage. Η διαδικασία παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.9. Ο αγοραστής ενέργειας επιβεβαιώνει την συναλλαγή, έτσι ώστε το λογισμικό να έχει την δυνατότητα διανομής των ανάλογων tokens από το blockchain λογαριασμό, στα πορτοφόλια που έχουν υπογραφεί και από τις δύο πλευρές. Τα συμβόλαια που αναπτύσσονται σε μια επιτυχημένη συναλλαγή, περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται, το ανάλογο κόστος και τους πωλητές. Για να αποσταλούν τα δεδομένα κάθε αγοραπωλησίας, χρησιμοποιούνται ψηφιακές υπογραφές των δύο πλευρών μέσω του ιδιωτικού κλειδιού που διαθέτουν.



Εικόνα 4.9 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας συναλλαγής ενέργειας [22]

Η ανταλλαγή ταξινομεί τις προσφορές προς αγοραπωλησία στο δίκτυο, δημιουργώντας ξεχωριστά βιβλία προσφορών. Η δομή των βιβλίων αυτών εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος αφορά και προϋποθέτει τον ίδιο τύπο ενέργειας και ο δεύτερος τον ίδιο χρόνο διανομής, έτσι ώστε με την συμφωνία των δύο, να γίνει η ανταλλαγή στο ίδιο χρονικό διάστημα και στις δύο πλευρές. Στην συνέχεια, γίνεται η δημιουργία συμβολαίου διαδικασίας συναλλαγής ή Transaction processing contract, που περιέχει τα δεδομένα από τα βιβλία προσφορών. Επιπλέον, θα δημιουργηθεί ένα settlement contract το οποίο θα προωθηθεί στο blockchain, για να διασφαλιστεί η ενέργεια προς διανομή και για τα δύο άκρα. Τέλος, με την επιβεβαίωση της συναλλαγής, τα δεδομένα των smart meters θα αποθηκευτούν στο settlement smart contract αυτόματα και θα γίνει η μεταφορά των token ενέργειας. Ακολουθούν τη διαδικασία τα δύο επίπεδα εκλογής.

#### 4.4.2 Επίπεδο κλήσης εκλογής

Κατ' αυτό το επίπεδο, πωλητής και αγοραστής θα δημιουργήσουν ορισμένα πρότυπα συναλλαγών για το σύστημα, έτσι ώστε να καθοριστεί ένα εύρος τιμών, για κάθε τύπο ενέργειας, ανά διαφορετικές περιόδους στην ημέρα.

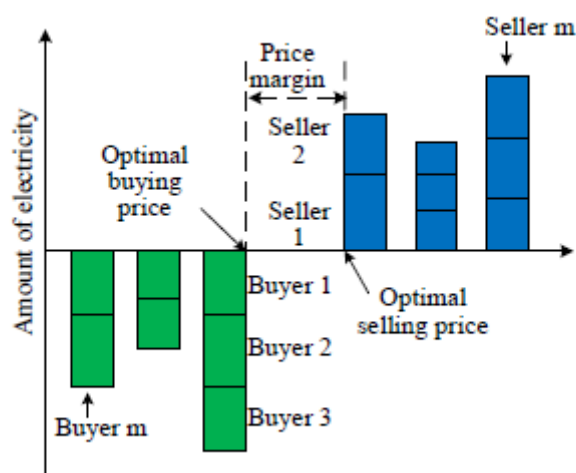
Η διαδικασία του call auction stage διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά. Αρχικά, σε αυτό το στάδιο, ζητείται από τον υπονήφιο αγοραστή, για την συμπλήρωση μιας φόρμας για την ζητούμενη ενέργεια, η διεύθυνση του για το συμβόλαιο που θα δημιουργηθεί. Έτσι και εκείνος χρειάζεται να τοποθετήσει τις περαιτέρω λεπτομέρειες, όπως το ποσό ενέργειας, το εύρος τιμών που ψάχνει και την χρονική περίοδο συναλλαγής.

Σε επόμενο στάδιο, όλα τα δεδομένα σχετικά με τη συναλλαγή αποστέλλονται στο σύστημα όπου και ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο ενέργειας και το χρόνο διανομής. Οι 'παραγγελίες' που βρίσκονται στα ίδια βιβλία προσφορών, θα αποσταλούν σε ένα έξυπνο συμβόλαιο ή smart contract, το οποίο θα υπολογίσει τη μέγιστη αξία για την προσφερόμενη ενέργεια και θα θέσει το εύρος των τιμών. Σημαντική επισήμανση είναι πως το παραπάνω smart contract, λαμβάνει υπόψη τις τιμές που έχουν ορίσει οι πωλητές ενέργειας στο σύστημα και έτσι εν τέλει δημιουργεί το αναφερθέν εύρος.

Η ζήτηση, όπως και θα αναλυθεί εν συνεχεία, αναλύεται το ανάλογο συμβόλαιο ζήτησης, το οποίο τροποποιεί το ποσό ενέργειας προς ζήτηση και προσαρμόζει τις ανάλογες τιμές για κάθε συναλλαγή.

### 4.4.3 Επίπεδο διπλο-εκλογής

Έπειτα από το επίπεδο κλήσης εκλογής, οι χρήστες που δεν διαθέτουν κάποια προσφορά ή συμφωνία σε συνδυασμό με τους νέους χρήστες - εμπόρους, έχουν την δυνατότητα συνεχών διπλο-εκλογών. Κατά την διαδικασία του κύκλου αγοραπωλησίας, πωλητές και αγοραστές στο δίκτυο, μπορούν να καταθέσουν την προσφορά τους στο σύστημα. Οι τιμές ενός πωλητή, ταξινομούνται από την μικρότερη στην μεγαλύτερη προσφορά, με την χαμηλότερη να αποτελεί την ιδανικότερη. Ο αγοραστής με την μεγαλύτερη προσφορά, μπορεί επομένως να ταιριάξει με τον πωλητή με την χαμηλότερη προσφορά. Όταν η ιδανική τιμή αγοράς είναι μεγαλύτερη ή ίση με την ιδανική τιμή πώλησης, μία συμφωνία αγοράς μπορεί να σφραγιστεί όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10 - Διαδικασία ταιριάσματος προσφορών αγοραστή-πωλητή [22]

Ουσιαστικά η τιμή είναι ίση με την μέση τιμή των προσφορών των δύο πλευρών. Αν οι τιμές είναι παρόμοιες οι συναλλαγές ολοκληρώνονται σύμφωνα με την χρονοσφραγίδα των προσφορών. Κατά την διαδικασία του ταιριάσματος, τα έξυπνα συμβόλαια που είναι υπεύθυνα, χρειάζονται συνεχή ενημέρωση της κατάστασης κάθε προσφοράς σε πραγματικό χρόνο.

Κατά την εκλογή, οι συμμετέχοντες της αγοράς μπορούν να προσαρμόσουν τις προσφορές τους βασισμένοι στα δεδομένα για τον επόμενο κύκλο συναλλαγών, έως ότου το συνολικό ποσό ενέργειας πωληθεί ή λήξει ο χρόνος συναλλαγής. Με την ολοκλήρωση του ζευγαρώματος συναλλαγών, οι δύο πλευρές δημιουργούν ένα settlement έξυπνο συμβόλαιο και μεταφέρουν τα token που αντιστοιχούν στα ποσά ενέργειας που μεταφέρθηκαν.

Σε αντίθεση με την κεντροποιημένη προσέγγιση, στην συνεχόμενη διαδικασία διπλο-εκλογής, κάθε χρήστης που συμμετέχει στο εμπόριο ενέργειας, ενδιαφέρεται στην ανάπτυξη της χρησιμότητάς της, δηλαδή να υπάρχει πάντοτε ενέργεια διαθέσιμη. Κάθε συμμετέχων μπορεί να προσθέσει ένα ποσό στο έξυπνο συμβόλαιο ταιριάσματος στο διάστημα που συμβαίνει μία συναλλαγή.

Λίγο πριν την ένταξή τους στην αγορά, κάθε πωλητής και αγοραστής, υπολογίζουν την εκτιμώμενη τιμή σύμφωνα με την αναμενόμενη τιμή αγοράς, το κόστος παραγωγής αλλά και την ζήτηση προς την αγορά.

#### 4.4.4 Συμβόλαιο Διαδικασίας Συναλλαγής και Ζήτησης

Το συμβόλαιο συναλλαγής ή Transaction processing contract, συμπεριλαμβάνει το ποσό ενέργειας για μία συγκεκριμένη περίοδο, με την ανάλογο εύρος τιμών που έχει καθοριστεί από τους πωλητές. Το συμβόλαιο θα καταγράψει όλες τις ‘παραγγελίες’ και θα υπολογίζει το συνολικό απόθεμα ενέργειας, στην τιμή που θα καθοριστεί από την διπλο - εκλογή των συμμετεχόντων. Ταυτόχρονα το συμβόλαιο συναλλαγής θα προσαρμόσει την τιμή με τα νέα δεδομένα και θα ενημερώσει το συμβόλαιο ζήτησης παραγγελιών του χρήστη. Επομένως, οι έξοδοι περιλαμβάνουν, την αποστολή της νέας τιμής της αντίστοιχης ενέργειας, που θα αποσταλεί στο πορτοφόλι του χρήστη και την συχνότητα συναλλαγών του κάθε αγοραστή.

Όταν το απόθεμα ενέργειας έρχεται σε αντιστοιχία με την ζήτηση, το συμβόλαιο θα ελέγξει αν οι παραγγελίες έχουν επεξεργαστεί. Στην περίπτωση αυτή, θα πραγματοποιήσει δύο κινήσεις. Αν το είδος ενέργειας είναι διαφορετικό, θα ελέγξει αν τα ποσά του καθενός, είναι ανάλογα και εν τέλη θα αποστείλει τα δεδομένα στους υποψήφιους πωλητές.

Μία όμως από τις σημαντικότερες ενέργειες αυτού του συμβολαίου είναι η συνεργασία του με ένα συμβόλαιο ζήτησης. Οι αγοραστές θα πρέπει να εναποθέσουν στη διεύθυνση του multi-signature πορτοφόλι τους (υπογεγραμμένο από αγοραστή και πωλητή), σύμφωνα με την τιμή ρεύματος ενός τοπικού διανομέα. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται πριν ο αγοραστής εισέλθει στην αγορά - δίκτυο.

Οι αναμενόμενοι εισοδοί - δεδομένα που διαθέτει το συμβόλαιο αυτό είναι το είδος της ενέργειας, το ποσό της και το χρόνο αποστολής ενέργειας και για τις δύο πλευρές. Τέλος, η έξοδος του αναφέρεται στις διευθύνσεις διανομής και στο ποσό και την τιμή της ενέργειας προς διανομή. Η ενέργεια υπολογίζεται με την ισοτιμία της σε token.

## 4.5 Multi-carrier energy system

Οι πολλαπλές κλιματικές αλλαγές με τα χρόνια ενισχύουν την ζήτηση ενέργειας. Έτσι, πολλές χώρες στρέφονται προς μελλοντικές επενδύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κοινή πρόκληση για τους διακομιστές και διανομείς ενέργειας, αποτελούν η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διαφάνεια πληρωμών και η ακεραιότητα των δεδομένων.

Μία λοιπόν τεχνολογία που μπορεί να συνεισφέρει στις προκλήσεις αυτές αποτελεί το blockchain. Μία προσέγγιση προς το Ethereum blockchain αποτελεί και ο σχεδιασμός ενός Multi - carrier energy system [23] για την συγχρονισμένη και αυθημερόν διανομή ενέργειας. Κύρια προσθήκη αυτής της προσέγγισης αποτελεί η σχεδίαση του πρωτοκόλλου που την υλοποιεί.

### 4.5.1 Εισαγωγικές έννοιες και Blockchain

Ένα Multi - carrier energy system ή MES συνδυάζει πολλαπλούς ενεργειακούς φορείς όπως ηλεκτρικό ρεύμα, θέρμανση, ψύξη που αλληλοεπιδρούν σε διάφορα επίπεδα όπως για παράδειγμα σε μια περιοχή ή πόλη. Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση η θέρμανση και το ηλεκτρικό ρεύμα αποτελούν δύο κύρια υποσυστήματα προς μελέτη. Ένα MES με την βοήθεια μιας κατανεμημένης τεχνολογίας όπως το blockchain αποτελεί το κλειδί για την απανθράκωση του ενεργειακού κλάδου, καθώς και για την βελτίωση του τεχνικού, οικονομικού αλλά και περιβαλλοντικού τομέα.

Για την αποτελεσματική λειτουργία, ενός τέτοιου συστήματος, μία λύση είναι η διαίρεση του ενεργειακού δικτύου και ο έλεγχος των επιμέρους δικτύων ασύγχρονα σε ένα κατανεμημένο δίκτυο [24]. Η λειτουργία τέτοιων υποδικτύων σε ένα κατανεμημένο MES αποτελεί μία ιδανική περίπτωση, καθώς η πολυπλοκότητα της υλοποίησής του μειώνεται, σε σχέση με ένα σύστημα που θα χρειαζόταν διαχείριση και μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να φιλοξενήσει στο δίκτυό του και αμφίδρομες τεχνολογίες κατανεμημένου ενεργειακού δικτύου όπως είναι τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα. Μία επιπλέον πρόταση στην επίλυση για την αυξανόμενη ζήτηση 'ευέλικτης' ενέργειας είναι η δημιουργία ενός Συναλλαζόμενου Ενεργειακού Συστήματος ή Transactive Energy System (TES). Μέσω ενός συνόλου οικονομικών και ελεγχόμενων μηχανισμών, ορίζεται ένα εύρος τιμών, που εξισορροπούν τις ανάγκες ζήτησης και διάθεσης ενέργειας, ανά κάποιο χρονικό διάστημα, σε ολόκληρη την ενεργειακή υποδομή. Το TES, ενισχύει την ποιότητα των συμμετεχόντων, διατηρώντας σταθερή την αξιοπιστία του συστήματος. Έτσι, όσο οι καταναλωτές απαιτούν σταθερή και σε πραγματικό χρόνο διαφάνεια αλλά και ακρίβεια στις συναλλαγές, για την ενεργειακή τους κατανάλωση, για την ικανοποίηση της αναμενόμενης ζήτησης, η τεχνολογία του blockchain υιοθετείται για την επίτευξη του σκοπού.

Ένα Blockchain δίκτυο προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής και διανομής δεδομένων σε όλους τους συμμετέχοντες. Διεθνώς οι κατανεμημένοι κόμβοι σε μια

αλυσίδα, συνδέονται μέσω του P2P επικοινωνιακού δικτύου, που διαθέτει δικό του πρωτόκολλο επικοινωνίας και τρόπο εύρεσης ζεύγους - άκρου. Δίχως την χρήση ενός κεντρικού εξυπηρετητή, η τεχνολογία του blockchain, αποτρέπει την περίπτωση κάποιος κόμβος να υπερισχύει άλλων και την περίπτωση ελέγχου της συναίνεσης του δικτύου κατά την διαδικασία επιλογής νέου κόμβου. Νέα δεδομένα μπορούν να ενσωματωθούν αν και μόνο αν επιτευχθεί συναίνεση από όλους του συμμετέχοντες στο δίκτυο. Μερικοί από τους μηχανισμούς συναίνεσης που έχουν προαναφερθεί είναι οι αλγόριθμοι PoS και PoW. Επιπλέον με τη χρήση των έξυπνων συμβολαίων ή smart contracts που αποτελούν scripts διαδικασιών στο blockchain, πολλές ενέργειες και υπολογισμοί αυτοματοποιούνται στη λειτουργία του δικτύου.

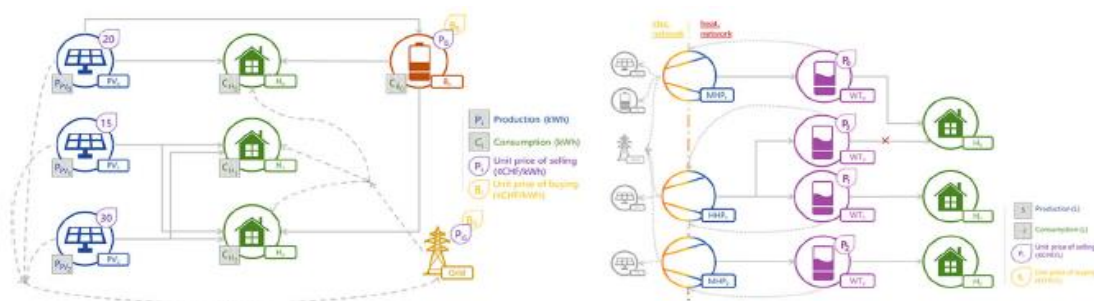
#### 4.5.2 Πρωτόκολλο λειτουργίας

Έπειτα από μελέτη της δημοσίευσης [23], θα αναλυθεί η διαδικασία συγχρονισμού και διανομής των ενεργειακών συναλλαγών στο σύστημα MES που διαθέτει υποσυστήματα ηλεκτρισμού και θέρμανσης. Η διαδικασία λειτουργεί αποκεντρωμένα, στην ‘αλυσίδα’ με τον μηχανισμό να στοχεύει στην δημιουργία μιας κοινότητας των χρηστών του δικτύου με στόχο το κοινό καλό και την εισχώρηση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με το ανάλογο ενδιαφέρον για αυτές. Επιπλέον, σημαντική παράμετρος αποτελεί η μείωση του κόστους κατανάλωσης, μέσω κατάλληλου πορτοφολιού για να ελέγχουν το προφίλ του οι χρήστες.

Μία ενεργειακή συναλλαγή ταιριάζει τους υποψήφιους με ορισμένα κριτήρια.

- Συνδεσιμότητα: Οι υλικές επαφές μέσω καλωδίων ή τούνελ στο ενεργειακό δίκτυο.
- Διαθεσιμότητα: Ζήτηση και απόθεμα ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.
- Προτεραιότητα: Θεσμός για προτεραιότητα κατανάλωσης βιώσιμης ενέργειας αντί της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

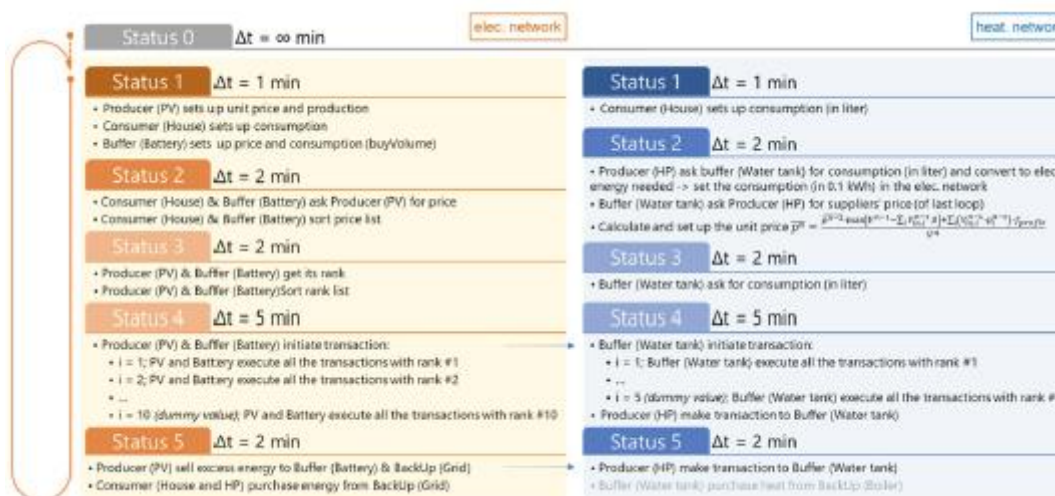
Η αρχιτεκτονική του συστήματος και η δοκιμή της ροής των δεδομένων παρατηρούνται στην Εικόνα 4.11, προερχόμενα από το eHub του EMPA στο Dübendorf, Ελβετία.



Εικόνα 4.11 - Σχέδιο δικτύων και υποδικτύων τους για ηλεκτρικό ρεύμα και θέρμανση [23]

Στις συναλλαγές που πραγματοποιούνται αυθημερόν, σε ενεργειακές και χρηματοοικονομικές περιπτώσεις, ξεκαθαρίζονται στην περίοδο των 15 λεπτών. Προτείνεται ένας μηχανισμός 5 βημάτων, με καθένα να διαθέτει διαφορετικό χρόνο

λειτουργίας και συγχρονίζονται μέσω ενός ειδικού έξυπνου συμβολαίου. Στην Εικόνα 4.12, παρατηρείται η διαδικασία μιας περιόδου συναλλαγής.



Εικόνα 4.12 - Διαδικασία περιόδου συναλλαγής ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα [23]

Στο πρώτο βήμα, όλες οι συσκευές εισάγουν βασικές πληροφορίες για τα επόμενα 15 λεπτά. Στο δεύτερο βήμα, όλοι οι καταναλωτές αποστέλλουν εύρη τιμών για τους παραγωγούς ανανεώσιμης ενέργειας ή για τις μονάδες αποθήκευσης στην κοινότητα. Όταν όλες οι διαδικασίες έχουν ολοκληρωθεί οι καταναλωτές ταξινομούν όλες τις πιθανές προσφορές σύμφωνα με τις ενημερωμένες τιμές ανά μονάδα. Οι απαντήσεις που σημειώνονται, ταξινομούνται σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες:

- Ταξινόμηση από την χαμηλότερη τιμή προς την υψηλότερη.
- Τοποθέτηση σε χαμηλή κατάταξη των συσκευών που διατήρησαν απάθεια.

Στο τρίτο βήμα, οι παραγωγοί, ζητούν το αποθηκευμένο ποσό ενέργειας από τους συνδεδεμένους καταναλωτές και δημιουργούν τη δική τους λίστα καταναλωτών σύμφωνα με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ληξιπρόθεσμες πληροφορίες δεν ταξινομούνται.
- Ταξινόμηση των καταναλωτών με βάση την κατάταξή τους στο δίκτυο, όπου η χαμηλότερη κατάταξη αντιστοιχεί σε υψηλότερη θέσης κατάταξης.
- Για δύο οντότητες με την ίδια κατάταξη, η χαμηλότερη τιμή ενέργειας υπερνικά.
- Οι συσκευές με μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας τοποθετούνται χαμηλότερα στην σειρά.

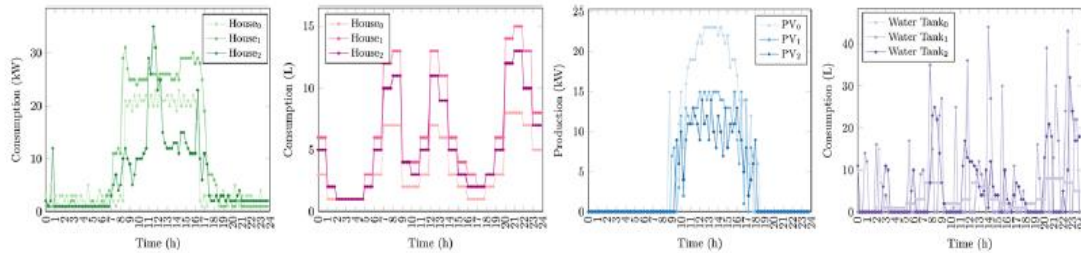
Στο τέταρτο βήμα, οι κόμβοι με αρνητικό απόθεμα ενέργειας, πραγματοποιούν συναλλαγές με βάση τη λίστα κατάταξής τους. Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσεύματα ενέργειας από παραγωγή ή απόθεμα τότε παραγωγοί και καταναλωτές δρουν ταυτοχρόνως για την κάλυψη του γεγονότος. Είναι δυνατό από το σύστημα να δημιουργήσει blacklists για ορισμένες συσκευές των οποίων η επικοινωνία τερματίζεται αυτομάτως, παρέχοντας επίσης την δυνατότητα επίκρισης σε μη προσιτές τιμές.

Οι παραγωγοί ενέργειας μπορούν να επιλέξουν μεταξύ διαφόρων στρατηγικών για το εύρος τιμών τους. Κρίνεται από το στόχο που θέτει ο κάθε κόμβος όπως η μέγιστη



τιμή πώλησης ή αγοράς. Έτσι, υπάρχουν και τα ανάλογα σενάρια τιμών που χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Αρχικά, υπάρχει το Real Time Pricing, όπου κάθε οντότητα διαθέτει ολίγες ή καμία πληροφορία για την επίδοση των δικών τους και άλλων συσκευών. Η προκειμένη περίπτωση, η στρατηγική που ακολουθείται καθιστά τις τιμές τυχαίες και ανεξάρτητες από το σύστημα.

Επιπρόσθετα, υπάρχει η αντίστροφη τιμολόγηση παραγωγής (Critical Peak Pricing) όπου οι παραγωγοί χρειάζεται να προβλέψουν τα αποτελέσματα των συσκευών τους για τα επόμενα 15 λεπτά, βασισμένη σε δεδομένα προηγούμενων ενεργειών και να τοποθετήσουν την τελική τιμή σύμφωνα με την συσχέτιση αποθέματος-ζήτησης.



Εικόνα 4.13 - Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και νερού σε χειμερινούς μήνες [23]

Η τελευταία στρατηγική, βασίζεται στην τροποποίηση των τιμών από τους παραγωγούς που συγκρίνουν τις τιμές τους με άλλων στο δίκτυο. Έτσι προσαρμόζουν τις τιμές τους με βάση την συμπεριφορά των τιμών άλλων παραγωγών ενέργειας με έναν μη συγκεντρωτικό και συνεργατικό τρόπο.

Ο μηχανισμός, υλοποιείται από ένα πλήθος έξυπνων συμβολαίων, δομημένο στην γλώσσα προγραμματισμού Solidity, στην πλατφόρμα Truffle, στον προσομοιωτή δικτύου που παρέχει το Ethereum.

## 4.6 Energy Web Chain

Στην ενότητα αυτή θα γίνει αναφορά της προσέγγισης ενεργειακού διαδικτύου έχει προταθεί από το Energy Web Foundation [25]. Συγκεκριμένα η έρευνα παρουσιάζει το ήδη υπάρχον πρόβλημα ορυκτών καυσίμων και προτείνει μία εναλλακτική ιδέα στην αγορά ενέργειας με τη χρήση DLTs όπως το blockchain.

Η αρχιτεκτονική της αγοράς που προτείνεται, βασίζεται σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο, όπου κάθε άτομο αποτελεί έναν κόμβο και μπορεί να συμμετέχει στην αγοραπωλησία ενέργειας. Στην προσέγγιση αυτή έχει δοθεί το όνομα Energy Web Chain.

Σκοπός του Energy Web Chain είναι να το χρησιμοποιούν πολλοί αλλά δίχως τον έλεγχο από εταιρούς. Για την εξασφάλιση αυτής της ιδιαιτερότητας είναι:

- Περιεκτικό: Να διαθέτει δηλαδή τη δυνατότητα υποστήριξης πολλών εφαρμογών blockchain και της εκτενούς χρήσης του.
- Διαφανές: Ελεύθερος έλεγχος ιστορικού και συναλλαγών από τους συμμετέχοντες, προγραμματιστές ή άλλες οντότητες στο δίκτυο της αγοράς.
- Ασφαλές: Προστασία της ιδιωτικότητας και αποκλεισμός από κατακεντρωμένες επιθέσεις στο δίκτυο.
- Ευέλικτο: Σε κάθε μορφή ενέργειας όποτε χρειάζεται αλλά και στη προσαρμογή νέων τεχνολογιών για την βελτίωσή του
- Αποδοτικό : Όσον αφορά την διαχείριση και διατήρηση των τιμών ενέργειας στο δίκτυο, σε ανταγωνιστικό επίπεδο.

Η τεχνολογία που διαθέτει το σύστημα, βασίζεται σε αυτή του Ethereum. Μερικοί από τους λόγους που επιλέχθηκε, είναι:

- Η ανοικτού κώδικα φύση του που καθιστά και το Energy Web αντίστοιχα open - source
- Είναι στην κατηγορία των δημόσιων blockchains και αντίστοιχα ήταν απαραίτητο το ανάλογο δίκτυο για την προσέγγιση του Energy Web.
- Ήταν το στατιστικά πιο ασφαλές στην κατηγορία των δημόσιων blockchains.
- Είναι ευέλικτο ως προς τις τεχνολογίες που το υλοποιούν χάρη στην καινοτόμο λειτουργία του ονόματι Ethereum Virtual Machine.
- Διαθέτει μεγάλη κοινότητα προγραμματιστών και ανάλογα πληθώρα ανοικτού κώδικα extensions.

#### 4.6.1 Αλγόριθμος Proof of Authority

Η συναίνεση ή consensus αποτελεί το επίκεντρο σε μία DLT όπως το blockchain. Είναι ο μηχανισμός που πραγματοποιεί τις συμφωνίες μεταξύ των αποκεντρωμένων κόμβων - επικυρωτών και την εμπιστοσύνη των χρηστών για τα δεδομένα που διαρρέουν το δίκτυο. Τα κύρια χαρακτηριστικά του μηχανισμού κατάλληλου για τον ενεργειακό κλάδο είναι: α) Η υψηλή χωρητικότητα του, β) η ασφάλεια που προσφέρει, γ) η διαθεσιμότητα πόρων που διαθέτει, δ) η οργάνωση ως προς τους κανόνες του, ε) η εμπιστοσύνη προς το δίκτυο.

Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιείται ο μηχανισμός - αλγόριθμος Proof of Authority (PoA) ή απόδειξης εξουσίας αναφερόμενος στον αλγόριθμο συναίνεσης Aura. Στο Energy Web Chain, μία 'πισίνα' από γνωστούς και έμπιστους κόμβους - επικυρωτές είναι υπεύθυνοι για την επικύρωση των συναλλαγών και τη δημιουργία νέων blocks. Η συγκεκριμένη προσέγγιση προσφέρει ασφάλεια, ρυθμιζόμενη διαφάνεια και σημαντικά πλεονεκτήματα χωρητικότητας με ένα μικρό κόστος για την αποκεντρωμένη φύση του δικτύου.

Η Energy Web Foundation αντικατέστησε τον αλγόριθμο απόδειξης εργασίας που χρησιμοποιούσε το δίκτυο Ethereum με τον αλγόριθμο εξουσίας PoA. Η αλλαγή αυτή βελτίωσε την χωρητικότητα του δικτύου 30 φορές, σε σχέση με του Ethereum. Επιπλέον πλεονεκτήματα του αλγορίθμου, είναι πως δεν υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των κόμβων, για την δημιουργία blocks (Εικόνα 4.14), επομένως η διαδικασία των συναλλαγών επιταχύνεται και η ενεργειακή κατανάλωση και η υπολογιστική πολυπλοκότητα μειώνεται.

Η μείωση των απαιτήσεων ενέργειας και υπολογιστικής ισχύος, αντίστοιχα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους συναλλαγών σε σχέση με του Ethereum. Ακόμη, απλοποιείται και η ενημέρωση του πρωτοκόλλου του δικτύου λόγω του περιορισμού των επικυρωτών σε νόμιμα εγγεγραμμένες οντότητες. Η διαδικασία απλοποιεί την ενημέρωση του πρωτοκόλλου, καθώς συγχρονίζονται συνέχεια συγκεκριμένοι επικυρωτές, κάτι αρκετά πιο εύκολο σε σχέση με την επιλογή τους δυναμικά από ανώνυμους εξορύκτες του δικτύου.

Η Energy Web Foundation στην προσπάθεια βελτίωσης της ασφάλειας του δικτύου, αντικαθιστά την virtual μηχανή του Ethereum EVM με την εισαγωγή στην Web Assembly ή WASM. Η μηχανή προσομοίωσης WASM προσφέρει εκτός από την ταχύτερη εκτέλεση του δικτύου, την δυνατότητα χρήσης και άλλων γλωσσών προγραμματισμού εκτός από την Solidity φιλοξενώντας έτσι ένα πιο ολοκληρωμένο σύστημα για debugging.



Εικόνα 4.14 - Διαδικασία προσθήκης νέου block με τον αλγόριθμο Proof of Authority

## 4.7 EnerPort

Το EnerPort [25] αποτελεί ένα project της Ιρλανδικής κυβέρνησης όπου η τεχνολογία του blockchain χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός P2P μοντέλου ενεργειακών συναλλαγών. Το μοντέλο, χρησιμοποιείται για την υποστήριξη του εμπορίου ενέργειας μεταξύ microgrids (δίκτυα από χρήστες ηλεκτρικού ρεύματος με μία τοπική πηγή αποθέματος ενέργειας). Υπεύθυνοι της οργάνωσης του project είναι το Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Ενέργειας σε συνεργασία με το Εθνικό Πανεπιστήμιο Ιρλανδίας, Galway και το University College Cork. Στόχος είναι η επισήμανση σημαντικών προκλήσεων μεταξύ υλικού εξοπλισμού και λογισμικού αλλά και η ανάλυση προβλημάτων στην αγορά.

Το εμπόριο ενέργειας είναι απαραίτητο εσωτερικά ενός microgrid είτε και μεταξύ άλλων microgrids. Η ανάγκη αυτή οφείλεται στην αυξημένη κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας με τα χρόνια. Στην Ιρλανδία η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2015 είχε αυξηθεί ήδη κατά 27.8%. Τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες μιας τέτοιας αγοράς ενέργειας είναι:

- α) Η αυτόνομη εκτέλεση αποφάσεων σχετικά με τις συναλλαγές.
- β) Ασφάλεια των δεδομένων που διαμοιράζονται στο δίκτυο.
- γ) Έλεγχος της αγοράς - συμμόρφωση των συμμετεχόντων - εμπόρων.
- δ) Διεύρυνση της αγοράς - όσο μεγαλώνει να αυξάνονται και οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται σε αυτή.

Στο EnerPort χρησιμοποιείται η τεχνολογία του blockchain, για την υλοποίηση των παραπάνω ιδιαιτεροτήτων με μεγαλύτερη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Για την αυτοματοποίηση των αποφάσεων στις συναλλαγές ενέργειας, χρησιμοποιείται η τεχνολογία των blockchain smart contracts και του μηχανισμού συναίνεσης των άκρων. Έτσι, επιτυγχάνεται η αυτόματη ρύθμιση της αγοράς ενέργειας και οι παράλληλες, ασύγχρονες συναλλαγές μεταξύ microgrids, στο δίκτυο.

Στη παρούσα πρόταση ονόματι EnerPort, ερευνώνται νέα μοντέλα, σχετικά με τις P2P ενεργειακές συναλλαγές συμπεριλαμβανομένης της υλοποίησης τους blockchain. Αναπτύσσεται ένα νέο λογισμικό για την δικτύωση πολλών επιμέρους δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και των ενεργειακών συναλλαγών βασιζομένων στη τεχνολογία του blockchain.

Το EnerPort υλοποιεί τη τεχνολογία ενός consortium ή σε κοινοπραξία δικτύου blockchain, όπου το Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Ενέργειας έχει ηγετικό ρόλο. Οι επιμέρους συμμετέχοντες είναι το Insight SFI Centre for Data Analytics, Galway, University College Cork και ορισμένες Ιρλανδικές εταιρείες όπως οι Systemlink, mSemicon, Verbatm.

#### 4.7.1 Μελλοντικές υλοποιήσεις

Κατά την υλοποίηση του EnerPort επίκεινται ποικίλα μοντέλα, κατάλληλα για πολλαπλά σενάρια peer-to-peer ενεργειακών συναλλαγών. Μερικά από αυτά είναι:

- **Σχηματισμός συνασπισμού ενεργειακών συναλλαγών:** Για την συναλλαγή μέσω αυτού του μοντέλου, υπάρχουν ορισμένοι peers ή συμμετέχοντες που συγχρονίζουν την κατανάλωσή τους έτσι ώστε να αυξάνουν τις πιθανότητες επιλογής τους για τα ποσοστά ενέργειας που δαπανούν. Ένας τέτοιος ‘συνασπισμός’ είναι ουσιαστικά μία επιμέρους ομάδα από peers που ανταλλάσσουν ενέργεια μεταξύ τους.
- **Διπλο - εκλογή για τις ενεργειακές συναλλαγές:** Σχεδιασμένο για peers σε ανταγωνισμό, οι οποίοι συμμετέχουν σε συναλλαγή που χαρακτηρίζεται από διπλο - εκλογή. Σε αυτό το μοντέλο, κάθε άκρο της συναλλαγής υποβάλλει μία τιμή στο δίκτυο η οποία χαρακτηρίζεται από τη σχέση κατανάλωση και παραγωγής ενέργειας τους. Έτσι ο μηχανισμός, ορίζει την τιμή της ενέργειας και τους peers που θα εμπορευτούν.

Επιπλέον υλοποίηση, εκτός από τα μοντέλα που αναφέρθηκαν, αποτελεί η δημιουργία μιας πλατφόρμας co-simulation δικτύων διανομής ενέργειας και του blockchain P2P εμπορίου ενέργειας. Η αυτής της πλατφόρμας την οποία υιοθετεί και το EnerPort project αναλύεται στην ενότητα 4.3.

Για την παρουσίαση μιας περίπτωσης χρήσης του δικτύου που περιγράφεται η EnerPort θα δημιουργήσει έναν demonstrator. Στην παρουσίαση θα επιτρέπεται μία ολοκληρωμένη end-to-end P2P ενεργειακή συναλλαγή σε κατοικημένες περιοχές, χρησιμοποιώντας τις smart μετρήσεις ηλεκτρικού ρεύματος, μέσω κατάλληλου εξοπλισμού. Με άλλα λόγια η παρουσίαση περιλαμβάνει την σύνθεση ενός έξυπνου σπιτιού με την απαραίτητη υποδομή λογισμικού και hardware, για να επιτευχθεί μία P2P ενεργειακή συναλλαγή. Περιλαμβάνονται λοιπόν:

- Ένας εργαστηριακός έλεγχος, σχεδιασμένος να επισημάνει τα απαραίτητα software interfaces και επικοινωνιακά πρωτόκολλα, λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια των δεδομένων και της ιδιωτικότητας.
- Μία διεπαφή μεταξύ του εξοπλισμού υπεύθυνου για τις smart μετρήσεις και τις blockchain-base P2P ενεργειακές συναλλαγές.
- Λογισμικό κατάλληλο για τη χρήση άλλων τύπων blockchain όπως το Hyperledger και λογισμικό υπεύθυνο για άλλες λειτουργίες και εμπορικά μοντέλα.

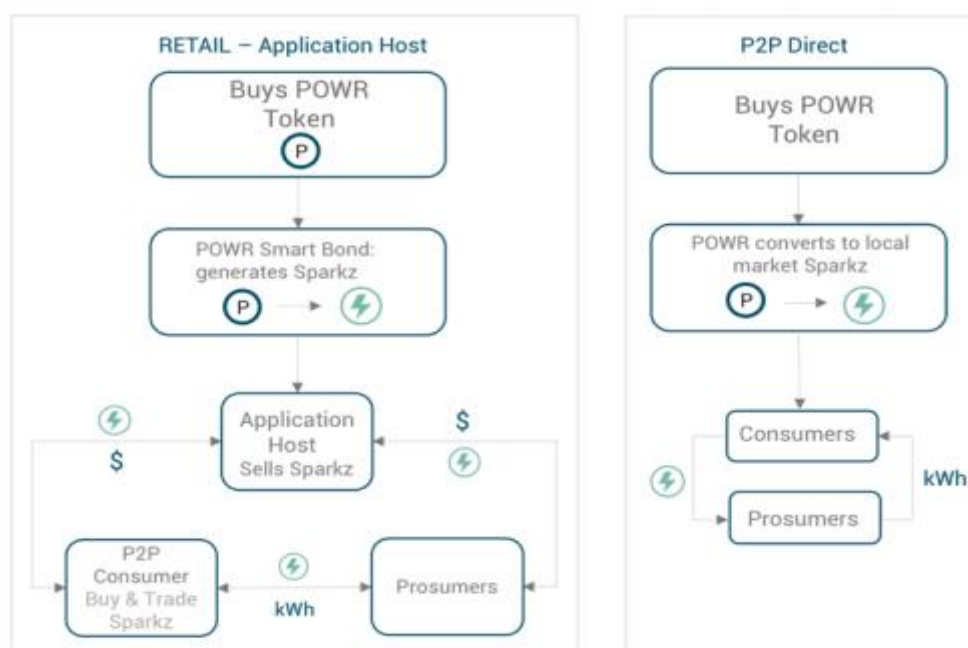
Τέλος, η EnerPort δίνει ιδιαίτερη σημασία στην ανάλυση των υπολοίπων αγορών ενέργειας και των μελλοντικών σεναρίων που θα ακολουθήσουν. Το blockchain, θα χρειαστεί να ανταγωνιστεί ήδη υπάρχουσες ενεργειακές πλατφόρμες ενέργειας και ίσως να συναντήσει και τα ήδη υπάρχοντα προβλήματά τους. Εκτιμάται πως θα υπάρξει μεγάλη διαφορά στη ζήτηση σε τέτοιου είδους πλατφόρμες στα επόμενα χρόνια, με την blockchain τεχνολογία να παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στις προσεγγίσεις τέτοιων μεθόδων.

## 4.8 Power Ledger Platform

Η πλατφόρμα Power Ledger [27] είναι ένα οικοσύστημα που επιτρέπει την λειτουργία πολλαπλών μηχανισμών οργάνωσης και τιμολόγησης από προπληρωμένα tokens. Διαθέτει ένα διαφανές framework ελέγχου άλλων αγορών ενέργειας διεθνώς, δίνοντας τη δυνατότητα δικτύωσης της αγοράς των καταναλωτών.

Η ευελιξία της πλατφόρμας βασίζεται σε ένα σύστημα διπλών tokens που διαθέτει ονόματι POWR και Sparkz καθένα από τα οποία λειτουργεί σε δύο ξεχωριστά blockchain επίπεδα. Τα POWR tokens είναι εκείνα που επιτρέπουν στους ενδιαφέροντες να πραγματοποιήσουν είσοδο στην πλατφόρμα. Τα δεύτερα σε σειρά Sparkz tokens, είναι εκείνα που οι πλέον χρήστες χρησιμοποιούν στην πλατφόρμα για τις συναλλαγές τους. Οι χρήστες της πλατφόρμας μπορεί να είναι εταιρείες διανομής ενέργειας, αλλά και microgrids. Η εφαρμογή που χρησιμοποιεί η πλατφόρμα για την πραγματοποίηση P2P ενεργειακών συναλλαγών ονομάζεται FuseBox.

Τα Sparkz tokens είναι επίσης εκείνα που αντιπροσωπεύουν την τιμή της μονάδας ενέργειας στο δίκτυο και μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα το είδος των άκρων που αλληλοεπιδρούν. Επιπλέον, διαθέτουν σταθερή ισοτιμία μεταξύ τοπικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και την τιμή του POWR token. Στην παρακάτω Εικόνα 4.15(δεξιά μέρος) αναπαρίσταται ο τρόπος αγοράς POWR tokens από την αγορά από Application Hosts(π.χ. μία εταιρεία με ζήτηση σε ενέργεια).



Εικόνα 4.15 - Διαδικασία αγοράς και απευθείας χρήσης POWR tokens [27]

Οι καταναλωτές και οι παραγωγοί, αγοράζουν και πωλούν ενέργεια, μέσω των Sparkz tokens και αντίστοιχα μπορούν να ανταλλάξουν τα tokens με χρηματικά ποσά μέσω του App Host τους. Επιπλέον στο δεξί μέρος της παραπάνω εικόνας αναπαρίσταται ο τρόπος χρήσης των POWR tokens απευθείας στις P2P ενεργειακές συναλλαγές.

### 4.8.1 EchoChain

Η πλατφόρμα Power Ledger υλοποιείται από ένα consortium blockchain ονόματι EchoChain, Το EchoChain υιοθετεί από το δίκτυο του Ethereum πολλούς παράγοντες όπως και τον αλγόριθμο Proof of Stake ή απόδειξης ανταμοιβής που το διατρέπει. Είναι μία χαμηλού κόστους blockchain τεχνολογία που έχει δοκιμαστεί σε ενεργειακές αγορές κατά τις χρονιές 2016 και 2017. Έχει γίνει stress test σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα, προσφέροντας σημαντικά δεδομένα σχετικά με την λειτουργικότητα και συμβατότητα του blockchain, με τα ενεργειακά δεδομένα.

Η ανάπτυξη του EchoChain έγινε επιτυχώς το Σεπτέμβριο του 2016 μαζί με το ιδιωτικό POS blockchain για την χρήση στον ενεργειακό κλάδο. Έχει βέβαια ξεκινήσει ήδη την μετάβασή του σε ένα κατάλληλα παραμετροποιημένο Consortium Ethereum δίκτυο για την φιλοξενία του, κρατώντας όμως το υπάρχον EchoChain blockchain σύστημα για συγκεκριμένες υπηρεσίες προς χρήστες με άλλου τύπου εφαρμογές.

Η μετάβαση αυτή σημαίνει πως οι υπηρεσίες του EchoChain blockchain αποτελούν σημείο αναφοράς για τις νέες τεχνολογίες blockchain που αναπτύσσονται. Επίσης διατηρεί όλες τις λειτουργίες που επισημάνθηκαν εν έτη 2016 και εγγυάται πως θα είναι διαθέσιμο για μελλοντική ανάπτυξη από την Ethereum και σημαντική παραμετροποίηση για τον αλγόριθμο Casper POS.

Επιπρόσθετα, η μετάβαση προσφέρει πλεονεκτήματα και περιλαμβάνει το token πρωτόκολλο λειτουργίας του οικοσυστήματος. Μερικές από τις υπηρεσίες που προσφέρονται είναι:

- Sparkz token δημιουργία και διαχείριση.
- Διαδικασία επεξεργασίας πληρωμών.
- Αποθήκευση και επαλήθευση των δεδομένα από τους smart μετρητές.
- Αυτονομία στην διαχείριση αγαθών.
- Διαχείριση προγράμματος επιβράβευσης POWR tokens σε 'πιστούς' χρήστες της πλατφόρμας.

Σημαντικό ρόλο στη συνεισφορά των υπηρεσιών που προσφέρονται, έχει ο μηχανισμός συναλλαγών. Περιλαμβάνει μοναδικούς αλγόριθμους 'ταιριάσματος' που είναι δίκαιοι προς παραγωγούς και καταναλωτές. Ο καταναλωτής καταθέτει την προφορά ζήτησης στην αγορά και μέσω των αλγορίθμων, το δίκτυο θέτει την κατάλληλη τιμή για την ενέργεια σε μία περιοχή. Αντίστοιχα και οι υπόλοιποι καταναλωτές ενημερώνονται για τη ζήτηση της περιοχής αλλά έχουν με την είσοδό τους στο σύστημα απευθείας τιμολόγηση του ποσού ενέργειάς τους.



## 4.9 Exergy

Η πλατφόρμα Exergy [28] είναι ένα DLT σύστημα που λειτουργεί με βάση ορισμένου εξοπλισμού εγκατεστημένο σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, ένα token σύστημα για την συναλλαγή ενέργειας και έναν οργανισμό ο οποίος ελέγχει το σχεδιασμό της αγοράς και της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Η δημιουργός του Exergy Foundation αποτελεί το κυρίαρχο σώμα για το δίκτυο των χρηστών του με σημαντικό ενδιαφέρον στην βελτίωση του συστήματος συναλλαγής ενέργειας.

Το σύστημα σχεδιάστηκε από την LO3 Energy, μία επιχείρηση με ειδικευση στον τομέα της ενέργειας, που συντόνισε και μία ομάδα με εμπειρία στο σχεδιασμό μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με όλα τα παρελκόμενά της

Το Exergy μπορεί να διαχειριστεί τη ροή ηλεκτρισμού και την ανταλλασσόμενη ενέργεια άλλου τύπου, εσωτερικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται με τη χρήση αυτοματοποιημένων δραστηριοτήτων και μοντέλων προβλέψεων και ανάλυσης δεδομένων, τα οποία αντιστοιχούν στο πραγματικό κόστος της υπηρεσίας. Με άλλα λόγια, διαθέτει μία διαδικασία που υλοποιείται αποκλειστικά από μηχανή σε μηχανή.

Το Exergy μπορεί να προσφέρει ένα μεγάλο εύρος πλεονεκτημάτων μέσω του οικοσυστήματος που υλοποιείται και της ηλεκτρικής του αγοράς. Μερικά από αυτά είναι:

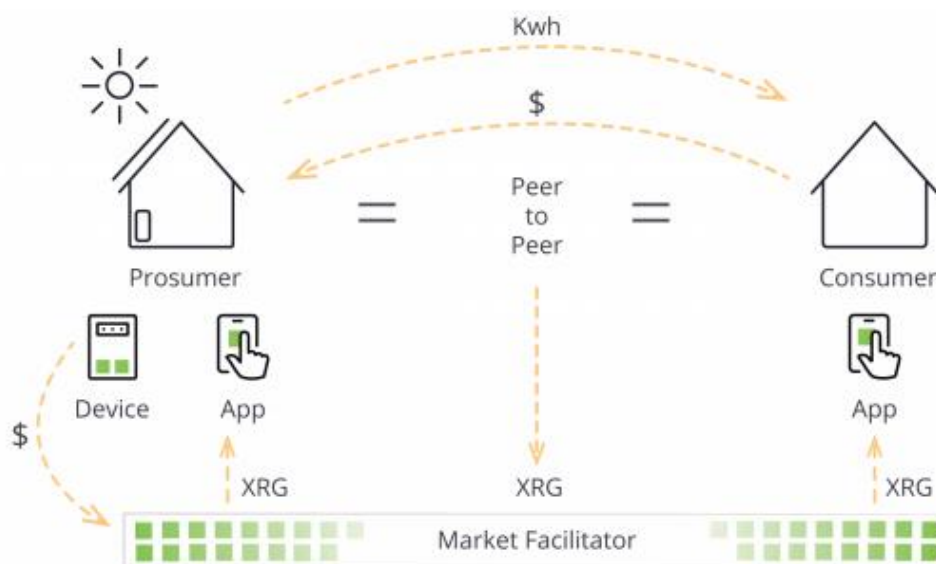
- Αποτελεσματική και προσαρμοστική τιμολόγηση στην αγορά
- Ευελιξία και αξιοπιστία του συστήματος
- Ενδιαφέρον για νέες τεχνολογικές καινοτομίες
- Αύξηση του όγκου των δεδομένων για τον σχεδιασμό και δημιουργία νέων αγορών ενέργειας
- Βελτιωμένη ισορροπία μεταξύ ρίσκου και ανταμοιβής στους συμμετέχοντες

Ένα σύστημα βασισμένο στο Exergy, επιτρέπει την αγοραπωλησία ηλεκτρικού ρεύματος εσωτερικά του διεθνούς δικτύου του, με επιπλέον grid υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές βασίζονται στο είδος που απαιτεί ένα αποκεντρωμένο σύστημα για να προσφέρει τη μέγιστη αποτελεσματικότητα, αξιοπιστία και ευελιξία στους κόμβους του.

## 4.9.1 Brooklyn Microgrid

Η LO3 Energy έχει ήδη υλοποιήσει ένα peer-to-peer δίκτυο, ονόματι Brooklyn Microgrid αλλά ακόμη μελετάτε η εκτίμηση τιμών στην αγορά. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της LO3 [28], για την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Γερμανία με βάση οικιακούς χρήστες, η εκτίμηση της αγοράς ανέρχεται στα 5 δισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο.

Οι πωλητές ηλεκτρικού ρεύματος και οι βοηθητικοί μηχανισμοί διανομής της, έχουν άμεσα έσοδα προσφέροντας ενέργεια στους πελάτες τους και αντίστοιχα αξιόπιστο απόθεμα ενέργειας. Τον τελευταίο χρόνο, 260 εκ. πελάτες αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος, δαπανούν περισσότερα από 115 δις. Μεταξύ ΗΠΑ, Ευρώπης και Αυστραλίας δαπανήθηκαν 185 εκ. δολάρια. Όσο το δίκτυο Exergy μεγαλώνει έχει ως στόχο να επηρεάσει ανάλογα και το ποσοστό αγοραπωλησίας ρεύματος αυξητικά.



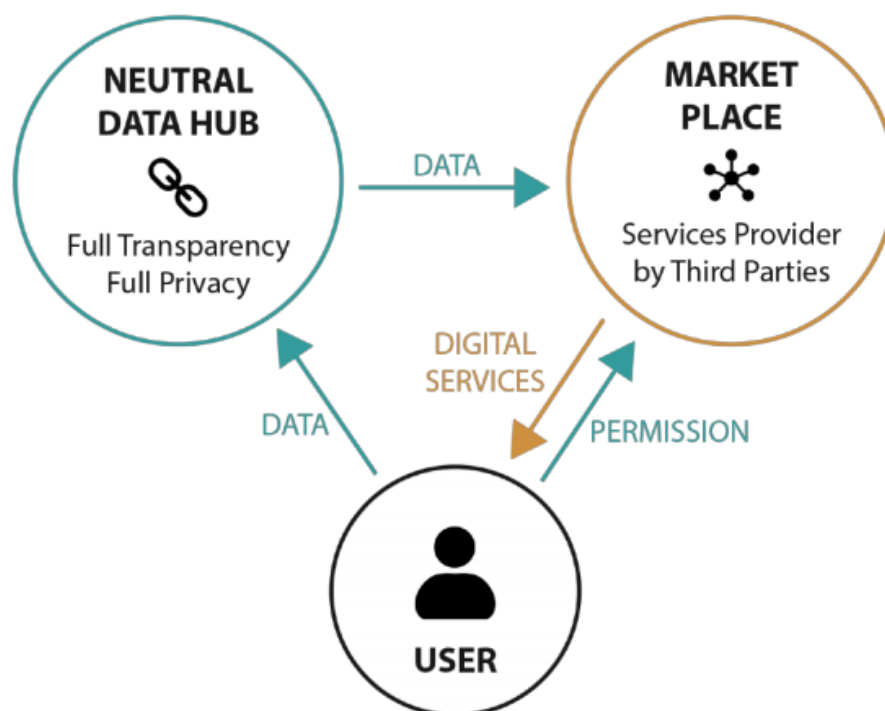
Εικόνα 4.16 - Αρχιτεκτονική πλατφόρμας Exergy - Brooklyn Microgrid Project [28]



Εικόνα 4.17 - Περίπτωση χρήσης πλατφόρμας

## 4.10 Pylon Network

Η Pylon Network [29] είναι μία ενεργειακή βάση δεδομένων, που υποστηρίζεται από μία ανοιχτού κώδικα DLT blockchain κατάλληλα σχεδιασμένη για τις ανάγκες του ενεργειακού τομέα. Στην βάση, τα δεδομένα κατανάλωσης και παραγωγής των χρηστών της ενεργειακής αγοράς, αποθηκεύονται και κοινοποιούνται μόνο κατ' επιλογή των χρηστών.



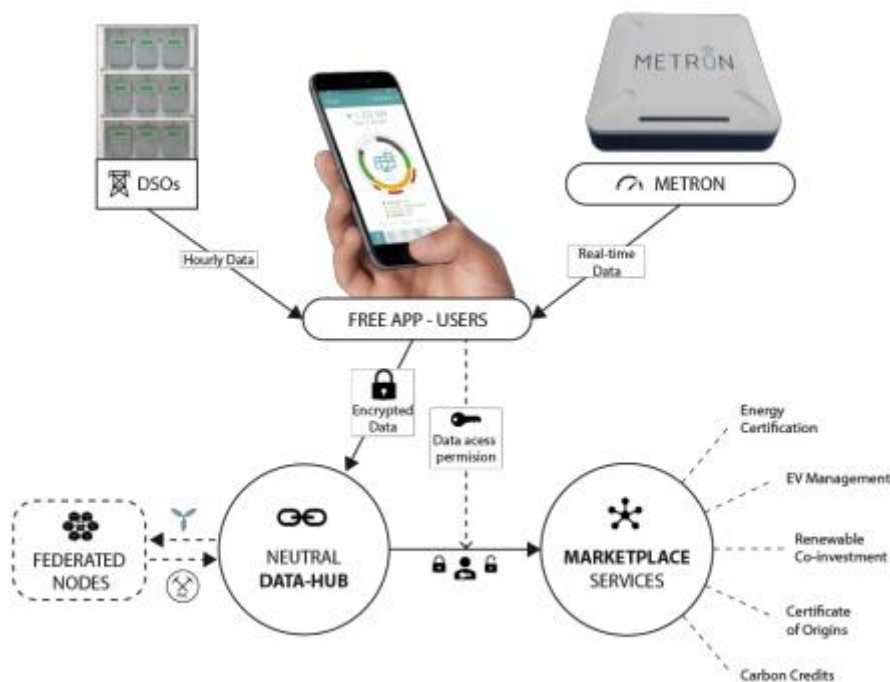
Εικόνα 4.18 - Περίπτωση χρήσης Pylon Network [29]

Μέσω του Pylon Network επιτυγχάνεται ως ένα επίπεδο η ουδετερότητα των δεδομένων, που γεννά νέες προοπτικές καινοτομιών και ανταγωνισμού στις ενεργειακές αγορές. Η ιδέα βασίζεται στο ότι ο χρήστης είναι εκείνος που αποφασίζει ποια δεδομένα του θα κοινοποιηθούν και αντίστοιχα ποιες εταιρείες διανομής ενέργειας θα τον εντοπίσουν για την προσφορά των υπηρεσιών τους.

Το δίκτυο προσφέρει ένα ανοιχτού κώδικα λογισμικό το οποίο διαθέτει το ρόλο ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας, με πρόσβαση από όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας του δικτύου έχει ως κύριο στόχο την επιτάχυνση στη διανομή ενέργειας με προτροπή προς τα αποκεντρωμένα, διαφανή δίκτυα στον ενεργειακό κλάδο.

#### 4.10.1 Αρχιτεκτονική δικτύου

Η αρχιτεκτονική του Pylon Network, χαρακτηρίζεται από την κοινή χρήση των δεδομένων, βοηθώντας τους συμμετέχοντες να κερδίσουν σε κόστος και ενέργεια αλλά και να επωφεληθούν οι εταιρείες παραγωγής - διανομής ενέργειας. Η ιδέα βασίζεται στο ότι οι εταιρείες αυτές προσφέρουν τις υπηρεσίες τους πιο εξατομικευμένα, επεξεργάζοντας την ποιότητα των δεδομένων των πελατών τους(που επιλέγουν να κοινοποιήσουν τα δεδομένα τους).



Εικόνα 4.19 - Αρχιτεκτονική Pylon Network [29]

Οι Distributed System Operators ή DSOs καταθέτουν στην εφαρμογή δεδομένα αποθέματος ενέργειας ανά ώρα(Εικόνα 4.19). Ταυτόχρονα η εφαρμογή ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο για τα δεδομένα ενέργειας που της προωθεί ο μετρητής κάθε σπιτιού. Έτσι, η με τη σειρά της, συγκρίνοντας τα δεδομένα των δύο άκρων, θα τα αποστείλει κρυπτογραφημένα στο ουδέτερο data hub. Αντίστοιχα το data hub ζητώντας άδεια από το λογαριασμό της εφαρμογής, θα προωθήσει το σύνολο των δεδομένων στην αγορά ενέργειας.

Στις περισσότερες ευρωπαϊκές ενεργειακές αγορές, οι διαχειριστές των δεδομένων των καταναλωτών είναι οι DSO. Διαθέτουν μία διαδικτυακή σελίδα όπου οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα προσωπικά τους δεδομένα, δίχως όμως τη δυνατότητα διαμοιρασμού τους με τρίτους. Σύμφωνα, με την παραπάνω περιγραφή της αρχιτεκτονικής τους, η Pylon Network προσπαθεί να δώσει την δυνατότητα στους συμμετέχοντες του δικτύου της, να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους κατ' επιλογήν. Η υλοποίηση συμβάλλει στη δημιουργία μιας πιο διαφανούς και ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας, για το συμφέρον καταναλωτών και συστημάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Ελληνική Πραγματικότητα

### 5.1 Εισαγωγή

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι χώρες μέλη της, εισάγουν την τεχνολογική καινοτομία των κρυπτονομισμάτων και της blockchain τεχνολογίας, σαν ένα στρατηγικό εργαλείο, για την αύξηση των εσόδων, εθνικού ανταγωνισμού και οικονομικής υγείας.

Το High-Level Group of Innovators [30], μία ομάδα που αποτελείται από διεθνείς τεχνολογιστές, προτείνουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, την υποστήριξη top-class καινοτομιών, entrepreneurs, μικρές εταιρείες και επιστήμονες με ιδέες και προσδοκίες σε διεθνές βεληνεκές. Έτσι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαθέτει το EU Blockchain Observatory and Forum [31] για την εξυπηρέτηση των χωρών μελών της αν συγκεντρώσουν απόψεις, μελλοντικές βλέψεις, γνώσεις με σκοπό την επιτάχυνση περιπτώσεων χρήσης των DLT.

Στην Ελλάδα η τεχνολογία των DLT, βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Ωστόσο μέχρι στιγμής 22 στις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, έχουν υπογράψει το EU Blockchain Partnership για την ανταλλαγή εμπειρίας και γνώσεων στον τεχνολογικό τομέα. Έτσι, προετοιμάζονται για την εισαγωγή νέων ευρωπαϊκών εφαρμογών του blockchain από τη Digital Single Market [33], για το όφελος δημοσίου και ιδιωτικού τομέα. Οι χώρες που βρίσκονται εκτός του παραπάνω Partnership αποτελούν οι Κροατία, Κύπρος, Δανία, Ουγγαρία, Ιταλία και Ρουμανία.

Επιπλέον, όπως και διεθνώς συμβαίνει προτείνεται η χρήση μιας DLT-based υποδομής, μεταξύ οργανισμών που υλοποιούν την τεχνολογία του blockchain, για την δημιουργία ενός έμπιστου οικοσυστήματος συναλλαγών. Επισημαίνεται πως η βάση των DLTs είναι τα έξυπνα ψηφιοποιημένα συμβόλαια των οποίων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καλείται να εφαρμόσει για τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των μελών.

Η Ελλάδα αποτελεί σημαντική πηγή ορυκτής ενέργειας για την Ευρώπη τόσο από τους αγωγούς διανομής που διαθέτει όσο και των αποθεμάτων της. Με τον στόχο επέκτασης της οικονομικής συνεργασίας και εμπορικών σχέσεων με την Eurasian Economic Commission, που είναι κόμβος εμπορίου πετρελαίου, η Ελλάδα υπέγραψε την Joint Declaration on Cooperation agreement [32] στις 24 Ιουνίου, 2017 με εξίσου ενδιαφέρον προς την blockchain τεχνολογία.

## 5.2 Η ελληνική προσέγγιση

### 5.2.1 Parity Platform

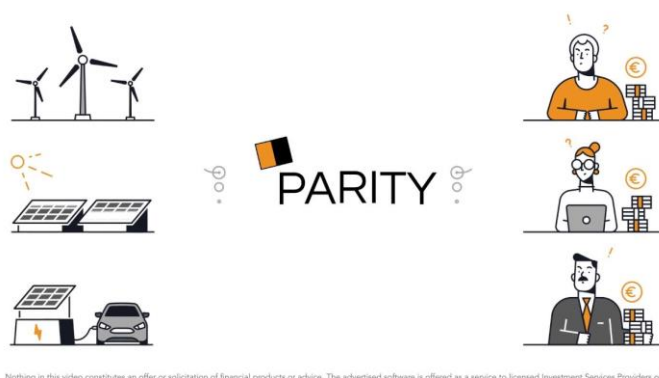
Μία από τις ελληνικές startup για τον σχεδιασμό μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας αποτελεί η Parity Platform [34]. Απευθύνεται σε κατόχους microgrids εγκαταστάσεων ή γενικότερα σε ιδιωτικές εγκαταστάσεις ενέργειας, που θέλουν να επενδύσουν στο εμπόριο ενέργειας. Επιπλέον, δεν περιορίζεται στο κοινό, καθώς απευθύνεται εκτός από παραγωγούς ενέργειας και σε άλλα αναπτυσσόμενα δίκτυα διανομής ενέργειας και οικιακούς χρήστες.

Τα project ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτούν ένα μεγάλο κεφάλαιο για την υλοποίησή τους και συνηθίζεται να αναπτύσσουν μικρά χρηματικά ποσά κατά τη λειτουργία τους. Για αυτό γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο από τις νέες εταιρείες να ξεκινήσουν ένα παρόμοιο έργο. Έτσι, οι περισσότερες από το 80% των εταιρειών καταφεύγουν στην χρήση δανείου από τράπεζες. Ωστόσο, παρατηρείται πως οι τράπεζες στον τομέα των δανείων ήδη από το 2008 είναι περιορισμένες, ενώ ταυτόχρονα οι επενδύσεις προς τον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τα επόμενα χρόνια υπολογίζονται στα 380 εκ. Ευρώ έως και το 2030.

Εδώ βασίστηκε η ιδέα δημιουργίας της πλατφόρμας Parity, για να επιτρέψουν επενδύσεις από τον οποιοδήποτε σε οποιαδήποτε εταιρεία ξεκινά ένα Project σχετικό με την παραγωγή ή άλλης φύσης, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Εκτιμάται πως η πλατφόρμα θα είναι έτοιμη να παρέχει τις υπηρεσίες της στα μέσα του 2019. Η ομάδα, με έδρα την Αθήνα, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας που υλοποιεί η πλατφόρμα και τη δημιουργία partnerships με περεταίρω παρόχους επενδυτικών υπηρεσιών.

Οι μελλοντικές βλέψεις για την τεχνολογία που θα υλοποιηθεί στην πλατφόρμα φέρνουν τα DLT συστήματα στο στόχαστρο της ελληνικής startup. Προσωρινά η πλατφόρμα συνδέεται με μία βάση δεδομένων κατάλληλα παραμετροποιημένη από την ομάδα του Parity.



Εικόνα 4.20 - Parity Platform Logo [34]

### 5.3 Θεσμικό πλαίσιο

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ειδικό νομοθετικό πλαίσιο που να ορίζει την χρήση κρυπτονομισμάτων [35]. Η Ευρωπαϊκή ένωση καθώς και οι αρχές πολλών χωρών - μελών περιορίζονται στην έκδοση συστάσεων για τους κινδύνους που απορρέει η χρήση των ψηφιακών νομισμάτων και συναλλαγών. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ορισμός της νομικής έννοιας του εικονικού νομίσματος και ενδεχομένως θα μπορούσε να θεωρηθεί μία απεικόνιση της αξίας των πραγματικών χρημάτων. Επιπλέον, μία τέτοια ψηφιακή απεικόνιση δεν εκδίδεται από την κεντρική τράπεζα ή κάποιο ίδρυμα ψηφιακού χρήματος το οποίο εν τέλη υπό κάποιες προϋποθέσεις να αποτελέσει εναλλακτική μορφή χρήματος.

Εσωτερικά της Ευρωπαϊκής Ένωσης μόνο το Ευρώ σαν νόμισμα ορίζεται και είναι δεκτό ως νόμιμο μέσο πληρωμής σε κάθε μορφή του. Ωστόσο για τα κρυπτονομίσματα δεν ισχύει η παράμετρος αυτή διότι:

- Δεν έχουν αξία από κάποιο συγκεκριμένο νόμισμα.
- Υπάρχουν κράτη που δεν τα αναγνωρίζουν ως μέσα πληρωμής.
- Η ισοτιμία τους δεν ισχύει ευρέως σε όλες τις συναλλαγές.
- Οι κεντρικές τράπεζες κρατών δεν τα εκδίδουν.

Υπάρχει η οδηγία για το ηλεκτρονικό χρήμα 2009/110/EK, όπως έγινε η ενσωμάτωσή της στην νομοθεσία με Ν.4261/2014 που θα μπορούσε να αποτελέσει βάση για την νόμιμη λειτουργία των εικονικών νομισμάτων. Παρ' όλα αυτά τα κρυπτονομίσματα διαφέρουν από το ηλεκτρονικό χρήμα σύμφωνα με την απόφαση του Δικαστηρίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην υπόθεση C 264/14.

Η Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα απορρίπτει την υπαγωγή του Bitcoin στις παραπάνω διατάξεις της οδηγίας που αναφέρθηκε. Δεν θεωρεί τα εικονικά νομίσματα ως πλήρεις μορφές χρήματος, σε σημείο που τα απορρίπτει ως μονάδες μέτρησης και μέσο ανταλλαγής. Η Ευρωπαϊκή Αρχή τραπεζών προτείνει τον χαρακτηρισμό του Bitcoin ως προϊόντος και επισημαίνει τους κινδύνους εμπορίου του.

Στην περίπτωση ρητής συμφωνίας μεταξύ συμβαλλόμενων μερών το Bitcoin θα μπορούσε να αποτελέσει μέσο πληρωμής. Το Bitcoin θεωρείται μέσο πληρωμής, για αυτό και δεν μπορεί να θεωρηθεί τρεχούμενος λογαριασμός. Επιπλέον, το εικονικό νόμισμα αποτελεί μέσο εξόφλησης για τις επιχειρήσεις που το δέχονται και "πράξεις που αφορούν μη συμβατικά νομίσματα, δηλαδή νομίσματα που δεν αποτελούν εκ του νόμου μέσα πληρωμής σε μία ή περισσότερες χώρες, είναι χρηματοπιστωτικές πράξεις, υπό την προϋπόθεση ότι τα εν λόγω μη συμβατικά νομίσματα γίνονται δεκτά από τους συναλλασσόμενους ως εναλλακτικό, σε σχέση με τα συμβατικά νομίσματα, μέσο πληρωμής και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως μέσα πληρωμής." (ΔικΕΕ, υπόθεση C 264/14, σκέψη 49). Επομένως τα κρυπτονομίσματα δεν μπορούν να θεωρηθούν ως χρήμα και δεν σχετίζονται με το πεδίο εφαρμογής της υπάρχουσας νομοθεσίας (άρθρο 4 §3 Ν.3862/2010 και Οδηγία 2015/2366/ΕΕ σχετικά με υπηρεσίες πληρωμών στην εσωτερική αγορά).

Η αγορά Bitcoin μέσω εγκεκριμένου μέσου πληρωμής όπως το ευρώ, δεν φορολογείται σαν συναλλαγή. Έτσι σύμφωνα με το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής

ένωσης: "(...) όσον αφορά, τέλος, τις απαλλαγές του άρθρου 135, παράγραφος 1, στοιχείο στ', της οδηγίας περί ΦΠΑ, αρκεί η υπόμνηση ότι αντικείμενο της εν λόγω διατάξεως είναι κυρίως οι πράξεις που αφορούν "μετοχές και μερίδια εταιρειών ή ενώσεων [και] ομολογίες", ήτοι τίτλους που παρέχουν δικαίωμα κυριότητας επί νομικών προσώπων, καθώς και "λοιπούς τίτλους, οι οποί πρέπει να θεωρούνται αντίστοιχης φύσεως με αυτούς που ρητώς απαριθμούνται στην εν λόγω διάταξη(απόφαση Granton Advertising, C 461/12, EU:C:2014:1745, σκέψη 27)" (ΔικΕΕ, υπόθεση C 264/14, σκέψη 53).

Λόγω της αποκεντρωμένης φύσης των DLT τεχνολογιών που διατρέχουν τα κρυπτονομίσματα, δεν είναι δυνατή η εφαρμογή των παραπάνω νόμων. Αίτιο είναι πως δεν υπάρχει κάποια κεντρική οντότητα υπεύθυνη για τον έλεγχο των συναλλαγών αυξάνοντας τις ανησυχίες για την χρήση κρυπτονομισμάτων ως μέσων διευκόλυνσης οικονομικών εγκλημάτων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την δομή της εργασίας, επισημάνθηκε ο τρόπος λειτουργίας των DLT τεχνολογιών. Παρατηρήθηκε πως έπειτα από το πρωτοποριακό δίκτυο του Bitcoin ακολούθησαν πολλές εταιρείες που δημιούργησαν τα δικά τους επιμέρους δίκτυα με τις ανάλογες ιδιαιτερότητές τους όπως το επιθυμούσαν. Έτσι δημιουργήθηκε και το καινοτόμο κρυπτονόμισμα Ethereum με έναν νέο βελτιωμένο αλγόριθμο απόδειξης ανταμοιβής και την χρήση των έξυπνων ψηφιακών συμβολαίων.

Η τεχνολογία του Ethereum, συμπερασματικά φαίνεται να υιοθετήθηκε από ποικίλους οργανισμούς με όραμα την δημιουργία μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας. Μία τέτοια αγορά θα έπρεπε να προσφέρει διαφάνεια, ασφάλεια των δεδομένων και της ιδιωτικότητας των χρηστών της, κατά την διαδικασία των συναλλαγών. Έτσι, η εφαρμογή της τεχνολογίας του Ethereum blockchain φαίνεται να ήταν η κατάλληλη μέθοδος για την επίτευξη αυτών των προσδοκιών.

Συγκεκριμένα, η επιπλέον ασφάλεια αλλά και λειτουργίες - υπηρεσίες που προσφέρονται από τα έξυπνα συμβόλαια ήταν και ο παράγοντας κλειδί για την χρήση τους, στις προσεγγίσεις αγορών ενέργειας. Μερικές από αυτές, δεν ακολούθησαν την τεχνολογία του Ethereum αλλά παραμετροποίησαν το blockchain δίκτυό τους από την αρχή. Οι κύριες προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν στην εργασία είναι:

- Agent - Based Platform: Ολοκληρωμένη πλατφόρμα με χρήση του βασισμένη στο Ethereum blockchain και τα έξυπνα συμβόλαια.
- Double Auction Platform: Παρόμοια πλατφόρμα με την Agent-based προσέγγιση, αλλά με εκτενέστερη περιγραφή στον μηχανισμό διπλο - εκλογής κατά την διαδικασία συναλλαγής
- Co-simulation Network Platform: Προσομοίωση δικτύωσης κέντρων διανομής ενέργειας με blockchain P2P ενεργειακές συναλλαγές(σημαντική προσέγγισης για την δικτύωση αυτή)
- Multi - Carrier Energy System: Προσέγγιση με στόχο την δημιουργία διαδικτυακής αγοράς πολλών τύπων ενέργειας. Επισημαίνεται ο τρόπος ανταλλαγής διαφορετικών ειδών ενέργειας.
- Energy Web Chain: Μία από τις πιο ολοκληρωμένες και βελτιωμένες προσεγγίσεις του Ethereum blockchain κατάλληλο για τον ενεργειακό κλάδο. Βελτίωση ακόμη και του PoS σε PoA.
- EnerPort: Αποτελεί την προσέγγιση που συνδυάζει τις ιδιαιτερότητες όλων των παραπάνω. Περιέχει βελτιωμένα smart contracts, διπλο-εκλογή, συναλλαγές διαφορετικών τύπων ενέργειας αλλά και προσφέρει την δυνατότητα δικτύωσης και άλλων κέντρων διανομής όπως στο Co-Simulation Network

Έπειτα από μελέτη πολλών προσεγγίσεων, παρατηρήθηκε πως υιοθετείται κυρίως η τεχνολογία του Ethereum για την δημιουργία - προσομοίωση αποτελεσματικών διαδικτυακών αγορών ενέργειας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.1, κάθε προσέγγιση διαφέρει στη σχεδίαση και την υλοποίηση ορισμένων υπηρεσιών τους όπως smart contracts και ο μηχανισμός διπλο-εκλογής.

	Agent-based	Co-simulation platform	Double Auction Platform	Multi-Carrier Energy System	Energy Web Chain	EnerPort	Power Ledger Platform	Exergy	Pylon Network
Smart Contracts	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Double Auction	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Trade of different energy types	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Ethereum tech- based	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Runs a Currency - Tokens	+	+	+	-	+	+	+	+	-

Εικόνα 6.1 – Σύγκριση χαρακτηριστικών DLT based Αγορών Ενέργειας

Φαίνεται πως η τεχνολογία των κρυπτονομισμάτων και της ιδέας μιας διαδικτυακής αγοράς ενέργειας βρίσκεται σε αρχικό στάδιο τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα. Παρατηρείται, πως δεν υπάρχει κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο που να επιβλέπει και να φορολογεί τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται μέσω ψηφιακών νομισμάτων κάτι το οποίο στα επόμενα χρόνια θα διευθετηθεί. Η φύση των ρυθμίσεων όμως, θα πρέπει να αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις αλλά ταυτόχρονα να μην περιορίζεται η καινοτομία.

Η ζήτηση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται συνεχώς με τα χρόνια κάτι που θέτει την δημιουργία νέων επενδύσεων στον τομέα αναγκαία. Μία αρκετά αξιόλογη και ελληνική προσέγγιση ονόματι Parity τείνει να λύσει το πρόβλημα, με όραμα ο καθένας να μπορεί να επενδύσει σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα ανάπτυξης των έργων αυτών δίχως την επιβάρυνση των εταιρειών με τραπεζικά δάνεια.

Συμπεραίνεται πως κάθε προσέγγιση τείνει να προσθέτει και να βελτιώνει την άλλη καθιστώντας την διαδικτυακή αγορά ένα αρκετά ανταγωνιστικό κλάδο για τα επόμενα χρόνια. Οι επενδύσεις σε κρυπτονομίσματα αυξάνονται και ανάλογα οι ενεργειακές απαιτήσεις εξόρυξης. Σε συνδυασμό με το μικρό απόθεμα ορυκτών καυσίμων οι τεχνολογικές καινοτομίες θα πρωταγωνιστήσουν στον τομέα της ενέργειας. Κρίνεται σκόπιμη λοιπόν, η προσέγγιση των κρυπτονομισμάτων τόσο από κυβερνητικούς παράγοντες όσο και από φορείς χρηματοπιστωτικού κλάδου ως συνεταίρους στην οικονομική ανάπτυξη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Βιβλιογραφία

- 1) Ανδρέας Αντωνόπουλος, “Mastering Bitcoin”
- 2) Δεδομένα Bitcoin δικτύου σε πραγματικό χρόνο: <http://bitcoinenergyconsumption.com/>
- 3) Στατιστικά τιμής Bitcoin: <https://bitinfocharts.com/bitcoin/>
- 4) Blockchain charts: <https://blockchain.info/charts/>
- 5) Σύγκριση τιμών κρυπτονομισμάτων με Bitcoin: <https://powercompare.co.uk/bitcoin/>
- 6) Δεδομένα υπολογισμού συναλλαγών ανά block: [https://tradeblock.com/bitcoin/historical/1w-f-tsize\\_per\\_avg-11101](https://tradeblock.com/bitcoin/historical/1w-f-tsize_per_avg-11101)
- 7) Στατιστικά δεδομένα Ethereum: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>
- 8) Ethereum charts: <https://bitinfocharts.com/ethereum/>
- 9) Στατιστικά εξοπλισμού gru στην αγορά: <https://www.jonpeddie.com/press-releases/gpu-market-declined-seasonally-in-q4-cryptocurrency-provides-smaller-offset>
- 10) Διεθνής έρευνα κρυπτονομισμάτων, Cabridge University: <https://www.jbs.cam.ac.uk/faculty-research/centres/alternative-finance/publications/global-cryptocurrency/#.XCoNbIwzbIV>
- 11) Marco Gauer: “Bitcoin miners true energy consumption”
- 12) Satoshi Nakamoto “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”
- 13) Yuan, Y.; Wang, F.Y. Blockchain Technology Development Status and Prospects. Proc. Acta Autom. Sin. 2016,42, 481–494 “Application of Blockchain Technology in Sustainable Energy Systems: An Overview”
- 14) Huang, A.Q.; Crow, M.L. The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet. Proc. IEEE 2011, 99, 133–148.
- 15) Dong, C.Y.; Zhao, J.H.; Wen, F.S.; Xue, Y.S. From Smart Grid to Energy Internet: Basic Concepts and Research Framework. Proc. Autom. Electron. Power Syst. 2014, 38, 1–11.
- 16) Kei-Leo Brousmiche, Andra Anoaica, Omar Dib, Tesnim Abdellatif, Gilles Deleuze: Blockchain Energy Market Place Evaluation: An Agent-Based Approach
- 17) E. Bellifemine, F. Bergenti, G. Caire, and A. Poggi, “Jade-a java agent development framework,” in Multi-Agent Programming. Springer, 2005, pp. 125–147.
- 18) P. Huang, A. Scheller-Wolf, and K. Sycara, “A strategy-proof multi-unit double auction mechanism,” in Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1. ACM, 2002, pp. 166–167.
- 19) Co-simulation of Electricity Distribution Networks and Blockchain Energy Trading Platforms Barry P. Hayes, Senior Member, IEEEy, Subhasis Thakur, John G. Breslin, Senior Member, IEEE University College Cork, Cork
- 20) S. Thakur, B. P. Hayes, and J. G. Breslin, “Distributed double auction for peer to peer energy trade using blockchains,” in Proceedings of the 5th International Symposium on Environment Friendly Energies and Applications, 2018.
- 21) R. McAfee, “A dominant strategy double auction,” Journal of Economic Theory, vol. 56, no. 2, pp. 434 – 450, 1992.
- 22) Shengnan Zhao, Beibei Wang \*, Yachao Li and Yang Li “Integrated Energy Transaction Mechanisms Based on Blockchain Technology”
- 23) Qianchen Yu1\*, Arne Meeuw2 and Felix Wortmann2, "Design and implementation of a blockchain multi-energy system”
- 24) Stöcker C (2018) Software defined digital grid on a P2P network - on systems of autonomous energy cells [Internet].
- 25) Copyright 2018 Energy Web Foundation “The Energy Web Chain: Accelerating the Energy Transition with an Open - Source, Decentralized Blockchain Platform”
- 26) Piyush Verma1, Brian O’Regan1, Barry Hayes, Subhasis Thakur and John G. Breslin3, “EnerPort: Irish Blockchain project for peer- to-peer energy trading”
- 27) BCPG Power Ledger Whitepaper: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4519667/Documents%20Power%20Ledger%20Whitepaper.pdf>
- 28) LO3 Energy - Exergy White paper: <https://lo3energy.com/wp-content/uploads/2018/04/Exergy-BIZWhitepaper-v11.pdf>

- 29) Pylon Network The energy blockchain platform - Whitepaper: [https://pylon-network.org/wp-content/uploads/2019/02/WhitePaper\\_PYLON\\_v2\\_ENGLISH-1.pdf](https://pylon-network.org/wp-content/uploads/2019/02/WhitePaper_PYLON_v2_ENGLISH-1.pdf)
- 30) High-Level Group of Innovators: <https://ec.europa.eu/research/eic/index.cfm?pg=hlg>
- 31) EU Blockchain Observatory and Forum: <https://www.eublockchainforum.eu/>
- 32) Joint Declaration on Cooperation agreement <https://www.helexpo.gr/en/press20170929a>
- 33) Digital Single Market: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/ict/bloc-4.html>
- 34) Parity Platform: <https://www.parityplatform.com/>
- 35) Θεσμικό πλαίσιο: <http://www.capital.gr/me-apopsi/3272145/bitcoin-kai-kruptonomismata>
- 36) Simply Explained – Savjee Youtube Channel: How does a blockchain work - Simply Explained