



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη λογισμικού επίλυσης αγορών ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογία Blockchain

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΒΑΛΑΓΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων: Βασίλειος Βεσκούκης
Καθηγητής

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη λογισμικού επίλυσης αγορών ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογία Blockchain

Διπλωματική Εργασία

ΤΟΥ

ΒΑΛΑΓΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων: Βασίλειος Βεσκούκης
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1η Δεκεμβρίου 2023.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Βασίλειος Βεσκούκης
Καθηγητής

.....
Αριστείδης Παγουρτζής
Καθηγητής

.....
Άρης Δημέας
Επ. Καθηγητής

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Copyright © – All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Ιωάννης Βαλαγιανόπουλος, 2023.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ανέκρινε.

(Υπογραφή)

.....

Ιωάννης Βαλαγιανόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Η τεχνολογία Blockchain, που γεννήθηκε το 2008, υποστηρίζει ένα αποκεντρωμένο πλαίσιο επεξεργασίας συναλλαγών με ασφαλή και διαφανή τρόπο. Εισάγει ένα αμετάβλητο βιβλίο (immutable ledger) όπου οι συναλλαγές (transactions) καταγράφονται σε block, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γραμμική αλληλουχία. Τα έξυπνα συμβόλαια είναι μια συμφωνία μεταξύ δύο μερών με τη μορφή κώδικα υπολογιστή, τα οποία αποθηκεύονται στο Blockchain και εμπεριέχουν όλη τη λογική. Υλοποιούνται χωρίς την επιβεβαίωση από κάποιον έμπιστο τρίτο φορέα, αυτοματοποιώντας πολύπλοκες διαδικασίες, μειώνοντας το κόστος των εφαρμογών και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητά και τη διαφάνειά τους. Η αποκεντρωμένη φύση της τεχνολογίας Blockchain εξαλείφει την ανάγκη για έμπιστους μεσάζοντες, μειώνοντας έτσι τους πιθανούς κινδύνους απάτης και το κόστος των συναλλαγών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μίας πλήρους εφαρμογής, η οποία επιδεικνύει τη δυνατότητα επίλυσης αγορών ηλεκτρικής ενέργειας του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας με τεχνολογία Blockchain, με τη χρήση έξυπνων συμβολαίων. Με τη συγκεκριμένη τεχνολογία, όλοι οι συμμετέχοντες σε αυτές τις αγορές, δηλαδή οι εταιρείες που εμπορεύονται ηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να διαπιστώσουν τη διαφάνεια και την ακεραιότητα στην ανάθεση συμβολαίων αγοράς ενέργειας, μέσω του Blockchain, χωρίς να είναι αποκλειστική προϋπόθεση η άνευ όρων εμπιστοσύνη σε μία και μοναδική οντότητα - εν προκειμένω το ΕΧΕ. Στην εργασία περιγράφονται οι απαιτήσεις από την υλοποίηση της επίλυσης μίας υποθετικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με λογισμικό του οποίου η αρχιτεκτονική βασίζεται σε Blockchain. Επίσης, δίνεται μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο αναπτύχθηκε, καθώς και κάποια χαρακτηριστικά use-cases.

Τέλος, θα αναλυθούν τα στάδια που πρέπει να κάνουν υποψήφια συστήματα για να αναβαθμιστούν και να μεταφερθούν σε Web3.0. Το Web3.0 αντιπροσωπεύει μια νέα φάση του Διαδικτύου που χαρακτηρίζεται από αποκεντρωμένες εφαρμογές και αυξημένη χρήση της τεχνολογίας Blockchain για την ενίσχυση της ασφάλειας, της διαφάνειας και της ιδιοκτησίας των δεδομένων. Επίσης, θα αναφερθούν ιδέες και επόμενα βήματα του εξεταζόμενου συστήματος για τη χρήση του υπό πραγματικές συνθήκες.

Λέξεις Κλειδιά

Blockchain, Έξυπνα Συμβόλαια, Web3.0, Ιδιωτικό Δίκτυο Blockchain, Χρηματιστήριο Ενέργειας, Κρυπτογραφία, Αποκεντρωμένες Εφαρμογές, Ακεραιότητα, Διαφάνεια, Ασφάλεια

Abstract

Blockchain technology, born in 2008, supports a decentralised transaction framework in a secure and transparent manner. It introduces an immutable ledger where transactions are recorded in blocks, which are linked together in a linear sequence. Smart contracts are an agreement between two parties in the form of computer code, which are stored on the Blockchain and contain all the logic. They are implemented without requiring confirmation from a trusted third party, automating complex processes, reducing the cost of applications and enhancing their efficiency and transparency. The decentralized nature of Blockchain technology eliminates the need for trusted intermediaries, thereby reducing potential fraud risks and transaction costs.

This thesis aims to develop a complete application, which demonstrates the possibility of resolving electricity marketplace of the Hellenic Energy Exchange with Blockchain technology, using smart contracts. With this technology, all participants in these markets, i.e. electrical energy providers, are certain of transparency and integrity in contracts acquirement, through Blockchain, without the exclusive requirement of unconditional trust in a single entity - in this case the EXE. This paper describes the requirements of implementing the whole system and architecture of a hypothetical electricity market based on Blockchain. It also gives a description of how it was developed, as well as some typical use-cases.

Finally, the steps that candidate systems have to take in order to upgrade and migrate to Web3.0 will be described. Web3.0 represents a new phase of the Internet, characterized by decentralized applications and increased use of Blockchain technology to enhance security, transparency and data ownership. Also, ideas and next steps of the considered system for its use under real-world conditions will be reported.

Keywords

Blockchain, Smart Contracts, Web3.0, Private Blockchain Network, Energy Exchange, Cryptography, Decentralized Applications, Integrity, Transparency, Security, Privacy

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή και επιβλέποντά μου κ. Βασίλη Βεσκούκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική μου στο εργαστήριο Λογισμικού, αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγηση, τα σχόλια και την άψογη συνεργασία του κατά τη διάρκεια αυτής.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Υποψήφιους Διδάκτορες και Ερευνητές Πάννη Τζαννέτο και Χρίστο Χατζηχριστοφή για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για την καθοδήγηση και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Ιωάννης Βαλαγιανόπουλος

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	3
Ευχαριστίες	5
1 Εισαγωγή	13
1.0.1 Διάδοση της τεχνολογίας	13
1.0.2 Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας	13
1.0.3 Καινοτόμες εφαρμογές στον τομέα της ενέργειας	14
1.0.4 Χρήση της τεχνολογίας Blockchain στο εμπόριο ενέργειας	16
1.0.5 Πεδίο εφαρμογής και προκλήσεις	17
1.1 Κίνητρο για την εργασία	17
1.2 Δομή Πτυχιακής Εργασίας	18
2 Βασικές έννοιες Blockchain	21
2.1 Τι είναι το Blockchain	21
2.2 Δομή ενός Blockchain	22
2.3 Τύποι Blockchain	23
2.3.1 Δημόσια Blockchains	23
2.3.2 Ιδιωτικά Blockchains	23
2.3.3 Υβριδικά Blockchains	24
2.3.4 Κοινοπραξιακά Blockchains	24
2.4 Layers του Blockchain	25
2.5 Αλγόριθμοι Συναίνεσης	27
2.6 Διαφορετικές Λύσεις Layer 2	28
2.7 Έξυπνα Συμβόλαια	29
2.8 Κρυπτονομίσματα	29
3 Μελέτη περίπτωσης χρήσης	31
3.1 Επεξήγηση του προβλήματος	31
3.2 Ένα απλό παράδειγμα με τα βασικά βήματα	31
3.2.1 Απόθηκευση προσφορών σε Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο	32
3.2.2 Τι είναι ένα Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο	32
3.2.3 Προσθήκη προσφορών και επίλυση προβλήματος	33

3.2.4	Αποθήκευση προσφορών και επίλυση του συγκεκριμένου παραδείγματος	33
3.3	Μια προσέγγιση βασισμένη σε ιδιωτικό EVM-based Blockchain	35
3.3.1	Αποκέντρωση (Decentralization)	36
3.3.2	Διαφάνεια (Transparency)	36
3.3.3	Ανωνυμία (Anonymity)	36
3.3.4	Ασφάλεια (Security)	37
3.3.5	Συμπέρασμα	37
3.4	Μοντέλο περιπτώσεων χρήσης	38
3.4.1	Διαχειριστές	38
3.4.2	Συμμετέχοντες	39
3.5	UML Διάγραμμα δραστηριότητας ροής εργασίας υψηλού επιπέδου	41
3.6	Ροή εμπειρίας χρήστη	42
3.7	Διαδικασία σύνδεσης διαφορετικών χρηστών	43
3.7.1	Περιγραφή	43
3.7.2	Τι είναι το MetaMask	43
3.7.3	Διάγραμμα UML διαδικασίας login	44
3.7.4	Διεπαφή χρήστη Homepage - Login	44
3.7.5	Διεπαφή χρήστη Menu Διαχειριστή	45
3.7.6	Διεπαφή χρήστη Menu Συμμετέχοντος	45
3.8	Περίπτωση Χρήσης 1: Παραχώρηση Πρόσβασης	46
3.8.1	Περιγραφή	46
3.8.2	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης	47
3.8.3	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης	48
3.8.4	Διεπαφή Χρήστη - Παραχώρηση Πρόσβασης	48
3.9	Περίπτωση Χρήσης 2: Προσθήκη προβλέσεων φορτίου	49
3.9.1	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προβλέσεων φορτίου	50
3.9.2	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προβλέσεων φορτίου	51
3.9.3	Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προβλέσεων φορτίου	51
3.10	Περίπτωση Χρήσης 3: Προσθήκη προσφορών	52
3.10.1	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προσφορών	53
3.10.2	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προσφορών	54
3.10.3	Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προσφορών	54
3.10.4	Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προσφορών μαζικά	54
3.11	Περίπτωση Χρήσης 4: Προβολή προσφορών	55
3.11.1	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή προσφορών	55
3.11.2	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή προσφορών	56
3.11.3	Διεπαφή Χρήστη Διαχειριστή - Προβολή προσφορών	56
3.11.4	Διεπαφή Χρήστη Συμμετέχοντος - Προβολή προσφορών	57
3.12	Περίπτωση Χρήσης 5: Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	57
3.12.1	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	58

3.12.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	59
3.12.3 Διεπαφή Χρήστη - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	59
3.13 Περίπτωση Χρήσης 6: Επίλυση ημέρας	60
3.14 Περίπτωση Χρήσης 7: Προβολή λύσεων	60
3.14.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή λύσεων	61
3.14.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή λύσεων	62
3.14.3 Διεπαφή Χρήστη Διαχειριστή - Προβολή λύσεων	62
3.14.4 Διεπαφή Χρήστη Συμμετέχοντος - Προβολή λύσεων	63
4 Πραγματικό Σενάριο με όλα τα βήματα	65
4.0.1 Βήμα 1 - Παραχώρηση Πρόσβασης	65
4.0.2 Βήμα 2 - Προσθήκη Προβλέψεων Φορτίου	66
4.0.3 Βήμα 3 - Προσθήκη Προσφορών	67
4.0.4 Βήμα 4 - Προβολή Προσφορών	68
4.0.5 Βήμα 5 - Κλείσιμο και Επίλυση χρονικών διαστημάτων	70
4.0.6 Βήμα 6 - Επίλυση και Αποθήκευση Λύσης	70
4.0.7 Βήμα 7 - Προβολή λύσεων	71
5 Επίλογος	73
5.1 Μελλοντικές βελτιώσεις	73
5.2 Θεσμικά Ζητήματα	74
Βιβλιογραφία	76
Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια	77
Απόδοση ξενόγλωσσων όρων	79

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Αναπαράσταση της αλληλουχίας των blocks[1]	22
2.2	Τύποι Blockchain[2]	23
2.3	Blockchain Layers[3]	25
2.4	Consensus Algorithms[4]	27
3.1	Διαδικασία με τα βασικά βήματα	31
3.2	Παράδειγμα 1 προσφορών	32
3.3	Παράδειγμα 1 προσφορών	34
3.4	Παράδειγμα 1 Red Black Tree	35
3.5	Διαδικασία με τα βασικά βήματα	37
3.6	Αναπαράσταση κόμβων και χρηστών του συστήματος	38
3.7	UML Use Case Διάγραμμα	40
3.8	UML High-Level Activity Diagram	41
3.9	Ροή εμπειρίας χρήστη	42
3.10	UML Login Διάγραμμα δραστηριότητας	44
3.11	Homepage - Login UI	44
3.12	Menu Διαχειριστή UI	45
3.13	Menu Χρήστη UI	45
3.14	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης	47
3.15	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης	48
3.16	Παραχώρησης Πρόσβασης UI	48
3.17	Παράδειγμα αρχείου προβλέψεων φορτίου	49
3.18	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προβλέψεων	50
3.19	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προβλέψεων φορτίου	51
3.20	Προσθήκη προβλέψεων UI	51
3.21	Παράδειγμα αρχείου προσφορών	52
3.22	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προσφορών	53
3.23	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προσφορών	54
3.24	Προσθήκη προσφορών UI	54
3.25	Προσθήκη προσφορών μαζικά UI	54
3.26	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή προσφορών	55
3.27	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή προσφορών	56
3.28	Προβολή προσφορών UI Διαχειριστή	56
3.29	Προβολή προσφορών UI Συμμετέχοντος	57

3.30	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	58
3.31	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων	59
3.32	Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων UI	59
3.33	Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή λύσεων	61
3.34	Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή λύσεων	62
3.35	Προβολή λύσεων UI Διαχειριστή	62
3.36	Προβολή λύσεων UI Συμμετέχοντος	63
4.1	Παραχώρηση Πρόσβασης	65
4.2	Προβλέψεις φορτίου	66
4.3	Αρχείο Προσφορών	67
4.4	Προσφορές σε περιβάλλον Χρήστη	68
4.5	Προσφορές σε περιβάλλον Διαχειριστή	68
4.6	Προσφορές σε περιβάλλον Διαχειριστή με μεγένθυση	69
4.7	Ενημέρωση πραγματικής ανάγκης φορτίου	70
4.8	Επίλυση σε περιβάλλον Χρήστη	71
4.9	Επίλυση σε περιβάλλον Διαχειριστή	71
4.10	Επίλυση σε περιβάλλον Διαχειριστή με μεγένθυση	72

Εισαγωγή

Η εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας εισήγαγε καινοτόμες μεθοδολογίες που έχουν επηρεάσει σημαντικά διάφορους τομείς, από τη χρηματοδότηση και την υγειονομική περίθαλψη έως τη λογιστική και τη ψυχαγωγία. Μεταξύ αυτών των καινούριων τεχνολογιών, το Blockchain έχει αναδειχθεί ως μια πρωτοποριακή εφεύρεση που υπόσχεται να φέρει επανάσταση όχι μόνο στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούμε συναλλαγές αλλά και στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με τον ψηφιακό κόσμο. Αρχικά παρουσιάστηκε ως το αρχιτεκτονικό θεμέλιο για το Bitcoin, ένα αποκεντρωμένο ψηφιακό νόμισμα, η τεχνολογία έχει ξεπεράσει κατά πολύ το αρχικό της πεδίο εφαρμογής και έχει γίνει ένα επαναστατικό εργαλείο με επιρροή σε ένα ευρύ φάσμα τομέων.

1.0.1 Διάδοση της τεχνολογίας

Η τεχνολογία του blockchain δημιουργήθηκε το 2008 από μια ανώνυμη ομάδα, η οποία αποτελούνταν από ένα ή και περισσότερα ίσως άτομα, γνωστή ως Satoshi Nakamoto.[5] Έκτοτε έχει γνωρίσει εκθετική ανάπτυξη, καθώς προσφέρει στις εφαρμογές δυνατότητα αποκεντρικής (decentralization) και ενισχυμένης ασφάλειας, με αποτέλεσμα να μελετάται το συγκεκριμένο οικοσύστημα τόσο για ακαδημαϊκή έρευνα όσο και για βιομηχανική ανάπτυξη. Η τεχνολογία του blockchain κέρδισε επιπλέον δημοσιότητα όταν τα κρυπτονομίσματα, όπως το Bitcoin και το Ethereum, αρχίσαν να θεωρούνται επικερδείς επενδύσεις από το ευρύ κοινό από το ευρύ κοινό. Αυτή η άνοδος στη δημοτικότητα οδήγησε πολλές μεγάλες εταιρείες όπως την IBM[6], τη Microsoft[7] και τη JPMorgan Chase[8], να επενδύσουν σημαντικού πόρους στην ανάπτυξη σχετικών εφαρμογών και λύσεων για να ανακαλύψουν τις δυνατότητες του συγκεκριμένου οικοσυστήματος.

1.0.2 Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας

Το blockchain δεν αποτελεί απλώς μια σύγχρονη και εφήμερη τάση, αλλά μια πρωτοποριακή και χρήσιμη τεχνολογία που προσφέρει πληθώρα λειτουργιών. Η αποκεντρωμένη φύση του οικοσυστήματος επιτρέπει τη δημιουργία καταναμημένων συστημάτων που είναι ανθεκτικά και διαφανή και προσφέρουν ενισχυμένη ασφάλεια. Η αποκεντρωμένη αυτή αρχιτεκτονική επιτρέπει την αυτόματη λειτουργία του συστήματος,

ενισχύοντας την απόδοση και την αξιοπιστία του. Αυτό οδηγεί σε μια βελτιωμένη διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων, καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα παραποίησης των αποτελεσμάτων και των πληροφοριών, που γράφονται πάνω στο blockchain, από μία κεντρική αρχή που επιβλέπει όλη τη λειτουργία του συστήματος. Αυτό οφείλεται στις κρυπτογραφικές τεχνικές που διέπουν την τεχνολογία του blockchain και εξασφαλίζουν το αμετάβλητο και την ασφάλεια των δεδομένων. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν δώσει το έναυσμα για τη ραγδαία εμφάνιση αποκεντρωμένων εφαρμογών (dApps), έξυπνων συμβολαίων και κρυπτονομισμάτων.

Επιπλέον, στον τομέα της ανάπτυξης λογισμικού, η τεχνολογία blockchain προάει μία πιο συνεργατική προσέγγιση μεταξύ των ομάδων που είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη των εφαρμογών, ενισχύοντας τη συνεργασία και την ανταλλαγή ιδεών. Η πλειοψηφία των project στο blockchain είναι ανοικτού κώδικα (open-source), με αποτέλεσμα να ενθαρρύνεται η διαφάνεια και η συλλογική επίλυση προβλημάτων. Τέτοιες συνθήκες επιταχύνουν τη διαδικασία εντοπισμού σφαλμάτων και γενικώς την ανάπτυξη των εφαρμογών με την επαναχρησιμοποίηση έτοιμου, λειτουργικού κώδικα, δημιουργώντας μια αίσθηση συλλογικής ιδιοκτησίας και προωθώντας την ανάπτυξη ασφαλέστερων και ισχυρότερων τεχνολογιών λογισμικού.

1.0.3 Καινοτόμες εφαρμογές στον τομέα της ενέργειας

Η τεχνολογία blockchain αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως ένα προτοπόρο εργαλείο στον τομέα της ενέργειας, προσφέροντας νέους τρόπους καταγραφής και διαχείρισης των συναλλαγών μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας. Οι ειδικοί πιστεύουν ότι το blockchain μπορεί να φέρει επανάσταση στον κλάδο της ενέργειας, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των λειτουργιών και αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά τις περίπλοκες προκλήσεις που σχετίζονται με τα αποκεντρωμένα ενεργειακά δίκτυα.

Μία από τις βασικές πτυχές του blockchain στην ενέργεια είναι η ικανότητά του να νομιμοποιεί, να διασφαλίζει και να αυτοματοποιεί τις μεταφορές ενέργειας χωρίς μεσάζοντες. Αυτή η καινοτομία αναμένεται να αυξήσει σημαντικά την παγκόσμια αγορά blockchain στην ενέργεια, με τις προβλέψεις να κάνουν λόγο για μέγεθος αγοράς 8.761,4 εκατομμυρίων δολαρίων έως το 2027.[9]

Αρκετές κορυφαίες εταιρείες στον τομέα της ενέργειας πρωτοπορούν στη χρήση τεχνολογιών blockchain:

- Siemens: Υλοποιεί αυτοματοποιημένες υπηρεσίες Pay-Per-Use, όπου οι επιχειρήσεις πληρώνουν για ορισμένες αναβαθμίσεις μόνο όταν τις χρησιμοποιούν πραγματικά. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι το κόστος ευθυγραμμίζεται στενά με τα έσοδα από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας.
- Shell: Διερευνά το ρόλο του blockchain στην προώθηση της χρήσης φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων και στη διασφάλιση της διαφάνειας και της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων αντιστάθμισης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

- Engie: Επικεντρώνεται στη χρήση blockchain για τη βελτίωση της διαδικασίας διαχείρισης ενεργειακών συναλλαγών, την πιστοποίηση πράσινων πηγών ενέργειας, την απλούστευση της διαδικασίας ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ ιδιωτών και τη βελτίωση των συστημάτων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.
- WePower: Χρησιμοποιεί τη τεχνολογία blockchain για να βοηθήσει τους προμηθευτές πράσινης ενέργειας να πωλούν την ενέργειά τους απευθείας σε καταναλωτές και επενδυτές, προσφέροντας τη δυνατότητα να αγοράζουν ενέργεια εκ των προτέρων σε μειωμένες τιμές.
- Power Ledger: Αναπτύσσει ένα σύστημα σε blockchain για την εμπορία ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη Γαλλία, με στόχο να καταστήσει την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές πιο προσιτή και στο μέλλον να αναβαθμίσει το σύστημά της για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.
- SunContract: Παρέχει μια πλατφόρμα όπου οι άνθρωποι μπορούν να αγοράζουν και να πωλούν ανανεώσιμη ενέργεια απευθείας μεταξύ τους, γεγονός που υποστηρίζει τη χρήση πιο φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας και προάγει την ανεξαρτησία των ανθρώπων στη χρήση της ενέργειας.
- Iberdrola Group: Πειραματίζεται με εφαρμογές blockchain για την επαλήθευση σε πραγματικό χρόνο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενισχύοντας τη διαφάνεια στην κατανάλωση ενέργειας.
- Enel: Δοκιμάζει εφαρμογές blockchain για την καλύτερη διαχείριση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, τη δημιουργία πλατφορμών για την εμπορία ενέργειας και την ανάπτυξη συστημάτων πληρωμών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενθαρρύνοντας συνεργατικά έργα με start-up επιχειρήσεις.
- ACCIONA: Συνεργάζεται με την FlexiDAO, μια εταιρεία που ειδικεύεται σε λύσεις λογισμικού blockchain για την ενέργεια και τη βιωσιμότητα, για τη δημιουργία της πλατφόρμας GreenH2chain, η οποία έχει στόχο να διασφαλίζει την πράσινη παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- SAP: Ανέπτυξε το σύστημα παρακολούθησης και διανομής πράσινης ενέργειας (GETDS) στο SAP Cloud Platform Blockchain, καλύπτοντας τις ανάγκες της βιομηχανίας πράσινης ενέργειας και ενσωματώνοντας το blockchain ως σύστημα συναλλαγών.

Τα παραδείγματα αυτά καταδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο αξιοποιείται το blockchain για τη δημιουργία πιο αποτελεσματικών, διαφανών και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η προσαρμογή και η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας από σημαντικούς ενεργειακούς φορείς σηματοδοτεί μια σημαντική στροφή προς έναν πιο καινοτόμο και υπεύθυνο ενεργειακό τομέα.

1.0.4 Χρήση της τεχνολογίας Blockchain στο εμπόριο ενέργειας

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στις ενεργειακές συναλλαγές[10] αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων, που οφείλεται στις αυξανόμενες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και την ανάγκη για πιο βιώσιμες ενεργειακές λύσεις. Η παρούσα ενότητα διερευνά τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται η τεχνολογία blockchain στον ενεργειακό τομέα, εστιάζοντας στην πλατφόρμα, τις εφαρμογές και τις επιπτώσεις της.

Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση σε ορισμένες από τις κρίσιμες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο ενεργειακός τομέας, όπως η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, η περιβαλλοντική υποβάθμιση και η εξέλιξη της τεχνολογίας. Ενώ η τεχνολογία blockchain είναι ευρέως γνωστή για τον ρόλο της στα κρυπτονομίσματα, η εφαρμογή της στην αγορά ενέργειας που πραγματοποιεί συναλλαγές είναι εξίσου σημαντική.

Ένας σημαντικός τομέας στον οποίο το blockchain έχει αντίκτυπο είναι η ανάπτυξη αποκεντρωμένων έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων (smart grids). Οι περιορισμοί των κεντρικών ενεργειακών δικτύων, όπως οι απώλειες ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και η χαμηλή ανοχή σε σφάλματα, οδηγούν στην ανάγκη χρησιμοποίησης αποκεντρωμένων συστημάτων. Τα αποκεντρωμένα έξυπνα δίκτυα βασίζονται σε κατανομημένους ενεργειακούς πόρους (Distributed Energy Resources - DERs), όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, για την παραγωγή ενέργειας σε τοπικό επίπεδο, τα οποία αντιμετωπίζουν τα ζητήματα απώλειας ενέργειας και βελτιώνουν την ανοχή σε σφάλματα. Οι πλατφόρμες blockchain, με την εγγενή ανοχή σε σφάλματα και τη δυνατότητα αυτοματοποίησης των λειτουργιών, προσφέρουν ένα ισχυρό θεμέλιο για αυτά τα συστήματα. Η τεχνολογία blockchain επιτρέπει αυτοματοποιημένες συναλλαγές εμπορίας ενέργειας, μειώνοντας το κόστος και τους χρόνους διακανονισμού και διευκολύνει τη δυναμική ανταπόκριση στην προσφορά και τη ζήτηση ενέργειας.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή του blockchain είναι η εμπορία ενέργειας από ομότιμο σε ομότιμο (peer-to-peer - P2P), η οποία περιλαμβάνει την άμεση ανταλλαγή πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ ατόμων σε ένα συνδεδεμένο δίκτυο. Το blockchain παρέχει μια ασφαλή και διαφανή πλατφόρμα για τις συναλλαγές αυτές, εξασφαλίζοντας την ακριβή παρακολούθηση και καταγραφή των ενεργειακών μονάδων. Η δυνατότητα μόνιμης αποθήκευσης των δεδομένων στο blockchain είναι καθοριστική για την παρακολούθηση των συναλλαγών, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των ενεργειακών συναλλαγών P2P.

Στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η τεχνολογία blockchain έχει ιδιαίτερη επίδραση. Για παράδειγμα, στα συστήματα εμπορίας P2P, τα άτομα που δεν διαθέτουν φωτοβολταϊκά μπορούν να αγοράζουν πλεόνασμα ανανεώσιμης ενέργειας από τους γείτονές τους. Αυτή η προσέγγιση στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας αντιμετωπίζει τις δυσκολίες που παρατηρούνται στα παραδοσιακά κεντροποιημένα συστήματα ενέργειας και υποστηρίζει την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αγορά ενέργειας εξελίσσεται σε παγκόσμιο επίπεδο, με χώρες όπως η Αυστραλία, η Εσθονία, η Ισπανία, η Μαλαισία, οι ΗΠΑ και η Νότια Αφρική να διερευνούν νέες μορ-

φές ενεργειακών συναλλαγών, συμπεριλαμβανομένων των συναλλαγών blockchain P2P. Η χρήση της τεχνολογίας blockchain στις συναλλαγές ενέργειας γίνεται όλο και πιο συχνή, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές της τόσο στην έρευνα όσο και στις πρακτικές εφαρμογές. Η τεχνολογία αυτή δεν αλλάζει μόνο τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διαπραγμάτευση της ενέργειας, αλλά και επαναπροσδιορίζει τους ρόλους των συμμετεχόντων.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στις συναλλαγές ενέργειας αποτελεί μια πρωτοποριακή εξέλιξη, προσφέροντας λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την εδραίωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την προώθηση μιας πιο βιώσιμης και διαφανούς αγοράς ενέργειας.

1.0.5 Πεδίο εφαρμογής και προκλήσεις

Παρόλο που το blockchain υπόσχεται μια σειρά από οφέλη, παρατηρούνται και αρκετές προκλήσεις και προβλήματα. Η δυσκολία επέκτασης των εφαρμογών, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και η απουσία θεσμοθετημένων αρχών που ελέγχουν την ορθή λειτουργία των εφαρμογών παραμένουν σημαντικά εμπόδια στην καθολική υιοθέτηση της τεχνολογίας. Επιπλέον, η περίπλοκη σχέση της τεχνολογίας με το απόρρητο των δεδομένων και τις προσωπικές πληροφορίες προσθέτει ένα ακόμη επίπεδο πολυπλοκότητας. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η έρευνα και η ανάλυση της τεχνολογίας blockchain για τη διερεύνηση όχι μόνο των τεχνικών πτυχών αλλά και των ηθικών, νομικών και κοινωνικών επιπτώσεων.

1.1 Κίνητρο για την εργασία

Η πρόκληση για την παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στην ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για διαφάνεια, ασφάλεια και αποτελεσματικότητα στο πολύπλοκο τοπίο του Χρηματιστηρίου Ενέργειας (EXE)[11]. Το Χρηματιστήριο Ενέργειας λειτουργεί ως οργανωμένη αγορά για συναλλαγές ενέργειας, με στόχο τον αποτελεσματικό καθορισμό των τιμών και τη δημιουργία ενός ασφαλούς και αξιόπιστου περιβάλλοντος συναλλαγών. Προτεραιότητες αυτού του περιβάλλοντος είναι η διαφάνεια των συναλλαγών και η εξακρίβωση των αποτελεσμάτων. Το Χρηματιστήριο Ενέργειας αποτελεί μία ζωτικής σημασίας πλατφόρμα για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δημιουργεί ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, το οποίο ωφελεί τόσο τους προμηθευτές όσο και τους καταναλωτές. Η τεχνολογία blockchain, και συγκεκριμένα ένα private blockchain με ιδιωτική άδεια, δηλαδή ένα περιβάλλον στο οποίο τα μέλη χρειάζονται άδεια για να εισέλθουν, παρέχει μια πρωτοποριακή πλατφόρμα για την ικανοποίηση αυτών των αναγκών. Η εργασία επικεντρώνεται στην επίδειξη της δυνατότητας διεξαγωγής των συναλλαγών αυτών πάνω από blockchain, στο οποίο συμμετέχουν οι διαχειριστές της αγοράς και οι συμμετέχοντες σε αυτή, εξελίσσοντάς σε αυτή την κατεύθυνση τον τρόπο διεξαγωγής των αγοραπωλησιών ενέργειας. Η τεχνολογία blockchain προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων, τα οποία είναι απαραίτητα σε τέτοιες συναλλαγές και συγκεκριμένα[12]:

- **Ακεραιότητα:** Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας blockchain είναι η ακεραιότητά της. Μόλις μια συναλλαγή προστεθεί στο blockchain, γίνεται μόνιμο μέρος της αλυσίδας από blocks και δε μπορεί να μεταβληθεί. Αυτό διασφαλίζει ότι τα ιστορικά δεδομένα των συναλλαγών δεν μπορούν να αλλοιωθούν, παρέχοντας μια ασφαλή και αξιόπιστη πηγή για έλεγχο και παρακολούθηση. Σε ένα περιβάλλον ανταλλαγών ενέργειας, αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο, καθώς εγγυάται την ακεραιότητα όλων των δεδομένων συναλλαγών, από τις ποσότητες ενέργειας έως τις χρηματικές ανταλλαγές.
- **Διαφάνεια:** Η τεχνολογία blockchain υποστηρίζει εγγενώς τη διαφάνεια μεταξύ των χρηστών της. Κάθε συναλλαγή καταγράφεται σε ένα αμετάβλητο βιβλίο (immutable ledger) που είναι προσβάσιμο σε κάθε μέλος εντός του δικτύου. Αυτό εξαλείφει την πιθανότητα δόλιων δραστηριοτήτων ή μεροληψίας εντός του συστήματος. Για ένα ενεργειακό χρηματιστήριο, η διαφάνεια διασφαλίζει ότι τόσο οι πάροχοι όσο και οι διαχειριστές μπορούν να επαληθεύσουν τη δικαιοσύνη των δημοπρασιών.
- **Ασφάλεια:** Η ασφάλεια είναι υψίστης σημασίας σε κάθε συναλλακτικό σύστημα, και αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα ενεργειακά χρηματιστήρια όπου πραγματοποιούνται σημαντικές χρηματικές συναλλαγές και συναλλαγές πόρων. Η κρυπτογραφική φύση της τεχνολογίας blockchain διασφαλίζει ότι όλες οι συναλλαγές είναι ασφαλείς από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή αλλοιώσεις. Επιπλέον, ένα ιδιωτικό blockchain περιορίζει τη συμμετοχή μόνο σε προσκεκλημένα μέρη, διατηρώντας έτσι ένα ελεγχόμενο περιβάλλον που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των κανονισμών και διασφαλίζει την ιδιωτικότητα των δεδομένων.
- **Αποδοτικότητα:** Η αποκεντρωμένη φύση του blockchain εξαλείφει την ανάγκη για μεσάζοντες στη διαδικασία συναλλαγής, βελτιώνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα. Τα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts) μπορούν να αυτοματοποιήσουν πολλές πτυχές των διαδικασιών, από την υποβολή προσφορών έως την αποθήκευση των λύσεων. Αυτό μειώνει το χρόνο και το κόστος που σχετίζονται με τις συναλλαγές, επιτρέποντας μια πιο ρευστή και ευέλικτη αγορά ενέργειας.

Συνοψίζοντας, το κίνητρο για την παρούσα διπλωματική εργασία πηγάζει από τα διάφορα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία blockchain στις αγοραπωλησίες ενέργειας. Τα οφέλη αυτά όχι μόνο αντιμετωπίζουν τις τρέχουσες προκλήσεις αλλά και ανοίγουν πόρτες για καινοτόμες προσεγγίσεις στις ενεργειακές συναλλαγές στο μέλλον. Με αυτό κατά νου, επιχειρείται μία επίδειξη της λειτουργίας μίας υποθετικής αγοράς του EXE, η οποία είναι μια απλουστευμένη μορφή της Αγοράς Επόμενης Ημέρας.

1.2 Δομή Πτυχιακής Εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και δομές που αφορούν την τεχνολογία του Blockchain. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι διάφοροι τύποι των Blockchain.

Επιπροσθέτως, δίνεται έμφαση στα διαφορετικά στρώματα του Blockchain, τους αλγόριθμους συναίνεσης, τα έξυπνα συμβόλαια, και τα κρυπτονομίσματα. Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται μια λεπτομερής μελέτη περιπτώσεων χρήσης για το σύστημα του Χρηματιστηρίου Ενέργειας σε οικοσύστημα blockchain. Αρχικά, παρουσιάζεται το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται, και στη συνέχεια προτείνεται μια λύση με τη χρήση του καταλληλότερου τύπου blockchain, με αναλυτική εξέταση των χαρακτηριστικών της αποκέντρωσης, της διαφάνειας, της ανωνυμίας και της ασφάλειας. Συμπεριλαμβάνονται UML διαγράμματα, περιγραφές διεπαφών χρήστη και λεπτομερής ανάλυση των διαδικασιών, από τη σύνδεση των χρηστών μέχρι την επίλυση των χρονικών διαστημάτων, την αποθήκευση και προβολή των αποτελεσμάτων. Στον Επίλογο, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα καθώς και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος. Υπάρχει δυνατότητα υλοποίησης περισσότερων λειτουργιών του πλήρους συστήματος του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, επιλογής του κατάλληλου blockchain και δημιουργίας συγκεκριμένου κρυπτονομίσματος, το οποίο θα χρησιμοποιείται για όλες τις συναλλαγές της εφαρμογής και θα υποστηρίζει όλες τις λειτουργίες που θα θεσπίσουμε.

Βασικές έννοιες Blockchain

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία βασική εισαγωγή στις βασικές έννοιες και ορολογίες της τεχνολογίας του Blockchain.

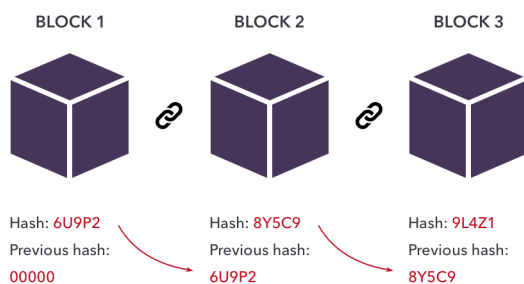
2.1 Τι είναι το Blockchain

Η τεχνολογία blockchain[13] χαρακτηρίζεται από μία αλυσίδα από blocks, καθένα από τα οποία περιέχει έναν κατάλογο συναλλαγών. Κάθε μπλοκ περιέχει έναν κρυπτογραφικό κατακερματισμό (cryptographic hash) του προηγούμενου μπλοκ, μια χρονοσφραγίδα (timestamp) και δεδομένα συναλλαγών, που συνήθως αναπαρίστανται ως δέντρο Merkle. Αυτός ο σχεδιασμός εξασφαλίζει τη χρονολογική σειρά των συναλλαγών και συμβάλλει στην ασφάλεια και την ακεραιότητα των δεδομένων.

Η διαδικασία ξεκινά όταν εμφανιστεί μια συναλλαγή και ομαδοποιείται σε ένα μπλοκ μαζί με άλλες συναλλαγές. Στη συνέχεια, μια κρυπτογραφική συνάρτηση κατακερματισμού, όπως η SHA-256[14], εφαρμόζεται στα περιεχόμενα του μπλοκ, δημιουργώντας έναν κατακερματισμένο μπλοκ. Αυτό το hash είναι μοναδικό. Ακόμη και μια μικρή αλλαγή στα περιεχόμενα του μπλοκ θα δημιουργούσε ένα εντελώς διαφορετικό hash.

Για να προστεθεί ένα μπλοκ στην αλυσίδα από blocks, οι συμμετέχοντες στο δίκτυο (κόμβοι) πρέπει να επικυρώσουν τις συναλλαγές εντός αυτού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός μηχανισμού συναίνεσης (consensus mechanism), όπου οι κόμβοι ακολουθούν ένα πρωτόκολλο για να συμφωνήσουν σχετικά με την εγκυρότητα των συναλλαγών. Ένας κοινός μηχανισμός συναίνεσης είναι η απόδειξη εργασίας (Proof of Work - PoW), η οποία απαιτεί από τους κόμβους να επιλύουν σύνθετα μαθηματικά προβλήματα, μια διαδικασία γνωστή ως εξόρυξη (mining). Μόλις επιτευχθεί συναίνεση, το μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα και όλοι οι κόμβοι ενημερώνουν την έκδοσή τους στην αλυσίδα μπλοκ για να συμπεριλάβουν το νέο μπλοκ.

Η σύνδεση των μπλοκ μέσω κρυπτογραφικών κατακερματισμών δημιουργεί μία αλληλουχία. Ο κατακερματισμός κάθε μπλοκ δημιουργείται με βάση το περιεχόμενο του προηγούμενου μπλοκ, δημιουργώντας μια αλυσίδα εξαρτήσεων. Ως εκ τούτου, η τροποποίηση ενός μεμονωμένου μπλοκ θα απαιτούσε τον επαναυπολογισμό των κρυπτογραφικών κατακερματισμών κάθε επόμενου μπλοκ, μία διαδικασία που καθίσταται πρακτικά αδύνατη όσο περισσότερα μπλοκ προστίθενται στην αλυσίδα.



Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση της αλληλουχίας των blocks[1]

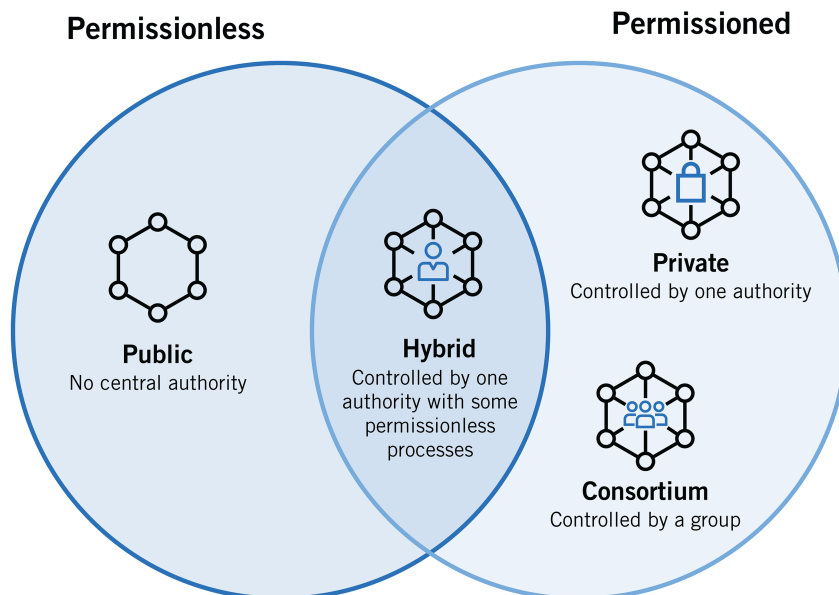
2.2 Δομή ενός Blockchain

Η δομή ενός blockchain περιλαμβάνει αλληλοσυνδεδεμένα blocks, που σχηματίζουν μία αλυσίδα, όπου κάθε μπλοκ αποτελείται από πολλαπλές συναλλαγές. Τα βασικά στοιχεία ενός blockchain είναι τα εξής [15]:

- Μπλοκ: Ένα μπλοκ περιέχει έναν κατάλογο συναλλαγών, μια χρονοσφραγίδα και ένα μοναδικό αναγνωριστικό γνωστό ως hash. Περιέχει επίσης το hash του προηγούμενου μπλοκ, δημιουργώντας έναν σύνδεσμο στην αλυσίδα.
- Κατακερματισμός(hash): Το hash του μπλοκ παράγεται με τη χρήση μιας κρυπτογραφικής συνάρτησης κατακερματισμού, συνήθως SHA-256. Αυτό το hash είναι μοναδικό για το περιεχόμενο του μπλοκ, εξασφαλίζοντας την ακεραιότητα των δεδομένων.
- Μπλοκ Γένεσης(Genesis Block): Είναι το πρώτο μπλοκ στο blockchain, το οποίο δεν παραπέμπει σε προηγούμενο μπλοκ.
- Δέντρο Merkle: Οι συναλλαγές εντός ενός μπλοκ δομούνται ως δέντρο Merkle, ένα δυαδικό δέντρο κατακερματισμών, το οποίο επιτρέπει την αποτελεσματική επαλήθευση των συναλλαγών.
- Αλυσίδα(chain): Η σύνδεση των μπλοκ μέσω των hashes προηγούμενων μπλοκ σχηματίζει την αλυσίδα μπλοκ. Οποιαδήποτε αλλοίωση στα δεδομένα ενός μπλοκ σπάει την αλυσίδα, αναδεικνύοντας τις προσπάθειες παραποίησης.
- Κόμβος(node): Οι κόμβοι είναι οι συμμετέχοντες στο δίκτυο που διατηρούν και επαληθεύουν την αλυσίδα μπλοκ. Κατέχουν ένα αντίγραφο ολόκληρης της αλυσίδας μπλοκ και ακολουθούν πρωτόκολλα για την επικύρωση νέων μπλοκ.
- Πρωτόκολλο συναίνεσης(consensus protocol): Ένα σύνολο κανόνων και διαδικασιών που ακολουθούνται από τους κόμβους για να συμφωνήσουν σχετικά με την εγκυρότητα των συναλλαγών και να προσθέσουν νέα μπλοκ στην αλυσίδα.

2.3 Τύποι Blockchain

Τα blockchains μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την προσβασιμότητα και το ποιος έχει την άδεια να συμμετέχει στο δίκτυο και για αυτό διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα permissioned και permissionless blockchains.[2]



Σχήμα 2.2: Τύποι Blockchain[2]

2.3.1 Δημόσια Blockchains

Τα δημόσια Blockchains ανήκουν στα permissionless blockchains και είναι ανοικτά και προσβάσιμα σε όποιον επιθυμεί να συμμετάσχει. Κάθε χρήστης μπορεί να ενταχθεί στο δίκτυο, να ξεκινήσει συναλλαγές και να συμμετάσχει στη διαδικασία επικύρωσης των συναλλαγών. Οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται σε αυτά τα δίκτυα Blockchain είναι δημόσια ορατές, γεγονός που συμβάλλει στη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη στο δίκτυο. Ωστόσο, παρόλο που οι συναλλαγές είναι δημόσιες, οι ταυτότητες των συμμετεχόντων μπορούν να παραμείνουν ανώνυμες μέσω κρυπτογραφικών ψευδωνύμων. Παραδείγματα δημόσιων αλυσίδων μπλοκ περιλαμβάνουν το Bitcoin και το Ethereum, τα οποία επιτρέπουν σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο συμμετεχόντων να συμφωνούν και να επικυρώνουν συναλλαγές μέσω μηχανισμών συναίνεσης όπως το Proof of Work.

2.3.2 Ιδιωτικά Blockchains

Τα ιδιωτικά Blockchains ανήκουν στα permissioned blockchains και περιορίζονται σε μια συγκεκριμένη ομάδα ή οργανισμό. Η πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο απαιτεί πρόσκληση που πρέπει να επικυρωθεί από τον διαχειριστή του δικτύου ή από ένα

προκαθορισμένο πρωτόκολλο. Σε αντίθεση με τα δημόσια Blockchains, δεν είναι ελεύθερη η συμμετοχή στο δίκτυο, η εκκίνηση και η επικύρωση των συναλλαγών. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στους οργανισμούς να διατηρούν τον έλεγχο του blockchain, διασφαλίζοντας ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο. Τα ιδιωτικά Blockchains, όπως το Hyperledger και το Corda, χρησιμοποιούνται συχνά εντός επιχειρήσεων και επιχειρήσεων για εσωτερικούς σκοπούς, παρέχοντας υψηλότερο επίπεδο ιδιωτικότητας και ασφάλειας.

2.3.3 Υβριδικά Blockchains

Τα υβριδικά Blockchains μπορούν να ανήκουν και στις δύο κατηγορίες και ενσωματώνουν χαρακτηριστικά τόσο των δημόσιων όσο και των ιδιωτικών Blockchains, επιτρέποντας την προσαρμογή της προσβασιμότητας του δικτύου και της ιδιωτικότητας των συναλλαγών. Σε ένα τέτοιό δίκτυο, οι ενέργειες με άδεια, όπως η ανάγνωση, η εγγραφή ή ο έλεγχος, μπορούν να ελέγχονται από μια κεντρική οντότητα, διατηρώντας παράλληλα μια δημόσια διαδικασία επαλήθευσης σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο.

Η δομή των υβριδικών Blockchain επιτρέπει σε συγκεκριμένους συμμετέχοντες να έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητες ή εμπιστευτικές πληροφορίες, ενώ παράλληλα επιτρέπει τη δημόσια επαλήθευση των συναλλαγών. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε σενάρια όπου η διαφάνεια για ορισμένα δεδομένα είναι σημαντική, διατηρώντας παράλληλα άλλα δεδομένα ιδιωτικά.

Ένα από τα αξιοσημείωτα παραδείγματα υβριδικών αλυσίδων μπλοκ είναι το Dragonchain, το οποίο παρέχει μια ευέλικτη διάταξη που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να διατηρούν τα δεδομένα τους ιδιωτικά, ενώ παράλληλα αλληλεπιδρούν με ένα δημόσιο Blockchain.

Το υβριδικό μοντέλο Blockchain επιδιώκει να παρέχει μια ισορροπημένη λύση που να αντιμετωπίζει τις ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, την ταχύτητα των συναλλαγών και τη διαφάνεια, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες επιχειρηματικές εφαρμογές και κυβερνητικές περιπτώσεις χρήσης.

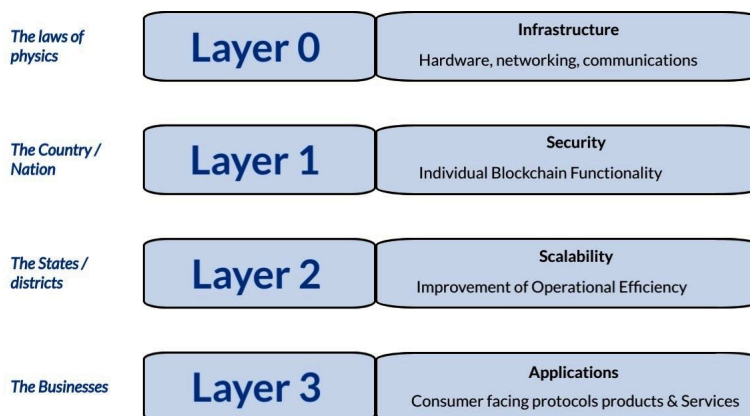
2.3.4 Κοινοπραξιακά Blockchains

Τα κοινοπραξιακά Blockchains (Consortium blockchains) ανήκουν στα permissioned blockchains και λειτουργούν υπό την ηγεσία μιας ομάδας οργανισμών αντί να ελέγχονται από μία μόνο οντότητα. Σε αντίθεση με τα ιδιωτικά Blockchains, όπου ένας οργανισμός έχει τον πλήρη έλεγχο, τα κοινοπρακτικά δίκτυα επιτρέπουν μια αποκεντρωμένη μορφή ελέγχου μεταξύ μιας προεπιλεγμένης ομάδας κόμβων. Κάθε κόμβος διοικείται από διαφορετικό οργανισμό και ένα ορισμένο ποσοστό αυτών των κόμβων πρέπει να συμφωνεί για να επικυρωθεί μια συναλλαγή. Αυτή η διάταξη είναι ιδιαίτερα επωφελής για σενάρια όπου πολλοί οργανισμοί επιθυμούν να μοιραστούν ένα κοινό δίκτυο Blockchain, διατηρώντας παράλληλα την ιδιωτικότητα και την αποτελεσματικότητα της συναίνεσης. Παραδείγματα κοινοπρακτικών Blockchain αποτελούν το Quorum και

το Β3ι, τα οποία επιτρέπουν σε μια ομάδα γνωστών οργανισμών να επικυρώνουν συναλλαγές.

2.4 Layers του Blockchain

Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να αναπαρασταθεί σε επίπεδα, καθένα από τα οποία έχει τις δικές του ξεχωριστές λειτουργίες και αρμοδιότητες, όπως τα επίπεδα των πρωτοκόλλων στις τηλεπικοινωνίες δικτύων. Αυτά τα layers επικοινωνούν για να δημιουργήσουν ένα πλήρες σύστημα Blockchain.[16]



Σχήμα 2.3: Blockchain Layers[3]

- Layer Υποδομής Blockchain (Blockchain Infrastructure Layer): Γνωστό και ως layer 0, παρέχει τη θεμελιώδη υποδομή για το Blockchain, περιλαμβάνοντας το διαδίκτυο, το hardware και άλλα βασικά στοιχεία, που επιτρέπουν τη λειτουργία δικτύων Blockchain όπως το Bitcoin και το Ethereum. Επιπλέον, το layer 0 διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα (interoperability) μεταξύ αλυσίδων, επιτρέποντας σε διαφορετικά δίκτυα blockchain να επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Layer Πρωτοκόλλου (Protocol Layer): Γνωστό και ως layer 1, αποτελεί το πρωτόκολλο του Blockchain. Περιλαμβάνει τους βασικούς αλγορίθμους συναίνεσης (consensus algorithms) και το βασικό πρωτόκολλο που εγγυάται την ομαλή λειτουργία του Blockchain. Παραδείγματα Blockchain στρώματος 1 περιλαμβάνουν το Bitcoin, το Ethereum, το Cardano και το Ripple. Ωστόσο, η επεκτασιμότητα παραμένει ένας σημαντικός περιορισμός σε αυτό το επίπεδο.
- Layer Κλιμάκωσης (Scaling Layer): Γνωστό και ως layer 2, παρέχει διαφορετικές προσεγγίσεις στα ζητήματα του στρώματος 1. Αυτές οι λύσεις του στρώματος 2 αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των ζητημάτων κλιμάκωσης με την επεξεργασία των συναλλαγών εκτός αλυσίδας ή με πιο αποτελεσματικό τρόπο, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση των συναλλαγών και τη συνολική αποδοτικότητα του δικτύου.

- Layer Εφαρμογής (Application Layer): Γνωστό και ως layer 3, φιλοξενεί αποκεντρωμένες εφαρμογές (dApps) και άλλα πρωτόκολλα. Χωρίζεται σε δύο επιμέρους στρώματα: το υποστρώμα εφαρμογής και το υποστρώμα εκτέλεσης, επιτρέποντας την ανάπτυξη εφαρμογών με δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών αλυσιδών για την επίτευξη πραγματικής διαλειτουργικότητας.

2.5 Αλγόριθμοι Συναίνεσης

Οι αλγόριθμοι συναίνεσης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας Blockchain, που βρίσκεται στο layer 1. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση μιας συνεπούς και συμφωνημένης κατάστασης του δικτύου μεταξύ όλων των συμμετεχόντων κόμβων, παρά την απουσία μιας κεντρικής αρχής. Μέσω αυτών των αλγορίθμων, τα δίκτυα επιτυγχάνουν συμφωνία σχετικά με την εγκυρότητα και τη σειρά των συναλλαγών, διασφαλίζοντας ότι μόνο νόμιμες συναλλαγές καταγράφονται στο Blockchain, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα και την ασφάλειά της. Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι συναίνεσης είναι οι εξής:[17]

- **Proof of Work (PoW):** Ένας αλγόριθμος συναίνεσης που απαιτεί από τους κόμβους να επιλύουν πολύπλοκα μαθηματικά προβλήματα για τη δημιουργία ενός νέου μπλοκ. Είναι ασφαλής αλλά απαιτητικό σε ενέργεια, με το Bitcoin και το Ethereum να αποτελούν αξιοσημείωτα παραδείγματα αλυσίδων μπλοκ που χρησιμοποιούν PoW.
- **Proof of Stake (PoS):** Στο PoS, ο δημιουργός ενός νέου μπλοκ επιλέγεται με βάση την ιδιοκτησία του ή το μερίδιό του στο κρυπτονόμισμα. Είναι πιο αποδοτικό όσον αφορά την ενέργεια σε σύγκριση με το PoW. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το Cardano και το Polkadot.
- **Delegated Proof of Stake (dPoS):** Μια παραλλαγή του PoS, όπου οι κάτοχοι νομισμάτων ψηφίζουν για έναν μικρό αριθμό εξουσιοδοτημένων κόμβων που μπορούν να επικυρώνουν συναλλαγές και να δημιουργούν νέα μπλοκ. Το Tron είναι παράδειγμα Blockchain που χρησιμοποιούν dPoS.
- **Proof of Authority (PoA):** Αυτός ο αλγόριθμος εμπιστεύεται έναν μικρό αριθμό κόμβων με βάση τη φήμη τους για την επικύρωση συναλλαγών και τη δημιουργία νέων μπλοκ. Είναι γρήγορος και αποτελεσματικός, με παραδείγματα το VeChain και το POA Network.

PROOF-OF-WORK	PROOF-OF-STAKE	DELEGATED PROOF-OF-STAKE	PROOF-OF-AUTHORITY
Decentralized	Decentralized	Somewhat Centralized	Centralized
Blocks are verified by "mining"	Blocks are verified by "minting"	Blocks are verified by authenticators who are "voted" in	Blocks are verified by private administrators
Energy-intensive and inefficient	Less computationally intensive	Minters are voted by the community	Small-scale networks mean little energy consumption
Very reliable	Reliable	Reliable under certain circumstances	Reliable for private blockchains
ex Bitcoin	ex NEO (Ethereum in the future)	ex EOS	ex POA.Network

Σχήμα 2.4: Consensus Algorithms[4]

2.6 Διαφορετικές Λύσεις Layer 2

Καθώς διάφορα projects επιλέγουν τα θεμελιώδη στρώματα, από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο, επιλέγουν το Ethereum στο στρώμα 1, γεγονός το οποίο περιορίζει τα projects είτε στο κύριο δίκτυο του Ethereum (Ethereum Mainnet) είτε σε Blockchain που βασίζονται σε EVM (Ethereum Virtual Based) και σε Solidity για την γλώσσα ανάπτυξης των έξυπνων συμβολαίων. Ενώ αυτή η επιλογή συνοδεύεται από ένα ισχυρό οικοσύστημα και ένα ώριμο περιβάλλον ανάπτυξης, κληρονομεί επίσης τις προκλήσεις κλιμάκωσης που σχετίζονται με το Ethereum. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και την ενίσχυση της επεκτασιμότητας, έχουν εμφανιστεί διάφορες λύσεις layer 2. Οι λύσεις αυτές αποσκοπούν στην μείωση του φόρτου της επεξεργασίας από το κύριο δίκτυο του Ethereum, μειώνοντας έτσι το κόστος και αυξάνοντας την απόδοση των συναλλαγών, διατηρώντας παράλληλα ένα ισχυρό επίπεδο ασφάλειας. Παραδείγματα αυτών των λύσεων περιλαμβάνουν:[18]

- **Optimistic Rollups:** Τα Optimistic Rollups ξεχωρίζουν για την ικανότητά τους για κλιμάκωση τόσο των συναλλαγών όσο και των έξυπνων συμβολαίων στο Ethereum. Λειτουργούν με βάση την αρχή της αισιοδοξίας (optimism) - υποθέτοντας ότι οι συναλλαγές είναι σωστές, εκτός αν αποδειχθεί το αντίθετο, γεγονός που μειώνει σημαντικά τα δεδομένα που πρέπει να διαχειριστούν στην αλυσίδα.
- **zk-Rollups:** Τα zk-Rollups χρησιμοποιούν αποδείξεις μηδενικής γνώσης (zero knowledge proofs) για να ομαδοποιήσουν πολλαπλές πράξεις σε μία, δημιουργώντας μια κρυπτογραφική απόδειξη που επαληθεύεται στην αλυσίδα. Αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει σημαντικά τα δεδομένα που αποθηκεύονται στην αλυσίδα, διασφαλίζοντας παράλληλα την εγκυρότητά τους, καθιστώντας τα zk-Rollups μια πολλά υποσχόμενη λύση κλιμάκωσης.
- **Arbitrum:** Το μοναδικό χαρακτηριστικό του Arbitrum έγκειται στην τεχνολογία Rollup που ελαχιστοποιεί τα δεδομένα πάνω στην αλυσίδα και στην εγγύηση AnyTrust, η οποία εξασφαλίζει την ορθή εκτέλεση εφόσον ένας επικυρωτής (validator) είναι ειλικρινής. Έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατή με το Ethereum, μειώνοντας παράλληλα το κόστος.
- **Polygon:** Το Polygon είναι μοναδικό για την ευελιξία του, προσφέροντας μια αλυσίδα PoA, μια αλυσίδα PoS και SDKs για τη δημιουργία προσαρμοσμένων δικτύων, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα με το Ethereum. Στόχος του είναι να παρέχει ένα πλαίσιο για την κατασκευή και τη σύνδεση blockchains συμβατών με το Ethereum.
- **Gnosis Chain:** Το Gnosis Chain ξεχωρίζει λόγω του νομίσματος του με σταθερή τιμή (stablecoin) xDai, το οποίο μειώνει τα τέλη συναλλαγών. Πρόκειται για ένα Blockchain συμβατό με το Ethereum, το οποίο παρέχει καλή επιλογή για projects.

2.7 Έξυπνα Συμβόλαια

Τα έξυπνα συμβόλαια[19] είναι αυτοεκτελούμενα, όπου οι όροι συμφωνίας μεταξύ δύο πλευρών είναι γραμμένοι σε κώδικα. Εκτελούν αυτόματα ενέργειες όταν πληρούνται προκαθορισμένες συνθήκες, χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσου φορέα. Ξεκίνησαν από το Blockchain του Ethereum και έχουν πια γίνει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό πολλών πλατφορμών Blockchain, επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα αποκεντρωμένων εφαρμογών (dApps).

Η ανάπτυξη και η ανάπτυξη έξυπνων συμβάσεων απαιτούν ειδικές γλώσσες προγραμματισμού προσαρμοσμένες στο περιβάλλον blockchain. Παραδείγματα εκείνων είναι Solidity, Vyper, Rust, Motoko, Chaincode (Hyperledger Fabric).

Τα έξυπνα συμβόλαια έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση σε διάφορους τομείς, αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες, μειώνοντας το κόστος και ενισχύοντας τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη. Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού για την ανάπτυξη έξυπνων συμβολαίων επηρεάζει την ευκολία ανάπτυξης, την ασφάλεια και τις συνολικές δυνατότητες των έξυπνων συμβολαίων. Κάθε γλώσσα έχει το δικό της σύνολο χαρακτηριστικών, πλεονεκτημάτων και συμβιβασμών, καθιστώντας την επιλογή κρίσιμη με βάση τις απαιτήσεις του έργου και την πλατφόρμα Blockchain που χρησιμοποιείται.

2.8 Κρυπτονομίσματα

Τα κρυπτονομίσματα[20] είναι ψηφιακές ή εικονικές μορφές νομισμάτων που χρησιμοποιούν κρυπτογραφία για ασφάλεια. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες: νομίσματα (coins) και tokens.

Τα νομίσματα όπως το Bitcoin και το Ethereum λειτουργούν σε δικά τους ανεξάρτητα Blockchains. Χρησιμοποιούν κυρίως ως μέσο ανταλλαγής ή αποθήκευτικής αξίας. Αρκετά γνωστή κατηγορία νομισμάτων είναι τα stablecoins, τα οποία διατηρούν σταθερή την αξία τους, με το να είναι συνδεδεμένα με ένα απόθεμα περιουσιακών στοιχείων (assets), όπως το Αμερικάνικο δολάριο. Παραδείγματα τέτοιων είναι το Tether (USDT), το USD Coin (USDC) και το Binance USD (BUSD). Παρέχουν τη σταθερότητα των νομισμάτων με φυσική υπόσταση, διατηρώντας παράλληλα τα οφέλη των κρυπτονομισμάτων.

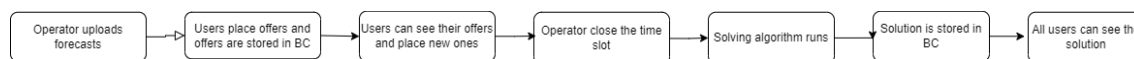
Αντίθετα, τα tokens δημιουργούνται σε ήδη υπάρχοντα Blockchains, όπως το Ethereum, μέσω έξυπνων συμβολαίων. Οποιοδήποτε έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα δικό του token, το οποίο θα έχει ανταλλακτική αξία, μέσω της ανάπτυξης ενός έξυπνου συμβολαίου. Μία από τις πιο γνωστές κατηγορίες τέτοιων tokens, είναι τα ERC-20 tokens, που αποτελούν το επικρατέστερο πρότυπο για τη δημιουργία tokens στο Blockchain του Ethereum. Καθορίζουν μία λίστα κανόνων που πρέπει να τηρεί ένα token του Ethereum, διευκολύνοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα σε όλο το οικοσύστημα.

Κεφάλαιο **3**

Μελέτη περίπτωσης χρήσης

3.1 Επεξήγηση του προβλήματος

Το Χρηματιστήριο Ενέργειας είναι άλλη μία εφαρμογή του πραγματικού κόσμου, που θα μπορούσε να επωφεληθεί από τη μεταφορά της σε δίκτυο Blockchain. Μια απλοποιημένη περιγραφή της διαδικασίας δημοπρασιών ενέργειας είναι η ακόλουθη: ο διαχειριστής του συστήματος ανακοινώνει την απαίτησή του σε ενέργεια για μια δεδομένη χρονική περίοδο (time slot) και οι συμμετέχοντες στην αγορά κάνουν προσφορές (bids) για την κάλυψη μέρους ή όλης της απαίτησης σε μια συγκεκριμένη τιμή. Κάθε συμμετέχων έχει τη δυνατότητα να κάνει πολλαπλές προσφορές για κάθε χρονικό διάστημα.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία με τα βασικά βήματα

Αποτελώντας ουσιαστικά ένα περιβάλλον δημοπρασίας, οι πάροχοι που λαμβάνουν συμβόλαιο αγοράς, δηλαδή οι μειοδότες, μπορούν να είναι σίγουροι για τη διαφάνεια και την αμεροληψία του συστήματος. Το ίδιο ισχύει και για τους πλειδότες, δηλαδή τους παρόχους που δεν έλαβαν συμβόλαιο σε κάποια δημοπρασία. Μετά το πέρας κάθε χρονικού διαστήματος (time slot), ο αλγόριθμος που τρέχει επιλύει το πρόβλημα, και τα αποτελέσματα γράφονται μόνιμα στο Blockchain, όπου όλοι οι χρήστες μπορούν να τα δουν και να τα ελέγξουν, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας. Επιπλέον, αφού συζητάμε για αγορά και πώληση ενέργειας, δηλαδή μεταφορά χρημάτων, το σύστημα θα μπορούσε να επωφεληθεί πλήρως από τη χρήση κρυπτονομισμάτων, επιτελώντας μία επιπλέον λειτουργία.

3.2 Ένα απλό παράδειγμα με τα βασικά βήματα

Θα αναπαραστήσουμε σε αυτό το σημείο ένα σενάριο με τα βασικά βήματα για να γίνουν κατανοητές οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα. Για αυτόν τον λόγο θα αναφερθούμε σε ένα μόνο χρονικό διάστημα και τα ζευγάρια τιμών θα περιέχουν μικρούς αριθμούς, οι οποίοι δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικές τιμές.

Στην αρχή ο διαχειριστής, δηλαδή ο ΑΔΜΗΕ δηλώνει ότι θέλει στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα να αγοράσει 400 MWh ενέργειας. Σε αυτό το χρονικό διάστημα αποφασίζουν να τοποθετήσουν προσφορές 4 συμμετέχοντες, δηλαδή εταιρίες που πουλάνε ενέργεια. Κάθε ζευγάρι προσφορών αποτελείται από 2 αριθμούς, τη τιμή της μονάδας και τη ποσότητα της ενέργειας που προσφέρεται, με αυτή τη σειρά. Η συγκεκριμένη δημοπρασία έχει της εξής προσφορές:

Συμμετέχων 1	Συμμετέχων 2	Συμμετέχων 3	Συμμετέχων 4
20€/MWh, 40MWh	50€/MWh, 50MWh	70€/MWh, 100MWh	40€/MWh, 60MWh
70€/MWh, 100MWh	60€/MWh, 50MWh	80€/MWh, 120MWh	50€/MWh, 70MWh
80€/MWh, 200MWh	100€/MWh, 150MWh	90€/MWh, 100MWh	70€/MWh, 30MWh
100€/MWh, 50MWh	140€/MWh, 100MWh	100€/MWh, 200MWh	200€/MWh, 200MWh
150€/MWh, 200MWh	160€/MWh, 50MWh	120€/MWh, 200MWh	300€/MWh, 50MWh

Σχήμα 3.2: Παράδειγμα 1 προσφορών

Ακολούθως, θα αναλυθεί με ποιον τρόπο αποθηκεύεται μία καινούρια προσφορά στο σύστημα, καθώς και αλγόριθμος επίλυσης. Η ανάλυση της προσθήκης προσφορών κρίνεται απαραίτητη σε αυτό το σημείο, επειδή η δομή των προσφορών έχει σημαντικό ρόλο στην επίλυση του προβλήματος.

3.2.1 Απόθηκευση προσφορών σε Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο

Για την οργάνωση και αποθήκευση των προσφορών που αντιστοιχούν στο εκάστοτε χρονικό διάστημα, γίνεται χρήση μίας δομής δεδομένων, γνωστή ως Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο (Red-Black Tree). Η επιλογή αυτή έχει ως κίνητρο την ανάγκη για αποτελεσματικές λειτουργίες αναζήτησης, εισαγωγής και διαγραφής, τις οποίες το Red-Black Tree εκτελεί βέλτιστα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη BokkyPooBahsRedBlackTreeLibrary [21], καθώς προσφέρει μια αποτελεσματική υλοποίηση της συγκεκριμένης δομής δεδομένων.

3.2.2 Τι είναι ένα Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο

Το Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο είναι μια προηγμένη μορφή δυαδικού δέντρου αναζήτησης (binary search tree) με δυνατότητες αυτοεξισορρόπησης. Σε αντίθεση με ένα τυπικό δυαδικό δέντρο αναζήτησης, το οποίο μπορεί να υποβαθμιστεί σε μια γραμμική δομή με μη αποτελεσματικούς χρόνους λειτουργίας, ένα Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο εξασφαλίζει ότι το ύψος του παραμένει λογαριθμικό σε σχέση με τον αριθμό των στοιχείων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός συνόλου κανόνων που αφορούν το χρώμα των κόμβων (nodes). Κάθε κόμβος στο δέντρο χρωματίζεται είτε με κόκκινο είτε με μαύρο χρώμα, με τη ρίζα (root) να είναι πάντα μαύρη. Επίσης, τα φύλλα είναι πάντα μαύρα. Επιπλέον, εάν ένας κόμβος είναι κόκκινος, τότε τα παιδιά του είναι μαύρα και τέλος όταν προστίθεται ένας καινούριος κόμβος στο δέντρο είναι κόκκινος. Καθώς προστίθενται νέοι κόμβοι ή αφαιρούνται υπάρχοντες κόμβοι, το δέντρο αναδιοργανώνεται

ώστε να διατηρείται αυτό το σύστημα χρωματισμού. Συγκεκριμένα, διασφαλίζεται ότι κανένας από δύο διαδοχικούς κόμβους σε οποιοδήποτε μονοπάτι δεν είναι κόκκινος και ότι κάθε μονοπάτι από τη ρίζα προς τα φύλλα έχει ίσο αριθμό μαύρων κόμβων.

Αυτοί οι χρωματικοί κανόνες εξασφαλίζουν ότι το δέντρο παραμένει ισορροπημένο. Η ισορροπία του δέντρου δεν είναι τέλεια, αλλά είναι αρκετά καλή, ώστε να εγγυάται ότι λειτουργίες όπως η προσθήκη, η διαγραφή και η αναζήτηση μπορούν να εκτελούνται σε λογαριθμικό χρόνο. Αυτή η αυτοεξισορρόπηση αποφεύγει τις καθυστερήσεις της χειρότερης περίπτωσης απόδοσης των βασικών δυαδικών δέντρων αναζήτησης. Στην περίπτωσή σας, η αποθήκευση προσφορών για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές σε ένα Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο εξασφαλίζει αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων και γρήγορη ανάκτηση, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική απόδοση και αξιοπιστία του συστήματός μας.[22]

3.2.3 Προσθήκη προσφορών και επίλυση προβλήματος

Κάθε κόμβος του δέντρου χρησιμοποιεί για κλειδί του τη τιμή της προσφοράς. Συνεπώς, εάν εμφανιστούν στο ίδιο χρονικό διάστημα παραπάνω από μία προσφορά με την ίδια τιμή, τοποθετούνται στον ίδιο κόμβο και εάν ο αλγόριθμος επίλυσης επιλέξει τον συγκεκριμένο κόμβο, τότε επιλέγονται όλες οι προσφορές αυτού του κόμβου και εάν δεν καλυφθεί η ζήτηση με αυτές τις προσφορές, προχωράει στον επόμενο κόμβο.

Όταν μια νέα προσφορά υποβάλλεται στο σύστημα, το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τη σύγκριση της τιμής αυτής της προσφοράς με τις τιμές των ήδη υπαρχόντων προσφορών. Αυτή η διαδικασία είναι αρκετά σημαντική για τον προσδιορισμό της σωστής τοποθέτησης της προσφοράς στο δέντρο για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αφού η προσφορά τοποθετηθεί στο σωστό κόμβο, το δέντρο υποβάλλεται σε λειτουργία αυτοεξισορρόπησης για να διατηρήσει την αποτελεσματική δομή του για την ανάκτηση δεδομένων.

Ύστερα, μόλις η νέα προσφορά τοποθετηθεί στον κατάλληλο κόμβο και το δέντρο ισορροπήσει και κλείσει το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, δηλαδή δε γίνεται να προστεθούν άλλες προσφορές, ξεκινά ο αλγόριθμος επίλυσης για να καθοριστεί ποιες προσφορές θα επιλεγθούν. Η διαδικασία είναι παρόμοια με ένα κλασικό δυαδικό δέντρο. Δηλαδή, ξεκινώντας από τη ρίζα του δέντρου, αναζητούμε το αριστερότερο (left-most) φύλλο, δηλαδή τον κόμβο με την χαμηλότερη τιμή. Στη συνέχεια, επιλέγονται όλοι οι κόμβοι με τις χαμηλότερες τιμές, μέχρι να φτάσουμε την απαιτούμενη ποσοτήτα.

3.2.4 Αποθήκευση προσφορών και επίλυση του συγκεκριμένου παραδείγματος

Η χρονική σειρά με την οποία υποβάλλονται οι προσφορές παίζει ρόλο στη προσωρινή μορφή του δέντρου. Ωστόσο, η τελική μορφή είναι ίδια ανεξαρτήτως σειράς. Οπότε για το δικό μας παράδειγμα ας θεωρήσουμε ότι χρονικά πρώτος τοποθετεί τις προσφορές του ο Συμμετέχων 1 και ύστερα οι υπόλοιποι κατά σειρά. Θα αναπαραστήσουμε τα βήματα διαμόρφωσης του Κόκκινου-Μαύρου Δέντρου. Αναφέρουμε ξανά όλες

τις προσφορές για ευκολία:

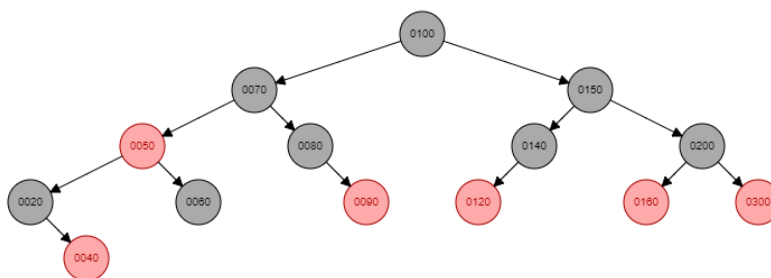
Συμμετέχων 1	Συμμετέχων 2	Συμμετέχων 3	Συμμετέχων 4
20€/MWh, 40MWh	50€/MWh, 50MWh	70€/MWh, 100MWh	40€/MWh, 60MWh
70€/MWh, 100MWh	60€/MWh, 50MWh	80€/MWh, 120MWh	50€/MWh, 70MWh
80€/MWh, 200MWh	100€/MWh, 150MWh	90€/MWh, 100MWh	70€/MWh, 30MWh
100€/MWh, 50MWh	140€/MWh, 100MWh	100€/MWh, 200MWh	200€/MWh, 200MWh
150€/MWh, 200MWh	160€/MWh, 50MWh	120€/MWh, 200MWh	300€/MWh, 50MWh

Σχήμα 3.3: Παράδειγμα 1 προσφορών

1. Προστίθεται κόμβος με κλειδί 20 και το δέντρο είναι κενό άρα ο κόμβος γίνεται η ρίζα του δέντρου και έχει χρώμα μαύρο.
2. Προστίθεται κόμβος με κλειδί 70 με κόκκινο χρώμα (κάθε καινούριος κόμβος έχει χρώμα κόκκινο). Αφού $70 > 20$, προστίθεται σαν παιδί στα δεξιά του 20.
3. Προστίθεται κόμβος με κλειδί 80 με κόκκινο χρώμα. Αφού $80 > 20$, πάμε στο δεξί παιδί του 20. Αφού $80 > 70$, τότε το 80 τοποθετείται σαν παιδί στα δεξιά του 70. Ωστόσο τότε έχουμε red-red violation, δηλαδή πατέρας και παιδί έχουν κόκκινο χρώμα που δεν επιτρέπεται και επιπλέον, το δέντρο δεν είναι εξισορροπημένο. Άρα τώρα, το 70 γίνεται η ρίζα του δέντρου με μαύρο χρώμα και τα παιδιά του 20 και 80 έχουν κόκκινο χρώμα.
4. Προστίθεται κόμβος με κλειδί 100 με κόκκινο χρώμα. Έχουμε $100 > 70$, άρα κοιτάμε στο δεξί παιδί. Έχουμε $100 > 80$, άρα τοποθετείται στα δεξιά του σαν παιδί. Ωστόσο τώρα έχουμε red-red violation, αφού και το 80 και το 100 είναι κόκκινα. Σε αυτή την περίπτωση, επειδή τώρα το δέντρο δεν είναι εκτός ισορροπίας, κοιτάμε το χρώμα του θείου(uncle) του 100, δηλαδή στη δική μας περίπτωση το 20. Επειδή αυτό είναι κόκκινο, σπρώχνουμε το χρώμα από τον παππού(grandparent) του 100, δηλαδή το 70, που είναι μαύρο ένα επίπεδο κάτω. Δηλαδή και τα παιδιά του γίνονται μαύρα. Άρα τώρα, το 70 που είναι η ρίζα του δέντρου και τα παιδιά του, το 20 και το 80, είναι όλα μαύρα. Και το 100 που είναι δεξί παιδί του 80 είναι μαύρο.

Ακολουθούν αντίστοιχα βήματα για να διαμορφωθεί η τελική μορφή του δέντρου, η οποία είναι η εξής:

Στη συνέχεια, τρέχει ο αλγόριθμος επίλυσης. Ζητούμε 400 MW, μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιεί το Χρηματιστήριο Ενέργειας. Πηγαίνουμε στο αριστερότερο (left-most) κόμβο του Κόκκινου-Μαύρου Δέντρου, δηλαδή το 20 και βλέπουμε πόση ποσότητα έχουμε εκεί, δηλαδή 40. Ο κόμβος αυτός αφαιρείται από το δέντρο και ελέγχεται αν χρειάζεται εξισορρόπηση. Αφού συνολικά έχουμε πάρει 40 μονάδες και δεν έχουμε καλύψει την ανάγκη, ξανά πηγαίνουμε στον αριστερό κόμβο του δέντρου, ο οποίος τώρα έχει τιμή 40, αφού ο κόμβος με τιμή 20 αφαιρέθηκε. Αυτή η διαδικασία αφαίρεσης, επαναξισορρόπησης και επιλογής του κόμβου συνεχίζεται μέχρι να καλυφθεί η ζητούμενη ποσότητα. Άρα η λύση είναι η εξής:



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα 1 Red Black Tree

- 40 MWh με τιμή 20 €/MWh από τον συμμετέχοντα 1
- 60 MWh με τιμή 40 €/MWh από τον συμμετέχοντα 4
- 50 MWh με τιμή 50 €/MWh από τον συμμετέχοντα 2
- 70 MWh με τιμή 50 €/MWh από τον συμμετέχοντα 4
- 50 MWh με τιμή 60 €/MWh από τον συμμετέχοντα 2
- 20 MWh με τιμή 70 €/MWh από τον συμμετέχοντα 3

Μετά το πέρας του αλγορίθμου, η επίλυση του προβλήματος του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος αποθηκεύεται στο blockchain και όλοι οι συμμετέχοντες και ο ΑΔΜΗΕ μπορούν να την δουν και να την επαληθεύσουν.

Σημειώνεται ότι ο πραγματικός αλγόριθμος επίλυσης της αγοράς λαμβάνει υπόψη του αρκετούς επιπλέον περιορισμούς οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετική λύση. Ωστόσο, αυτό δεν επηρεάζει τους σκοπούς επίδειξης της παρούσας εργασίας.

3.3 Μια προσέγγιση βασισμένη σε ιδιωτικό EVM-based Blockchain

Το Χρηματιστήριο Ενέργειας είναι ένα περίπλοκο δίκτυο, όπου οι απρόσκοπτες και διαφανείς αγοραπωλησίες είναι υψίστης σημασίας. Μια σύγχρονη προσέγγιση για την προώθηση της διαφάνειας, της εμπιστοσύνης και της αποτελεσματικότητας σε αυτή την αγορά είναι η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain. Συγκεκριμένα, η χρήση ενός ιδιωτικού blockchain βασισμένης σε EVM (Ethereum Virtual Machine) μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας, για τους λόγους που περιγράφονται παρακάτω.

Είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος, όπου η πρόσβαση και η συμμετοχή περιορίζονται στα προσκεκλημένα μέρη. Για αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ενός ιδιωτικού blockchain, το οποίο είναι κατάλληλο για τις αγοραπωλησίες ενέργειας όπου η συμμόρφωση με τους κανονισμούς, η ιδιωτικότητα των δεδομένων και η ασφάλεια των συναλλαγών είναι υψίστης σημασίας.

Δεδομένου ότι τα έξυπνα συμβόλαια αναπτύχθηκαν με Solidity, είναι προφανές ότι αναζητούμε τη καταλληλότερη επιλογή για αυτό το σύστημα όσον αφορά το layer 2.

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές λύσεις layer 2, όπως μερικές αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος, που προσφέρουν ένα φάσμα πλεονεκτημάτων, όπως μειωμένο κόστος συναλλαγών και γρήγορη επιβεβαίωση μπλοκ. Παρά τα διακριτά πλεονεκτήματα που μπορεί να παρουσιάζει κάθε λύση layer 2, όλες κατέχουν τα εξής βασικά πλεονεκτήματα της ανάπτυξης μίας εφαρμογής σε blockchain:

3.3.1 Αποκέντρωση (Decentralization)

Η αποκέντρωση αποτελεί θεμελιώδη αρχή της τεχνολογίας blockchain, καταργώντας την ανάγκη για κεντρικούς μεσάζοντες στην επικύρωση και τη διαχείριση των συναλλαγών. Σε μια αγορά ενέργειας, αυτό μεταφράζεται σε ένα πιο δίκαιο και διαφανές πλαίσιο λειτουργίας.

Στο τρέχον σύστημα, οι κεντρικές αρχές διέπουν τις αγορές ενέργειας, γεγονός που μπορεί να εισάγει αναποτελεσματικότητα και έλλειψη διαφάνειας. Μια αποκεντρωμένη προσέγγιση μέσω ενός ιδιωτικού blockchain αντιμετωπίζει αυτά τα ζητήματα, επιτρέποντας τις ομότιμες αγοραπωλησίες ενέργειας. Αυτό όχι μόνο μειώνει το κόστος των συναλλαγών και επιταχύνει την επεξεργασία των συναλλαγών, αλλά και προάγει ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον αγοράς. Επιπλέον, οι εγγενείς μηχανισμοί συναίνεσης στο blockchain εξασφαλίζουν την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων, ενισχύοντας έτσι τη συνολική ακεραιότητα και αποτελεσματικότητα της αγοράς ενέργειας.

3.3.2 Διαφάνεια (Transparency)

Η διαφάνεια είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τεχνολογίας blockchain, προσφέροντας ένα ανοιχτό και επαληθεύσιμο αρχείο συναλλαγών. Στην αγορά ενέργειας, η διαφάνεια είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση των δίκαιων συναλλαγών, της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς και της εμπιστοσύνης μεταξύ των συμμετεχόντων.

Στο συνιστώμενο σύστημα, όλοι οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να βλέπουν τα δεδομένα των συναλλαγών, προωθώντας ένα περιβάλλον όπου οι δραστηριότητες της αγοράς είναι ανοικτές για επαλήθευση. Αυτή η διαφάνεια διασφαλίζει ότι όλες οι συναλλαγές διεξάγονται δίκαια και σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες που είναι ενσωματωμένοι στα έξυπνα συμβόλαια.

Επιπλέον, η αμετάβλητη φύση των αρχείων blockchain ενισχύει περαιτέρω τη διαφάνεια, καθώς από τη στιγμή που καταγράφεται μια συναλλαγή, δεν μπορεί να τροποποιηθεί. Αυτό το χαρακτηριστικό όχι μόνο διασφαλίζει την ακεραιότητα του ιστορικού των συναλλαγών, αλλά παρέχει επίσης μια αξιόπιστη διαδρομή ελέγχου.

3.3.3 Αωνυμία (Anonymity)

Η αωνυμία, στο πλαίσιο του blockchain, αναφέρεται στην ικανότητα να μην αποκαλύπτονται οι ταυτότητες των συμμετεχόντων, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται η επαληθευσιμότητα των συναλλαγών. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να είναι ιδιαίτερα

επωφελές σε μια αγορά ενέργειας, προωθώντας ίσους όρους ανταγωνισμού για όλους τους συμμετέχοντες.

Σε ένα ιδιωτικό blockchain, αν και η πρόσβαση στο δίκτυο περιορίζεται στα προσκεκλημένα μέρη, οι συναλλαγές μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να διατηρείται η ανωνυμία των συμμετεχόντων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω κρυπτογραφικών τεχνικών που αποκρύπτουν την ταυτότητα των μερών που συμμετέχουν σε μια συναλλαγή, ενώ παράλληλα διασφαλίζουν ότι η ίδια η συναλλαγή είναι έγκυρη και ανιχνεύσιμη.

Η ανωνυμία μπορεί να ενισχύσει το αίσθημα δικαιοσύνης στην αγορά, καθώς βοηθά στην αποφυγή οποιασδήποτε προκατάληψης ή ευνοιοκρατίας, διασφαλίζοντας ότι όλες οι συναλλαγές αντιμετωπίζονται ισότιμα, ανεξάρτητα από τις εμπλεκόμενες οντότητες. Αυτό το χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με τη διαφάνεια και την αμεταβλητότητα, συμβάλλει στην οικοδόμηση μιας πιο δίκαιης και αξιόπιστης αγοράς ενέργειας.

3.3.4 Ασφάλεια (Security)

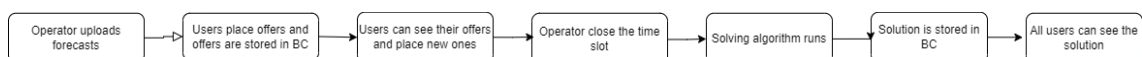
Η ασφάλεια αποτελεί πρωταρχικό μέλημα σε κάθε ψηφιακή πλατφόρμα, πολύ περισσότερο σε μια αγορά ενέργειας όπου ανταλλάσσονται ευαίσθητα δεδομένα και χρηματικά ποσά. Η τεχνολογία blockchain, με τα κρυπτογραφικά της θεμέλια, παρέχει ένα ισχυρό πλαίσιο ασφαλείας.

Με τη χρήση του blockchain, η αγορά ενέργειας μπορεί να επωφεληθεί από τα ενισχυμένα μέτρα ασφαλείας που διακατέχουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Κάθε συναλλαγή κρυπτογραφείται και συνδέεται με την προηγούμενη συναλλαγή, σχηματίζοντας μια αλυσίδα. Αυτός ο δομικός σχεδιασμός καθιστά εξαιρετικά δύσκολο για τους αντιπάλους να τροποποιήσουν τα δεδομένα των συναλλαγών αφού καταγραφούν.

Επίσης, οι μηχανισμοί συναίνεσης που χρησιμοποιούνται στο blockchain ενισχύουν περαιτέρω την ασφάλεια διασφαλίζοντας ότι καταγράφονται μόνο έγκυρες συναλλαγές. Αυτό, σε συνδυασμό με την ελεγχόμενη πρόσβαση στο ιδιωτικό blockchain, μειώνει σημαντικά τους κινδύνους που συνδέονται με δόλιες δραστηριότητες και μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, προωθώντας έτσι ένα ασφαλές περιβάλλον συναλλαγών.

3.3.5 Συμπέρασμα

Για όλους αυτούς τους λόγους το Χρηματιστήριο Ενέργειας θα μπορούσε να επωφεληθεί από την τεχνολογία του blockchain. Όπως αναφέραμε τα βασικά βήματα της διαδικασίας είναι τα εξής:

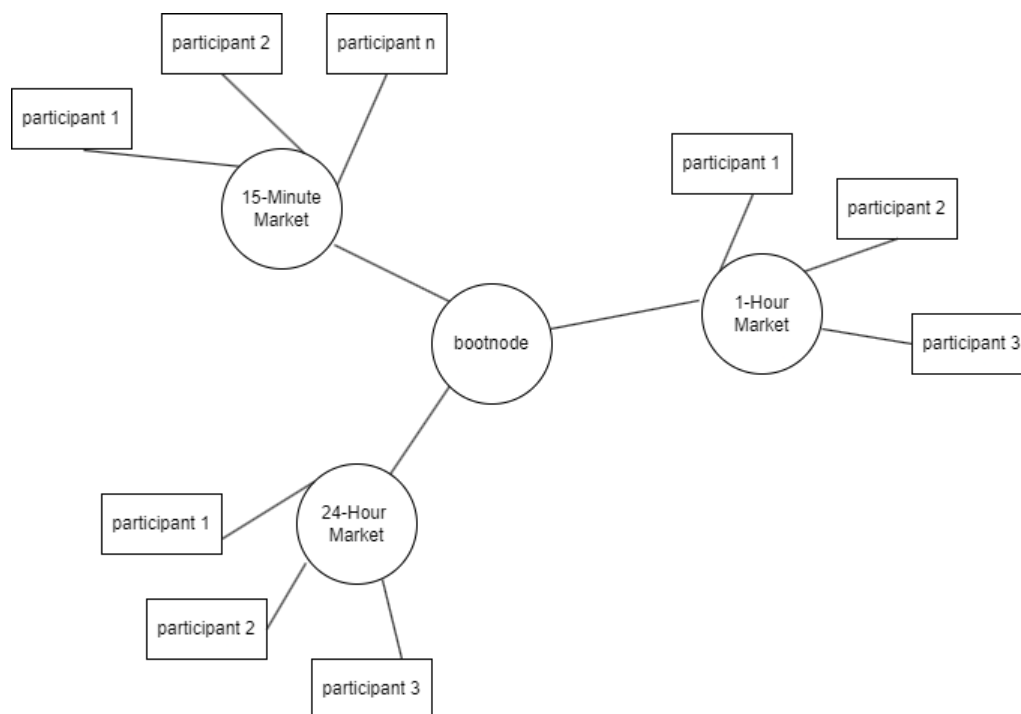


Σχήμα 3.5: Διαδικασία με τα βασικά βήματα

Όλα αυτά τα βήματα μεταφέρονται στη πλευρά του blockchain, χωρίς να έχει κάποια κεντρική οντότητα δυνατότητα να τροποποιήσει δεδομένα ή τα αποτελέσματα. Όλες οι προβλέψεις φορτίου, οι προσφορές, καθώς και οι λύσεις αποθηκεύονται στο

blockchain και δε γίνεται να παραποιηθούν ή να σβηστούν. Αντίστοιχα, όλοι οι συμμετέχοντες του συστήματος μπορούν να τα δουν και να επικυρώσουν την ορθότητα τους, γεγονός τα οποία είναι πιθανά σε ένα κεντρικοποιημένο σύστημα, που χρησιμοποιεί μία βάση δεδομένων και στο οποίο υπάρχουν διαχειριστές που έχουν τα δικαιώματα να τροποποιήσουν τα δεδομένα.

Παρακάτω εμφανίζεται ένα απλό διάγραμμα με κόμβους του ιδιωτικού blockchain και τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να συνδεθούν σε μία αγορά και να εκτελέσουν λειτουργίες στο blockchain.



Σχήμα 3.6: Αναπαράσταση κόμβων και χρηστών του συστήματος

3.4 Μοντέλο περιπτώσεων χρήσης

Οι απαιτήσεις του συστήματος, που αναλύθηκαν παραπάνω, παρουσιάζονται στο εξής διάγραμμα περίπτωσης χρήσης UML. Στο παρόν διάγραμμα εμπεριέχονται οι χρήστες διαχειριστές του συστήματος και οι απλοί χρήστες.

3.4.1 Διαχειριστές

Οι διαχειριστές μπορούν να εκτελέσουν τις ακόλουθες λειτουργίες στο σύστημα:

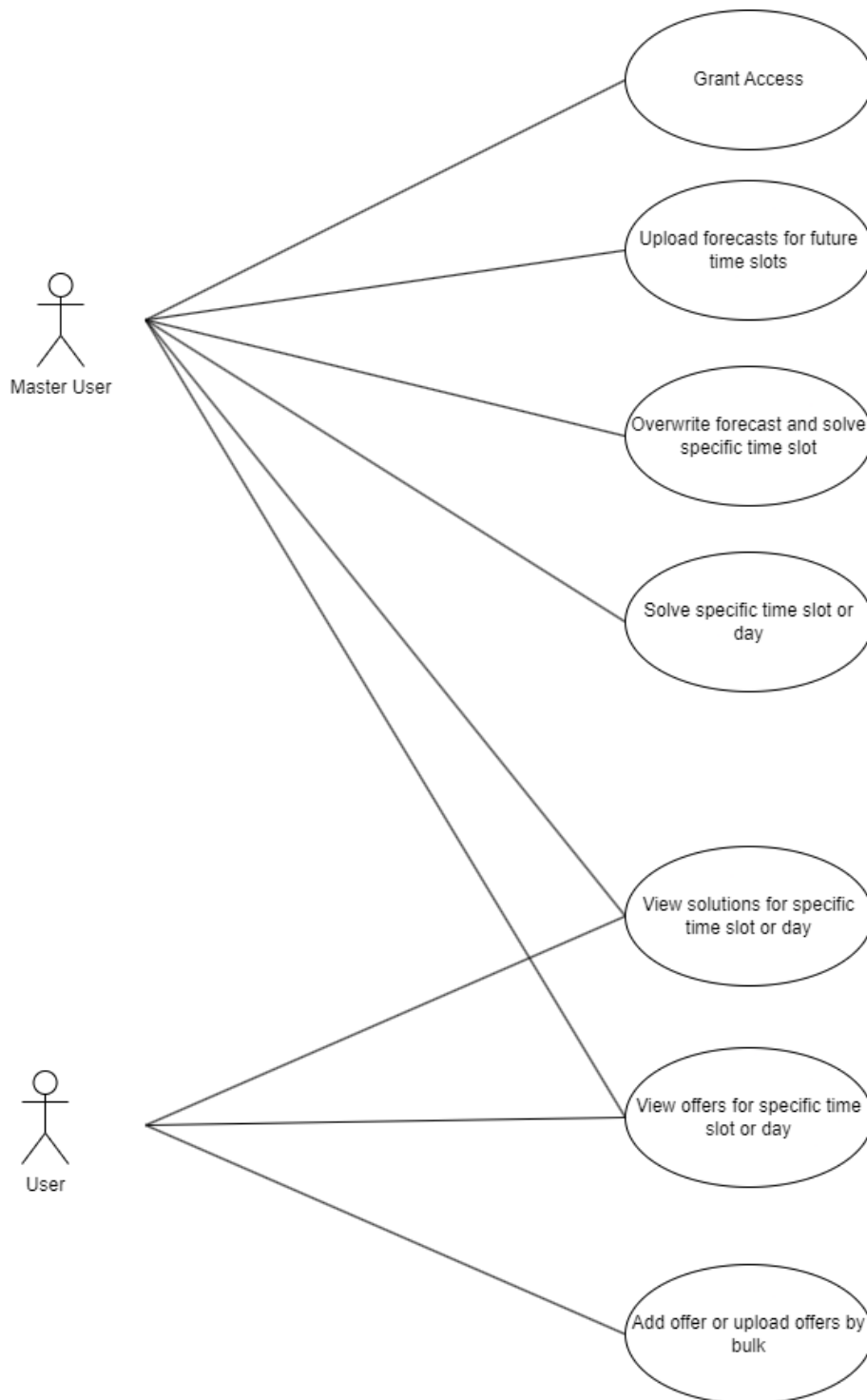
- Να παραχωρούν πρόσβαση στις διευθύνσεις πορτοφολιού των χρηστών προκειμένου να έχουν τη δυνατότητα να προσθέτουν προσφορές.
- Να ανεβάζουν αρχεία που περιέχουν τις προβλέψεις απαιτούμενης ενέργειας για κάθε χρονικό διάστημα.

- Να κλείνουν και να επιλύουν κάθε χρονικό διάστημα, είτε με τη πρόβλεψη απαιτούμενης ενέργειας είτε αλλάζοντας αυτή τη τιμή.
- Να επιλύουν για την εκάστοτε ημέρα μαζικά όλα τα χρονικά διαστήματα μετά το πέρας τους.
- Να δουν όλες τις προσφορές όλων των χρηστών για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Να δουν όλες τις προσφορές όλων των χρηστών για όλα τα χρονικά διαστήματα κάθε ημέρας.
- Να δουν την επίλυση συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.
- Να δουν τις επιλύσεις όλων των χρονικών διαστημάτων κάθε ημέρας.

3.4.2 Συμμετέχοντες

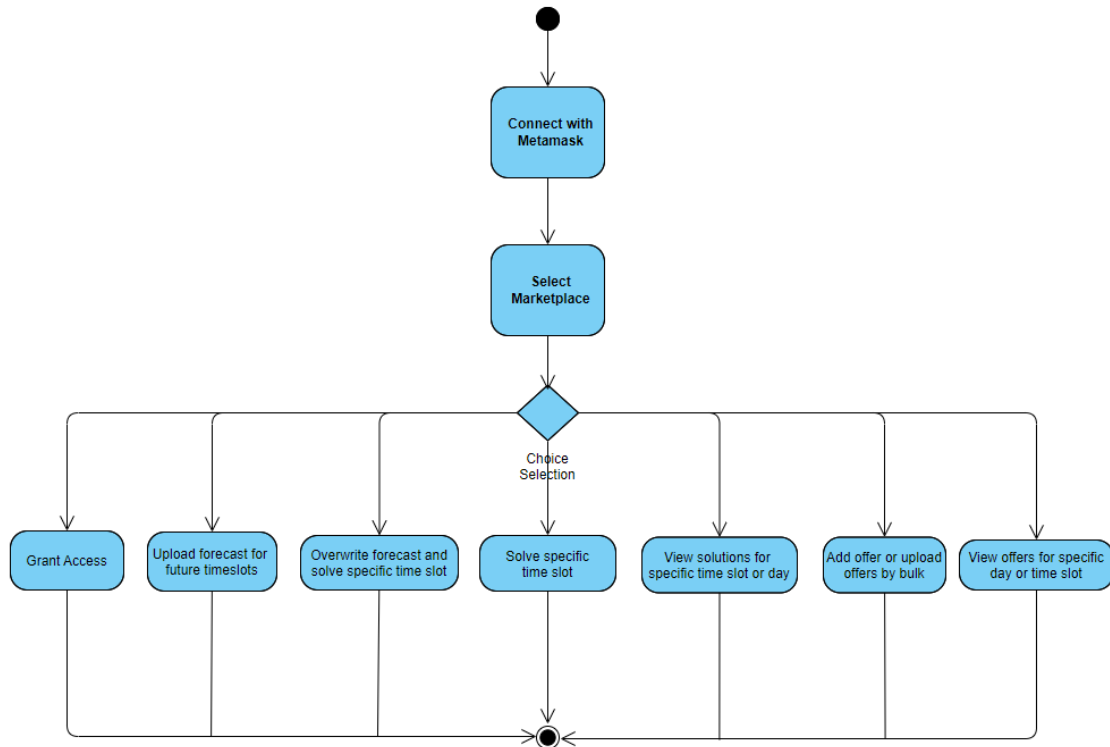
Οι συμμετέχοντες μπορούν να εκτελέσουν τις ακόλουθες λειτουργίες στο σύστημα:

- Να ανεβάσουν προσφορά, εφόσον τους έχει παραχωρηθεί πρόσβαση.
- Να ανεβάσουν μαζικά προσφορές, υποβάλλοντας αρχείο.
- Να δουν τις προσφορές που έχουν κάνει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Να δουν μαζικά τις προσφορές που έχουν κάνει για όλα τα χρονικά διαστήματα κάθε ημέρας.
- Να δουν την επίλυση συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και αν επιλέχθηκαν δικιές τους προσφορές.
- Να δουν τις επιλύσεις όλων των χρονικών διαστημάτων κάθε ημέρας και αν επιλέχθηκαν δικιές τους προσφορές.



Σχήμα 3.7: UML Use Case Διάγραμμα

3.5 UML Διάγραμμα δραστηριότητας ροής εργασίας υψηλού επιπέδου



Σχήμα 3.8: UML High-Level Activity Diagram

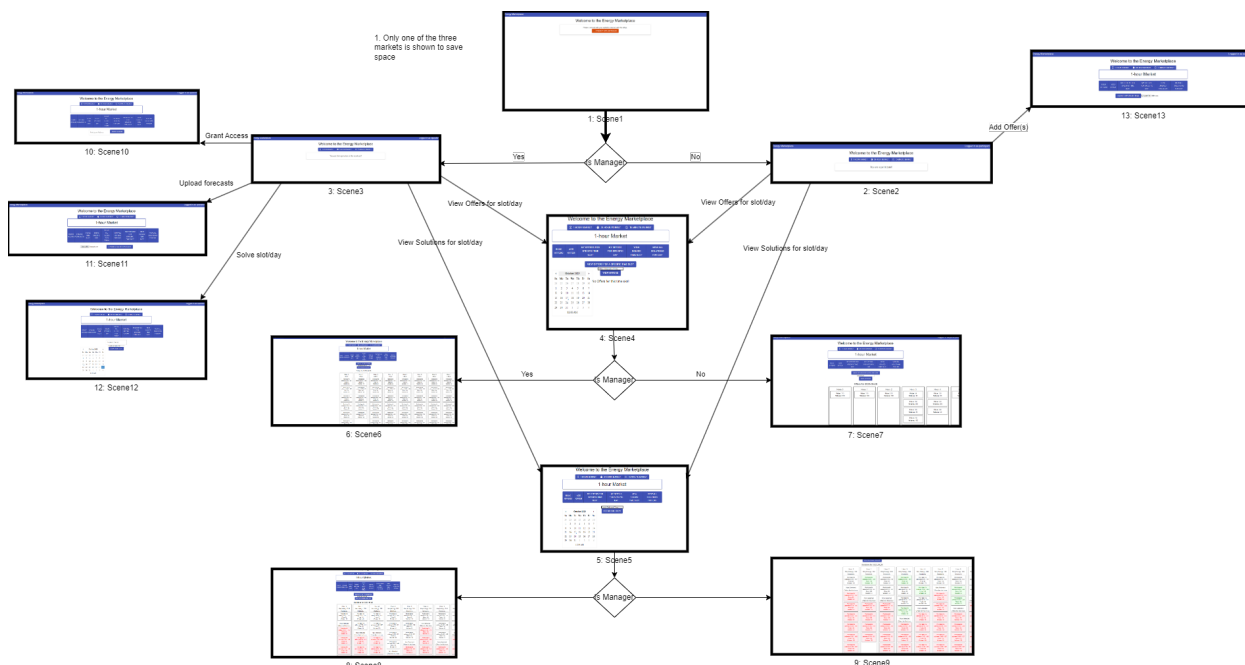
Το παραπάνω διαγράμμα απεικονίζει τη ροή εργασίας (work flow) υψηλού επιπέδου του συστήματος. Για να εισέλθει ο χρήστης πρέπει να συνδεθεί με το πορτοφόλι Metamask. Αφού συνδεθεί επιτυχώς, ελέγχονται τα στοιχεία του χρήστη στο Blockchain. Ύστερα μπορεί να εκτελέσει τις εξής λειτουργίες:

- Παραχώρηση πρόσβασης: Ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να εκτελέσει αυτή την ενέργεια. Συμπληρώνει τη διεύθυνση πορτοφολιού του χρήστη, στον οποίο θέλει να δώσει δυνατότητα να μπορεί να κάνει προσφορές.
- Προσθήκη προβλέψεων: Ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να ανεβάσει ένα αρχείο στο σύστημα, στο οποίο έχει συμπληρώσει για επερχόμενα χρονικά διαστήματα τη προβλεπόμενη ποσότητα ενέργειας που θα χρειαστεί να αγοραστεί.
- Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων: Ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να επιλέξει να αλλάξει τη πρόβλεψη που έχει κάνει και να συμπληρώσει την πραγματικά απαιτούμενη ποσότητα. Επίσης, με τη παρούσα λειτουργία επιλύει το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, δηλαδή αν είναι το τρέχον ή κάποιο μελλοντικό, οι πλειοδότες χάνουν τη δυνατότητα να προσθέσουν καινούριες προσφορές.
- Επίλυση ημέρας: Ο διαχειριστής επιλέγει μία ημέρα του ημερολογίου και κλείνει και ταυτόχρονα επιλύει όλα τα χρονικά διαστήματα εκείνης της ημέρας.

- Προβολή λύσεων: Οι λύσεις του κάθε χρονικού διαστήματος αποθηκεύονται στο Blockchain και είτε ο διαχειριστής είτε ο συμμετέχων μπορούν να επιλέξουν ή συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή όλα τα χρονικά διαστήματα συγκεκριμένης ημέρας και να δουν τις λύσεις. Επιπλέον ο συμμετέχων στην εκάστοτε επίλυση βλέπει με διακριτικό χρώμα τις προσφορές που πρόερχονται από εκείνον.
- Προσθήκη προσφορών: Αποκλειστικά ο συμμετέχων, εφόσον του έχει παραχωρηθεί πρόσβαση, μπορεί να κάνει προσφορές, είτε για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, είτε για πολλαπλά, ανεβάζοντας στο σύστημα ένα αρχείο με προσφορές. Εάν κάποια προσφορά αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα το οποίο έχει ήδη κλείσει, δεν γίνεται αποδεκτή.
- Προβολή προσφορών: Και οι δύο χρήστες του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη λειτουργία, ωστόσο παρατηρούνται διαφορές στα αποτελέσματα. Ο διαχειριστής βλέπει όλες τις προσφορές όλων των χρηστών για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή ημέρα, ενώ ο συμμετέχων βλέπει μόνο τις δικιές του προσφορές και όχι των άλλων χρηστών.

3.6 Ροή εμπειρίας χρήστη

Το παρακάτω αποτελεί το διάγραμμα ροής εμπειρίας του χρήστη, είτε εκείνος είναι διαχειριστής είτε συμμετέχων. Όλες οι λειτουργίες με το αντίστοιχο στιγμιότυπο οθόνης θα αναλυθούν παρακάτω.



Σχήμα 3.9: Ροή εμπειρίας χρήστη

3.7 Διαδικασία σύνδεσης διαφορετικών χρηστών

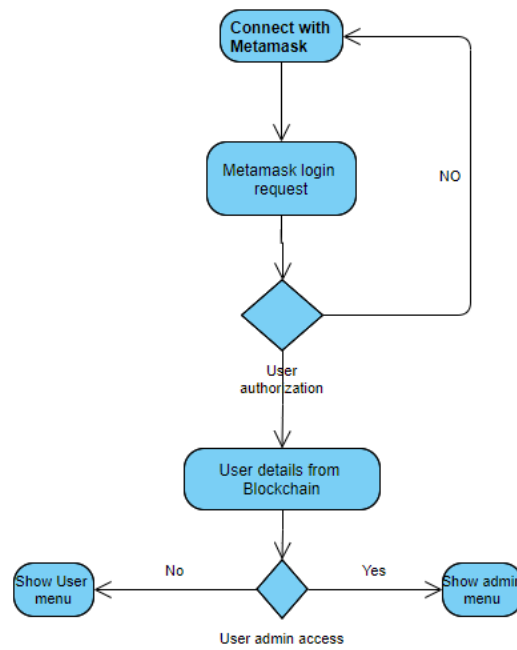
3.7.1 Περιγραφή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο σύστημα υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη χρηστών, ο διαχειριστής του συστήματος και οι απλοί χρήστες, δηλαδή οι συμμετέχοντες. Οπότε, ανάλογα με τα δικαιώματα που έχουν, έχουν και διαφορετικές δυνατότητες στο σύστημα, άρα και διαφορετική διεπαφή χρήστη. Η διαδικασία σύνδεσης και η επαλήθευση των δεδομένων του χρήστη γίνεται μέσω του MetaMask.

3.7.2 Τι είναι το MetaMask

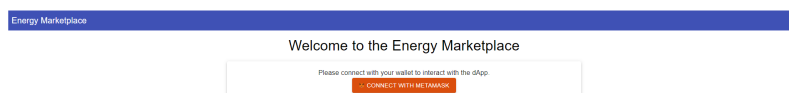
Το MetaMask είναι ένα πορτοφόλι λογισμικού κρυπτονομισμάτων που χρησιμοποιείται για την αλληλεπίδραση με το Ethereum Blockchain. Επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο Ethereum πορτοφόλι τους μέσω μιας επέκτασης (extension) του προγράμματος περιήγησης ή μιας εφαρμογής για κινητά, επιτρέποντάς τους να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται και να στέλνουν Ether ή ERC-20 νομίσματα (tokens). Το MetaMask επιτρέπει την εκτέλεση αποκεντρωμένης εφαρμογής απευθείας στο πρόγραμμα περιήγησής σας χωρίς να εκτελείτε έναν πλήρη κόμβο Ethereum. Για τη σύνδεση σε ένα τέτοιο περιβάλλον με τη χρήση του MetaMask, χρειάζεται απλώς η εγκατάσταση της επέκτασης MetaMask στο πρόγραμμα περιήγησής ή η χρήση της εφαρμογής για κινητά και η δημιουργία λογαριασμού. Μόλις δημιουργηθεί ο λογαριασμός σας και πραγματοποιηθεί η σύνδεση, το MetaMask αυτόματα προτρέπει τον χρήστη να συνδεθεί σε μια αποκεντρωμένη εφαρμογή κάθε φορά που προσπαθεί να αλληλεπιδράσει με μια τέτοια εφαρμογή στο πρόγραμμα περιήγησής. Εγκρίνοντας τη σύνδεση, επιτρέπει στην εφαρμογή να επικοινωνεί με το Ethereum Blockchain μέσω του MetaMask, επιτρέποντας μια ασφαλή αλληλεπίδραση με αποκεντρωμένες εφαρμογές. [23]

3.7.3 Διάγραμμα UML διαδικασίας login



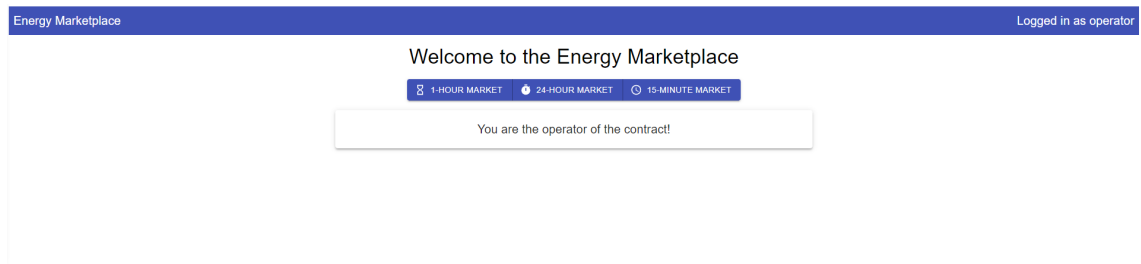
Σχήμα 3.10: UML Login Διάγραμμα δραστηριότητας

3.7.4 Διεπαφή χρήστη Homepage - Login



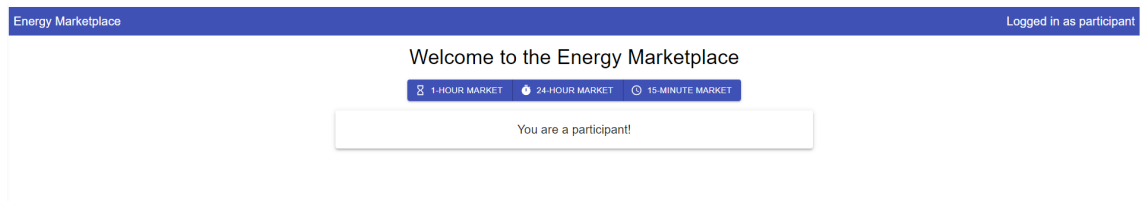
Σχήμα 3.11: Homepage - Login UI

3.7.5 Διεπαφή χρήστη Menu Διαχειριστή



Σχήμα 3.12: Menu Διαχειριστή UI

3.7.6 Διεπαφή χρήστη Menu Συμμετέχοντος



Σχήμα 3.13: Menu Χρήστη UI

3.8 Περίπτωση Χρήσης 1: Παραχώρηση Πρόσβασης

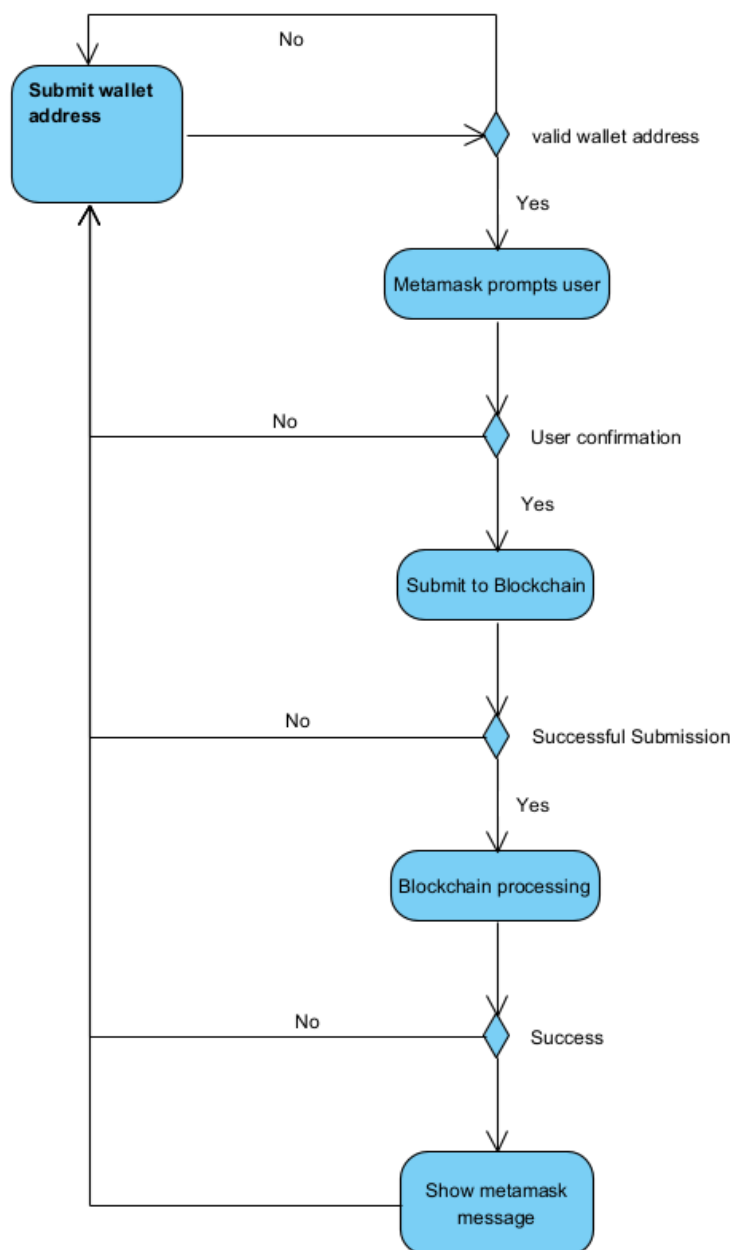
3.8.1 Περιγραφή

Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από τους διαχειριστές. Μέσω αυτής της λειτουργίας, ο διαχειριστής παραχωρεί άδεια σε διευθύνσεις πορτοφολιού MetaMask να κάνουν προσφορές. Λόγω της ανωνυμίας των χρηστών μέσω της χρήσης διευθύνσεων πορτοφολιού, ο διαχειριστής, δηλαδή ο ΑΔΜΗΕ, δε μπορεί να γνωρίζει σε ποιον ανήκει κάθε διεύθυνση, για αυτόν τον λόγο χρειάζεται να παραχωρηθεί άδεια πρώτα. Αντίστοιχα, ο χρήστης, δηλαδή ο πάροχος που πουλάει ενέργεια, δεν έχει τη δυνατότητα μέσω της εφαρμογής να ζητήσει άδεια, συμπληρώνοντας τη διεύθυνσή του. Αφήνεται στον διαχειριστή να επικοινωνήσει με τον εκάστοτε υποψήφιο με τη χρήση εμπιστευτικού και ασφαλούς μέσου επικοινωνίας για την εξακρίβωση στοιχείων. Ωστόσο, η εφαρμογή υποστηρίζει έλεγχο για κάθε διεύθυνση πορτοφολιού να συνάδει με τις απαραίτητες προϋποθέσεις που πρέπει να έχει μία διεύθυνση στο περιβάλλον Ethereum. Συγκεκριμένα, κάθε διεύθυνση πρέπει:

- Να είναι συμβολοσειρά (string) με μήκος 42 χαρακτήρων.
- Να ξεκινάει με 0x.
- Να περιλαμβάνει, μετά το 0x, 40 δεκαεξαδικούς χαρακτήρες (0-9, a-f).

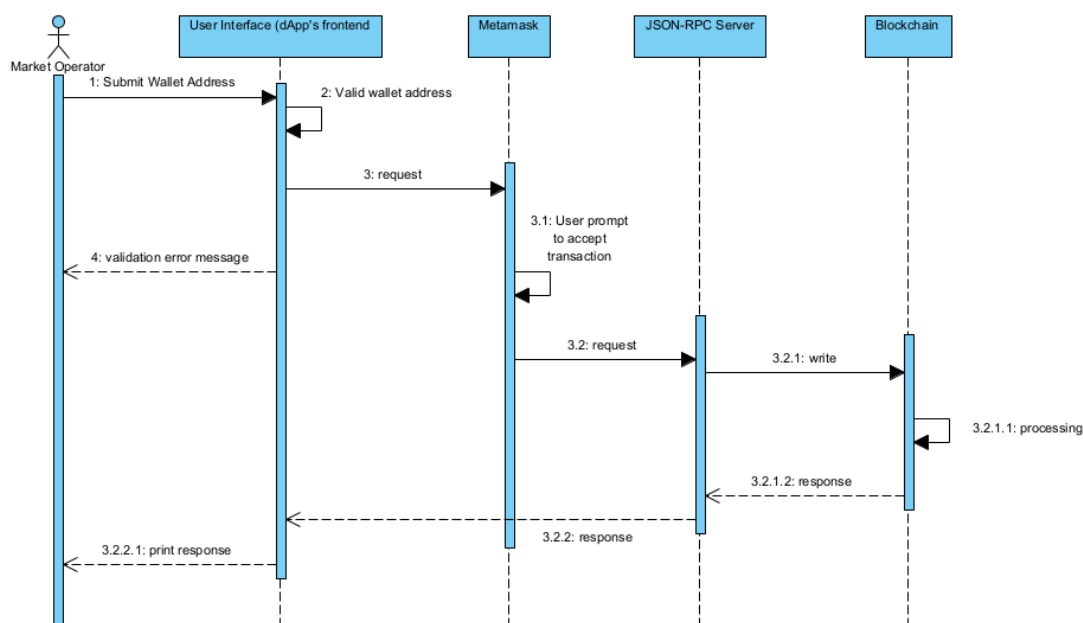
Επιπλέον, οι διευθύνσεις στο περιβάλλον Ethereum μπορεί να είναι είτε με πεζά γράμματα είτε με κεφαλαία γράμματα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται κεφαλαία γράμματα, οι διευθύνσεις είναι ευαίσθητες στον τρόπο γραφής τους και λειτουργούν ως ένας μηχανισμός ελέγχου για λάθη.

3.8.2 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης



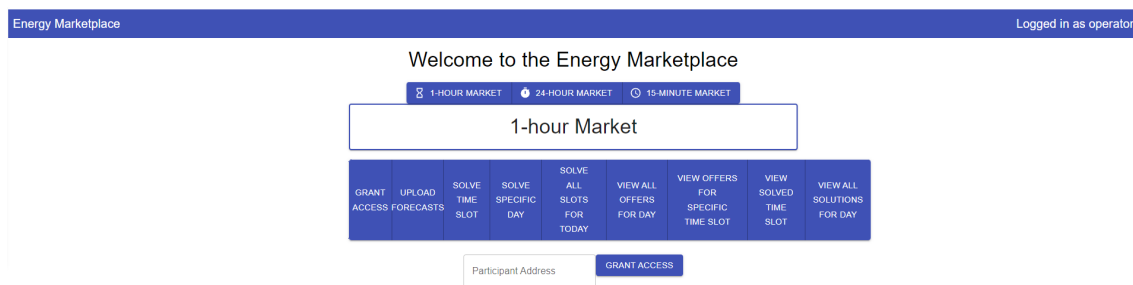
Σχήμα 3.14: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης

3.8.3 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης



Σχήμα 3.15: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Παραχώρηση Πρόσβασης

3.8.4 Διεπαφή Χρήστη - Παραχώρηση Πρόσβασης



Σχήμα 3.16: Παραχώρησης Πρόσβασης UI

3.9 Περίπτωση Χρήσης 2: Προσθήκη προβλέψεων φορτίου

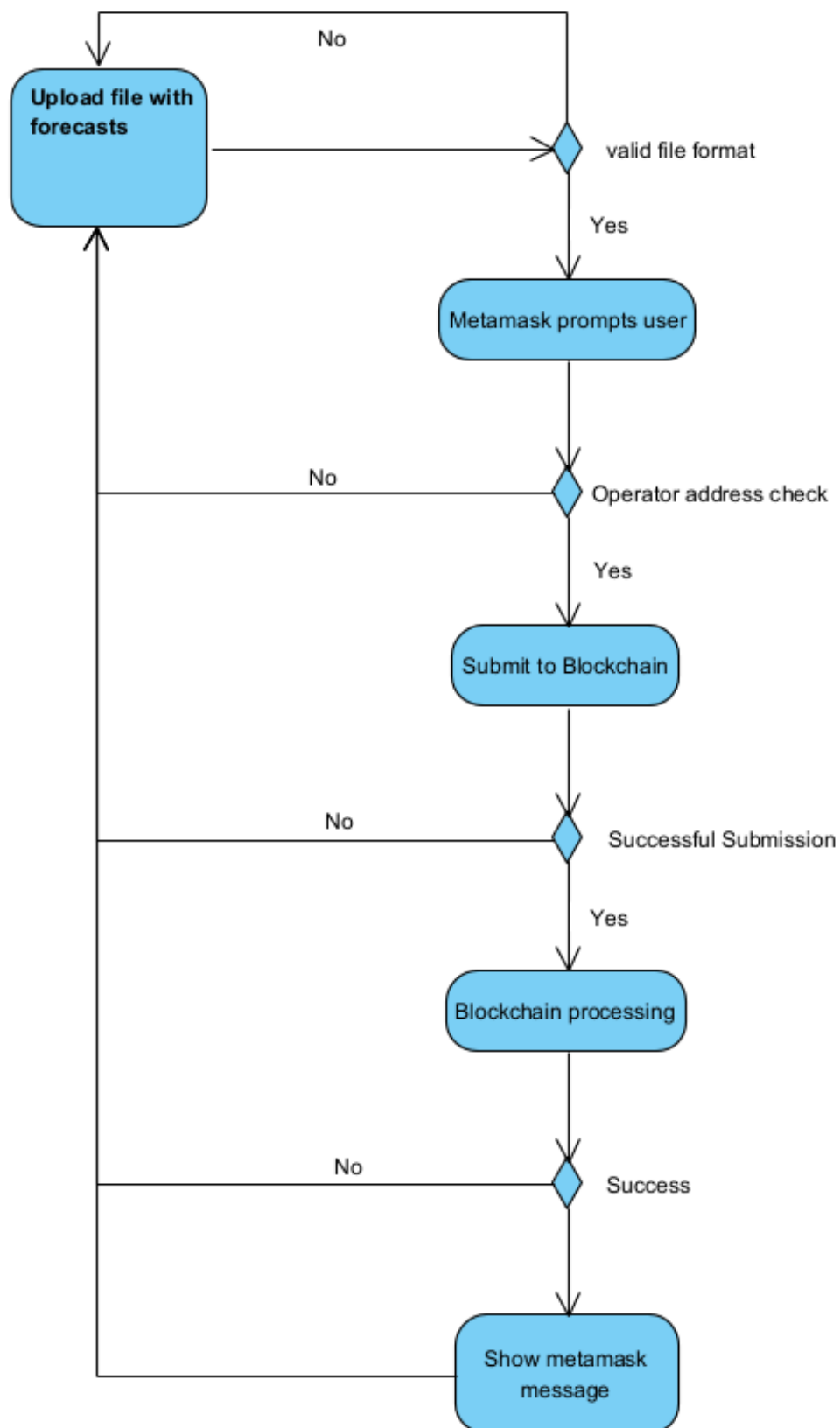
Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από τους διαχειριστές. Ο διαχειριστής κάνει προβλέψεις με τις εκτιμώμενες τιμές ενέργειας που θα χρειαστεί να αγοραστούν σε μελλοντικά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές αυτές δεν είναι μόνιμες και μπορούν να αλλαχθούν. Χρησιμοποιούν στην ελαχιστοποίηση των βημάτων για το κλείσιμο και την επίλυση των διαστημάτων.

Ο διαχειριστής συμπληρώνει τις προβλέψεις του σε ένα αρχείο τύπου .csv. Το αρχείο έχει δύο στήλες, τη πρόβλεψη φορτίου και το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί η συγκεκριμένη πρόβλεψη. Η μορφή που το σύστημα αποδέχεται τα χρονικά διαστήματα είναι τύπου YYYY-MM-DD HH:mm. Ένα παράδειγμα χρονικής σήμανσης (timestamp) για να γίνει κατανοητή η μορφή είναι 2023-10-29 13:00. Ύστερα ακολουθεί η τιμή της πρόβλεψης. Επιπλέον, το σύστημα διαθέτει δυνατότητα υπολογισμού του κατάλληλου χρονικού διαστήματος, αν υπάρχει κάποιος λάθος στην ακρίβεια του χρόνου, ανάλογα την αγορά που βρισκόμαστε. Μιμείται τη συμπεριφορά του αριθμητικού υπόλοιπου (modulo), δηλαδή παραδείγματος χάρη αν βρισκόμαστε στην αγορά που έχουμε διαφορετικό διάστημα ανά 15 λεπτά, αν ο διαχειριστής συμπληρώσει 2023-10-29 13:07, επειδή αυτή η σήμανση δεν αντιστοιχεί σε ακριβή τιμή χρονικού διαστήματος, το σύστημα τοποθετεί τη πρόβλεψη στο διάστημα με σήμανση 2023-10-29 13:00. Ένα παράδειγμα αρχείου είναι το εξής:

```
1 forecasts, timestamp
2 100,2023-09-28 00:00
3 150,2023-09-28 01:00
4 200,2023-09-28 02:00
5 300,2023-09-28 03:00
6 350,2023-09-28 04:00
7 100,2023-09-28 05:00
8 150,2023-09-28 06:00
9 200,2023-09-28 07:00
10 300,2023-09-28 08:00
11 350,2023-09-28 09:00
12 100,2023-09-28 10:00
13 150,2023-09-28 11:00
```

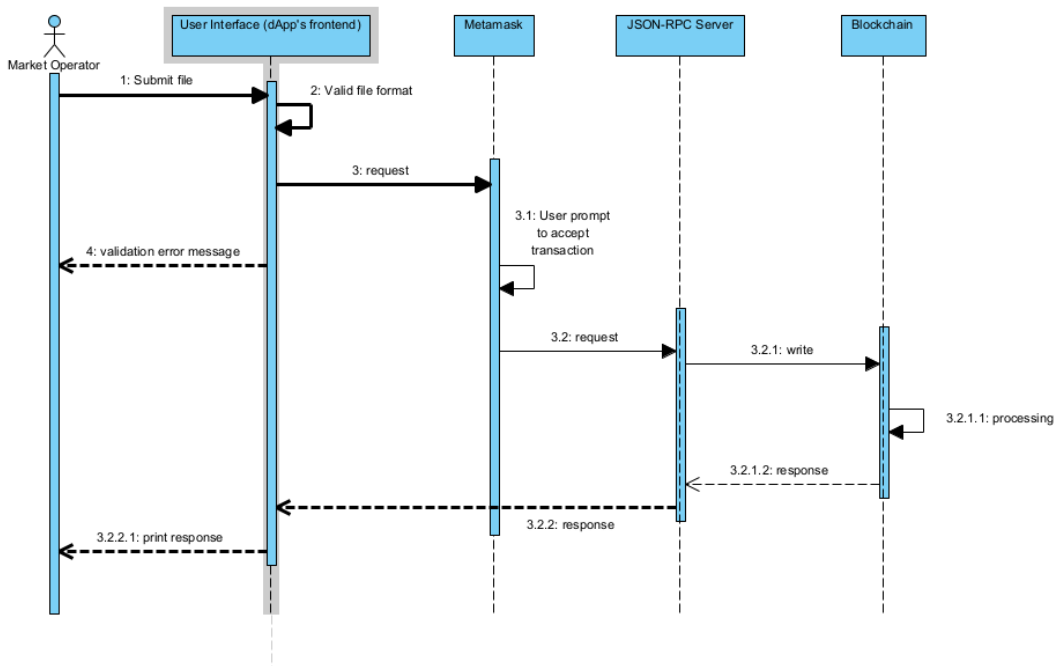
Σχήμα 3.17: Παράδειγμα αρχείου προβλέψεων φορτίου

3.9.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προβλέσεων φορτίου



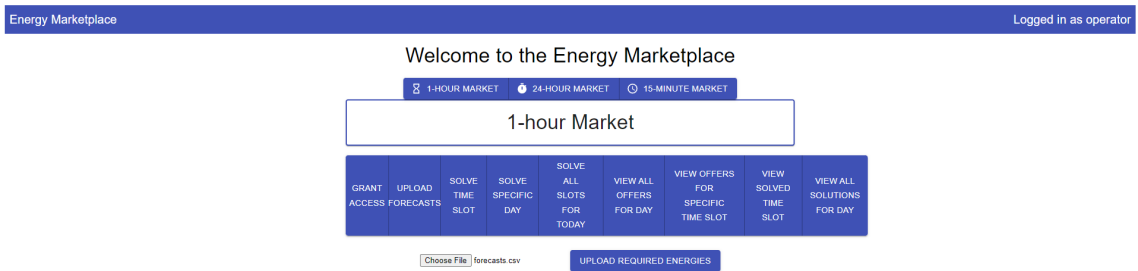
Σχήμα 3.18: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προβλέσεων

3.9.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προβλέψεων φορτίου



Σχήμα 3.19: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προβλέψεων φορτίου

3.9.3 Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προβλέψεων φορτίου



Σχήμα 3.20: Προσθήκη προβλέψεων UI

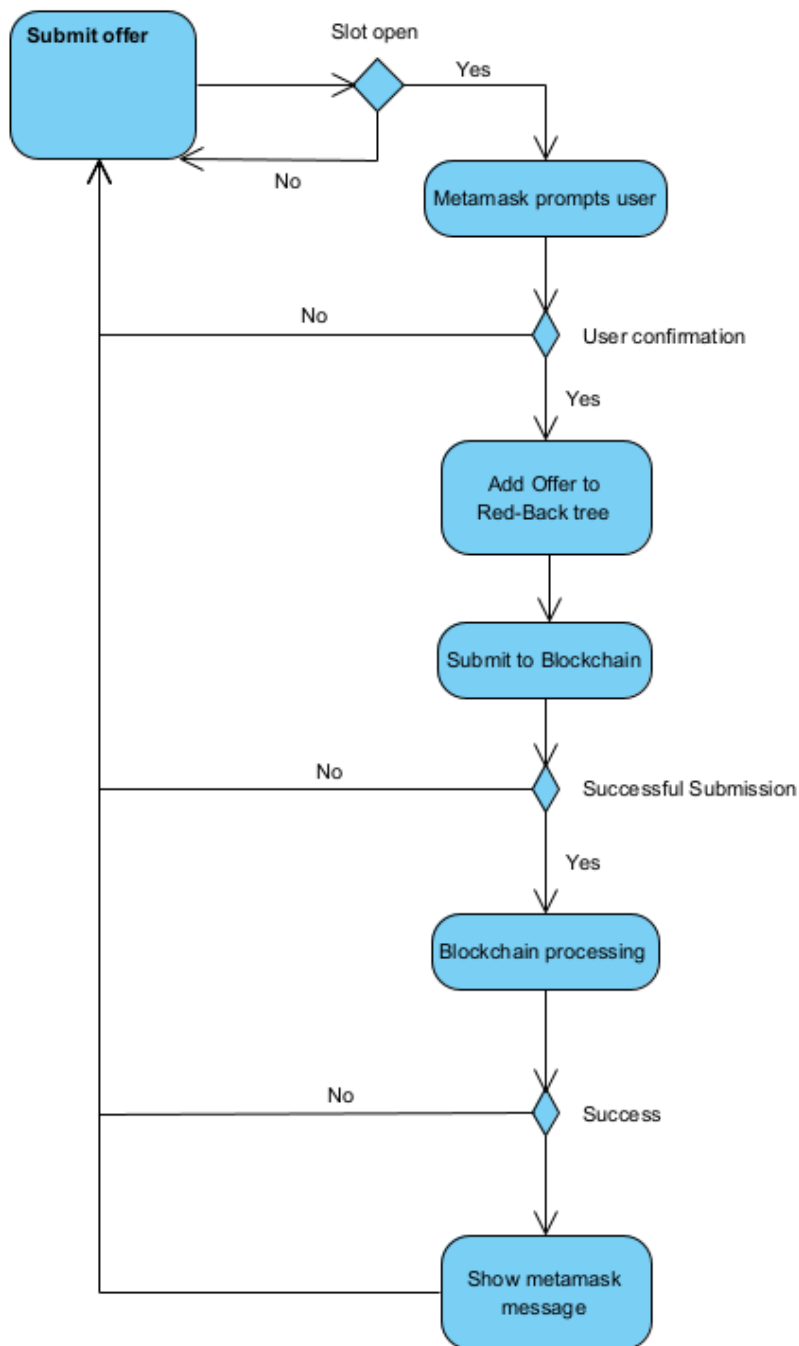
3.10 Περίπτωση Χρήσης 3: Προσθήκη προσφορών

Ο συμμετέχων, εφόσον του έχει παραχωρηθεί άδεια, μπορεί να προσθέσει προσφορά ή πολλαπλές προσφορές σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή σε πολλαπλά, με το ανέβασμα ενός .csv αρχείου. Όπως έχει αναφερθεί, οι χρήστες διατηρούν την ανωνυμία τους στο σύστημα, αφού το μόνο που κοινοποιείται είναι η διεύθυνση πορτοφολιού που υπέβαλε την προσφορά. Το αρχείο .csv έχει παρόμοια μορφή με εκείνη του αρχείου του διαχειριστή με τη μόνη προσθήκη μίας ακόμη μεταβλητής της τιμής (price). Εάν ο χρήστης προσπαθήσει να τοποθετήσει προσφορά σε χρονικό διάστημα, το οποίο έχει κλείσει, εμφανίζεται μήνυμα σφάλματος. Ένα παράδειγμα αρχείου είναι το εξής:

```
1 price,volume,timestamp
2 170,140,2023-09-28 01:00
3 130,170,2023-09-28 15:00
4 170,100,2023-09-28 00:00
5 160,190,2023-09-28 06:00
6 210,50,2023-09-28 09:00
7 90,40,2023-09-28 19:00
8 300,90,2023-09-28 17:00
9 270,200,2023-09-28 04:00
10 140,40,2023-09-28 23:00
11 70,110,2023-09-28 15:00
12 220,40,2023-09-28 11:00
13 180,110,2023-09-28 19:00
14 250,70,2023-09-28 17:00
```

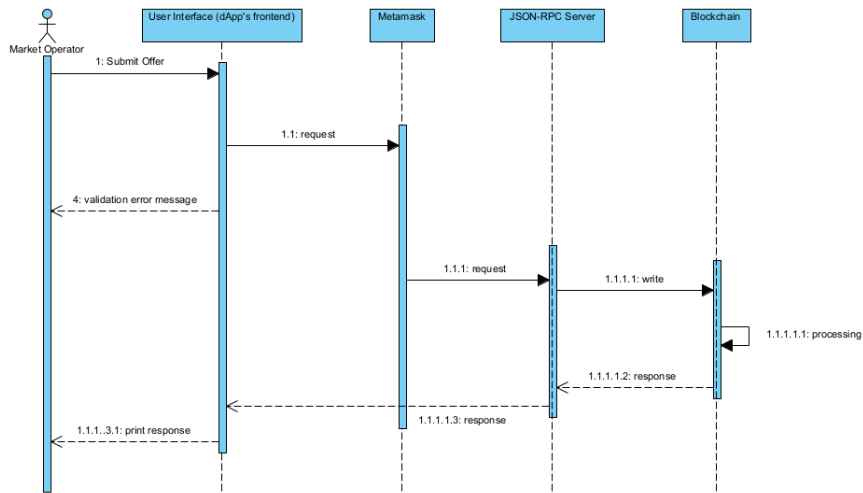
Σχήμα 3.21: Παράδειγμα αρχείου προσφορών

3.10.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προσφορών



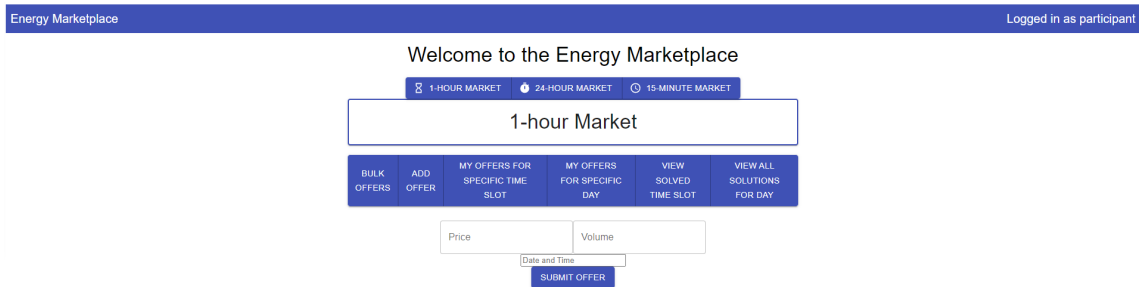
Σχήμα 3.22: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προσθήκη προσφορών

3.10.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προσφορών



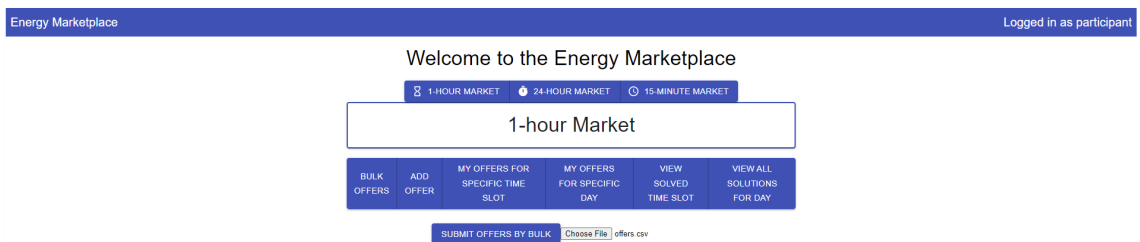
Σχήμα 3.23: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προσθήκη προσφορών

3.10.3 Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προσφορών



Σχήμα 3.24: Προσθήκη προσφορών UI

3.10.4 Διεπαφή Χρήστη - Προσθήκη προσφορών μαζικά

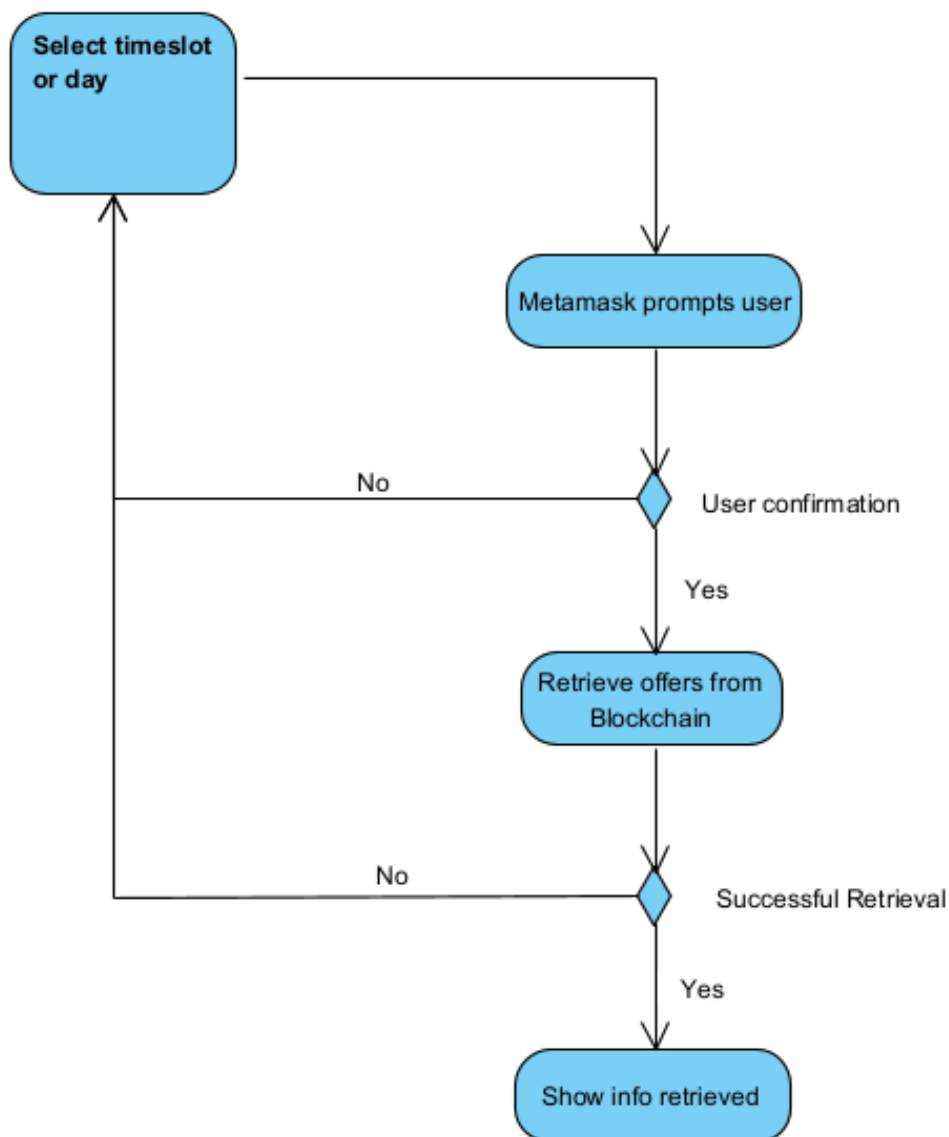


Σχήμα 3.25: Προσθήκη προσφορών μαζικά UI

3.11 Περίπτωση Χρήσης 4: Προβολή προσφορών

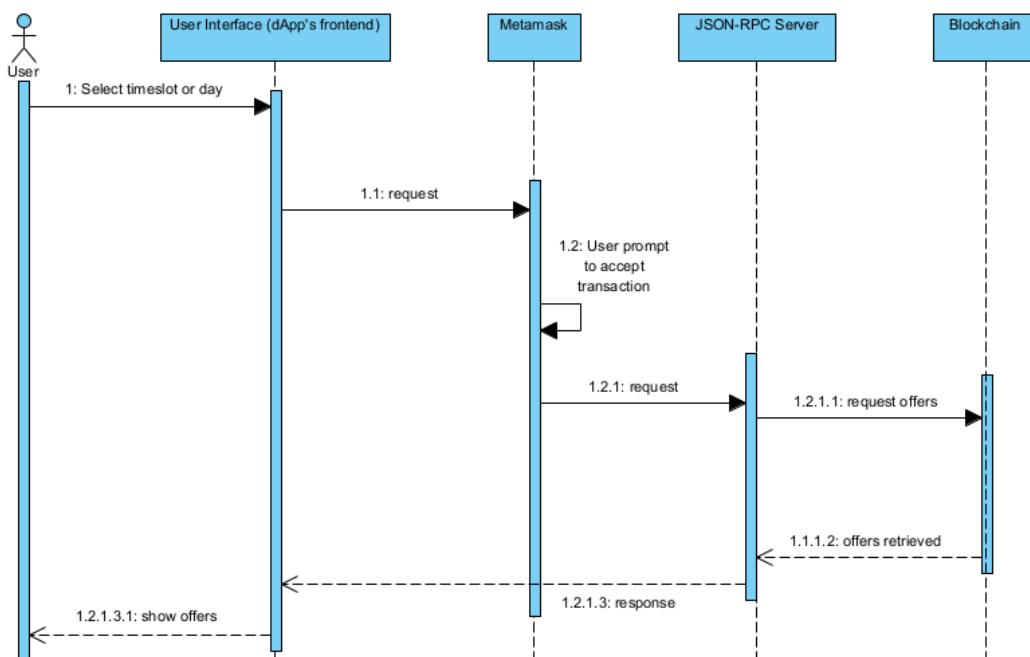
Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί και από τους δύο, ωστόσο εμφανίζει διαφορετικά αποτελέσματα. Ο χρήστης επιλέγει είτε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είτε ολόκληρη ημέρα, άρα όλα τα χρονικά της διαστήματα, που θέλει να δει τις προσφορές. Ο συμμετέχων έχει τη δυνατότητα να δει μόνο τις προσφορές που έχει υποβάλει ο ίδιος, ενώ ο διαχειριστής όλες τις προσφορές όλων των συμμετεχόντων.

3.11.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή προσφορών



Σχήμα 3.26: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή προσφορών

3.1.1.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή προσφορών



Σχήμα 3.27: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή προσφορών

3.1.1.3 Διεπαφή Χρήστη Διαχειριστή - Προβολή προσφορών

Ο Διαχειριστής βλέπει τις προσφορές όλων των συμμετεχόντων:

Hour: 0	Hour: 1	Hour: 2	Hour: 3	Hour: 4	Hour: 5
Offers:	Offers:	Offers:	Offers:	Offers:	Offers:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 160	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 170 Volume: 140	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 30	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 90	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 170	Participant address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 18
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 110	Participant's address:0x766...061 Price: 240 Volume: 180	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 190	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 30	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 120 Volume: 80	Participant address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 11
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 30	Participant's address:0x39b...FcB Price: 280 Volume: 40	Participant's address:0x39b...FcB Price: 120 Volume: 10	Participant's address:0x766...061 Price: 90 Volume: 120	Participant's address:0x766...061 Price: 150 Volume: 120	Participant address:0xb6C...A6B Price: 130 Volume: 2
Participant's address:0x39b...FcB Price: 120 Volume: 80	Participant's address:0x39b...FcB Price: 290 Volume: 20	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 200 Volume: 120	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 150 Volume: 200	Participant's address:0x766...061 Price: 240 Volume: 90	Participant address:0x39b...FcB Price: 130 Volume: 5
Participant's address:0x39b...FcB Price: 130 Volume: 20	Participant's address:0x766...061 Price: 290 Volume: 190	Participant's address:0x766...061 Price: 200 Volume: 190	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 180 Volume: 20	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 270 Volume: 200	Participant address:0x39b...FcB Price: 160 Volume: 12
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 170		Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 220	Participant's address:0x766...061 Price: 180	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 290	Participant address:0xAE5...5D7 Price: 170

Σχήμα 3.28: Προβολή προσφορών UI Διαχειριστή

3.11.4 Διεπαφή Χρήστη Συμμετέχοντος - Προβολή προσφορών

Ο κάθε συμμετέχων βλέπει μόνο τις δικές του προσφορές:

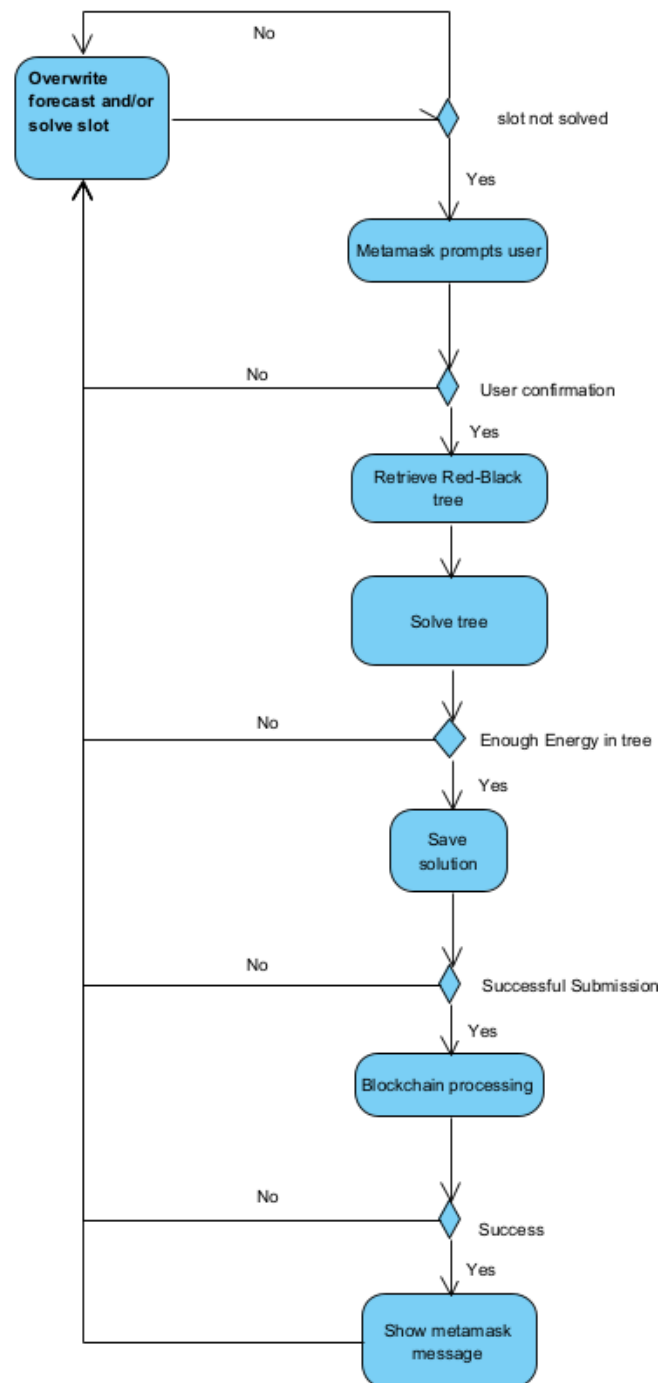
Hour: 0	Hour: 1	Hour: 2	Hour: 3	Hour: 4	Hour: 5
Price: 170 Volume: 100	Price: 170 Volume: 140	Price: 200 Volume: 120	Price: 50 Volume: 90	Price: 120 Volume: 80	
			Price: 150 Volume: 200	Price: 270 Volume: 200	
			Price: 180 Volume: 20	Price: 290 Volume: 50	
			Price: 210 Volume: 160		

Σχήμα 3.29: Προβολή προσφορών UI Συμμετέχοντος

3.12 Περίπτωση Χρήσης 5: Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων

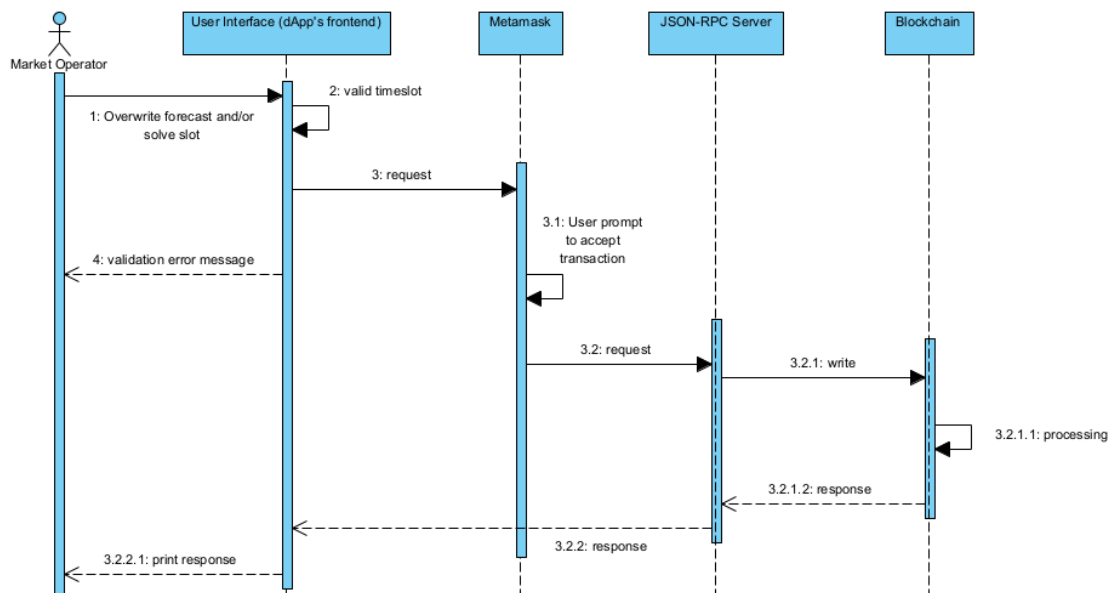
Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από τους διαχειριστές. Ο διαχειριστής έχει τη δυνατότητα μέσω αυτής της λειτουργίας να αλλάξει τη πρόβλεψη που είχε κάνει για κάποιο χρονικό διάστημα, ανάλογα τις πραγματικές απαιτήσεις του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα σταματάει να αποδέχεται προσφορές για το συγκεκριμένο διάστημα, εμφανίζοντας μήνυμα λάθους στους συμμετέχοντες που προσπαθούν να υποβάλουν καινούριες προσφορές. Ύστερα, τρέχει ο αλγόριθμος επίλυσης, ο οποίος υπολογίζει τη βέλτιστη λύση για το διάστημα.

3.12.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων



Σχήμα 3.30: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων

3.12.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων



Σχήμα 3.31: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων

3.12.3 Διεπαφή Χρήστη - Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων

Energy Marketplace Logged in as operator

Welcome to the Energy Marketplace

1-HOUR MARKET 24-HOUR MARKET 15-MINUTE MARKET

1-hour Market

GRANT ACCESS	UPLOAD FORECASTS	SOLVE TIME SLOT	SOLVE SPECIFIC DAY	SOLVE ALL SLOTS FOR TODAY	VIEW ALL OFFERS FOR DAY	VIEW OFFERS FOR SPECIFIC TIME SLOT	VIEW SOLVED TIME SLOT	VIEW ALL SOLUTIONS FOR DAY
--------------	------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------------------	-----------------------	----------------------------

Required Energy

10/28/2023 12:00 AM

SOLVE TIME SLOT

October 2023

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4

12:00 AM

Σχήμα 3.32: Κλείσιμο και επίλυση χρονικών διαστημάτων UI

3.13 Περίπτωση Χρήσης 6: Επίλυση ημέρας

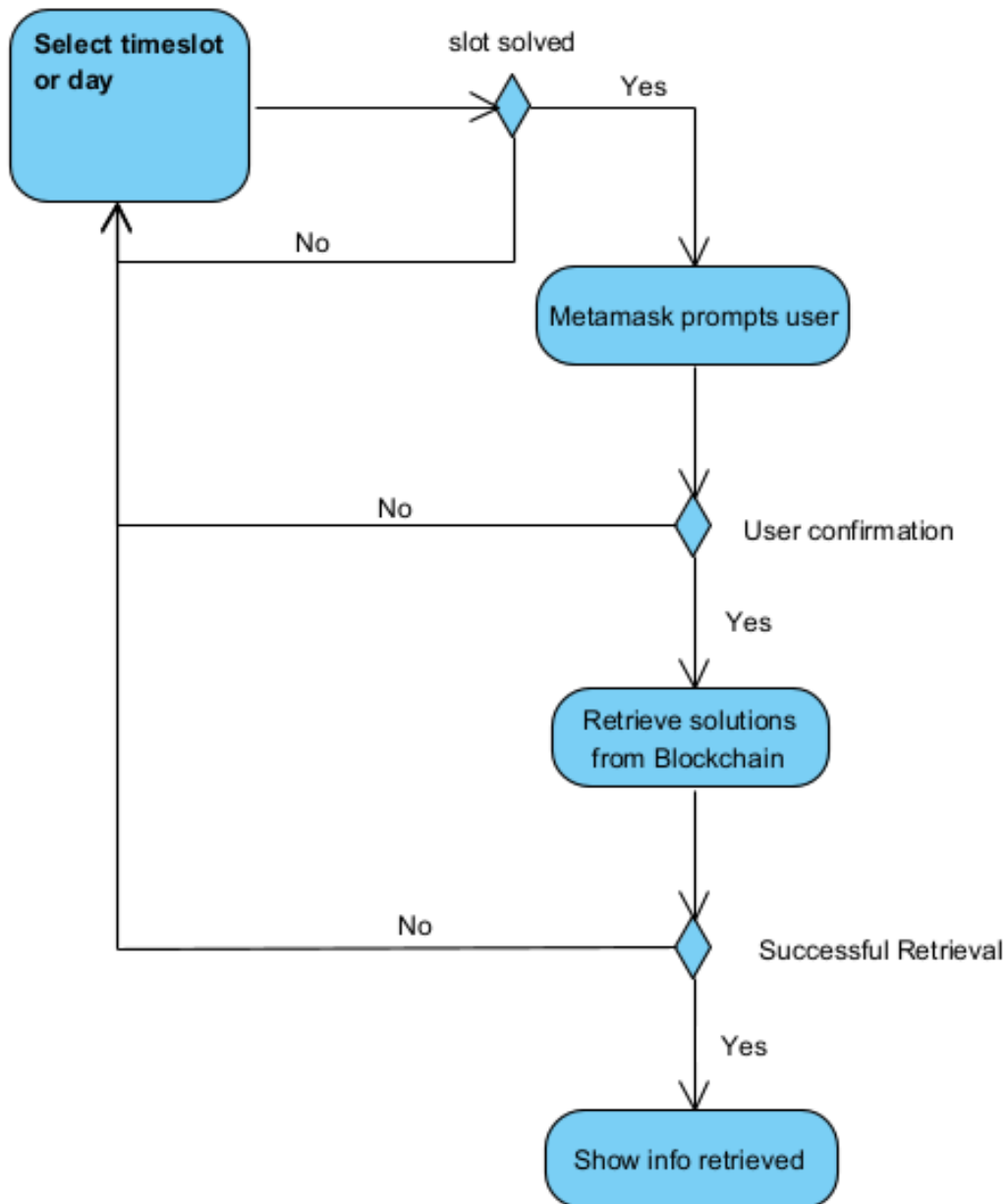
Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από τους διαχειριστές. Αποτελεί συμπληρωματική και περιττή λειτουργία για τον διαχειριστή, υλοποιημένη μόνο για να επιταχύνει τις διαδικασίες λειτουργίες του συστήματος. Αποτελείται μόνο από ένα κουμπί, το οποίο όταν πατηθεί από τον διαχειριστή επιλύει όλα τα χρονικά διαστήματα, τα οποία έχουν κλείσει, δηλαδή έχει περάσει το χρονικό τους περιθώριο, με την προβλεπόμενη τιμή που είχε συμπληρώσει.

3.14 Περίπτωση Χρήσης 7: Προβολή λύσεων

Αυτή η δυνατότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί και απο τους δύο χρήστες, ωστόσο εμφανίζει διαφορετικά αποτελέσματα. Ο χρήστης επιλέγει είτε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είτε ολόκληρη ημέρα, άρα όλα τα χρονικά της διαστήματα, που θέλει να δει τη λύση. Αφότου τρέξει ο αλγόριθμος επίλυσης, οι προσφορές που επιλέχθηκαν αποθηκεύονται σε μία δυναμική λίστα. Αν ο χρήστης είναι διαχειριστής, βλέπει με μαύρο χρώμα γραφής όλες τις προσφορές που επιλέχθηκαν κατά σειρά και αντίστοιχα αυτές που δεν επιλέχθηκαν. Σε περίπτωση που είναι συμμετέχων, βλέπει τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα, με την επιπλέον λειτουργία ότι εμφανίζονται με πράσινο χρώμα οι δικίες του προσφορές που επιλέχθηκαν και με κόκκινο τις προσφορές του που δεν επιλέχθηκαν.

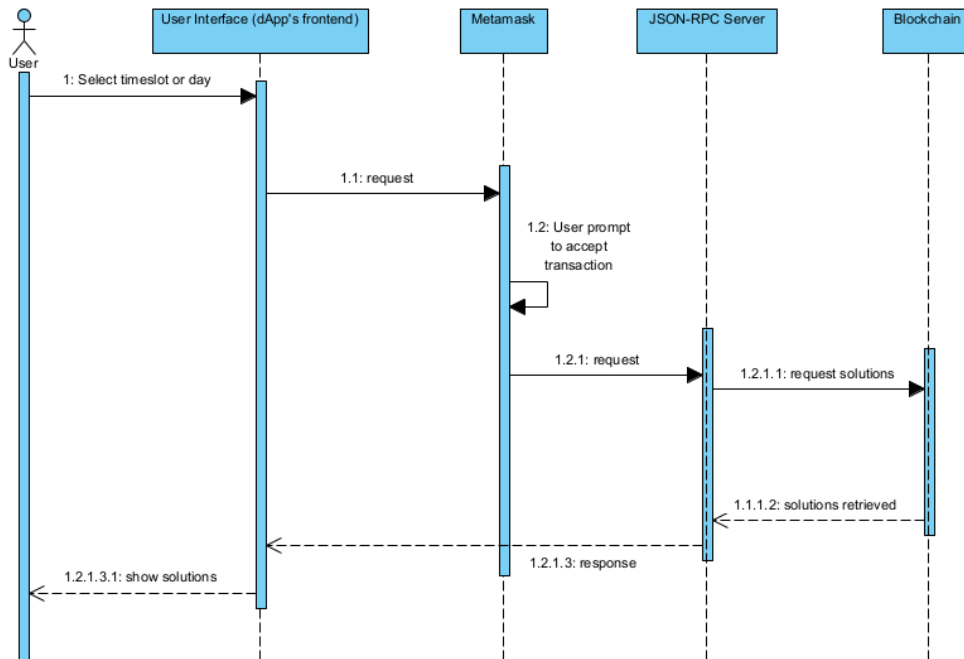
3.14.1 Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή λύσεων

Στη παρούσα διεπαφή χρήστη, επειδή είμαστε σε περιβάλλον διαχειριστή, εμφανίζονται οι προσφορές που επιλέχθηκαν με μαύρο χρώμα και ύστερα όλες οι υπόλοιπες προσφορές. Κάθε προσφορά αναφέρει τη τιμή και τη ποσότητα, καθώς και τη διεύθυνση πορτοφολιού του συμμετέχοντα, που τη τοποθέτησε. Για να είναι ευανάγνωστη η διεύθυνση πορτοφολιού, εμφανίζονται 8 χαρακτήρες αντί και για τους 40.



Σχήμα 3.33: Διάγραμμα δραστηριότητας UML - Προβολή λύσεων

3.14.2 Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή λύσεων



Σχήμα 3.34: Διάγραμμα ακολουθίας UML - Προβολή λύσεων

3.14.3 Διεπαφή Χρήστη Διαχειριστή - Προβολή λύσεων

Solutions for 2023-11-13					
Hour: 0	Hour: 1	Hour: 2	Hour: 3	Hour: 4	Hour: 5
Req Energy: 3746 Solutions:	Req Energy: 3706 Solutions:	Req Energy: 3730 Solutions:	Req Energy: 3739 Solutions:	Req Energy: 3875 Solutions:	Req Energy: 4304 Solutions:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 90 Volume: 600
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 246	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 406	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800
Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 1230	Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1354	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 494	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 204
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 1400	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 670	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Non-Selected Offers for this Slot:

Σχήμα 3.35: Προβολή λύσεων UI Διαχειριστή

3.14.4 Διεπαφή Χρήστη Συμμετέχοντος - Προβολή λύσεων

Στη παρούσα διεπαφή χρήστη, επειδή είμαστε σε περιβάλλον συμμετέχοντα, εμφανίζονται οι προσφορές με παρόμοιο τρόπο όπως στον διαχειριστή, με την επιπλέον προσθήκη ότι εμφανίζονται με πράσινο χρώμα οι προσφορές του εκάστοτε χρήστη που επιλέχθηκαν σα λύση, δηλαδή τα συμβόλαια που θα του ανατεθούν και με κόκκινο χρώμα οι δικές του προσφορές που δεν επιλέχθηκαν.

Solutions for 2023-11-13

Hour: 0 Req Energy: 3746 Solutions:	Hour: 1 Req Energy: 3706 Solutions:	Hour: 2 Req Energy: 3730 Solutions:	Hour: 3 Req Energy: 3739 Solutions:	Hour: 4 Req Energy: 3875 Solutions:	Hour: 5 Req Energy: 4304 Solutions:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 90 Volume: 600
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 246	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 406	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800
Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 1230	Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1354	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 494	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 204
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 1400	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 670	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Non-Selected Offers for this Slot:
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 400	Participant's address:0x766...061 Price: 80 Volume: 800	Participant's address:0xaeE...064 Price: 90 Volume: 300	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 120 Volume: 800	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 996

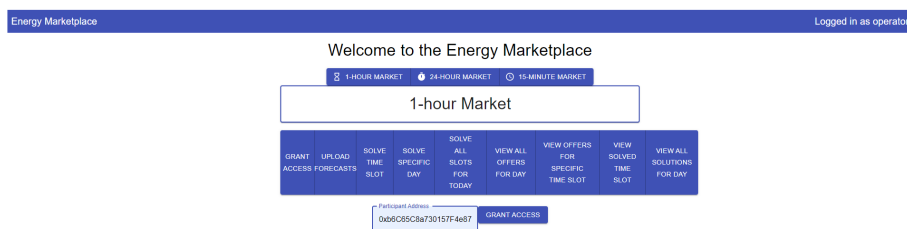
Σχήμα 3.36: Προβολή λύσεων UI Συμμετέχοντος

Πραγματικό Σενάριο με όλα τα βήματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπαραστήσουμε όλα τα βήματα όλης της διαδικασίας αγοραπωλησίας ενέργειας του Χρηματιστηρίου Ελλάδος για μία εβδομάδα, και συγκεκριμένα την εβδομάδα 13-19/11/2023, με πραγματικές τιμές ζήτησης φορτίου από τον ΑΔΜΗΕ, τις οποίες βρίσκουμε στην ιστοσελίδα του ENTSO-E[24]. Για αυτό το παράδειγμα θα δημιουργήσουμε 10 συμμετέχοντες, δηλαδή 10 παρόχους, οι οποίοι θα κάνουν προσφορές για όλα τα χρονικά διαστήματα αυτής της εβδομάδας. Τα ζευγάρια τιμών για κάθε προσφορά είναι ενδεικτικά και όχι οι ακριβείς τιμές που έγιναν από όλους τους παρόχους. Σκοπός του παραδείγματος είναι η κατανόηση του συστήματος και η λογική αναπαράσταση των δεδομένων.

4.0.1 Βήμα 1 - Παραχώρηση Πρόσβασης

Ο διαχειριστής του συστήματος, δηλαδή ο ΑΔΜΗΕ, παραχωρεί πρόσβαση σε κάθε συμμετέχοντα, δηλαδή δίνει δικαίωμα τοποθέτησης προσφορών στη διεύθυνση πορτοφολιού του.



Σχήμα 4.1: Παραχώρηση Πρόσβασης

4.0.2 Βήμα 2 - Προσθήκη Προβλέψεων Φορτίου

Ο διαχειριστής ανεβάζει τις προβλέψεις φορτίου για κάθε χρονικό διάστημα της ημέρας. Οι προβλέψεις μπορούν να αφορούν τα επόμενα χρονικά διαστήματα, ή όλη την ημέρα ή και όλη την εβδομάδα. Ο διαχειριστής έχει τη δυνατότητα να το αποφασίσει αυτό, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Για να το κάνει αυτό, ανεβάζει το .csv αρχείο που έχει μέσα τις προβλέψεις φορτίου. Για το δικό μας σενάριο, θα ανεβάσουμε τις προβλέψεις, όπως τις παίρνουμε από το site. Δεν έχει διαφορά από τη πλευρά του συστήματος αν ανεβάσουμε ένα αρχείο για κάθε ημέρα ή ένα αρχείο για όλη την εβδομάδα, και αφού στη δική μας περίπτωση ασχολούμαστε με μία εβδομάδα που έχουμε ήδη όλες τις τιμές αποφασίζουμε να ανεβάσουμε ένα αρχείο για όλη την εβδομάδα. Η αρχή του αρχείου είναι η εξής:

```
1 forecast, timestamp
2 3725,2023-11-13 00:00
3 3626,2023-11-13 01:00
4 3585,2023-11-13 02:00
5 3575,2023-11-13 03:00
6 3727,2023-11-13 04:00
7 4177,2023-11-13 05:00
8 4743,2023-11-13 06:00
9 5189,2023-11-13 07:00
10 5462,2023-11-13 08:00
11 5564,2023-11-13 09:00
```

Σχήμα 4.2: Προβλέψεις φορτίου

4.0.3 Βήμα 3 - Προσθήκη Προσφορών

Αφού ο διαχειριστής έχει ανεβάσει τις προβλέψεις, τώρα είναι σειρά των συμμετεχόντων να ανεβάσουν τις προσφορές τους. Αντίστοιχα εκείνοι έχουν τη δυνατότητα ανεβάζοντας ένα .csv αρχείο είτε να κάνουν όσες προσφορές θέλουν για το επόμενο χρονικό διάστημα, είτε για όλη την ημέρα είτε για όλη την εβδομάδα. Για το δικό μας σενάριο, έχει γραφτεί ένα python script, το οποίο δημιουργεί προσφορές με λογικές τιμές. Για το δικό μας σενάριο προστέθηκαν στο σύστημα για το διάστημα αυτής της εβδομάδας 200 προσφορές από καθέ συμμετέχοντα, άρα 2000 προσφορές. Ένα ενδεικτικό αρχείο με τέτοιες προσφορές είναι το εξής:

```
price,volume,timestamp
170,1400,2023-11-13 01:00
130,1700,2023-11-13 15:00
170,1000,2023-11-13 15:00
160,1900,2023-11-13 06:00
210,500,2023-11-13 09:00
90,400,2023-11-13 19:00
300,900,2023-11-13 17:00
270,2000,2023-11-13 04:00
140,400,2023-11-13 23:00
70,1100,2023-11-13 15:00
220,400,2023-11-13 11:00
180,1100,2023-11-13 19:00
250,700,2023-11-13 17:00
200,1500,2023-11-13 16:00
130,200,2023-11-13 17:00
50,300,2023-11-13 23:00
170,100,2023-11-13 19:00
200,1100,2023-11-13 07:00
```

Σχήμα 4.3: Αρχείο Προσφορών

4.0.4 Βήμα 4 - Προβολή Προσφορών

Αυτό το βήμα είναι ανεξάρτητο της σειράς των βημάτων, δηλαδή κάθε συμμετέχων μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να δει τι προσφορές έχει κάνει. Αντίστοιχα, ο διαχειριστής μπορεί να δει όλες τις προσφορές όλων των συμμετεχόντων. Τα δεδομένα που βλέπει ο συμμετέχων αποτελούνται από τα ζευγάρια τιμής και ποσότητας, ενώ ο διαχειριστής βλέπει και τη διεύθυνση πορτοφολιού που τοποθέτησε τη συγκεκριμένη προσφορά.

Offers for 2023-11-13

Hour: 0	Hour: 1	Hour: 2	Hour: 3	Hour: 4
Price: 60 Volume: 2000	Price: 100 Volume: 700	Price: 70 Volume: 800	Price: 50 Volume: 900	Price: 120 Volume: 800
Price: 180 Volume: 300	Price: 170 Volume: 1400	Price: 200 Volume: 1200	Price: 70 Volume: 1200	Price: 270 Volume: 2000
Price: 260 Volume: 300	Price: 180 Volume: 600		Price: 150 Volume: 2000	Price: 290 Volume: 500
Price: 260 Volume: 600	Price: 210 Volume: 1500		Price: 180 Volume: 200	
	Price: 240 Volume: 100		Price: 210 Volume: 1600	

Σχήμα 4.4: Προσφορές σε περιβάλλον Χρήστη

Offers for 2023-11-13

Hour: 0	Hour: 1	Hour: 2	Hour: 3	Hour: 4	Hour: 5	Hour: 6	Hour: 7	Hour: 8	Hour: 9	Hour: 10	Hour: 11
Offers: Price: 60 Volume: 2000	Offers: Price: 100 Volume: 700	Offers: Price: 70 Volume: 800	Offers: Price: 50 Volume: 900	Offers: Price: 120 Volume: 800	Offers: Price: 70 Volume: 1200	Offers: Price: 150 Volume: 2000	Offers: Price: 180 Volume: 200	Offers: Price: 210 Volume: 1600	Offers: Price: 270 Volume: 2000	Offers: Price: 290 Volume: 500	Offers: Price: 240 Volume: 100

Σχήμα 4.5: Προσφορές σε περιβάλλον Διαχειριστή

Όπως γίνεται αντιληπτό από το προηγούμενο στιγμιότυπο οθόνης, τα δεδομένα γεμίζουν υπερβολικά την οθόνη. Σε περιβάλλον χρήστη με τη χρήση της μεγέθυνσης που δίνει το πρόγραμμα περιήγησης μπορούμε να δούμε ευκολότερα τα δεδομένα. Οπότε, για τη δική μας περίπτωση παρατίθενται ένα επιπλέον πιο περιληπτικό μεγενθυμένο στιγμιότυπο:

Offers for 2023-11-13

Hour: 0 Offers:	Hour: 1 Offers:	Hour: 2 Offers:	Hour: 3 Offers:	Hour: 4 Offers:	Hour: 5 Offers:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1600	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 900	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1100	Participant's address:0x766...061 Price: 80 Volume: 800	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 1900	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xaeE...064 Price: 90 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 90 Volume: 300	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 120 Volume: 800	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 1200
Participant's	Participant's	Participant's	Participant's	Participant's	Participant's

Σχήμα 4.6: Προσφορές σε περιβάλλον Διαχειριστή με μεγέθυνση

4.0.5 Βήμα 5 - Κλείσιμο και Επίλυση χρονικών διαστημάτων

Όπως παρατηρούμε από το site του ENTSO-E, ο διαχειριστής στα τελευταία λεπτά πριν το πέρας του εκάστοτε χρονικού διαστήματος ενημερώνει το σύστημα με την πραγματική ανάγκη ενέργειας. Για παράδειγμα για το χρονικό διάστημα 2023-11-13 00:00-01:00, η πρόβλεψη ήταν 3725MW ενώ η πραγματική ανάγκη ήταν 3746MW. Άρα στο σύστημα μας ενημερώνουμε την πραγματική ανάγκη και επιλύουμε το πρόβλημα:

Welcome to the Energy Marketplace

1-HOUR MARKET 24-HOUR MARKET 15-MINUTE MARKET

1-hour Market

GRANT ACCESS	UPLOAD FORECASTS	SOLVE TIME SLOT	SOLVE SPECIFIC DAY	SOLVE ALL SLOTS FOR TODAY	VIEW ALL OFFERS FOR DAY	VIEW OFFERS FOR SPECIFIC TIME SLOT	VIEW SOLVED TIME SLOT	VIEW ALL SOLUTIONS FOR DAY
--------------	------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------------------	-----------------------	----------------------------

Required Energy
3746

11/13/2023 12:00 AM
SOLVE TIME SLOT

November 2023						
Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1	2
3	4	5	6	7	8	9

12:00 AM

Σχήμα 4.7: Ενημέρωση πραγματικής ανάγκης φορτίου

4.0.6 Βήμα 6 - Επίλυση και Αποθήκευση Λύσης

Σε αυτό το σημείο γίνονται αυτόματα αρκετά βήματα. Δηλαδή, τρέχει ο αλγόριθμος επίλυσης και αποθηκεύεται η λύση σε μία δυναμική λίστα, η οποία αποθηκεύεται στο blockchain. Και οι προσφορές και η επίλυση δε διαγράφονται ποτέ από το blockchain, όσος χρόνος και να περάσει.

4.0.7 Βήμα 7 - Προβολή λύσεων

Τόσο οι μειοδότες, δηλαδή οι πάροχοι που πήραν συμβόλαιο, όσο και οι πλειδότες που δεν πήραν συμβόλαιο, μπορούν να δουν και να επαληθεύσουν την επίλυση κάθε χρονικού διαστήματος. Βλέποντας τη λύση, με μαύρο χρώμα εμφανίζεται οι προσφορές των άλλων συμμετεχόντων που επιλέχθηκαν, με πράσινο χρώμα οι δικιές τους προσφορές που επιλέχθηκαν και με κόκκινο οι προσφορές τους που δεν επιλέχθηκαν. Αντίστοιχα ο διαχειριστής βλέπει απλά με μαύρο χρώμα όσες προσφορές επιλέχθηκαν. Τέλος, οι προσφορές της επίλυσης εμφανίζονται με τη σειρά που επιλέχθηκαν, δηλαδή είναι ταξινομημένες σύμφωνα με την τιμή τους. Το ίδιο συμβαίνει και για τις υπόλοιπες προσφορές.

Solutions for 2023-11-13

Hour: 0 Req Energy: 3746 Solutions:	Hour: 1 Req Energy: 3706 Solutions:	Hour: 2 Req Energy: 3730 Solutions:	Hour: 3 Req Energy: 3739 Solutions:	Hour: 4 Req Energy: 3875 Solutions:	Hour: 5 Req Energy: 4304 Solutions:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 90 Volume: 600
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 246	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 406	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800
Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1354	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 494	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 1230	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 1400	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 670	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 204
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 400	Participant's address:0xaeE...064 Price: 80 Volume: 800	Participant's address:0xaeE...064 Price: 90 Volume: 300	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 120 Volume: 800	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 996

Σχήμα 4.8: Επίλυση σε περιβάλλον Χρήστη

Solutions for 2023-11-13

Hour: 0 Req Energy: 3746 Solutions:	Hour: 1 Req Energy: 3706 Solutions:	Hour: 2 Req Energy: 3730 Solutions:	Hour: 3 Req Energy: 3739 Solutions:	Hour: 4 Req Energy: 3875 Solutions:	Hour: 5 Req Energy: 4304 Solutions:	Hour: 6 Req Energy: 4638 Solutions:	Hour: 7 Req Energy: 5178 Solutions:	Hour: 8 Req Energy: 5194 Solutions:	Hour: 9 Req Energy: 5050 Solutions:	Hour: 10 Req Energy: 4925 Solutions:	Hour: 11 Req Energy: 4609 Solutions:
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 70 Volume: 600	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 90 Volume: 600	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 204
Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 246	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 406	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 204
Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 80 Volume: 1354	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 494	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 1230	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Non-Selected Offers for this Slot: Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 1400	Participant's address:0xAE5...5D7 Price: 90 Volume: 670	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 204	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 400	Participant's address:0xaeE...064 Price: 80 Volume: 800	Participant's address:0xaeE...064 Price: 90 Volume: 300	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 120 Volume: 800	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 996	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0xaeE...064 Price: 60 Volume: 2000

Σχήμα 4.9: Επίλυση σε περιβάλλον Διαχειριστή

Όπως γίνεται αντιληπτό από το προηγούμενο στιγμιότυπο οθόνης, για άλλη μία φορά τα δεδομένα γεμίζουν υπερβολικά την οθόνη. Σε περιβάλλον χρήστη με τη χρήση της μεγέθυνσης που δίνει το πρόγραμμα περιήγησης μπορούμε να δούμε ευκολότερα τα δεδομένα. Οπότε, για τη δική μας περίπτωση παρατίθενται ένα επιπλέον πιο περιληπτικό μεγενθυμένο στιγμιότυπο:

Solutions for 2023-11-13

Hour: 0 Req Energy: 3746 Solutions:	Hour: 1 Req Energy: 3706 Solutions:	Hour: 2 Req Energy: 3730 Solutions:	Hour: 3 Req Energy: 3739 Solutions:	Hour: 4 Req Energy: 3875 Solutions:	Hour: 5 Req Energy: 4304 Solutions:
Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 50 Volume: 1800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 50 Volume: 900	Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 50 Volume: 1300	Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 70 Volume: 600
Participant's address:0xb6C...A6B Price: 60 Volume: 2000	Participant's address:0x06D...791 Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x06D...791 Price: 60 Volume: 1400	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1700	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1500	Participant's address:0x39b...FcB Price: 90 Volume: 600
Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 80 Volume: 246	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 406	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 800	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 1139	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 1075	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1800
Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 90 Volume: 1230	Non-Selected Offers for this Slot:	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 100 Volume: 1100
Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 80 Volume: 1354	Participant's address:0x39b...FcB Price: 60 Volume: 494	Non-Selected Offers for this Slot:	Participant's address:0x39b...FcB Price: 50 Volume: 261	Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 625	Participant's address:0x766...061 Price: 100 Volume: 204
Participant's address:0x39b...FcB Price: 80 Volume: 300	Participant's address:0xb6C...A6B Price: 70 Volume: 1400	Participant's address:0xAE5...SD7 Price: 90 Volume: 670	Participant's address:0x766...061 Price: 50 Volume: 300	Participant's address:0x06D...791 Price: 100 Volume: 300	Non-Selected Offers for this Slot:

Σχήμα 4.10: Επίλυση σε περιβάλλον Διαχειριστή με μεγένθυση

Επίλογος

Στη παρούσα εργασία εξετάστηκε η δημιουργία ενός συστήματος βασισμένου στην τεχνολογία Blockchain για το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε ένα ιδιωτικό δίκτυο Blockchain, στο οποίο έχουν πρόσβαση συγκεκριμένη χρήστες της αγοράς. Μελετήθηκαν και υλοποιήθηκαν όλες οι βασικές και μερικές πιο εξεζητημένες λειτουργίες του συστήματος, όπως η παραχώρηση πρόσβασης, η προσθήκη μαζικών προσφορών, η επαναφορά και η προβολή των προσφορών, καθώς και των λύσεων των εκάστοτε χρονικών διαστημάτων, που έχουν γραφτεί στο blockchain. Επιπλέον, υλοποιήθηκε ένας αποδοτικός αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος επιλογής προσφορών, με τη χρήση των Κόκκινων-Μαύρων Δέντρων, σε δομή δεδομένων για την αποθήκευση και ταξινόμηση των προσφορών. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μία τέτοια εφαρμογή που χτίζεται πάνω στο Blockchain μπορεί να εφαρμοστεί και να προσφέρει όλα τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας. Η ακεραιότητα και η ασφάλεια των δεδομένων, καθώς και η διαφάνεια των συναλλαγών αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

5.1 Μελλοντικές βελτιώσεις

1. Η αποκεντρωμένη εφαρμογή που παρουσιάστηκε θα μπορούσε να θεωρηθεί ελάχιστο πολύτιμο προϊόν (minimum valuable product-MVP). Περισσότερες λειτουργίες θα μπορούσαν να υλοποιηθούν, οι οποίες θα υποστήριζαν το πραγματικό πλήρες οικοσύστημα του Χρηματιστηρίου Ενέργειας και τους πραγματικούς αλγορίθμους επίλυσης.

2. Τα έξυπνα συμβόλαια αυτής της εφαρμογής αναπτύχθηκαν με γλώσσα Solidity. Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό μέρος, αυτό περιορίζει την επιλογή του καταλληλότερου blockchain στα EVM-based. Απαιτείται περαιτέρω μελέτη και σύγκριση όλων των Blockchain που πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις και θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

3. Υπάρχει δυνατότητα να επιλεγθεί συγκεκριμένο κρυπτονόμισμα για χρήση του στην εφαρμογή, είτε ήδη υπάρχον είτε να δημιουργηθεί εξ ολοκλήρου καινούριο. Για αυτόν τον σκοπό, απαιτείται περαιτέρω ανάλυση των αναγκών του συστήματος για να αποφασιστεί ποιο θα είναι το κρυπτονόμισμα της εφαρμογής. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των tokens και των coins, οφείλει να παρθεί

απόφαση ποια είναι η καλύτερη προσέγγιση. Μία πιθανή λύση θα ήταν η χρήση ενός stablecoin, που θα μιμείται τη κίνηση του ευρώ, δηλαδή 1 coin = 1 EUR, για να μη δυσκολεύει ακόμη περισσότερο τη χρήση του συστήματος από τους συμμετέχοντες. Μία άλλη προσέγγιση θα ήταν, η δημιουργία ενός ERC-20 token με όνομα παραδείγματος χάρη EnEx, από το Χρηματιστήριο Ενέργειας, το οποίο θα είχε ανταλλακτική αξία στον πραγματικό κόσμο και ανάλογα με την επιτυχία του project θα είχε και διαφορετική αξία.

4. Σε κάθε περίπτωση επιλογής κρυπτονομίσματος, θα μπορούσε να υλοποιηθούν και τα επόμενα βήματα της διαδικασίας που ακολουθούν την αγοραπωλησία. Συγκεκριμένα, μιας και ο κάθε συμμετέχων έχει συνδεθεί με το πορτοφόλι του, μπορεί να λαμβάνει εκεί το αντίτιμο των προσφορών που έκανε και επιλέχθηκαν σαν λύσεις κάποιου χρονικού διαστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, υλοποιείται μία επιπλέον λειτουργία, η οποία στο σύστημα που τρέχει τη δεδομένη στιγμή υλοποιείται από διαφορετικές οντότητες.

5.2 Θεσμικά Ζητήματα

Κρίνεται αναγκαίο να αναφέρουμε τα θεσμικά ζητήματα που προκύπτουν κατά την ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στην αγορά ενέργειας, τα οποία είναι απαραίτητο να επιλυθούν για την ομαλή και ορθή λειτουργία του συστήματος.

1. Συμμόρφωση με τους υπάρχοντες κανονισμούς: Η εφαρμογή στο περιβάλλον του blockchain πρέπει να συμμορφώνεται με τους εθνικούς και τους διεθνείς κανονισμούς. Αυτό περιλαμβάνει την τήρηση των κανόνων της αγοράς ενέργειας, των νόμων περί προστασίας δεδομένων και των οικονομικών κανονισμών. Είναι ζωτικής σημασίας να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία blockchain ευθυγραμμίζεται με τα νομικά πλαίσια που διέπουν την αγορά ενέργειας.

2. Προκλήσεις αποκέντρωσης: Η αποκεντρωμένη φύση του blockchain θέτει μοναδικές προκλήσεις όσον αφορά τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές αρχές. Είναι σημαντικό να οριστούν υπεύθυνοι οι οποίοι θα έλεγχουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος και τη συμμόρφωση με τους κανόνες που διέπουν το σύστημα.

3. Ισορροπία μεταξύ καινοτομίας και ρύθμισης: Πρέπει να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της προώθησης της καινοτομίας που προσφέρει το blockchain και της διασφάλισης της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Οι ρυθμιστικές αρχές ενδέχεται να χρειαστεί να προσαρμόσουν τους υφιστάμενους νόμους ή να δημιουργήσουν νέα πλαίσια για να φιλοξενήσουν τα νέα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain.

4. Προστασία των συμμετεχόντων: Είναι σημαντική η διασφάλιση της προστασίας των συμμετεχόντων στις πλατφόρμες συναλλαγών ενέργειας που βασίζονται στο blockchain. Αυτό περιλαμβάνει την αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με τη διαφάνεια και την επίλυση διαφορών.

Με την αντιμετώπιση αυτών των θεσμικών ζητημάτων, η εφαρμογή στο blockchain του Χρηματιστηρίου Ενέργειας μπορεί να βελτιστοποιηθεί ώστε να παρέχει μια ασφαλή, αποτελεσματική και νομικά συμβατή πλατφόρμα για την αγοραπωλησία ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- [1] *What is Blockchain Technology*. <https://www.ig.com/en/trading-strategies/what-is-blockchain-technology--200710>.
- [2] *Types of Blockchain*. <https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/types-of-blockchain>.
- [3] *Blockchain Layers 0-3*. <https://www.publish0x.com/the-crypto-masters-guide-tcmg/blockchain-layers-0-3-xwypkgv>.
- [4] *Overview of Consensus Algorithms*. <https://kapitalized.com/blog/an-overview-of-the-different-blockchain-consensus-algorithms>.
- [5] Satoshi Nakamoto. *Bitcoin Whitepaper*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [6] *IBM blockchain*. <https://www.ibm.com/blockchain>.
- [7] *Microsoft blockchain*. <https://learn.microsoft.com/en-us/training/modules/intro-to-blockchain/>.
- [8] *JPMorgan blockchain*. <https://www.jpmorgan.com/onyx/blockchain-launch>.
- [9] *Energy Companies that use blockchain technology*. <https://energydigital.com/top10/top-10-energy-companies-using-blockchain-technology>.
- [10] *How Blockchain Is Being Used in Energy Trading*. <https://blockchain.ieee.org/verticals/transactive-energy/topics/how-blockchain-is-being-used-in-energy-trading>.
- [11] *EnEX*. <https://www.enexgroup.gr/el/>.
- [12] *Benefits of Blockchain Technology*. <https://www.techtarget.com/searchcio/feature/Top-10-benefits-of-blockchain-technology-for-business>.
- [13] GeeksforGeeks. *blockchain*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>.
- [14] *SHA-256*. <https://www.techopedia.com/definition/sha-256>.
- [15] *Structure of a blockchain*. <https://www.geeksforgeeks.org/blockchain-structure/>.
- [16] *Blockchain Layers*. https://zebpay.com/blog/what-is-blockchain-layer-0-1-2-and-3#Layer_0.

- [17] *Consensus Algorithms*. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/consensus-algorithm#:~:text=A%20consensus%20algorithm%20is%20a,among%20distributed%20processes%20or%20systems>.
- [18] *Layer 2 Solutions*. <https://www.blockspaces.com/blog/layer-2-blockchains-guide>.
- [19] *Smart Contracts*. https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_contract.
- [20] *Cryptocurrency*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryptocurrency>.
- [21] Bokky Poobah. *BokkyPooBah's Red-Black Tree Library*, 2018. <https://github.com/bokkypoobah/BokkyPooBahsRedBlackTreeLibrary>.
- [22] *What is a Red-Black Tree*. <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-red-black-tree/>.
- [23] *MetaMask: A crypto wallet and gateway to blockchain apps*. <https://metamask.io>.
- [24] *Entso*. [https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BZN&atch=false&dateTime.dateTime=13.11.2023+00:00|CET|DAY&biddingZone.values=CTY|1OYGR-HTSO-----Y!BZN|1OYGR-HTSO-----Y&dateTime.timezone=CET_CEST&dateTime.timezone_input=CET+\(UTC+1\)+/+CEST+\(UTC+2\)](https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BZN&atch=false&dateTime.dateTime=13.11.2023+00:00|CET|DAY&biddingZone.values=CTY|1OYGR-HTSO-----Y!BZN|1OYGR-HTSO-----Y&dateTime.timezone=CET_CEST&dateTime.timezone_input=CET+(UTC+1)+/+CEST+(UTC+2)).

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

βλπ	βλέπε
κ.λπ.	και λοιπά
κ.ο.κ	και ούτω καθεξής
BC	Blockchain
EXE	Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας
EnEx	Energy Exchange
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
dApp	Decentralized Application
DER	Distributed Energy Resource
P2P	Peer-to-Peer
SHA	Secure Hash Algorithm
PoW	Proof of Work
PoS	Proof of Stake
dPoS	Delegated Proof of Stake
PoA	Proof of Authority
zk-Rollups	Zero Knowledge Rollups
USD	United States Dollar
ERC	Ethereum Request for Comment
MW	megawatt
MWh	megawatt-hour
CSV	Comma-Seperated Values
EVM	Ethereum Virtual Machine
RPC	Remote Procedural Call
UML	Unified Modeling Language
MPV	Minimum Valuable Product

Απόδοση ξενόγλωσσων όρων

Απόδοση

Αμετάβλητο βιβλίο
Συναλλαγές
Μπλοκ
Κόμβος
Χρήστης
Νόμισμα
Κρυπτογραφία
Έμπιστος τρίτος Ξορέας
Αποκέντρωση
Κεντροποίηση
Ιδιωτικότητα
Επικύρωση
Ακεραιότητα
Διαφάνεια
Αωνυμία
Ασφάλεια
Κρυπτονομίσματα
Ροή εργασίας υψηλού επιπέδου
Περίπτωση Χρήσης
Αποκεντρωμένες Εφαρμογές
Διεπαφή Χρήστη
Ψηφιακό Νόμισμα
Ανοικτός Κώδικας
Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο
Κατανεμημένος Ενεργειακός Πόρος
Ομότιμος σε Ομότιμο
Κατακερματισμός
Κρυπτογραφικός Κατακερματισμός
Χρονοσφραγίδα
Εξόρυξη
Μπλοκ Γένεσης
Πρωτόκολλο Συναίνεσης
Δέντρο Merkle
Αλυσίδα

Ξενόγλωσσος όρος

Immutable ledger
Transaction
Block
Node
User
Token
Cryptography
Trusted third party
Decentralization
Centralization
Privacy
Validation
Integrity
Transparency
Anonymity
Security
Cryptocurrencies
High level work flow
Use Case
Decentralized Applications
User Interface
Digital Currency
Open Source
Smart Grid
Distributed Energy Resource
Peer-to-Peer
Hash
Cryptographic Hash
Timestamp
Mining
Genesis Block
Consensus Protocol
Merkle Tree
Chain

Με άδεια	Permissioned
Χωρίς άδεια	Permissionless
Δημόσια Blockchains	Public Blockchains
Ιδιωτικά Blockchains	Private Blockchains
Υβριδικά Blockchains	Hybrid Blockchains
Κοινοπραξιακά Blockchains	Consortium Blockchains
Στρώμα	Layer
Layer Υποδομής Blockchain	Blockchain Infrastructure Layer
Layer Πρωτοκόλλου	Protocol Layer
Layer Κλιμάκωσης	Scaling Layer
Layer Εφαρμογής	Application Layer
Αισιοδοξία	optimism
Νόμισμα με σταθερή τιμή	Stablecoin
Περιουσιακό Στοιχείο	Asset
Χρονική Περίοδος	Time Slot
Προσφορά	Bid
Κόκκινο-Μαύρο Δέντρο	Red-Black Tree
Δυαδικό Δέντρο Αναζήτησης	Binary Search Tree
Ρίζα	Root
Φύλλο	leaf
Κλείδι	key
Θείος	Uncle
Παππούς	Grandparent
Αριστερότερος	Left-most
Επέκταση	extension
Συμβολοσειρά	String
Τιμή	Price
Ελάχιστο Πολύτιμο Προϊόν	Minimum Valuable Product