



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάπτυξη Μοντέλου για την Σύνδεση της Εξοικονομούμενης Ενέργειας με ένα Ψηφιακό Ενεργειακό Νόμισμα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Κοασίδης

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάπτυξη Μοντέλου για την Σύνδεση της Εξοικονομούμενης Ενέργειας με ένα Ψηφιακό Ενεργειακό Νόμισμα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Κοασίδης

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 3^η Οκτωβρίου 2019.

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

.....

Κωνσταντίνος Κοασίδης

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

Copyright © ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΑΣΙΔΗΣ, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019 στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε όλο το στάδιο της συγγραφής, καθώς επίσης και στον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά που αποτέλεσε την πρώτη μου επαφή με το χώρο της επιχειρησιακής έρευνας σε ζητήματα λήψης αποφάσεων αλλά και διαχείρισης ενέργειας μιας και το ενδιαφέρον που μου προξένησε με ενέπνευσε στην μέχρι τώρα πορεία μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Ευάγγελο Μαρινάκη για την συνεχή του καθοδήγηση, την άψογη συνεργασία αλλά και το προσωπικό ενδιαφέρον που επέδειξε σε όλα τα στάδια της υλοποίησης, καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Γεώργιο Βασιλείου, Απόστολο Αρσενόπουλο και Ελένη Κανέλλου με τους οποίους οι συζητήσεις αποτέλεσαν εφελκυστικό διαρκούς βελτίωσης και περαιτέρω εμβάθυνσης στο θέμα της εργασίας.

Κλείνοντας δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου, ο κόπος των οποίων συνέβαλλε και συνεχίζει να συμβάλλει στην υλοποίηση των στόχων και των ονείρων μου.

*Κωνσταντίνος Κοασίδης
Αθήνα, Οκτώβριος 2019*

Περίληψη

Η μετάβαση του ενεργειακού συστήματος σε μια πιο αποδοτική λειτουργία, απαιτεί καινοτόμες ιδέες για τη χρηματοδότηση νέων πρακτικών που θα κινητοποιούν τους ανθρώπους στο να βελτιώσουν την καταναλωτική τους συμπεριφορά. Η αποδοτική ενεργειακή διαχείριση σε συνδυασμό με Τεχνολογίες της Πληροφορίας όπως το blockchain και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δημιουργούν νέες ευκαιρίες για τις τοπικές και τις περιφερειακές αρχές ώστε να ενσωματώσουν μηχανισμούς που θα επιτρέψουν στους χρήστες να είναι πιο αποδοτικοί, είτε παράγοντας και ανταλλάσσοντας ενέργεια ως prosumers, είτε μειώνοντας την κατανάλωση τους. Ταυτόχρονα το μοντέλο των ενεργειακών κοινοτήτων επιτυγχάνει να τοποθετήσει περαιτέρω τον άνθρωπο στο επίκεντρο της λήψης αποφάσεων για το συνολικό σύστημα, εισάγοντας την έννοια της ενεργειακής δημοκρατίας. Μια τέτοια αποτύπωση της δυναμικής των ICT στον ενεργειακό τομέα αποτελούν τα ψηφιακά ενεργειακά νομίσματα τα οποία μας εισάγουν στην περίοδο της ευφυούς διαχείρισης ενέργειας. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, αναπτύσσεται ένα καινοτόμο μοντέλο που συνδέει την εξοικονομούμενη ενέργεια με ένα τέτοιο νόμισμα. Το μοντέλο αυτό οδηγεί σε προγράμματα επιβράβευσης, στα οποία ο τελικός χρήστης θα ανταμείβεται οικονομικά όταν εξοικονομεί ενέργεια, λαμβάνοντας νομίσματα ανάλογα με την πραγματική του κατανάλωση συγκριτικά με μία προβλεπόμενη αν δεν πραγματοποιούνταν καμία δράση. Μια πιλοτική δοκιμή ενός τέτοιου προγράμματος παρουσιάζεται για την περίπτωση του Μπαχρέιν προκειμένου να προσομοιωθεί η συμπεριφορά του προτεινόμενου μοντέλου, ώστε να καταστεί ως βιώσιμη επιλογή σε μελλοντικά σχέδια δράσης.

Λέξεις-κλειδιά: Ψηφιακά ενεργειακά νομίσματα, εξοικονόμηση ενέργειας, ενεργειακή αποδοτικότητα, ευφυή διαχείριση ενέργειας, ICT, blockchain, ενεργειακές κοινότητες.

Abstract

The transition of the energy system into a more efficient state requires innovative ideas to finance new schemes and engage people into adjusting their behavioural patterns concerning consumption. Effective energy management combined with ICT like blockchain and machine learning techniques open new opportunities for local and regional authorities to implement mechanisms that allow people to become more efficient either by producing and trading energy as prosumers, or by reducing their energy consumption. On this aspect, energy cooperatives manage to put the individual person on the centre of the decision-making process of the energy system, introducing the concept of energy democracy. Digital energy currencies imprint the dynamic of ICT on the energy sector, leading us to the era of intelligent energy management. In this diploma thesis, a novel framework is proposed connecting energy savings with such a currency. This framework builds towards reward schemes where the end-users could benefit financially from saving energy by receiving coins according to their real consumption compared to the predicted consumption if no actions were to take place. A pilot appraisal of such a scheme is presented for the case of Bahrain so as to simulate the behaviour of the proposed framework in order for it to become a viable choice in future action plans.

Keywords: Digital energy currency, energy saving, energy efficiency, intelligent energy management, ICT, blockchain, energy communities.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|----|
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή | 15 |
| 1.1 Αντικείμενο - Στόχος..... | 17 |
| 1.2 Φάσεις υλοποίησης..... | 18 |
| 1.3 Οργάνωση τόμου | 20 |
| Κεφάλαιο 2. Ενεργειακές Κοινότητες | 21 |
| 2.1 Κοινότητες | 23 |
| 2.2 Ενεργειακές Κοινότητες | 25 |
| 2.2.1 Ορισμός | 25 |
| 2.2.2 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ευρώπη | 26 |
| 2.2.2.1 Το Γερμανικό πλαίσιο | 26 |
| 2.2.2.2 Η πρωτοβουλία του REScoop.EU και καλές πρακτικές | 28 |
| 2.2.3 Το Ελληνικό Πλαίσιο..... | 32 |
| 2.3 Συνδυαστική προσέγγιση | 35 |
| 2.3.1 Ενεργειακός Συμφηφισμός | 35 |
| 2.3.2 Παραγωγός- Καταναλωτής..... | 37 |
| Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία της Πληροφορίας στην Ενέργεια | 41 |
| 3.1 Έξυπνες Πόλεις | 43 |
| 3.2 Blockchain..... | 44 |
| 3.2.1 Ορισμός και βασικές έννοιες | 44 |
| 3.2.2 Το blockchain στην ενέργεια | 45 |
| 3.3 Ενεργειακά Νομίσματα | 49 |
| 3.3.1 Επιχειρηματικές προσεγγίσεις | 49 |
| 3.3.2 Η ακαδημαϊκή προσέγγιση του NRGcoin..... | 51 |
| Κεφάλαιο 4. ATOMcoin: Ένα νέο μοντέλο ψηφιακού ενεργειακού νομίσματος | 53 |
| 4.1 Το πλαίσιο δραστηριοποίησης | 55 |
| 4.2 Το αρχικό μοντέλο..... | 57 |
| 4.2.1 Παρουσίαση του αρχικού ATOMcoin | 57 |
| 4.2.2 Προβληματικές του αρχικού μοντέλου..... | 60 |
| 4.2.2.1 Προβλήματα Διακύμανσης | 60 |
| 4.2.2.2 Συμπεριφορικά προβλήματα | 61 |
| 4.2.2.3 Προβλήματα μεθοδολογίας και τελική ανάλυση | 62 |
| 4.3 Το νέο μοντέλο | 64 |
| 4.3.1 Μια νέα εξίσωση για το ATOMcoin | 64 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.2 Πρόβλεψη σεναρίου “business-as-usual” | 70 |
| Κεφάλαιο 5. Η περίπτωση του Μπαχρέιν | 73 |
| 5.1 Το Βασίλειο του Μπαχρέιν..... | 75 |
| 5.1.1 Γενικά στοιχεία | 75 |
| 5.1.2 Μεθοδολογία μελέτης | 76 |
| 5.2 Επεξεργασία Δεδομένων..... | 77 |
| 5.2.1 Δημογραφικά στοιχεία | 77 |
| 5.2.2 Δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας..... | 79 |
| 5.2.3 Διαμόρφωση Πρόβλεψης..... | 81 |
| 5.3 Προσομοίωση..... | 84 |
| 5.3.1 Δημιουργία του σεναρίου | 84 |
| 5.3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης | 87 |
| 5.3.2.1 Το rate του νομίσματος | 87 |
| 5.3.2.2 Ανάλυση Ευαισθησίας | 88 |
| 5.3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων | 91 |
| Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα και προοπτικές | 95 |
| 6.1 Συμπεράσματα | 97 |
| 6.2 Προοπτικές | 99 |
| Βιβλιογραφία | 101 |
| Παράρτημα. Κώδικας R της προσομοίωσης | 115 |

Ευρετήριο Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1.1: Διεύρυνση Πρωτοβουλιών προς το άτομο | 18 |
| Σχήμα 1.2: Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας..... | 19 |
| Σχήμα 2.1: Κατανομή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων των ενεργειακών κοινοτήτων στην Γερμανία μέχρι τον Απρίλιο 2014 | 26 |
| Σχήμα 2.2: Πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις ενεργειακές κοινότητες το 2014 στη Γερμανία | 27 |
| Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της εγγυημένης τιμής στην Γερμανία για την περίοδο 2001-2017 | 28 |
| Σχήμα 2.4: Αεροφωτογραφία της Κοπεγχάγης πάνω από το πάρκο του Middelgrunden και πλάνο από τις τουρμπίνες. | 30 |
| Σχήμα 2.5: Ευρωπαϊκός Χάρτης με τις κοινότητες που συμμετέχουν στο REScoop. . | 31 |
| Σχήμα 2.6: Τοπολογίες οργάνωσης των παραγωγών καταναλωτών | 38 |
| Σχήμα 3.1: Τυπική αρχιτεκτονική των blocks στο blockchain..... | 44 |
| Σχήμα 3.2: Χώρες με κατανάλωση λιγότερη από το bitcoin..... | 45 |
| Σχήμα 3.3: Ενεργειακά projects βασισμένα στο blockchain παγκόσμια..... | 46 |
| Σχήμα 3.4: Κατανομή των project βασισμένων στο blockchain στην ενέργεια..... | 46 |
| Σχήμα 3.5: Τοπολογία δικτύου Brooklyn..... | 47 |
| Σχήμα 3.6: Αυτόματος φορτιστής των εταιρειών RWE και Slock.it μαζί με την εφαρμογή. | 48 |
| Σχήμα 3.7: Διαδικασία παραγωγής και κυκλοφορίας ενός SolarCoin. | 49 |
| Σχήμα 3.8: Ο μηχανισμός λειτουργίας του NRGcoin. | 51 |
| Σχήμα 4.1: Η ηλεκτρική ενέργεια ως συνδεδετικός κρίκος διαφορετικών τεχνολογιών. | 55 |
| Σχήμα 4.2: Ιδέα νέου προγράμματος | 56 |
| Σχήμα 4.3: Καμπύλη του rate για το ATOMcoin. | 59 |
| Σχήμα 4.4: Χρηματικό κέρδος για κάθε ένα από τα 100 νοικοκυριά..... | 59 |
| Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση των συναλλαγών σε ένα περιβάλλον εφαρμογής του ATOMcoin. | 68 |
| Σχήμα 4.6: Βασική ιδέα της SMV. | 71 |
| Σχήμα 4.7: SVM με χρήση πυρήνα Gauss τύπου RBF.. | 72 |
| Σχήμα 4.8: Αναπαράσταση μεθόδου SVR.. | 72 |
| Σχήμα 5.1: Γεωγραφία του Μπαχρέιν. | 75 |
| Σχήμα 5.2: Μεθοδολογία της μελέτης..... | 76 |
| Σχήμα 5.3: Προσέγγιση κατανομής νοικοκυριών ανά αριθμό μέλους για το Μπαχρέιν. | 78 |
| Σχήμα 5.4: Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης για την κατανάλωση..... | 80 |
| Σχήμα 5.5: Μεθοδολογία πρόβλεψης | 81 |
| Σχήμα 5.6: Cross-validation test για τον μήνα Ιανουάριο. | 83 |
| Σχήμα 5.7: Ετήσια καμπύλη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας..... | 85 |
| Σχήμα 5.8: Κατανομή ημερήσιου budget | 86 |
| Σχήμα 5.9: Rate του νομίσματος ATOMcoin στην περίπτωση του Μπαχρέιν | 87 |
| Σχήμα 5.10: Ανάλυση ευαισθησίας ως προς την αναμενόμενη απόδοση | 88 |
| Σχήμα 5.11: Ανάλυση ευαισθησίας για το budget..... | 89 |
| Σχήμα 5.12: Αθροιστικά κέρδη για ένα τυχαίο νοικοκυριό 6 μελών | 91 |
| Σχήμα 5.13: Συνολικά κέρδη για κάθε νοικοκυριό | 91 |
| Σχήμα 5.14: Μέσο, ελάχιστο και μέγιστο κέρδος για κάθε κατηγορία νοικοκυριών... .. | 92 |
| Σχήμα 5.15: Ημερήσια ποσοστιαία επιστροφή κεφαλαίου | 93 |

Ευρετήριο Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 5.1: Ενεργειακό μείγμα του Μπαχρέιν..... | 75 |
| Πίνακας 5.2: Δημογραφικά στοιχεία Μπαχρέιν με βάση τον ΟΗΕ | 77 |
| Πίνακας 5.3: Χρονική εξέλιξη παραγωγής και κατανάλωσης..... | 79 |

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο - Στόχος

Η κλιματική αλλαγή και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτήν όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, το λιώσιμο των πάγων αποτελούν μερικές από τις σημαντικότερες προκλήσεις που θα κληθεί να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος τα επόμενα χρόνια.

Το 1998 ο κίνδυνος και η ανάγκη για υλοποίηση δράσεων ήταν ήδη φανερά κάτι που οδήγησε σε λήψη παγκόσμιων πρωτοβουλιών οι οποίες με τη σειρά τους κατέληξαν στην υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1998). Η συμφωνία αυτή αποτελεί τις πρώτες κατευθυντήριες γραμμές προς τα κράτη συγκριτικά με τους στόχους που πρέπει να πετύχουν ούτως ώστε να επιτευχθεί μακροπρόθεσμη ισορροπία στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Το 2007 η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του κλίματος (IPCC) μέσω της Τέταρτης Αναφοράς (IPCC, 2007) είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι μέχρι το 2100 η αύξηση της θερμοκρασίας θα κυμανθεί από 2°C έως 4.5°C με ταυτόχρονη αύξηση της στάθμης της θάλασσας σε όλα τα προβλεπόμενα σενάρια.

Την ίδια χρονιά η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε σε ισχύ το πακέτο 2020 το οποίο έλαβε νομική υπόσταση το 2009. Το πακέτο αυτό όρισε τρεις στόχους οι οποίοι αφορούσαν μείωση των εκπομπών κατά 20% (βάση αναφοράς 1990), διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κατά 20% και 20% αποδοτικότητα συνολικά στην Ε.Ε. μέχρι το 2020. Πλέον οι συζητήσεις εντός της Ε.Ε. τοποθετούν βραχυπρόθεσμους στόχους μέχρι το 2030 καθώς και μακροπρόθεσμους μέχρι το 2050.

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών σε επέκταση του πρωτοκόλλου του Κιότο προχώρησε στην Διάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή το 2015 όπου με βάση το άρθρο 2 παράγραφος 1α της Συμφωνίας του Παρισιού (2015) αποφασίστηκε ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας σε «αρκετά λιγότερο» από τους 2°C με βασικό στόχο τους 1.5°C.

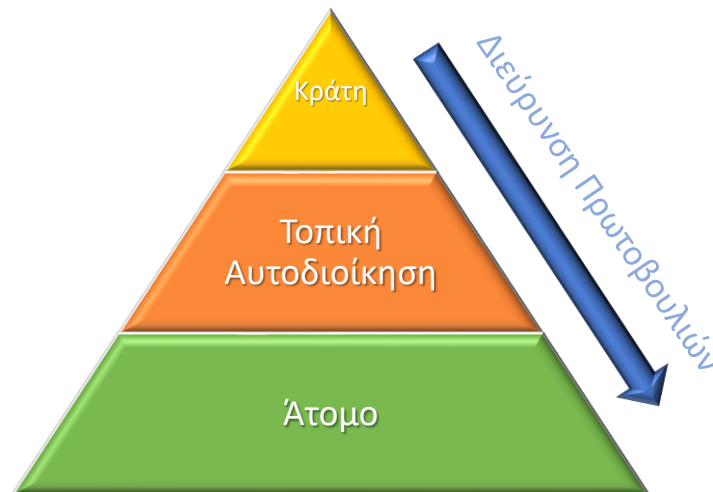
Ωστόσο οι Allen et al. (2018) στα πλαίσια μελέτης για την IPCC ανέλυσαν τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1.5°C συγκριτικά με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα (1990), διαπιστώνοντας ότι ένα τέτοιο ενδεχόμενο μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συχνότητας εμφάνισης πολύ ακραίων καιρικών φαινομένων.

Πέρα από αποφάσεις σε κρατικό επίπεδο μια σημαντική πρωτοβουλία εντός της Ε.Ε. αποτελεί το Σύμφωνο των Δημάρχων το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2008. Σε αυτό συμμετέχουν πάνω από 7000 τοπικές αρχές εθελοντικά οι οποίες υποβάλλουν σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα, και μοιράζονται τεχνογνωσία για την υλοποίηση των γενικών στόχων που έχουν τεθεί από την Ε.Ε.

Ταυτόχρονα το 2016 είχαμε την εισαγωγή της οδηγίας για την ενεργειακή αποδοτικότητα η οποία έθετε ως στόχο στους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας να συμβάλλουν ώστε οι πελάτες τους να καταναλώνουν 1.5% λιγότερη ενέργεια.

Εμφανής λοιπόν είναι τόσο η ανάγκη όσο και η τάση για εμπλοκή ολοένα και χαμηλότερων βαθμίδων διακυβέρνησης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και πρωτοβουλιών για τη διαχείριση ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική ο βασικός μας στόχος είναι να μελετήσουμε τους μηχανισμούς και τα πλαίσια μέσα από τα οποία θα διευκολυνθεί η πρόσβαση του ατόμου στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και συμμετοχής του σε δράσεις με θετικό ενεργειακό πρόσημο.



Σχήμα 1.1: Διεύρυνση Πρωτοβουλιών προς το άτομο

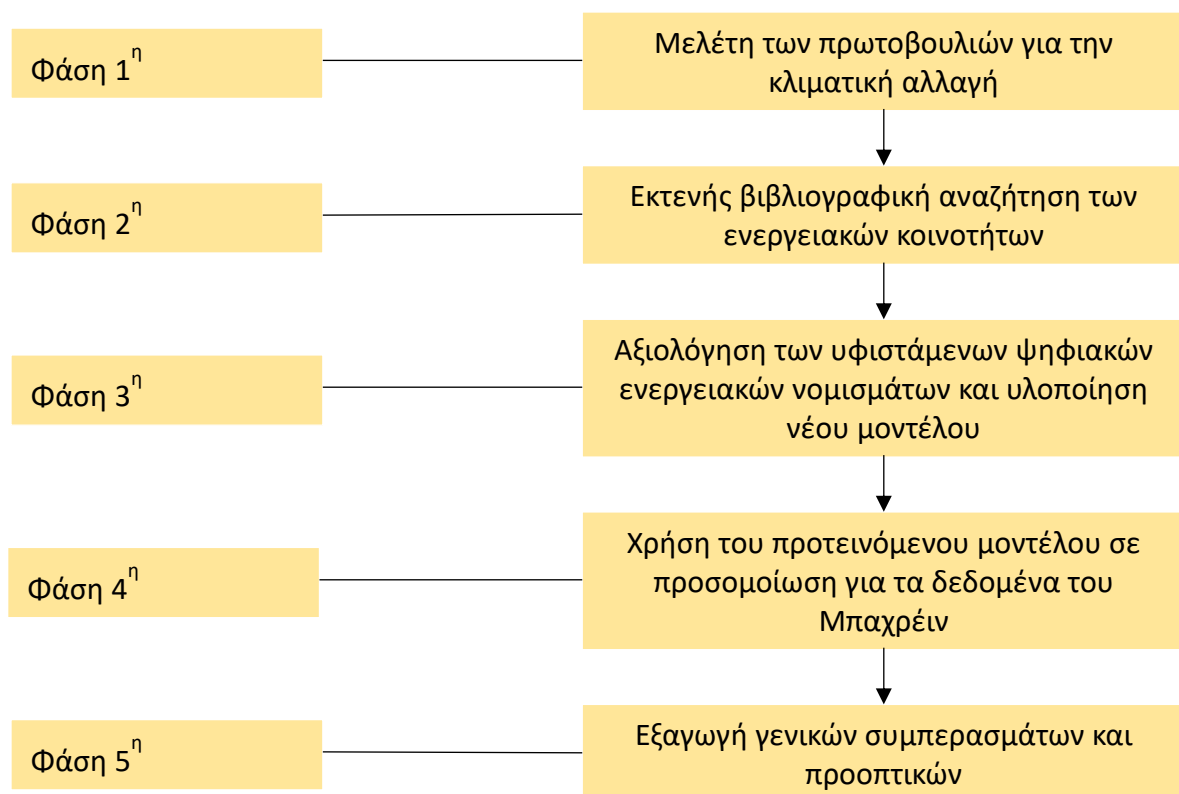
1.2 Φάσεις υλοποίησης

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Οκτωβρίου και Σεπτεμβρίου του ακαδημαϊκού έτους 2018-2019 και η πορεία αυτής ακολούθησε τις εξής φάσεις, που παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα 1.2.

- *Φάση 1^η – Μελέτη των πρωτοβουλιών για την κλιματική αλλαγή:* Σε πρώτο στάδιο μελετήθηκε το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και οι πρωτοβουλίες που έχουν ληφθεί για την επίλυση του. Στη συνέχεια θεμελιώθηκε το πρόβλημα το οποίο αφορά την μεγαλύτερη συμμετοχή του ατόμου.
- *Φάση 2^η - Εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση των ενεργειακών κοινοτήτων:* Μετά τον εντοπισμό του προβλήματος ακολούθησε μια εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση, προκειμένου να αναλυθεί πλήρως το μοντέλο των ενεργειακών κοινοτήτων ως ένα

μέσο εμπλοκής του ανθρώπου. Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε σύνδεση των ενεργειακών κοινοτήτων με έννοιες όπως το blockchain.

- *Φάση 3^η - Αξιολόγηση των υφιστάμενων ψηφιακών ενεργειακών νομισμάτων και υλοποίηση νέου μοντέλου:* Σε αυτή την φάση παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα υπάρχοντα ψηφιακά ενεργειακά νομίσματα και στη συνέχεια αναπτύσσεται ένα νέο μοντέλο.
- *Φάση 4^η – Χρήση του προτεινόμενου μοντέλου σε προσομοίωση για τα δεδομένα του Μπαχρέιν:* Σε αυτή τη φάση συλλέγουμε δεδομένα που αφορούν την παρούσα ενεργειακή κατάσταση στο Μπαχρέιν και στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού R πραγματοποιούμε προσομοίωση του προτεινόμενου μοντέλου. Από τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούμε το μοντέλο μας.
- *Φάση 5^η - Εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων και προοπτικών:* Σε αυτή τη φάση εξάγουμε γενικά συμπεράσματα, ενώ βασικό σημείο αποτελεί η αναφορά στις προοπτικές που ανοίγει η παρούσα εργασία.



Σχήμα 1.2: Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας

1.3 Οργάνωση τόμου

Η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο παρόν, που αποτελεί και το πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή όπου παρουσιάζεται το περιβάλλον εντός του οποίου λειτουργούν τα ζητήματα που πραγματεύεται η εργασία και δίνεται ένας γενικός σκοπός.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το μοντέλο των ενεργειακών κοινοτήτων ως ένα μέσο εμπλοκής του ανθρώπου στην ενέργεια. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους, γίνεται αναφορά σε καλές πρακτικές και εξετάζεται το νομικό πλαίσιο λειτουργίας στην Ελλάδα. Ταυτόχρονα επιχειρείται μια σύνδεση με τις έννοιες του ενεργειακού συμψηφισμού και του παραγωγού καταναλωτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος ενσωμάτωσης των τεχνολογιών της πληροφορίας στην ενέργεια. Παρουσιάζεται η τεχνολογία του blockchain και πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον ενεργειακό τομέα μέσα από πραγματικά έργα. Παράλληλα εξετάζονται τα υφιστάμενα ψηφιακά ενεργειακά νομίσματα και εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνεται το πλαίσιο εντός του οποίου θα προσπαθήσει να καινοτομήσει η παρούσα εργασία. Αναλύεται το αρχικό πλαίσιο του ATOMcoin και στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας νέος και αναλυτικός τρόπος υπολογισμού. Η φιλοσοφία του νομίσματος μας οδηγεί να πραγματευτούμε τα ζητήματα πρόβλεψης στον ενεργειακό τομέα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο το προτεινόμενο πλαίσιο δοκιμάζεται σε μια ρεαλιστική προσομοίωση για το Μπαχρέιν. Έμφαση δίνεται στην εύρεση και επεξεργασία των αρχικών δεδομένων. Ακολουθεί ανάλυση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προκύπτουν από το εν λόγω σενάριο.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τελικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα, οι περιορισμοί της μελέτης καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2. Ενεργειακές Κοινότητες

2.1 Κοινότητες

Η έννοια των κοινοτήτων ως δομή οργάνωσης υφίσταται εδώ και αρκετούς αιώνες. Μάλιστα μια από τις πρώτες καταγραφές κοινότητας που υπάρχουν εντοπίζεται το έτος 1769 στη Σκωτία όπου ιδρύθηκε η κοινότητα υφαντών του Fenwick (Fairbairn, 1994). Σκοπός της εν λόγω κοινότητας ήταν αρχικά να διασφαλίσει την υψηλή ποιότητα των προϊόντων μέσω της προμήθειας πρώτων υλών, αλλά στην συνέχεια διεύρυνε τις δραστηριότητες της με εμπόριο τροφίμων (Thompson, 1994; McDonnell et al., 2012).

Με βάση τη Διεθνή Συνεταιριστική Συμμαχία (International Cooperative Alliance-ICA) ως κοινότητα¹ θεωρείται μια αυτόνομη ένωση εθελοντών με σκοπό να πετύχουν τις κοινές οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές ανάγκες και φιλοδοξίες μέσω μιας επιχείρησης κοινής ιδιοκτησίας και δημοκρατικού ελέγχου.

Έναν πιο συγκεκριμένο ορισμό δίνει ο Altman (2009) με βάση τον οποίο μια κοινότητα αποτελεί ένα εθελοντικό δίκτυο ατόμων που έχουν την ιδιοκτησία ή τον έλεγχο μιας επιχείρησης και η οποία διανέμει κέρδη στη βάση χρήσης ή ιδιοκτησίας όπου η ιδιοκτησία μοιράζεται σε μεγάλο βαθμό ισόποσα στα μέλη της.

Σε όλη την ιστορία του κινήματος υπήρξε μια κοινότητα η οποία έπαιξε καταλυτικό ρόλο στη διαμόρφωση των κοινοτήτων όπως τις γνωρίζουμε σήμερα. Αυτή ήταν η κοινότητα του Rochdale η οποία ιδρύθηκε το 1844 στην Αγγλία με σκοπό να βελτιώσει τις εργασιακές συνθήκες αλλά και γενικότερα τις συνθήκες ζωής μέσα από την πώληση φαγητού σε λογικές τιμές. Ένας από τους λόγους για τους οποίους η κοινότητα αυτή αποτέλεσε την αφετηρία των σύγχρονων κοινοτήτων είναι πως εμπνεόμενοι από την μέχρι εκείνη την εποχή πορεία των κοινοτήτων, αποφάσισαν να λειτουργήσουν υπό ένα καθεστώς κανόνων γνωστό ως «Οι Αρχές του Rochdale». Η λίστα αυτή πήρε την πρώτη της επίσημη μορφή στο συνέδριο της Βιέννης το 1937 (Birchall, 1997) και περιλάμβανε τους εξής κανόνες:

1. *Ανοιχτή Συμμετοχή*
2. *Δημοκρατικός Έλεγχος*
3. *Διανομή των πλεονασμάτων στα μέλη αναλογικά με τη συμμετοχή τους*
4. *Περιορισμένοι τόκοι επί του κεφαλαίου*
5. *Πολιτική και θρησκευτική ουδετερότητα*
6. *Συναλλαγές με χρήση μετρητών*
7. *Προώθηση της εκπαίδευσης*

Η ιδέα των παραπάνω αρχών παραμένει με παραλλαγές μέχρι και σήμερα, με την ICA να αναθεωρεί κομμάτια και να τα χρησιμοποιεί ως οδηγίες για την λειτουργία των κοινοτήτων. Έτσι στις μέρες μας παίρνουν την παρακάτω μορφή:

1. *Εθελοντική και ανοιχτή συμμετοχή*
Η προσθήκη του «εθελοντικού» αφορά τη δομική φύση των κοινοτήτων ως εθελοντικά δίκτυα ενώ το «ανοιχτή» στοχεύει στην καταπολέμηση οποιονδήποτε διακρίσεων.

¹ Η πιστή μετάφραση του όρου «cooperative» όπως χρησιμοποιείται από την ICA είναι «συνεταιρισμός». Εμείς δίνουμε και χρησιμοποιούμε τον πιο ελεύθερο όρο κοινότητα, έχοντας ως σκοπό να οδηγηθούμε στον ειδική κατηγορία των ενεργειακών κοινοτήτων.

2. *Δημοκρατικός έλεγχος από τα μέλη*
Η δημοκρατική οργάνωση επιτυγχάνεται με την χρήση του ίσου δικαιώματος ψήφου, δηλαδή κάθε μέλος έχει μία ψήφο. Έτσι εξασφαλίζεται ότι η λήψη αποφάσεων στην κοινότητα θα γίνεται συλλογικά και δεν θα μπορεί να ελεγχθεί από άτομο με υψηλό μερίδιο μετοχών.
3. *Οικονομική συμμετοχή των μελών*
Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η πιθανότητα κοινωνικής αδικίας εντός της κοινότητας.
4. *Αυτονομία και ανεξαρτησία*
5. *Προώθηση της εκπαίδευσης και της ενημέρωσης*
Μέσα από αυτή τη διαδικασία ένα άτομο ενθαρρύνεται να συμμετέχει σε μια κοινότητα όχι μόνο για το κέρδος αλλά και για την προσωπική βελτίωση και την απόκτηση κοινωνικών δεξιοτήτων.
6. *Συνεργασία μεταξύ κοινοτήτων*
7. *Ενδιαφέρον για την κοινωνία εντός της οποίας λειτουργούν.*

Βλέπουμε λοιπόν ότι σε αντίθεση με τις τυπικές επιχειρήσεις μια κοινότητα δεν έχει υποχρεωτικά ως σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους αλλά την ευημερία και την διαρκή βελτίωση των μελών της αλλά και της κοινωνίας στο σύνολο.

Με βάση τον Altman (2009) μάλιστα υπάρχουν 8 διαφορετικές κατηγορίες κοινοτήτων:

1. *Εργατικές κοινότητες*
2. *Κοινότητες Καταναλωτών*
3. *Πιστωτικές Ενώσεις*
4. *Κοινότητες Προμήθειας και Αγοράς*
5. *Κοινότητες Μάρκετινγκ*
6. *Κοινότητες Νέας Γενιάς*
7. *Κοινότητες Πολλαπλών φορέων*
8. *Κοινωνικές Κοινότητες*

Σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας του κινήματος έχουν εμφανιστεί πολλές προσπάθειες για δημιουργία κοινοτήτων με δομή παρόμοια με τις άνω κατηγορίες. Στις μέρες μας μάλιστα με βάση τον Eum (2017) σε μελέτη της CICOPA, τμήματος της ICA, διαπιστώνει ότι τουλάχιστον 279.4 εκατομμύρια άνθρωποι συμμετέχουν σε τέτοιες πρωτοβουλίες.

2.2 Ενεργειακές Κοινότητες

2.2.1 Ορισμός

Η μελέτη των κοινοτήτων στην γενικότερη μορφή τους είναι χρήσιμη για να κατανοήσουμε την έννοια των ενεργειακών κοινοτήτων, καθώς οι τελευταίες, εξαιτίας του πολύ μεγάλου εύρους διαφορετικών δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν, είναι δύσκολο να ενοποιηθούν με βάση έναν αυστηρό ορισμό.

Σύμφωνα με την Debor (2014) οι ενεργειακές κοινότητες είναι κοινότητες οι οποίες λειτουργούν εντός της αλυσίδας ενεργειακής αξίας.

Με βάση τον Ugarte et al. (2015) μια τέτοια ενεργειακή αλυσίδα περιλαμβάνει το μεγαλύτερο εύρος των διαδικασιών που σχετίζονται με την ενέργεια. Ξεκινούν από την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή, αλλά μπορεί να περιλαμβάνουν και την αποθήκευση σε όλα τα επίπεδα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ενσωμάτωση του τελικού χρήστη είτε μέσω της αυτοπαραγωγής είτε από την ατομική αποθήκευση.

Από όλα τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι μια ενεργειακή κοινότητα θα μπορούσε να παράγει (όχι υποχρεωτικά από ανανεώσιμες πηγές), να μεταφέρει, να διανέμει, να αποθηκεύει αλλά και να προωθεί με τεχνικές μάρκετινγκ στον τελικό χρήστη ηλεκτρική ενέργεια.

Σε σύνδεση με τις κατηγορίες κοινοτήτων που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.1 αντιλαμβανόμαστε ότι οι ενεργειακές κοινότητες στο μεγαλύτερο βαθμό κατατάσσονται στις κοινότητες καταναλωτών (Tarhan, 2015) οι οποίες αφορούν την πώληση προϊόντων· στην περίπτωση μας ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοιο είδους κοινότητες, ανάλογα με το μέγεθός τους, ενσωματώνουν πλήρως τα δημοκρατικά χαρακτηριστικά των κοινοτήτων ωστόσο μπορούν να παρουσιάσουν μορφές διοίκησης παρόμοιες με συμβατικές επιχειρήσεις.

Είναι δυνατό να υπάρξουν και κοινότητες προμήθειας και αγοράς οι οποίες έχουν ως σκοπό να προμηθεύονται για τα μέλη τους προϊόντα σε οικονομικότερη τιμή από το να τα αγοράζε κάποιος μεμονωμένα, όπως για παράδειγμα συσκευές εξοικονόμησης ενέργειας. Εφικτές θα μπορούσαν να είναι και ενεργειακές κοινότητες μάρκετινγκ.

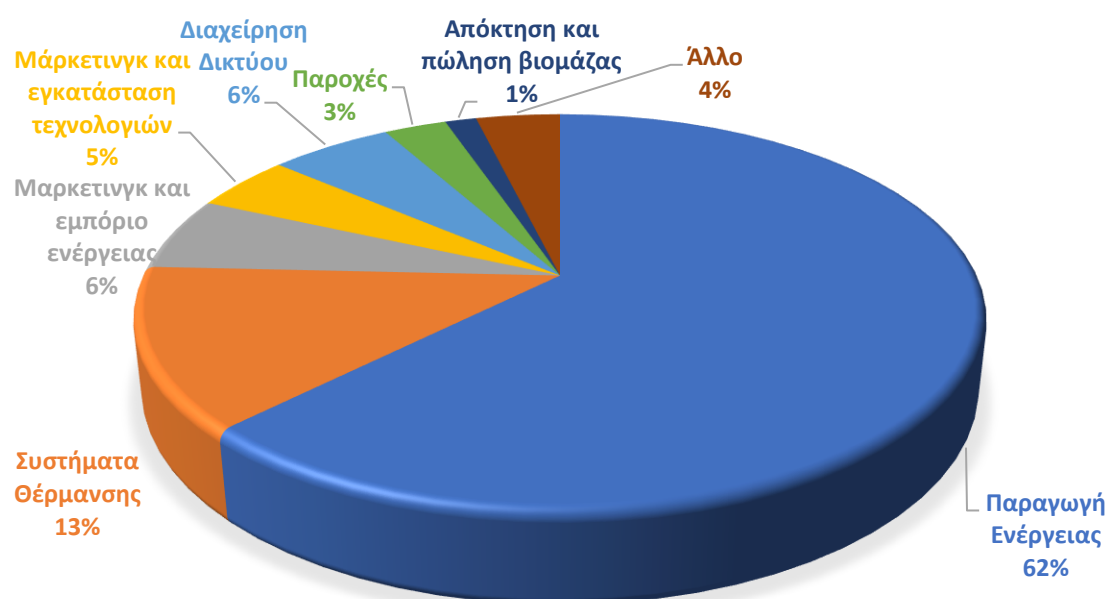
Βλέπουμε λοιπόν ότι για να μπορέσουμε να συμπεριλάβουμε όλες τις πιθανές μορφές ενεργειακών κοινοτήτων που μπορεί να δημιουργηθούν, πρέπει να διευρύνουμε αρκετά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε την ενεργειακή αλυσίδα. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τελικά οι ενεργειακές κοινότητες αποτελούν κοινότητες όπως αυτές ορίζονται από την ICA οι οποίες λειτουργούν εντός του ευρύτερου ενεργειακού τομέα.

2.2.2 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ευρώπη

2.2.2.1 Το Γερμανικό πλαίσιο

Μία από τις χώρες που αποτέλεσε γόνιμο έδαφος για την ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων είναι η Γερμανία. Το πρώτο νομοσχέδιο για την πράσινη ενέργεια υπογράφηκε το 2000 και αναθεωρείται διαρκώς στην βάση των νέων δεδομένων ενώ το 2010 συστάθηκε το «Energiewende» το οποίο αποτέλεσε το ολοκληρωμένο πρόγραμμα της Γερμανίας με βάση το οποίο σχεδιάστηκε η ενεργειακή μετάβαση. Σε αυτό τίθενται στόχοι για τις εκπομπές και την παραγωγή από ΑΠΕ στις οποίες θεσμοθετήθηκαν επιδοτήσεις όπως η ελάχιστη εγγυημένη τιμή. Ειδική θέση λαμβάνει η εμπλοκή ατόμων και κοινοτήτων στην παραγωγή ενέργειας θεωρώντας το ως σημαντικό βήμα για την επίτευξη των στόχων. Μάλιστα σύμφωνα με ανάλυση των Craig et al. (2016) φανερώνεται ότι ένας στους 60 πολίτες της Γερμανίας παράγει ηλεκτρική ενέργεια, χαρακτηρίζοντας το ως εν εξελίξει επανάσταση στον χώρο της ενέργειας.

Σύμφωνα με την Debor (2014) μέχρι τον Απρίλιο του 2014 στην Γερμανία ήταν εγγεγραμμένες 942 ενεργειακές κοινότητες με το 87% εξ αυτών να δίνει έμφαση στις ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα με βάση τα αριθμητικά στοιχεία που δίνονται δημιουργούμε την κατανομή των κοινοτήτων ανάλογα με του επιχειρησιακούς στόχους.



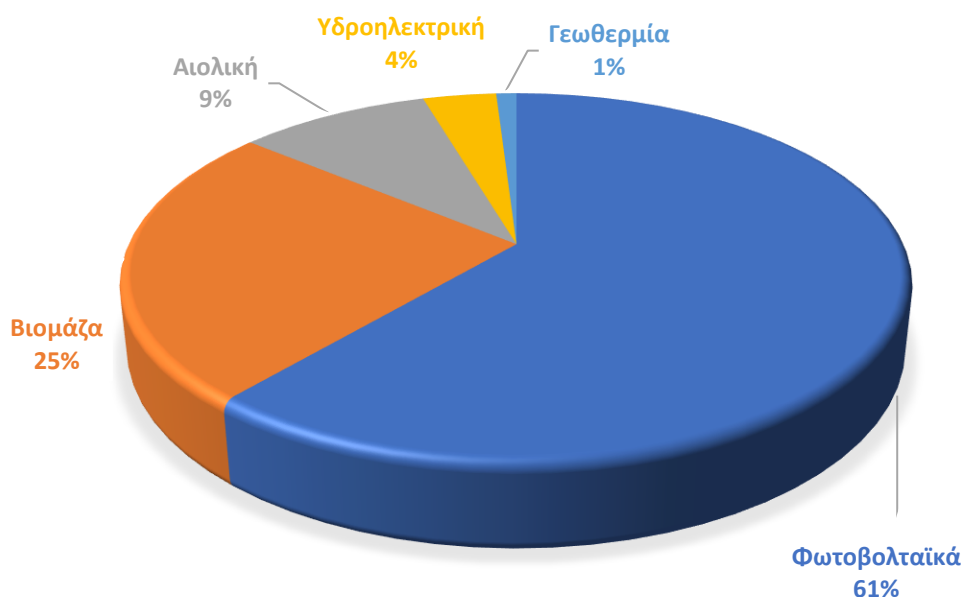
Σχήμα 2.1: Κατανομή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων των ενεργειακών κοινοτήτων στην Γερμανία μέχρι τον Απρίλιο 2014

Διαπιστώνουμε ότι σε μεγάλη πλειοψηφία οι ενεργειακές κοινότητες στηρίζουν την λειτουργία τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η παραγωγή διευκολύνει στο να αναπτυχθούν απλά και αποδοτικά επιχειρηματικά μοντέλα. Όπως έχει αναφερθεί, στόχος μιας κοινότητας δεν είναι απαραίτητα η μεγιστοποίηση του κέρδους. Ωστόσο μια κοινότητα δεν μπορεί να

συντηρείται μόνο από τις συνδρομές των μελών και οφείλει να έχει έσοδα από την κύρια δραστηριότητά της, αν όχι για να μεγεθύνεται τουλάχιστον για να αυτοσυντηρείται. Έτσι μια κοινότητα που βασίζεται στην παραγωγή μπορεί να αναμένει έσοδα από την ενέργεια που διοχετεύει στο δίκτυο, και με δεδομένη τη σταδιακή μείωση του κόστους επένδυσης σε μονάδες ΑΠΕ να λειτουργεί βιώσιμα.

Αντίθετα οι τομείς της θέρμανσης κτηρίων, η ενεργειακή αποδοτικότητα και οι μετακινήσεις αποτελούν πεδίο πολύ υψηλού δυναμικού εξοικονόμησης ωστόσο πρέπει να διαμορφωθούν διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα (WECF, 2017).

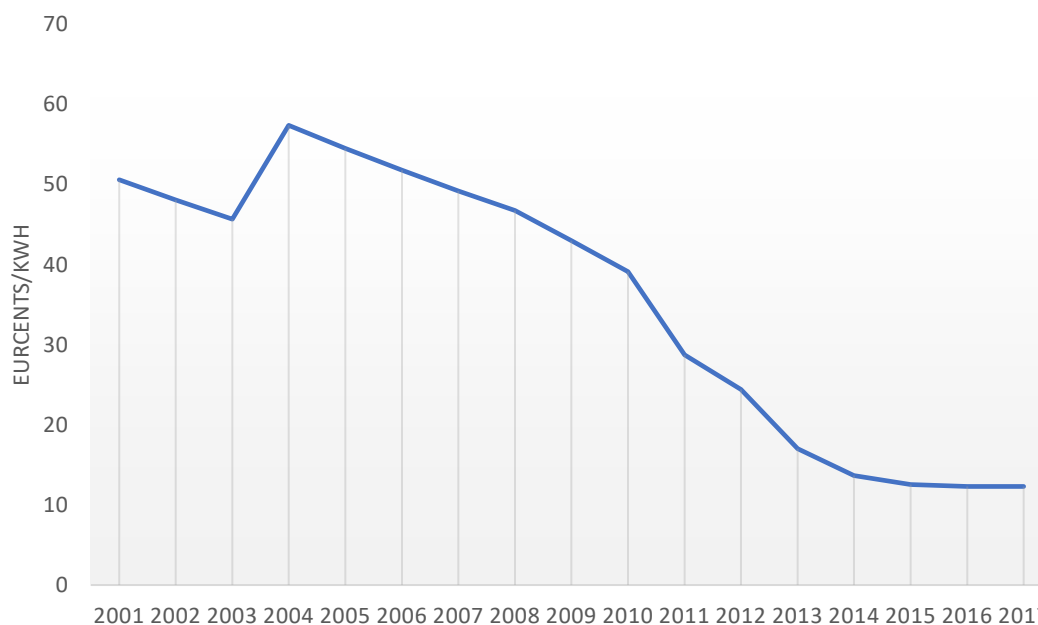
Με βάση αριθμητικά στοιχεία από τον Yildiz et al. (2014) για τις ενεργειακές κοινότητες της Γερμανίας που βασίζονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζουμε την κατανομή ως προς την χρησιμοποιούμενη πηγή.



Σχήμα 2.2: Πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις ενεργειακές κοινότητες το 2014 στη Γερμανία

Η έντονη κυριαρχία των φωτοβολταϊκών στις δραστηριότητες των κοινοτήτων βασίζεται στην απλότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας καθώς επιτρέπει την ύπαρξη εγκαταστάσεων μεσαίου μεγέθους χωρίς πολύ υψηλό κόστος επένδυσης, σε αντίθεση με τα αιολικά. Εξάλλου, σύμφωνα με την Debor (2014) οι ενεργειακές κοινότητες με συνολικό κεφάλαιο λιγότερο από 500,000€ αποτελούσαν τουλάχιστον το 40% μέχρι το 2012.

Ένα σημαντικό στοιχείο ωστόσο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η απόδοση της επένδυσης (Return on Investment- ROI) στα φωτοβολταϊκά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εγγυημένη τιμή (feed-in tariff) που παρέχεται ως επιδότηση. Με βάση όμως στοιχεία από την μελέτη του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency- IEA) το 2017 παρατηρείται πτωτική πορεία της εγγυημένης τιμής όπως αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της εγγυημένης τιμής στην Γερμανία για την περίοδο 2001-2017

Αν και τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών εξακολουθούν να τα καταστούν θελκτικά, η πτώση αυτή οδηγεί, κυρίως από το 2012 και μετά, ολοένα και περισσότερες κοινότητες σε επενδύσεις σε αιολικά και στη βιομάζα (Debor, 2014).

2.2.2.2 Η πρωτοβουλία του REScoop.EU και καλές πρακτικές

Το REScoop.EU αποτελεί μια μη-κερδοσκοπική Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία η οποία έχει ως σκοπό να ενώσει ενεργειακές κοινότητες και συνεταιρισμούς που δραστηριοποιούνται στους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας. Ιδρύθηκε το 2013 στο Βέλγιο και βασικός στόχος αποτελεί η διεύρυνση της κοινωνικής αποδοχής των ανανεώσιμων πηγών έτσι ώστε η ενεργειακή μετάβαση να πραγματοποιηθεί με τη συμμετοχή των πολιτών τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην αποδοτικότερη διαχείριση της.

Η κεντρική ιδέα συνίσταται στο ότι η πρόσβαση στην ενέργεια αποτελεί βασικό δικαίωμα, την στιγμή μάλιστα που η μελέτη insight_e για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2015 έδειξε ότι περίπου 54 εκατομμύρια ευρωπαίοι πολίτες αδυνατούσαν το 2012 να διατηρήσουν τα νοικοκυριά τους σε επαρκή θερμοκρασία. Μέσα από αυτό το δικαίωμα ωστόσο πηγάζει και η ευθύνη συμμετοχής των πολιτών σε ένα νέο μοντέλο οργάνωσης της αγοράς στο οποίο ο καθένας θα έχει τη δυνατότητα να παράγει και να καταναλώνει την δική του ενέργεια.

Ένας βασικός πυλώνας αυτής της προσέγγισης είναι η αποκεντρωμένη παραγωγή. Οι Sims et al. (2007) τόνισαν ότι τέτοιου είδους συστήματα βασισμένα σε ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζουν πολλαπλά οφέλη πέρα από τις αναμενόμενες μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα σημαντική κρίνεται η μείωση του κόστους μεταφοράς της ενέργειας τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο ελαχιστοποίησης των απωλειών ισχύος από τις μεγάλες μήκους γραμμές μεταφοράς. Η αποκέντρωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τις ενεργειακές κοινότητες οι οποίες θα έχουν την

δυνατότητα να παράγουν ενέργεια και να τροφοδοτούν φορτία τα οποία θα βρίσκονται κοντά στις περιοχές εντός των οποίων δραστηριοποιούνται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εταιρία περιορισμένης ευθύνης Stadtwerke München, ιδιοκτήτης της οποίας είναι η πόλη του Μονάχου, η οποία παρέχει υπηρεσίες κοινής ωφελείας σε πάνω από 750,000 νοικοκυριά στην πόλη ενώ με βάση την αναφορά του 2018 στόχος είναι μέχρι το 2025 να μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες της πόλης μέσω πράσινης ενέργειας.

Σημαντική έννοια με βάση το όραμα του REScoop επίσης αποτελεί η ενεργειακή δημοκρατία. Στόχος είναι ένα μοντέλο το οποίο θα διοικείται από τα κάτω προς τα πάνω (bottom-up) όπου μέσα από τις κοινότητες το κάθε άτομο θα έχει ίσο λόγο στην παραγωγή, η οποία θα βρίσκεται στα χέρια των πολιτών, αλλά και στην κατανάλωση της ενέργειας. Κάτι τέτοιο θα οδηγήσει στην δημιουργία προστιθέμενης αξίας καθώς δημόσια αγαθά όπως ο άνεμος και ο ήλιος θα παραμένουν και θα χρησιμοποιούνται εντός των κοινωνιών δραστηριοποίησης των κοινοτήτων. Συγκεκριμένα, η πόλη Eeklo του Βελγίου συνεργάστηκε με την βελγική κοινότητα Ecorower η οποία συμμετέχει ενεργά στο REScoop με σκοπό την εγκατάσταση αιολικών τουρμπινών που καλύπτουν τις ηλεκτρικές ανάγκες τουλάχιστον 6,000 νοικοκυριών. Μάλιστα ο δήμος επεδίωξε την ευρεία συμμετοχή του κόσμου στο project δίνοντας την δυνατότητα στους πολίτες να αποτελούν συνιδιοκτήτες στις εγκαταστάσεις. Μέσα από αυτή τη συνεργασία μάλιστα δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις για την ανάπτυξη των υποδομών του δήμου όπως η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών σε δημόσια κτήρια και η δημιουργία σταθμών συμπαραγωγής αλλά και ανάκτησης θερμικής ενέργειας από τον εξερισμό κτηρίων.

Ιδιαίτερα καινοτομική δραστηριότητα σε αυτόν τον τομέα παρουσιάζει και η Δανία. Με βάση στοιχεία του υπουργείου ενέργειας της χώρας η αιολική ενέργεια αποτέλεσε το 43.4% της συνολικής παραγωγής για το 2017. Ταυτόχρονα οι συνολικές προσπάθειες της Δανίας στην κατεύθυνση της αποδοτικότητας και των κλιματικών αλλαγών οδήγησαν την IEA να επαινέσει αυτές τις δραστηριότητες σε έκθεση της το 2017. Τα αποτελέσματα αυτά είναι προϊόντα πρωτοβουλιών αρκετών χρόνων καθώς οι κυβερνήσεις της χώρας ξεκίνησαν να προωθούν αλλαγές ήδη από το 1979 μέσω επιδοτήσεων για δράσεις βασισμένες στις ανανεώσιμες πηγές οι οποίες άγγιζαν το 30% του συνολικού κόστους, με ταυτόχρονη φορολόγηση των συμβατικών καυσίμων που απέφεραν περίπου \$25 δις από το 1980 έως το 2005 (Sovacool, 2013).

Αποτέλεσμα τέτοιων νομοθετικών πρωτοβουλιών υπήρξε το αιολικό πάρκο του Middelgrunden το οποίο είναι ένα παράκτιο πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 40MW απέναντι από το λιμάνι της Κοπεγχάγης. Ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης εγκατάστασης αποτελεί το γεγονός ότι από τις 20 τουρμπίνες, οι 10 αποτελούν ιδιοκτησία της Middelgrunden Wind Turbine Cooperative. Η κοινότητα ιδρύθηκε το 1997, αποτελεί μέλος του REScoop και με βάση τον Larsen et al. (2005) διέθετε τουλάχιστον 8,500 μέλη τα οποία μέσω μετοχών είχαν ποσοστό επί της παραγόμενης ενέργειας. Μάλιστα η κοινότητα έχει τη δυνατότητα να αποδώσει μερίσματα στους μετόχους ανάλογα με τις ανάγκες χρηματοδότησης για επανεπένδυση ή επισκευές. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί ότι αυτή τη στιγμή είναι δυνατή η αγορά μετοχών και σε άτομα τα οποία βρίσκονται εκτός Δανίας αν και η μεγάλη πλειοψηφία παραμένει στην τοπική κοινωνία.

Παρακάτω δίνεται η αεροφωτογραφία της παράκτιας περιοχής της Κοπεγχάγης όπου είναι εμφανής η συστοιχία των 20 τουρμπινών.

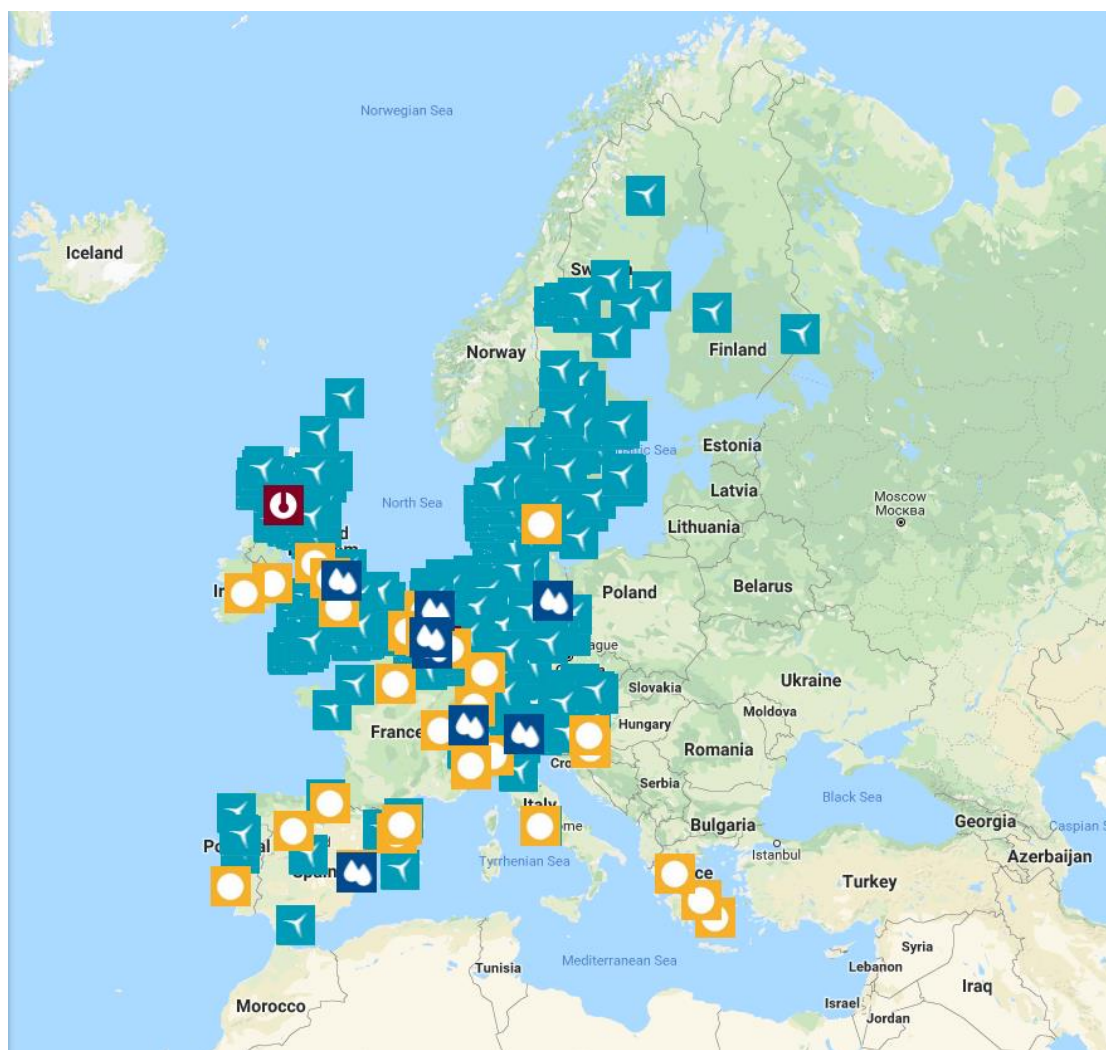


Σχήμα 2.4: Αεροφωτογραφία της Κοπεγχάγης πάνω από το πάρκο του Middelgrunden και πλάνο από τις τουρμπίνες.

Πηγή: Αεροφωτογραφία από τον δορυφόρο των Χαρτών της Google και φωτογραφία από Larsen et al. (2005)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω φωτογραφία το πάρκο βρίσκεται αρκετά κοντά στην πόλη ωστόσο η τοπική κοινωνία δεν ενοχλήθηκε αλλά αντίθετα συμμετείχε μαζικά στην κοινότητα. Μάλιστα με βάση τους Larsen (2006) και Soerensen (2008) σε δημοσκόπηση της Sonar το 2001 το 68% ήταν θετικό απέναντι στην αύξηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας, ενώ αντίστοιχα σε δημοσκόπηση της AC Nielsen το 2006 το 71% διαφώνησε με την πρόταση ότι «πρέπει να ανεγερθούν περισσότερες αιολικές τουρμπίνες, αλλά όχι στην τοπική τους περιοχή».

Τα παραπάνω ποσοστά είναι ενδεικτικά για την θετική προδιάθεση της κοινωνίας απέναντι σε έργα που προωθούν την πράσινη ανάπτυξη σεβόμενα το περιβάλλον. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι στην πρωτοβουλία του RESCoop συμμετέχουν περισσότερες από 1,500 κοινότητες οι οποίες διαμορφώνουν ένα δίκτυο τουλάχιστον 1,000,000 πολιτών που συμμετέχουν ενεργά. Ο παρακάτω χάρτης συγκεντρώνει τις κοινότητες οι οποίες είναι εγγεγραμμένες στο RESCoop.



Σχήμα 2.5: Ευρωπαϊκός Χάρτης με τις κοινότητες που συμμετέχουν στο REScoop.
(Πηγή: <https://www.rescoop.eu/community-energy-map>)

Διευκρινίζεται ότι η χρωματική διαφοροποίηση δεν αφορά τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες καθώς πολλές κοινότητες συμμετέχουν με πολλαπλά έργα, αλλά αφορά τον τρόπο συμμετοχής στο REScoop είτε ως πλήρη μέλη με δικαίωμα ψήφου (γαλάζιο) είτε ως συνεργαζόμενα (κόκκινο), ανεξάρτητα μέλη (κίτρινο) και ομοσπονδίες (μπλε).

Από το χάρτη είναι εμφανής η ενεργή συμμετοχή στις χώρες της βορειοδυτικής σε αντίθεση με την ανατολική Ευρώπη. Με βάση την μελέτη της WECF (2017) σε έρευνα στις ανατολικές χώρες της Ουκρανίας, Αρμενίας, Μολδαβίας και Λευκορωσίας αλλά και τις χώρες των δυτικών Βαλκανίων της Βοσνίας και Ερζεγοβίνης, Κροατίας και Σερβίας η συμμετοχή του κόσμου είναι ελάχιστη πέρα από κάποιες μικρές πρωτοβουλίες καθώς οι υπάρχουσες δομές ιδίως στα μετα-σοβιετικά κράτη χαρακτηρίζονται από ισχυρά μονοπώλια.

2.2.3 Το Ελληνικό Πλαίσιο

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηριζόταν έντονα από την ισχυρή παρουσία του μονοπωλίου της ΔΕΗ παρόλο που ήδη από το 1999 μέσω του Ν. 2773/1999 επιχειρήθηκε μια πρώτη απελευθέρωση. Συγκεκριμένα στο άρθρο 4 του παρόντος νόμου συστάθηκε η ανεξάρτητη ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και μέσω των άρθρων 9 και 24 δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής και προμήθειας σε πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα κατόπιν άδειας η οποία χορηγούταν από τη ΡΑΕ.

Ένας από τους λόγους ωστόσο που πρόοδος στην απελευθέρωση της αγοράς άρχισε να γίνεται μόλις τα τελευταία χρόνια ήταν η προνομιακή πρόσβαση της ΔΕΗ σε λιγνίτη όπως διαπιστώνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο δελτίο τύπου IP/08/386 τον Μάρτιο του 2008. Η ελληνική κυβέρνηση τον Ιανουάριο του 2018 προέβη σε προτάσεις διορθωτικών μέτρων που θα εξαλείψουν αυτά τα προνόμια μέσω της πώλησης λιγνιτικών μονάδων. Οι δοκιμές της επιτροπής έδειξαν ότι τα μέτρα αυτά επαρκούν όπως διαπιστώνεται στο δελτίο τύπου IP/18/3401 τον Απρίλιο του 2018. Οι προτάσεις αυτές έλαβαν νομική ισχύ με το Ν.4533/2018 (ΦΕΚ Α 75/27.04.2018) ο οποίος προέβλεπε την αποεπένδυση δύο λιγνιτικών μονάδων αλλά και την παραχώρηση των δικαιωμάτων έρευνας και εξόρυξης λιγνίτη. Τελικός στόχος όπως αυτός ορίζεται από τον Ν. 4336/2015 (ΦΕΚ Α 94/14.08.2015) στο β' μέρος/άρθρο 2/υποπαράγραφος β.2/ παράγραφος 1 είναι καμία επιχείρηση που δραστηριοποιείται στο δίκτυο της χώρας να μην παράγει ή εισάγει ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που ξεπερνά το 50%.

Όπως έχουμε ήδη κατανοήσει οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να βοηθήσουν στο περαιτέρω άνοιγμα της αγοράς επιτρέποντας και σε πολίτες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Στην Ελλάδα η πρώτη προσπάθεια νομικής θεσμοθέτησης της λειτουργίας των ενεργειακών κοινοτήτων πραγματοποιήθηκε μέσω του Ν. 4513/2018 (ΦΕΚ Α 9/23.01.2018) με σημαντική καθυστέρηση συγκριτικά με άλλες χώρες της ΕΕ. Μάλιστα ο νόμος συνοδεύεται τόσο από αιτιολογική έκθεση όσο και από συμπληρωματικό έγγραφο τα οποία έχουν ως στόχο να προωθήσουν και να ενθαρρύνουν την δημιουργία ενεργειακών κοινοτήτων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην πράσινη μετάβαση μέσω της ενεργειακής δημοκρατίας, της τοπικότητας αλλά και των συμπράξεων.

Με βάση το άρθρο 1 του παραπάνω νόμου οι ενεργειακές κοινότητες αποτελούν αστικούς συνεταιρισμούς οι οποίοι δραστηριοποιούνται στον ενεργειακό τομέα. Εδώ είναι απαραίτητο να διευκρινίσουμε ότι με βάση τον Ν. 1667/1986 (ΦΕΚ Α 196/6.12.1986) ως αστικός συνεταιρισμός ορίζεται η εκούσια ένωση προσώπων με οικονομικό σκοπό ο οποίος αποβλέπει στην οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη των μελών του. Η έμφαση που δίνεται στον οικονομικό ρόλο του αστικού συνεταιρισμού δεν συνάδει πλήρως με το γεγονός ότι, όπως έχουμε εξηγήσει, μια κοινότητα δεν δίνει προτεραιότητα στο οικονομικό σκέλος διότι δεν έχει ως σκοπό τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Η αντιστοιχία λοιπόν της διεθνούς ορολογίας «cooperative» μπορεί να ερμηνευθεί αρκετά ικανοποιητικά ως «συνεταιρισμός», ωστόσο χρειάζεται προσοχή όταν προσπαθούμε να κατηγοριοποιήσουμε ειδικές μορφές συνεταιρισμών όπως οι ενεργειακές κοινότητες, οι οποίες μπορεί να διαφοροποιούνται ελάχιστα από την ευρύτερη απόδοση τους ως αστικοί συνεταιρισμοί.

Με βάση το άρθρο 2 δικαίωμα συμμετοχής σε μια ενεργειακή κοινότητα έχουν τόσο φυσικά πρόσωπα, νομικά πρόσωπα δημοσίου και ιδιωτικού δικαίου αλλά και οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ). Μέσω αυτού του πλαισίου δίνεται η δυνατότητα και στους δήμους να συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας. Ταυτόχρονα με βάση το άρθρο 6 στις παραγράφους 1, 2 ορίζεται ότι τυχόν πλεονάσματα χρήσης διατηρούνται στην κοινότητα ως αποθεματικό και δεν διατίθενται στα μέλη, ειδικά όμως για τις περιπτώσεις που συμμετέχει ΟΤΑ στην κοινότητα στην παράγραφο 3 ορίζεται η δυνατότητα διάθεσης μέρους των κερδών για δράσεις κοινής ωφελείας τοπικού χαρακτήρα. Έτσι οι δήμοι έχουν την δυνατότητα μέσα από αυτά τα κέρδη να ασκήσουν κοινωνική πολιτική προς όφελος των αδύναμων στρωμάτων.

Μάλιστα με υπουργική απόφαση στις 28 Μαρτίου 2019 θεσμοθετήθηκε ο ενεργειακός διαμοιρασμός ενέργειας για Ενεργειακές Κοινότητες και φτωχά νοικοκυριά ο οποίος δίνει την δυνατότητα επιμερισμού της παραγόμενης ενέργειας στα μέλη της κοινότητας.

Τέλος, η παράγραφος 4 του ίδιου άρθρου δίνει την δυνατότητα διαμόρφωσης κοινοτήτων κερδοσκοπικού χαρακτήρα.

Με βάση το άρθρο 4 ορίζονται και οι βασικές δραστηριότητες που μπορεί να έχει μια ενεργειακή κοινότητα. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Παραγωγή, αποθήκευση, ιδιοκατανάλωση ή πώληση ηλεκτρικής ή θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.
- Παραγωγή, Διανομή και προμήθεια θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας
- Προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας ή φυσικού αερίου προς Τελικούς Πελάτες
- Διαχείριση πρώτης ύλης για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ή βιορευστά ή βιοαέριο
- Προμήθεια για τα μέλη της ενεργειακών προϊόντων με στόχο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, ηλεκτροκίνητων οχημάτων και οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων.
- Ανάπτυξη, διαχείριση και εκμετάλλευση υποδομών εναλλακτικών καυσίμων και οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων
- Εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης νερού με χρήση ΑΠΕ εντός της περιφέρειας που βρίσκεται η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας.

Όπως διαπιστώσαμε και στην πράξη από την περίπτωση της Γερμανίας τον κύριο ρόλο στις δραστηριότητες έχει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ ενεργειακές κοινότητες που θα βασίζονται τη δραστηριότητα τους στην εξοικονόμηση ενέργειας μπορούν να υπάρξουν μέσω της προμήθειας προϊόντων ή την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών και την παροχή συμβουλών.

Συγκεκριμένα η ενεργειακή κοινότητα Electra Energy Cooperative που εδρεύει στην Αθήνα παρέχει λύσεις αναφορικά με την κατανάλωση και την εξοικονόμηση ενέργειας παρακολουθώντας και αναλύοντας στοιχεία από λογαριασμούς. Ταυτόχρονα μπορεί να προτείνει και να σχεδιάσει δράσεις σχετικά με την τοπική εγκατάσταση φωτοβολταϊκών. Μάλιστα υπό κατασκευή βρίσκεται ένα project που αφορά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε σχολείο της Ηλιούπολης.

Μια άλλη κοινότητα που εμφανίζεται στο χάρτη του REScoop είναι η Sifnos Island Cooperative η οποία αποτελεί έναν αστικό συνεταιρισμό στη Σίφνο που ιδρύθηκε το 2013 στον οποίο με μια οικονομική συμμετοχή μπορούν να εγγραφούν όλα τα μέλη της τοπικής κοινωνίας. Το βασικό σχέδιο που επεξεργάζεται η κοινότητα αφορά την ενεργειακή αυτονομία του νησιού μέσω ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής ο οποίος θα αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο και έναν σταθμό άντλησης-αποθήκευσης (pumped-storage) ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένο ότι ο σταθμός θα βρίσκεται στην ιδιοκτησία της κοινότητας, τα οικονομικά οφέλη θα αφορούν τα μέλη της ενώ οι αποφάσεις θα λαμβάνονται από κοινού συμβάλλοντας στην προώθηση της ενεργειακής δημοκρατίας, όπως στοχεύουν ευρύτερα οι ενεργειακές κοινότητες.

Τέλος στην περιοχή της Καρδίτσας δραστηριοποιείται από το 2010 η Ενεργειακή Συνεταιριστική Εταιρία Καρδίτσας η οποία και αυτή αποτελεί αστικό συνεταιρισμό με κύρια έμφαση την παραγωγή, τη διαχείριση, την επεξεργασία και τη διάθεση βιομάζας ή και βιοκαυσίμων, ενώ εν δυνάμει μπορεί να αξιοποιήσει και άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών.

Παρατηρούμε ότι η έλλειψη νομικού πλαισίου για τις ενεργειακές κοινότητες οδήγησε τις αρχικές πρωτοβουλίες να λειτουργήσουν υπό το πλαίσιο των αστικών συνεταιρισμών. Έτσι ο αριθμός ενεργειακών κοινοτήτων που δραστηριοποιούνται είναι περιορισμένος όπως και οι δραστηριότητες των υφιστάμενων. Εκτιμούμε ωστόσο πως με τις νομοθετικές ρυθμίσεις που πλέον τέθηκαν σε ισχύ αλλά και το ταυτόχρονο αυξανόμενο ενδιαφέρον στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα αναδυθούν περισσότερες πρωτοβουλίες που θα εκμεταλλευτούν την ανάγκη για τοπική παραγωγή ενέργειας.

2.3 Συνδυαστική προσέγγιση

Μέχρι τώρα αναλύσαμε την δομή των ενεργειακών κοινοτήτων ως προς της οργάνωση και τον τρόπο λειτουργίας τους. Η επιτυχία τους ωστόσο ως μοντέλο έγκειται στην ευελιξία τους η οποία πηγάζει από το γεγονός ότι μπορούν να συνδυάσουν και να εκμεταλλευτούν υπάρχουσες μεθόδους όπως ο ενεργειακός συμψηφισμός και η έννοια του παραγωγού-καταναλωτή.

2.3.1 Ενεργειακός Συμψηφισμός

Ο ενεργειακός συμψηφισμός (net-metering) αφορά τους καταναλωτές οι οποίοι ταυτόχρονα είναι και παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι σύνηθες λόγω της ευκολίας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών μικρής κλίμακας σε οροφές ένας καταναλωτής να διαθέτει κάποια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω του συμψηφισμού δίνεται η δυνατότητα ροής ενέργειας όχι μόνο από το δίκτυο προς τον τελικό χρήστη αλλά και το αντίστροφο. Έτσι ο καταναλωτής μπορεί να επιλέξει να ιδιοκαταναλώσει την ενέργεια που παράγει και στη συνέχεια είτε να διαθέσει σε συγκεκριμένη τιμή το πλεόνασμα ενέργειας, είτε αν η διαθέσιμη ενέργεια δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του, να χρεωθεί μόνο την διαφορά που ζητά από το δίκτυο. Εναλλακτικά μπορεί να πουλάει το σύνολο της ενέργειας που παράγει και να λαμβάνει το οικονομικό αντίτιμο και στη συνέχεια να χρεώνεται ξεχωριστά την ατομική του κατανάλωση.

Στο κλασικό net-metering η εγκατάσταση παραγωγής και κατανάλωσης πρέπει να βρίσκονται στον ίδιο χώρο και να συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως στον αντιστροφέα του φωτοβολταϊκού, προκειμένου να μπορεί να υπάρχει διπλή ροή ενέργειας και να γίνονται οι αναγκαίοι υπολογισμοί. Για να αρθεί αυτός ο περιορισμός εισάγεται η επέκταση του ενεργειακού συμψηφισμού, ο ψηφιακός ενεργειακός συμψηφισμός (virtual net-metering). Μέσω αυτού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εξισώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με έναν σταθμό ο οποίος δεν βρίσκεται στην ίδια εγκατάσταση με την κατανάλωση.

Στην Ελλάδα το πλαίσιο λειτουργίας των συμψηφισμών καθορίζεται από την υπουργική απόφαση ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ 1547B/5.5.2017) επικαιροποιώντας τον Ν. 3468/2006 (ΦΕΚ Α 129/27.06.2006) στην οποία ορίζονται οι συμβάσεις που υπογράφουν ο προμηθευτής και ο αυτοπαραγωγός για την εκκίνηση της παραγωγής. Με βάση το άρθρο 4 καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο αποζημιώνεται ο παραγωγός. Η εκκαθάριση πραγματοποιείται στους λογαριασμούς που εκδίδει ο εκάστοτε προμηθευτής. Αν από τον συμψηφισμό προκύπτει πλεόνασμα εγχυθείσας ενέργειας αυτό μεταφέρεται στον επόμενο λογαριασμό, μια διαδικασία ωστόσο που πραγματοποιείται σε βάθος τριετίας όπου πραγματοποιείται συνολική εκκαθάριση και υπάρχοντα πλεονάσματα μπορεί να χαθούν. Το ίδιο άρθρο αναφορικά με τον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό διακρίνει δύο περιπτώσεις με βάση το αν υπάρχει κατανάλωση στον σταθμό παραγωγής πέραν της απομακρυσμένης. Η συγκεκριμένη ρύθμιση δίνει την δυνατότητα σε κάποιον να τοποθετήσει φωτοβολταϊκά σε μια επαρχιακή κατοικία όπου υπάρχει ο χώρος και η δυνατότητα και μέσω αυτής της εγκατάστασης να συμψηφίζεται τόσο η κατανάλωση της όσο και η κατανάλωση στην κύρια κατοικία που πιθανώς βρίσκεται σε κέντρο πόλης και δεν υπάρχει η δυνατότητα

τοποθέτησης. Πρέπει να διευκρινιστεί ωστόσο ότι με βάση το άρθρο 1 παράγραφος 2β οι εγκαταστάσεις παραγωγής και κατανάλωσης πρέπει να βρίσκονται στην ίδια περιφερειακή ενότητα.

Πέραν των βασικών αρχών λειτουργίας ανάλογα με το νομικό πλαίσιο κάθε χώρας παρουσιάζονται διαφορές σε τεχνικό επίπεδο. Για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με βάση μελέτη χρηματοδοτούμενη από το αντίστοιχο υπουργείο ενέργειας, ο εικονικός συμψηφισμός ταιριάζει λειτουργικά με τον ομαδικό λογαριασμό (group billing). Σε αυτή την περίπτωση έχουμε έναν ομαδικό λογαριασμό που εκδίδεται από τον προμηθευτή και αφορά την συνολική κατανάλωση μιας ομάδας συμμετεχόντων η οποία μπορεί να συμψηφισθεί με την παραγωγή ενός κοινού σταθμού ΑΠΕ. Αν προκύπτει ανάγκη επιπλέον χρέωσης αυτή μοιράζεται εσωτερικά στα μέλη με βάση κάποια συμφωνία όπως για παράδειγμα υπάρχει ο λογαριασμός κοινοχρήστων στην Ελλάδα.

Μέσα από την παραπάνω ανάλυση και ειδικά από την τελευταία περίπτωση του group billing διαπιστώνουμε τη σύνδεση που μπορεί να γίνει ανάμεσα στις ενεργειακές κοινότητες και το net metering. Μία κοινότητα μπορεί να εκμεταλλευτεί κάποια μορφή συμψηφισμού προκειμένου να αντλεί κέρδη μέσα από την παραγωγή της, αλλά το ίδιο μπορεί να κάνει και ένας προμηθευτής προκειμένου να ενθαρρύνει τους πελάτες του να συμμετέχουν σε διαδικασίες πράσινης μετάβασης. Ως εκ τούτου είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ενδιαφέρουσες δομές συνιδιοκτησίας ηλιακής ενέργειας εντός διαφορετικών κοινοτήτων.

Συγκεκριμένα στην Τουσόν της Αριζόνα στις ΗΠΑ ο τοπικός προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε το 2011 ένα πρόγραμμα όπου έδινε στους καταναλωτές την δυνατότητα να αγοράσουν πακέτα ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα προκειμένου να συμψηφίσουν τις ανάγκες τους. Μέσω αυτού δόθηκε η ευκαιρία συμμετοχής σε όσους δεν ήταν εφικτό να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκά σε στέγη, κυρίως στα διαμερίσματα, αλλά παρόλα αυτά ήθελαν να έχουν ενεργό ρόλο σε παρόμοιες πρωτοβουλίες. Το πλεονέκτημα που αποκόμιζε κάποιος από το να αγοράσει τέτοια πακέτα σε αντίθεση με το να πληρώσει απευθείας την καταναλισκόμενη ενέργειά του συμβατικά είχε να κάνει με εκπτώσεις στις επιπλέον χρεώσεις του λογαριασμού όπως αυτή των ανανεώσιμων πηγών, ενώ ταυτόχρονα έχει μακροπρόθεσμη ασφάλεια έναντι της αύξησης του κόστους της ενέργειας αφού η τιμή των πακέτων διαμορφώνεται σταθερά σε βάθος χρόνου. Ήδη από την πρώτη χρονιά η συμμετοχή ανήλθε σε παραπάνω από 500 πελάτες οι οποίοι μέχρι το 2014 έφτασαν τους 1200 αντιπροσωπεύοντας μια κατανάλωση της τάξης των 3,300 MWh.

Από την άλλη πλευρά ένα πολύ ενδιαφέρον παράδειγμα προκύπτει από το Colorado των ΗΠΑ. Εκεί από το 2010 λειτουργεί η εταιρεία ειδικού σκοπού Clean Energy Collective η οποία προωθεί εγκαταστάσεις βασισμένες στις τοπικές κοινότητες. Μέσα από τέτοιες εγκαταστάσεις δίνει την ευκαιρία σε μεμονωμένα πρόσωπα ή εταιρίες να επενδύσουν στην ηλιακή ενέργεια ακόμα και αν χωροταξικά δεν μπορούν να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκό στη στέγη τους, ενώ μάλιστα διευκολύνει τον επενδυτή αναφορικά με τα κόστη συντήρησης τα οποία αναλαμβάνει η εταιρεία. Οι ιδιοκτήτες αμείβονται διαμέσου της εταιρείας από την πώληση της ενέργειας στο δίκτυο. Μέσα από διάφορα projects αυτή τη στιγμή το δυναμικό της CEC ανέρχεται σε 80MW εγκατεστημένης ισχύος σε 16 πολιτείες των ΗΠΑ.

Σε αντίθεση με το παράδειγμα της Τουσόν όπου αναφερθήκαμε σε μια πρωτοβουλία ενός προμηθευτή, στην περίπτωση της CEC έχουμε ένα πετυχημένο επιχειρηματικό μοντέλο μιας εταιρείας περιορισμένης ευθύνης το οποίο έρχεται σε αντιστοιχία με το σχήμα που επιλέγεται συνήθως και από τις ενεργειακές κοινότητες κερδοσκοπικού χαρακτήρα.

Από την άλλη πλευρά οι οντότητες μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα παρουσιάζουν ένα επιπλέον πλεονέκτημα το οποίο διευκολύνει την συγκέντρωση ενός αρχικού κεφαλαίου. Αυτό αφορά τις απαλλαγές από φόρο σε περίπτωση που κάποιος πραγματοποιήσει δωρεά σε μια τέτοια πρωτοβουλία. Έτσι εκτός από τους ενεργητικούς επενδυτές που συμμετέχουν άμεσα, έχουμε και τους παθητικούς που αντλούν κέρδη από τη φορολογία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός Community Energy Solutions ο οποίος συγκέντρωσε 30,000\$ από δωρεές και 25,000\$ από προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών ισχύος 5.1kW σε γυμνάσιο στην Ουάσιγκτον.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η ύπαρξη σαφούς νομικού πλαισίου με έμφαση στην παροχή κινήτρων για συμμετοχή σε δράσεις συμψηφισμού, όπως στις ΗΠΑ, οδηγεί στη δημιουργία καινοτόμων μηχανισμών και επιχειρηματικών μοντέλων ικανά όχι μόνο να είναι βιώσιμα αλλά και να παράγουν κέρδος για τα εμπλεκόμενα μέλη. Η καινοτομία μάλιστα έγκειται στο γεγονός ότι τα νέα αυτά μοντέλα οργάνωσης έχουν την δυναμική να εμπλέξουν και διαφορετικές μεθοδολογίες μεταξύ τους, δηλαδή στην περίπτωση μας τις ενεργειακές κοινότητες.

2.3.2 Παραγωγός- Καταναλωτής

Τόσο η ανάλυση των ενεργειακών κοινοτήτων όσο και του συμψηφισμού ενσωματώνουν μια έννοια θεμελιωδώς σημαντική για την δημιουργία και την βιωσιμότητα οποιουδήποτε μοντέλου που προσπαθεί να εμπλέξει το άτομο στην οργάνωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή του παραγωγού- καταναλωτή ή prosumer.

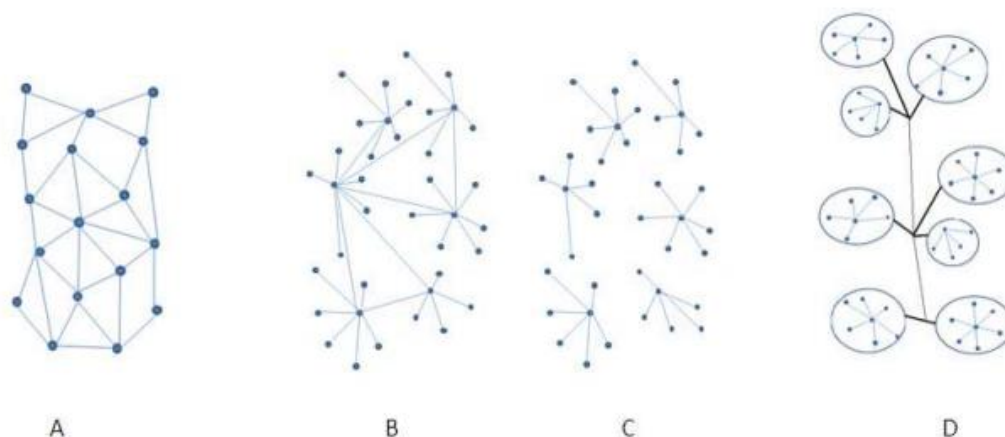
Με βάση την Richey (2013) η πρώτη εμφάνιση του όρου prosumer, δηλαδή ένας συνδυασμός παραγωγού και καταναλωτή, αποδίδεται στον Alvin Toffler (1980) βασιζόμενος στην αρχική ιδέα των McLuhan και Nevitt (1972) με βάση τους οποίους η πρόοδος της τεχνολογίας γύρω από τον ηλεκτρισμό θα επιτρέψει στους καταναλωτές να γίνουν και παραγωγοί.

Όπως είδαμε στον ενεργειακό συμψηφισμό η ευκολία τοποθέτησης φωτοβολταϊκών μπορεί πολύ εύκολα να οδηγήσει έναν καταναλωτή στο να αρχίσει να παράγει μέρος της ηλεκτρικής του ενέργειας. Η τεχνολογική εξέλιξη ωστόσο μπορεί να αναπτύξει ακόμα περισσότερο την απλή εκδοχή του prosuming όπου ένας καταναλωτής μπορεί και να παράγει ενέργεια. Συγκεκριμένα η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων με έμφαση στην βελτίωση των συστημάτων αποθήκευσης και μπαταριών μπορεί να βοηθήσει έναν prosumer ώστε να βελτιώσει και τον τρόπο που καταναλώνει, συνεισφέροντας στο δίκτυο όταν απαιτείται είτε ως καταναλωτής όταν υπάρχει χαμηλή ζήτηση, είτε ως παραγωγός στην αντίθετη περίπτωση. Επομένως στην σύγχρονη εποχή ο prosumer όχι μόνο καταναλώνει και παράγει αλλά αποθηκεύει ενέργεια, μπορεί να

πραγματοποιήσει διαχείριση ενός δικτύου αλλά και λαμβάνει αποφάσεις για την μέγιστη οικονομική λειτουργία (Grijalva et al., 2012).

Από την παραπάνω ανάλυση καταλαβαίνουμε την σημασία της έννοιας του prosumer σε ένα νέο μοντέλο ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μέσα από αυτήν κάθε άτομο που συμμετέχει μπορεί να συμβάλλει ενεργητικά στην αποδοτικότητα του αποκεντρωμένου συστήματος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διαφορετικές τοπολογίες που μπορούν να αναπτυχθούν όπως αποτυπώνονται από τους Parag και Sovacool (2016) παρακάτω:



Σχήμα 2.6: Τοπολογίες οργάνωσης των παραγωγών καταναλωτών

Στο παραπάνω σχήμα με τελεία αναπαρίστανται οι prosumers, με γραμμές οι αντίστοιχες ενώσεις ενώ με κύκλο έχουμε ομάδες από prosumers.

Στο σχήμα A διακρίνουμε ένα peer-to-peer δίκτυο με ελάχιστα στοιχεία αυστηρής οργάνωσης όπου θεωρητικά όλοι είναι συνδεδεμένοι με όλους. Ένα τέτοιο μοντέλο παρουσιάζει μεγάλη ελευθερία όσον αφορά την ανταλλαγή ενέργειας καθώς ο καθένας έχει την δυνατότητα να διαλέγει ανά πάσα στιγμή από που θα καταναλώσει ή θα πουλήσει και με ποια τιμή. Η συγκεκριμένη τοπολογία αποτελεί το μεγαλύτερο δείγμα αυτόνομης και αποκεντρωμένης παραγωγής που ενσωματώνει πλήρως την λογική της παραγωγής από τα κάτω προς τα πάνω, αποτελώντας το ακριβώς αντίθετο των σημερινών κεντρικών συστημάτων. Αυτός είναι και ο λόγος που στην παρούσα φάση εξέλιξης τους συστήματος εντοπίζονται λιγότερο, καθώς απέχουν την μεγαλύτερη απόσταση από τα σημερινά δεδομένα, ενώ ταυτόχρονα για να λειτουργήσουν απαιτούν σημαντικές ρυθμίσεις που θα εξασφαλίζουν την ομαλότητα.

Προκειμένου να γεφυρωθεί αυτό το χάσμα διακρίνουμε τις ενδιάμεσες καταστάσεις όπου οι prosumers δημιουργούν μικρότερα δίκτυα (microgrids) τα οποία μπορούν να συνδεθούν σε ένα ενιαίο δίκτυο, όπως βλέπουμε στο σχήμα B. Εδώ λοιπόν έχουμε μια πιο οργανωμένη τοπολογία η οποία διατηρεί χαρακτηριστικά των τωρινών συστημάτων με κεντρικό την ύπαρξη ενιαίου δικτύου στο οποίο συνδέεται ο κάθε prosumer. Έτσι τα microgrids τα οποία χωρίζονται με γεωγραφικά κριτήρια έχουν την δυνατότητα οργανωμένα σε έναν κεντρικό κόμβο να τροφοδοτούν το δίκτυο. Τα microgrids αυτά μπορούν να λειτουργούν και απομονωμένα όπως στο σχήμα C το οποίο αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις νησιών.

Η περίπτωση του σχήματος D αποτελεί εξέλιξη του σχήματος B, αφού εδώ οι prosumers λειτουργούν σε ομάδες σε αντίθεση με την περίπτωση B όπου ο καθένας διατηρεί την αυτονομία του όντας όμως συνδεδεμένος στο κεντρικό δίκτυο. Η καινοτομία που εισάγει η συγκεκριμένη τοπολογία έχει να κάνει με το γεγονός ότι συνδυάζει τις περιπτώσεις A και B μιας και παρουσιάζει στοιχεία οργάνωσης αλλά όχι τόσο δομημένης όπως στο B ούτε τόσο ασθενούς όσο στην A. Έτσι λοιπόν οι prosumers λειτουργούν ως ομάδα που ενώνεται στο δίκτυο όπου κάθε τέτοια ομάδα θα μπορούσε να αποτελεί μια ενεργειακή κοινότητα με τα μέλη της.

Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία της Πληροφορίας στην Ενέργεια

3.1 Έξυπνες Πόλεις

Έχοντας μελετήσει της ενεργειακές κοινότητες διαπιστώσαμε μια ευθύγραμμη σύνδεση με την έννοια του prosumer. Είδαμε πως η ύπαρξη χρηστών στο δίκτυο που εκτός από καταναλωτές είναι και παραγωγοί, μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες τοπολογίες, τα μικροδίκτυα. Για να λειτουργήσουν ωστόσο τέτοια δίκτυα είναι αναγκαίο να ενσωματωθούν νέες τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορίας (ICT). Ένα τέτοιο βήμα είναι ικανό να μας οδηγήσει σε έξυπνα δίκτυα και έξυπνες πόλεις εντός των οποίων είναι εφικτό να αναπτυχθούν καινοτομικές ιδέες.

Ο όρος έξυπνη πόλη διαχρονικά έχει δεχτεί πολλούς και διαφορετικούς ορισμούς οι οποίοι ποικίλουν ιδίως ως προς τον τρόπο αντίληψης του χαρακτηρισμού «έξυπνη». Ως βάση ωστόσο από τους ορισμούς όπως αποτυπώνονται από τους Albino et al. (2015) μια έξυπνη πόλη θεωρείται ένα αστικό περιβάλλον το οποίο χρησιμοποιεί και εκμεταλλεύεται διαφορετικές μορφές ICT προκειμένου να διαχειριστεί αποδοτικά τους πόρους του.

Εξέχουσα θέση λοιπόν σε ένα τέτοιο περιβάλλον κατέχει η έννοια της πληροφορίας. Μέσα από ειδικές συσκευές υπάρχει η δυνατότητα της παρακολούθησης και της ανάλυσης δεδομένων που αφορούν, ειδικά στην περίπτωση μας, τόσο την παραγωγή όσο και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρακολούθηση αυτή επιτρέπει την στόχευση με συγκεκριμένες δράσεις προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα.

Ειδικά για τον κτιριακό τομέα σημαντικό ρόλο στην αποδοτική λειτουργία παίζει η ενσωμάτωση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (BEMS) τα οποία θα επιτρέπουν στους κατοίκους να έχουν ανά πάσα στιγμή πρόσβαση στις καταναλώσεις τους προκειμένου να παρεμβαίνουν όταν διαπιστώνεται υπερβολική κατανάλωση. Μάλιστα συστήματα τα οποία ενσωματώνουν και τεχνολογίες Internet of Things μπορούν να προσφέρουν ευελιξία και να κινητοποιήσουν τους κατοίκους στο να αλλάξουν την καταναλωτική συμπεριφορά τους. Ένα τέτοιο σύστημα προτάθηκε από τους Marinakis et al.(2018) συμβάλλοντας στο πέρασμα από την κλασική στην ευφυή διαχείριση ενέργειας.

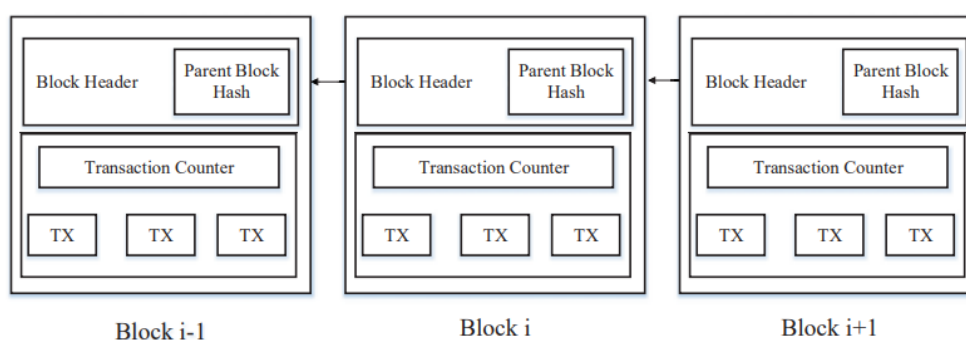
Συνδέοντας με τα παραπάνω την έννοια της ενεργειακής κοινότητας, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων εντός της κοινότητας μπορεί να είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη τόσο για την ίδια αλλά και τα μέλη της. Για παράδειγμα μέσα από τέτοιες καινοτομίες μια κοινότητα μπορεί να παρέχει συμβουλές κατανάλωσης συγκρίνοντας την κατανάλωση ενός νοικοκυριού με άλλα νοικοκυριά παρόμοιου προφίλ. Μάλιστα όπως είδαμε και στο prosuming τα έξυπνα συστήματα μπορούν να διευκολύνουν την κοινότητα ώστε να μπορεί να ρυθμίζει βέλτιστα τα επίπεδα της παραγωγής και την κατανάλωση της.

3.2 Blockchain

3.2.1 Ορισμός και βασικές έννοιες

Μία από τις καινοτόμες τεχνολογίες η οποία απολαμβάνει μεγάλη δημοσιότητα είναι το blockchain. Ήδη από το 2008 που διαμορφώθηκε η αρχική ιδέα το ενδιαφέρον γύρω από τεχνολογίες που στηρίζονται στο blockchain ολοένα και αυξάνεται (Yli-Huumo et al., 2016).

Η τεχνολογία του blockchain αποτελεί μια υπηρεσία επαλήθευσης συναλλαγών. Συγκεκριμένα πρόκειται για μια δημόσια αλυσίδα στην οποία όλες οι συναλλαγές αποθηκεύονται διαδοχικά σε μια λίστα από blocks (Zheng et al., 2017).



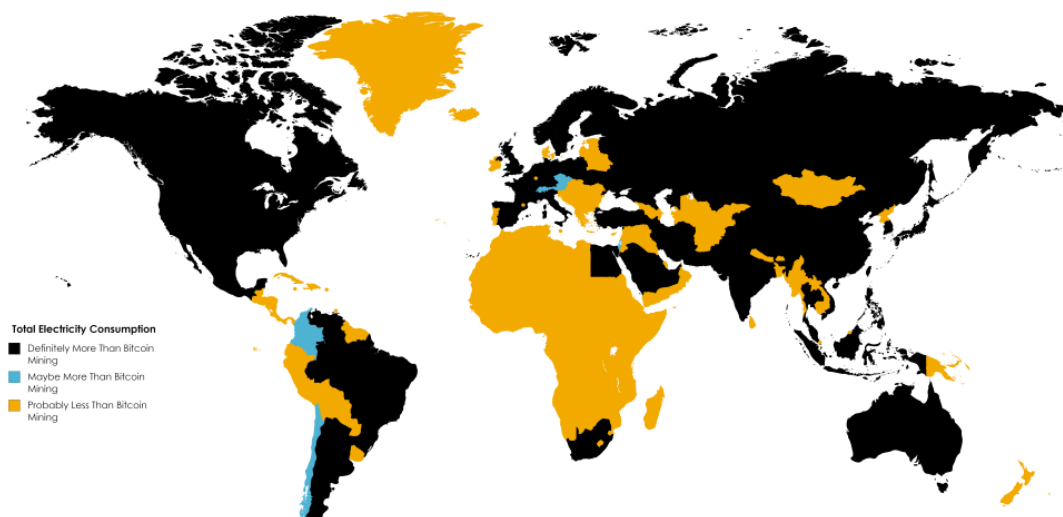
Σχήμα 3.1: Τυπική αρχιτεκτονική των blocks στο blockchain. Πηγή: Zheng et al. (2017)

Αυτή η δημόσια αλυσίδα κατέστησε το blockchain ιδιαίτερα προσφιλές στα κρυπτονομίσματα. Συγκεκριμένα επειδή τα κρυπτονομίσματα δεν ελέγχονται από μια δημόσια αρχή ή ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα, η ύπαρξη ενός αποκεντρωμένου μέσου πιστοποίησης συναλλαγών συνέβαλε στην ίδια την ύπαρξη τους. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος σύνηθες φαινόμενο είναι η ταύτιση του blockchain με τα κρυπτονομίσματα, η οποία ωστόσο είναι εσφαλμένη. Μάλιστα σε άρθρο του CoinDesk, το πρώτο τρίμηνο του 2016 η χρηματοδότηση σε νέες start-ups που βασίζονται σε τεχνολογίες blockchain ήταν μεγαλύτερη από ότι σε αντίστοιχες με κατεύθυνση το bitcoin.

Βασικό πλεονέκτημα του blockchain αποτελεί η ασφάλεια συναλλαγών που παρέχει. Συγκεκριμένα η αλυσίδα είναι αμετάβλητη με αποτέλεσμα αν ένα block δημιουργηθεί και μπει στην σειρά τότε δεν μπορεί να μεταβληθεί ή να διαγραφεί. Ταυτόχρονα και η σειρά των blocks προστατεύεται από τις hash values που δείχνουν πρακτικά το προηγούμενο block με αποτέλεσμα να μην μπορεί να μεταβληθεί η αλληλουχία. Τέλος η πιστοποίηση ενός block γίνεται ταυτόχρονα από πολλά άτομα μειώνοντας τον κίνδυνο εσφαλμένης ή δόλιας συναλλαγής (Stephen et al., 2018).

Για να επιτευχθεί η συναίνεση προκειμένου μια συναλλαγή να πιστοποιηθεί και να τοποθετηθεί στην αλυσίδα υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι. Ο πιο διαδεδομένος είναι ο proof-of-work (PoW). Με βάση τον αλγόριθμο για να γίνει η πιστοποίηση απαιτείται η επίλυση ενός προβλήματος ασύμμετρης κρυπτογραφίας από κάποιον χρήστη. Ωστόσο, όσο ο αριθμός των blocks αυξάνεται τα προβλήματα αυτά γίνονται ολοένα

και πιο πολύπλοκα με αποτέλεσμα η υψηλή υπολογιστική ισχύς που απαιτείται να μετουσιώνεται σε υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Mishra, 2017). Μάλιστα με βάση εκτίμηση του Ιανουαρίου του 2018 η κατανάλωση για την εξόρυξη bitcoin ανέρχεται στις 30 TWh, δηλαδή ένα ποσοστό 0,15% της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης (Doukas & Xidonas, 2018). Το πόσο αυτό παρουσιάζει έντονη μεταβολή και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια. Μια προσπάθεια με χρήση ελαχίστων και μέγιστων τιμών έγινε από το Power Compare στα τέλη του 2018 προκειμένου να παρουσιαστεί ένας χάρτης με τις χώρες που καταναλώνουν λιγότερο από τη συνολική κατανάλωση για το bitcoin (κίτρινο χρώμα).



Σχήμα 3.2: Χώρες με κατανάλωση λιγότερη από το bitcoin. Πηγή: <https://powercompare.co.uk/bitcoin-mining-electricity-map/>

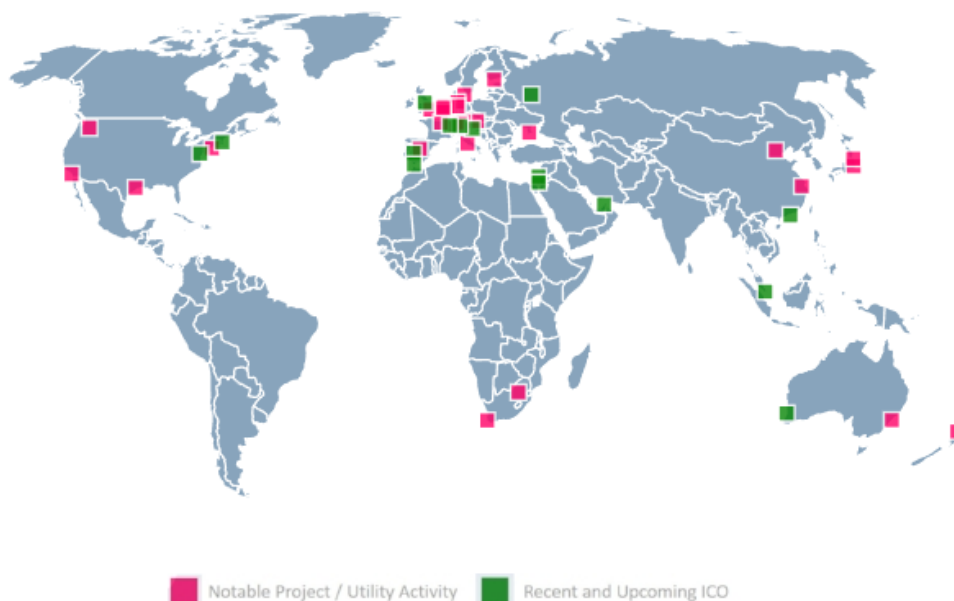
Εναλλακτικά λοιπόν έχουν προταθεί διαφορετικοί αλγόριθμοι όπως ο proof-of-stake (PoS) οι οποίοι έχουν χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος (Fairley, 2017). Η αναλυτική περιγραφή των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των διαφορετικών αλγορίθμων απαιτεί μελέτη σε βάθος που ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Στόχος της αναφοράς δεν είναι να προτείνει τον έναν αλγόριθμο έναντι του άλλου, παρά να κάνει μια αναφορά στην κατανάλωση ενέργειας η οποία καλό είναι να λαμβάνεται υπόψιν κατά την δημιουργία project βασισμένων στο blockchain.

3.2.2 Το blockchain στην ενέργεια

Αν και η δεσπόζουσα λειτουργία του blockchain αφορά τα κρυπτονομίσματα, από το 2016 και μετά διαπιστώνεται μια αύξηση της δημοφιλίας του, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια πληθώρα εφαρμογών σε διαφορετικούς τομείς (Zile & Strazdiņa, 2018).

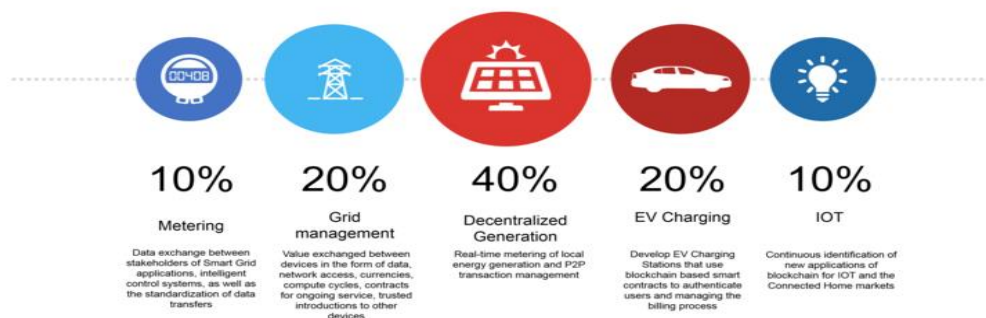
Ένας τέτοιος τομέας όπου το blockchain αρχίζει να συγκεντρώνει τόσο το ενδιαφέρον ερευνών όσο και νεοφυών εταιρειών αποτελεί ο ενεργειακός τομέας (Andoni et al, 2019). Ειδικά στην περίπτωση των έξυπνων συμβολαίων, το blockchain παρουσιάζει σημαντική ευκαιρία για την διευκόλυνση του trading ανάμεσα σε καταναλωτές, παραγωγούς αλλά και prosumers ενισχύοντας την ταχύτητα και την ασφάλεια των

σύγχρονων δικτύων (Mylrea et al.,2017). Αυτή η αύξηση αποτυπώνεται στο χάρτη από το Indigo Advisory Group όπου ενδιαφέρον παρουσιάζει η πρωτοπορία της Ευρώπης.



Σχήμα 3.3: Ενεργειακά projects βασισμένα στο blockchain παγκόσμια. Πηγή: <https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain>

Έχοντας μελετήσει τις ενεργειακές κοινότητες μπορούμε να κατανοήσουμε την ικανότητα διείσδυσης του blockchain στην ενέργεια. Μπορεί να αναφερόμαστε σε έννοιες οι οποίες είναι αρκετά διαφορετικές τόσο σε επίπεδο δομής όσο και τεχνολογίας, ωστόσο όπως οι ενεργειακές κοινότητες αποτελούν εργαλείο για την αποκεντροποίηση του δικτύου, έτσι και το blockchain εισάγει την ίδια έννοια της αποκεντροποίησης στις συναλλαγές. Το εν λόγω συμπέρασμα ενισχύεται παρατηρώντας την κατανομή των project στον ενεργειακό τομέα όπου η αποκεντρωμένη παραγωγή συγκεντρώνει ένα ποσοστό της τάξης του 40%.

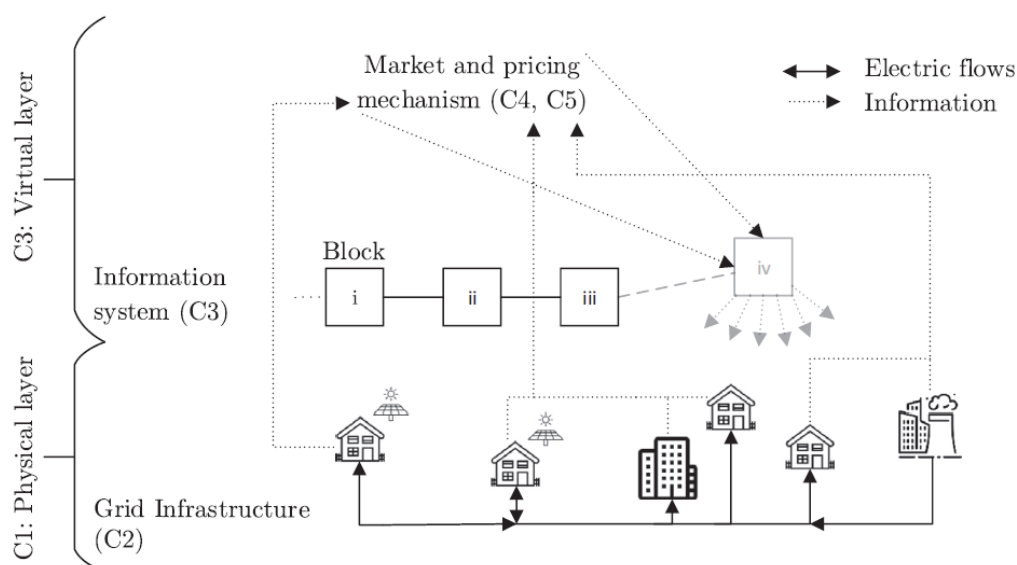


Σχήμα 3.4: Κατανομή των project βασισμένων στο blockchain στην ενέργεια. Πηγή: <https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain>

Επομένως, αυτή η δομική ομοιότητα παρέχει την δυνατότητα συνδυασμού των δύο αυτών εργαλείων κάτω από ένα ευρύτερο τεχνολογικό πλαίσιο ώστε σε συνδυασμό με

την ευφυή διαχείριση ενέργειας να παραχθούν καινοτόμες ιδέες για την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος.

Ένα από τα πιο γνωστά και πετυχημένα παραδείγματα αποτελεί το μικροδίκτυο του Brooklyn. Το συγκεκριμένο project ξεκίνησε το 2016 από την εταιρεία LO3 Energy, και αποτελεί ένα peer-to-peer δίκτυο συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένο στο blockchain. Έτσι, τρεις περιοχές του Brooklyn λειτουργούν μέσω τοπικής παραγωγής από prosumers, πετυχαίνοντας στροφή στην παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και βοηθώντας τους καταναλωτές να γνωρίζουν την προέλευση της ενέργειας τους. Το δίκτυο αυτό δεν είναι απόλυτα απομονωμένο ώστε να γίνεται η εξισορρόπηση κατανάλωσης-παραγωγής. Οι Mengelkamp et al. (2018) ανέλυσαν τα 7 στοιχεία που πρέπει να περιλαμβάνει ένα τέτοιο δίκτυο παρουσιάζοντας την περίπτωση του Brooklyn.



Σχήμα 3.5: Τοπολογία δικτύου Brooklyn. Πηγή: Mengelkamp et al. (2018)

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι υπάρχει ένα πρώτο φυσικό επίπεδο όπου γίνεται η παραγωγή και η κατανάλωση, και στη συνέχεια έχουμε το ψηφιακό επίπεδο όπου πραγματοποιείται η συλλογή πληροφοριών από τις συναλλαγές ενέργειας. Από εκεί προκύπτει η χρέωση βασισμένη στην ισορροπία της παραγωγής, της κατανάλωσης αλλά και των ορίων που τίθενται αντίστοιχα και από τις δύο πλευρές σε ένα μοντέλο παρόμοιο με αυτό που προτείνεται από τους Block et al. (2008), και στη συνέχεια προστίθενται τα blocks στην αλυσίδα του blockchain. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι το 6^ο στοιχείο αποτελεί ένα σύστημα αυτόματης διαχείρισης των συναλλαγών. Σε αυτό το σημείο απαιτείται προσοχή διότι από την μία πλευρά ο όγκος των συναλλαγών καθιστά αδύνατο κάτι τέτοιο να γίνεται χειροκίνητα από τον κάθε χρήστη, ωστόσο η πλήρης ψηφιοποίηση αυτής της διαδικασίας ελλοχεύει τον κίνδυνο να απομακρύνει τον συμμετέχοντα από το να έχει επίγνωση της ποιότητας της ενέργειας που καταναλώνει πετυχαίνοντας τον αντίθετο σκοπό από τον αρχικό. Για λόγους πληρότητας αναφέρουμε ότι το 7^ο στοιχείο αποτελεί το νομικό πλαίσιο εντός του οποίου λειτουργεί το δίκτυο.

Σε μια αρκετά διαφορετική προσέγγιση ως προς τη χρήση του blockchain κινήθηκε ο γερμανικός προμηθευτής RWE. Σε συνεργασία με τις UBS και ZF, μέσω της θυγατρικής της Inpogy, δημιούργησαν ένα ηλεκτρονικό πορτοφόλι για ηλεκτρικά αυτοκίνητα βασισμένο στο blockchain το οποίο έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται με ταχύτητα όλες τις πληρωμές που απαιτούνται κατά την κίνηση ενός οχήματος, όπως η φόρτιση, τα διόδια και η στάθμευση. Κάτι τέτοιο προσφέρει ταχύτητα στο χρήστη καθώς το πορτοφόλι διαχειρίζεται όλες τις μικροσυναλλαγές ενώ ταυτόχρονα ανοίγει το δρόμο σε βελτιωμένες και πιο ασφαλείς υπηρεσίες διαμοιρασμού αυτοκινήτων. Ταυτόχρονα η εταιρεία επενδύει επιπλέον στον τομέα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου καθώς σε συνεργασία με την start-up Slock.it ανέπτυξαν έναν αυτόνομο φορτιστή ο οποίος έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τα πορτοφόλια προκειμένου να διευκολύνεται η φόρτιση και η πληρωμή δίχως να χάνεται πόσο από την ενοικίαση του φορτιστή απλοποιώντας την διαδικασία συμβολαίων. Μάλιστα κάτι τέτοιο ανοίγει την δυνατότητα σε φορτίσεις μικρής κλίμακας, είτε εν κινήσει είτε κατά τη διάρκεια στάσης σε σηματοδότη, εκμεταλλευόμενη τεχνολογίες επαγωγικής φόρτισης σε δρόμους, όπως παρουσιάζονται από τους Beeldens et al. (2016).



Σχήμα 3.6: Αυτόματος φορτιστής των εταιρειών RWE και Slock.it μαζί με την εφαρμογή. Πηγή: <https://blog.slock.it/partnering-with-rwe-to-explore-the-future-of-the-energy-sector-1cc89b9993e6>

Μια ακόμα start-up που δραστηριοποιείται στο blockchain στην ενέργεια είναι η Volt Markets στις ΗΠΑ. Η εν λόγω εταιρεία ασχολείται με το κομμάτι των έξυπνων συμβολαίων. Συγκεκριμένα πρόκειται για μια πλατφόρμα η οποία παρακολουθεί και καταγράφει την προέλευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και στη συνέχεια συμβάλλει στην διακίνησή της, με τις συναλλαγές να πιστοποιούνται στην υφιστάμενη αλυσίδα blockchain του Ethereum. Έτσι ο καταναλωτής μπορεί να αγοράσει ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας γνωρίζοντας τον τρόπο παραγωγής της, καθώς συνοδεύονται από πιστοποιητικό (renewable energy certificate- REC).

3.3 Ενεργειακά Νομίσματα

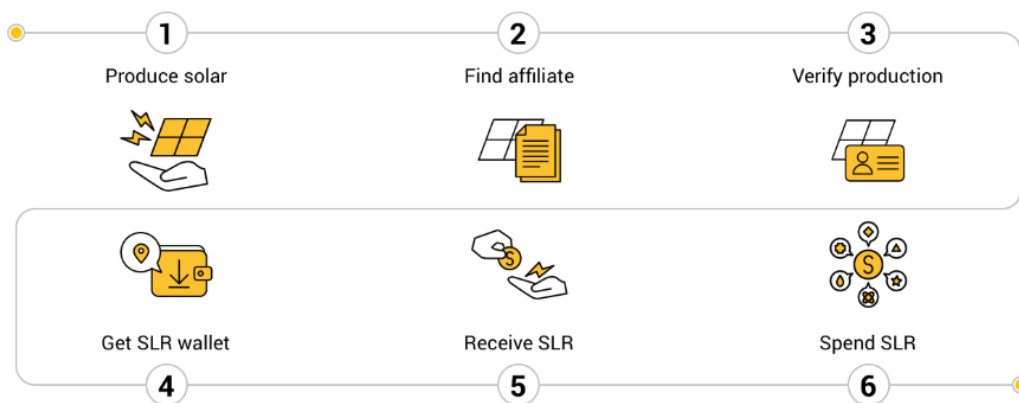
Όπως είδαμε, η τεχνολογία του blockchain μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από τα κρυπτονομίσματα με τα οποία έχει συνδεθεί σε μεγάλο βαθμό, παρέχοντας καινοτόμες λύσεις στον τομέα της ενέργειας.

Το επόμενο βήμα της εξέλιξης λοιπόν πραγματοποιείται προσπαθώντας να συνδέσουμε τα ψηφιακά νομίσματα με την ενέργεια, δημιουργώντας τα ενεργειακά νομίσματα, δηλαδή μια ηλεκτρονική μονάδα νομισματικής αξίας η οποία θα αντιστοιχίζεται ευθύγραμμα με ποσότητες ενέργειας. Η καινοτομία της συγκεκριμένη ιδέας έγκειται στο γεγονός ότι ανοίγει τη δυνατότητα για δημιουργία οικονομιών αξίας γύρω από την ενέργεια, αλλά και το αντίστροφο· να αντιληφθούμε δηλαδή τα οικονομικά μεγέθη σε σύνδεση με ένα από τα πιο αναγκαία αγαθά των ημερών μας.

Έχουν προταθεί διάφορα σχήματα για τέτοιου είδους νομίσματα, κάποια από τα οποία έχουν υλοποιηθεί ενώ άλλα βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο.

3.3.1 Επιχειρηματικές προσεγγίσεις

Μια βασική πρωτοβουλία αποτελεί το SolarCoin στο οποίο ένας χρήστης που παράγει ηλιακή ενέργεια έχει την δυνατότητα να εγγραφεί στην πλατφόρμα και να λάβει ένα επιπρόσθετο κέρδος υπό την μορφή νομισμάτων της τάξης του 1 νόμισμα ανά 1MWh παραγωγής. Στη συνέχεια αυτά τα νομίσματα μπορούν να εξαργυρωθούν κατά οποιονδήποτε τρόπο ακόμα και με συμβατικά νομίσματα.



Σχήμα 3.7: Διαδικασία παραγωγής και κυκλοφορίας ενός SolarCoin. Πηγή: <https://solarcoin.org/>

Το SolarCoin δημιουργήθηκε το 2014 και από τότε στην κυκλοφορία έχουν βρεθεί 53,781,951 νομίσματα τα οποία αντιπροσωπεύουν τις αντίστοιχες μεγαβατώρες, ενώ η ανταλλακτική αξία ενός νομίσματος είναι 0.015597 \$/coin δηλαδή μια κεφαλαιοποίηση της τάξης των 838,863\$². Με βάση τους δημιουργούς, η αξία ενός τέτοιου νομίσματος καθορίζεται από την δημοτικότητα του, δηλαδή από τον αριθμό των ατόμων που το αποδέχεται ως χρηματικό μέσο. Ωστόσο παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη αναντιστοιχία ανάμεσα στην ενεργειακή αξία του νομίσματος και της

² Τα στοιχεία ανακτήθηκαν από: <https://coinmarketcap.com/currencies/solarcoin/> στις 09/07/2019 13:41 EEST.

χρηματιστηριακής. Συγκεκριμένα το ένα νόμισμα αντιστοιχεί σε 1MWh η τιμή της οποίας είναι αρκετά μεγαλύτερη από περίπου 0.015 που είναι η ανταλλακτική του αξία. Αυτό σημαίνει ότι το SolarCoin δεν παρουσιάζει την τάση να λειτουργήσει ως ανεξάρτητο ανταλλακτικό μέσο στην ενέργεια, παρά μόνο ως ένα επιπλέον συμπλήρωμα για τους παραγωγούς ηλιακής ενέργειας.

Μια ενδιαφέρουσα συνεργασία για την προώθηση του SolarCoin προέκυψε το 2016. Η εταιρεία ElectriCChain, η οποία αποτελεί μια πλατφόρμα blockchain για την συλλογή δεδομένων παραγωγής ηλιακής ενέργειας, δημιούργησε ένα κοινό project με την γαλλική εταιρεία Lumo η οποία δραστηριοποιείται στον τομέα του crowdfunding, επιτρέποντας άμεσα στον καθένα να επενδύσει σε δράσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι οι επενδυτές εκτός από τα κέρδη που θα αποκόμιζαν, θα απολάμβαναν ένα επιπλέον συμβολικό κέρδος υπό την μορφή SolarCoins.

Σε παρόμοια λογική κινούνται και πλατφόρμες όπως οι WePower και Bittwatt οι οποίες ασχολούνται με έξυπνα συμβόλαια και ανταλλαγή ενέργειας. Εντός της εφαρμογής έχουν αναπτύξει tokens τα οποία έχουν την αντιστοιχία 1 token = 1 kWh με τον χρήστη να μπορεί να χρησιμοποιεί αυτές τις μονάδες εντός της πλατφόρμας για επιπρόσθετες υπηρεσίες. Για παράδειγμα το token της WePower προσφέρει προτεραιότητα πρόσβασης σε δημοπρασίες.

Στην κατεύθυνση της αξιοποίησης των πιστοποιητικών ως μονάδες αξίας κινούνται και εταιρείες όπως οι Electrify Asia, Suncontract και Power Ledger. Η τελευταία μάλιστα παρουσιάζει μια πολύ ισχυρή κεφαλαιοποίηση άνω των 40,000,000\$³ καθιστώντας την μια από τις πιο ισχυρές εταιρείες στο χώρο.

Από την άλλη πλευρά σε μια διαφορετική λογική κινείται η εταιρεία Robotina, η οποία ενσωματώνει την λογική των token που είδαμε και παραπάνω, ωστόσο έχει αρκετά διαφορετική κατεύθυνση. Η Robotina ως εταιρεία ξεκίνησε τη δράση της το 1990 στη Σλοβενία και αυτή τη στιγμή έχει εξελιχθεί σε έναν προμηθευτή εξοπλισμού ο οποίος συνδυάζει τις έννοιες του IoT, AI και blockchain προκειμένου να βοηθάει τον πελάτη της να λειτουργεί πιο αποδοτικά και να έχει οικονομικό όφελος. Όσον αφορά το blockchain η εταιρεία βασίζεται στην πλατφόρμα του Ethereum, ενώ για τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη φορτίου δεν δίνονται στοιχεία. Μέσα στην πλατφόρμα έχει ενσωματωθεί το αντίστοιχο κρυπτονόμισμα, το ROX, το οποίο κάποιος μπορεί να προμηθευτεί μέσα από εγγραφή στις υπηρεσίες ή από ενεργή συμμετοχή, και μέσα από αυτό ο κάτοχος μπορεί να αγοράζει με έκπτωση εξοπλισμό εντός της πλατφόρμας.

Ουσιαστικά λοιπόν πρόκειται για μια από τις λίγες εταιρείες που ξεφεύγει από την έννοια της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών και στοχεύει στην ευφυή εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως είδαμε και στην μελέτη των ενεργειακών κοινοτήτων η έννοια της παραγωγής λαμβάνει την πλειοψηφία των δράσεων εξαιτίας της απλότητας των επιχειρηματικών πλάνων.

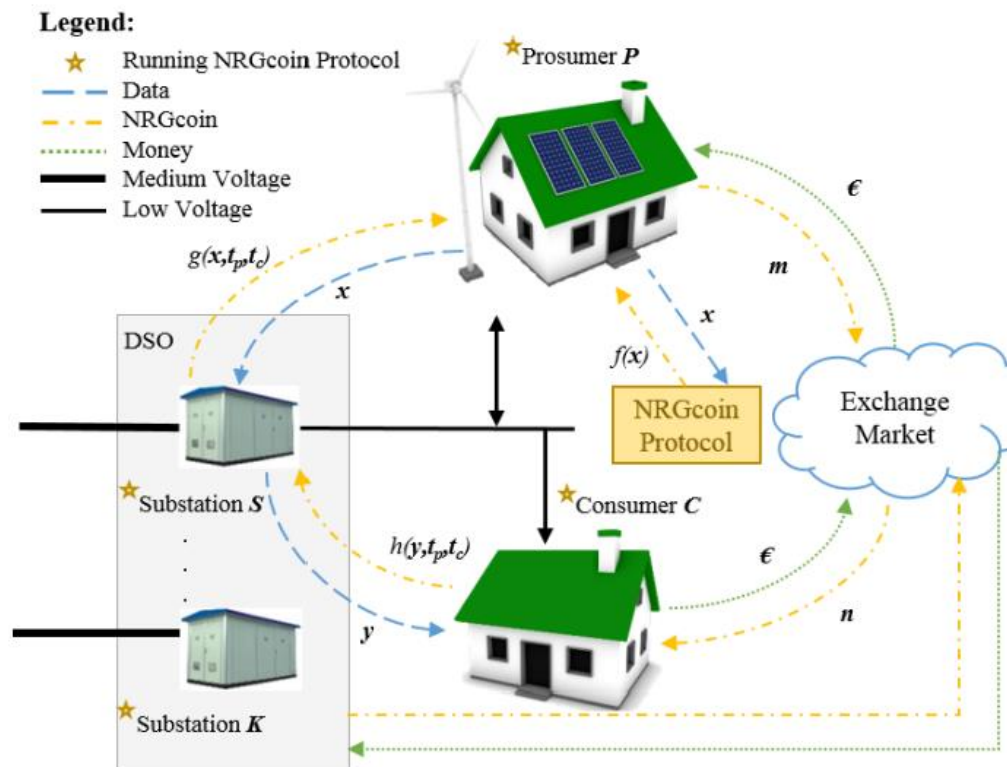
Ένα σημαντικό πρόβλημα των παραπάνω προσεγγίσεων ως προς τα ενεργειακά νομίσματα που εισήχθησαν, είναι ότι οι εταιρείες επειδή έπρεπε να αναπτύξουν

³ Τα στοιχεία ανακτήθηκαν από: <https://coinmarketcap.com/currencies/power-ledger/> στις 09/07/2019 14:56 EEST

δραστηριότητες που θα παράγουν κέρδος, υποχρεούνται να επικεντρώσουν τις ενέργειες τους στις πρόσθετες λειτουργίες και όχι τόσο στα ίδια τα νομίσματα. Έτσι ουσιαστικά περιορίστηκαν σε συμπληρωματικά μοντέλα κοντά στο blockchain υπό την μορφή κρυπτονομισμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται μέσα στις πλατφόρμες κάτι που περιορίσει την εφαρμογή και την διεύρυνσή τους.

3.3.2 Η ακαδημαϊκή προσέγγιση του NRGcoin

Από την άλλη πλευρά οι Michaylov et al. (2014) επιχείρησαν την δημιουργία ενός θεωρητικού πλαισίου ενεργειακού νομίσματος με αποκεντρωμένα χαρακτηριστικά. Το νόμισμα αυτό εφαρμόζεται σε περιβάλλοντα έξυπνων δικτύων με την ύπαρξη καταναλωτών και prosumers.



Σχήμα 3.8: Ο μηχανισμός λειτουργίας του NRGcoin. Πηγή: Michaylov et al. (2014)

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την τοπολογία ενός απλοποιημένου βασικού δικτύου που λειτουργεί υπό το NRGcoin με έναν prosumer P και έναν καταναλωτή C, προκειμένου να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του. Αρχικά παρατηρούμε ότι οι δύο χρήστες του δικτύου βρίσκονται σε κοντινούς υποσταθμούς. Αυτό συμβαίνει διότι ο διανομέας καθορίζει τον τρόπο αμοιβής ανάλογα με τα συνολικά τοπικά μεγέθη. Έτσι σε χώρες στις οποίες δεν τιμολογεί ο διανομέας την καταναλισκόμενη ενέργεια, όπως η χώρα μας, παρουσιάζονται δυσκολίες.

Σε ένα τέτοιο μοντέλο λοιπόν έχουμε τον prosumer P ο οποίος παράγει ποσότητα x την οποία εκχέει στο δίκτυο. Αρχικά αμείβεται από το ίδιο το σύστημα μέσω της

συνάρτησης $f(x)$ επειδή αποδέχεται το πρωτόκολλο του NRGcoin. Στη συνέχεια αμείβεται από τον διαχειριστή του δικτύου με βάση τη συνάρτηση g :

$$g(x, t_p, t_c) = \frac{x * q}{e^{\frac{(t_p - t_c)^2}{a}}} \quad (3.1)$$

όπου:

- t_p : συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- t_c : συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- q : μέγιστη τιμή αμοιβής παραγωγού
- a : συντελεστής

Από την αφαίρεση του όρου $t_p - t_c$ καταλαβαίνουμε ότι η συγκεκριμένη συνάρτηση έχει ως στόχο να ενθαρρύνει τον παραγωγό να προσπαθεί να ισορροπήσει την παραγωγή με την κατανάλωση καθώς έτσι θα αμείβεται με την μέγιστη τιμή η οποία θα προκύπτει μόνο από τον αριθμητή.

Ταυτόχρονα ο καταναλωτής C ζητά ποσότητα ενέργειας ίση με y . Η αξία που πρέπει να πληρώσει δίνεται από την συνάρτηση h :

$$h(y, t_p, t_c) = \frac{y * r * t_c}{t_p + t_c} \quad (3.2)$$

όπου:

- t_p : συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- t_c : συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- r : μέγιστη τιμή πώλησης του διανομέα

Εδώ παρατηρούμε ότι η αξία της ενέργειας που θα αγοράσει ο C μειώνεται σημαντικά όταν η παραγωγή είναι πολύ μεγαλύτερη της κατανάλωσης. Έτσι για παράδειγμα ενθαρρύνεται να μετατοπίσει το φορτίο του σε περιόδους που υπάρχει σημαντικό πλεόνασμα παραγωγής.

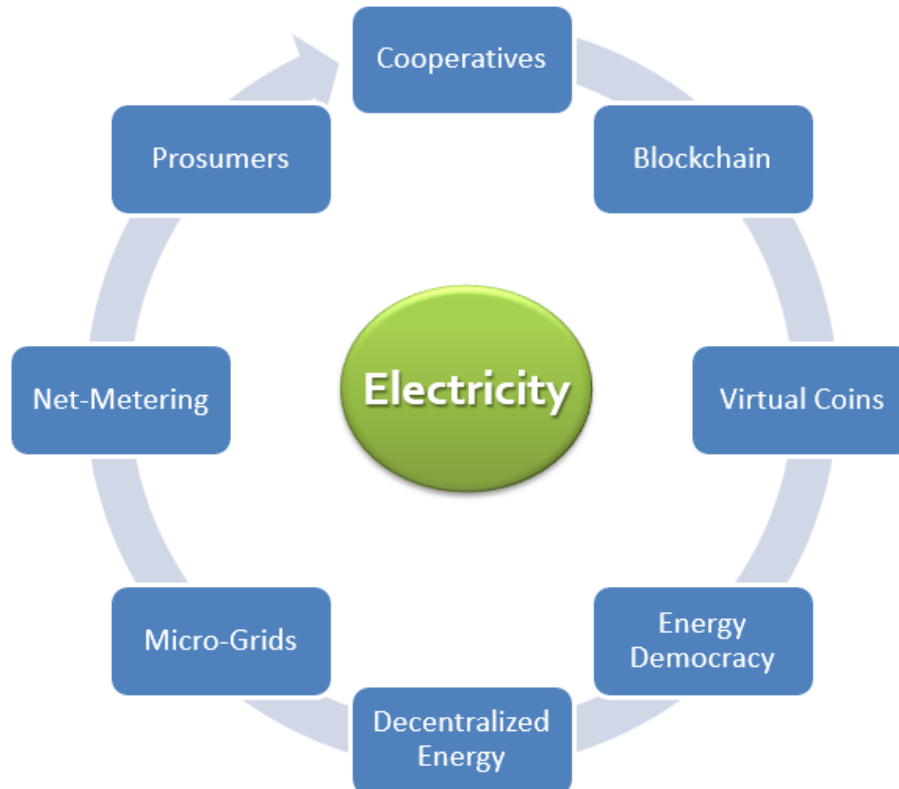
Η διαφορά αυτή στις τιμές λοιπόν μπορεί να οδηγήσει τους χρήστες οι οποίοι θα λειτουργήσουν υπό τη βέλτιστη για εκείνους στρατηγική, να οδηγούν το σύστημα σε ισορροπία ως προς την κατανάλωση και τη ζήτηση.

Αυτές οι ποσότητες από νομίσματα που ρέουν εντός του συστήματος μπορούν να ανταλλαχθούν από τον κάθε χρήστη στην αγορά αποκτώντας την αντίστοιχη νομισματική αξία. Σε αυτό λοιπόν το σημείο δημιουργείται ένα κενό καθώς οι ποσότητες δημιουργίας νομισμάτων καθορίζονται αυστηρά από την παραγωγή και την κατανάλωση, ωστόσο η πραγματική νομισματική αξία που θα έχει το εν λόγω νόμισμα δεν αναλύεται καθόλου.

Κεφάλαιο 4. ATOMcoin: Ένα νέο μοντέλο ψηφιακού ενεργειακού νομίσματος

4.1 Το πλαίσιο δραστηριοποίησης

Σε αυτό το στάδιο έχουμε αναλύσει τις ενεργειακές κοινότητες μαζί με έννοιες που σχετίζονται με αυτές όπως ο συμψηφισμός, οι prosumer και τα μικροδίκτυα, καθώς επίσης είδαμε το blockchain και τα ενεργειακά νομίσματα. Διαπιστώσαμε ότι είναι δυνατόν να προκύψουν πολύ ενδιαφέροντα μοντέλα τα οποία συνδυάζουν περισσότερες από μια τέτοιες τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε ένα νέο, αποκεντρωμένο και δημοκρατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.1: Η ηλεκτρική ενέργεια ως συνδεδετικός κρίκος διαφορετικών τεχνολογιών.

Μέσα σε αυτό το περιβάλλον καλούμαστε να δραστηριοποιηθούμε, θεραπεύοντας προβληματικές που εντοπίστηκαν. Ένα βασικό ζήτημα ήταν η έλλειψη ενεργειακών νομισμάτων τα οποία θα βασίζονται στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ταυτόχρονα διαπιστώθηκε ένα χάσμα ανάμεσα στα υπάρχοντα νομίσματα συγκριτικά με τις ακαδημαϊκές προσπάθειες.

Από την άλλη πλευρά γνωρίζουμε ότι ο οικιακός τομέας αποτελεί ένα μεγάλο κομμάτι της κατανάλωσης ενέργειας (Ürge-Vorsatz et al., 2015), το οποίο μάλιστα στην Ευρώπη αγγίζει ένα ποσοστό της τάξης του 26% (EEA, 2018).

Προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα στον κτιριακό τομέα υπάρχει η κατεύθυνση βελτίωσης του ίδιου του κτιρίου όπως για παράδειγμα με δράσεις μόνωσης ή τοποθέτησης έξυπνων συστημάτων.

Από την άλλη πλευρά, οι Chua et al. (2013) παρατήρησαν ότι η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη η οποία ωστόσο δεν αυξάνεται αναλογικά για όλους τομείς, με τον κτιριακό τομέα να παρουσιάζει υψηλότερα ποσοστά (Rosenthal et al., 1995). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά επιδρά στην αποδοτικότητα (Almeida et al., 2011). Συνεπώς είναι δυνατόν να προκύψει βελτιωμένη εξοικονόμηση ενέργειας εφόσον συνοδευτεί από αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται ενεργειακά οι χρήστες.

Ήδη από το 1998, ομάδα ερευνητών στο ΕΤΗ της Ζυρίχης εισήγαγαν την φιλόδοξη ιδέα ότι η κατά άτομο κατανάλωση ενέργειας μπορεί να πέσει μέχρι και τα 2,000 Watt έως το 2050 από τα 5,500 που βρισκόταν τότε (Morrow et al., 2008). Σκοπός είναι η αξιοποίηση ανεκμετάλλετων πηγών εξοικονόμησης. Η δημοτικότητα που απέκτησε η ιδέα στο να διαμορφώσει πολιτικές ακόμα και σήμερα καταδεικνύει ότι η ενίσχυση της συμμετοχής του ατόμου αλλά και η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς είναι κομβικής σημασίας για την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Με αυτή τη συλλογιστική γεννάται η ιδέα ότι αφού η ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί να εξαρτηθεί από την ανθρώπινη συμπεριφορά, θα μπορούσαμε να παρακινήσουμε τους χρήστες μέσα από ένα πρόγραμμα επιβράβευσης το οποίο θα λειτουργεί ως κίνητρο.



Σχήμα 4.2: Ιδέα νέου προγράμματος

4.2 Το αρχικό μοντέλο

4.2.1 Παρουσίαση του αρχικού ATOMcoin

Βασισμένοι στην ιδέα που παρουσιάστηκε, οι Marinakis et al. (2018) εισήγαγαν ένα ψηφιακό ενεργειακό νόμισμα, το ATOMcoin, το οποίο αντλεί την αξία του από τις εξοικονομούμενες κιλοβατώρες στη λογική ότι ένα νόμισμα αντιστοιχεί σε μια κιλοβατώρα (1 ATOMcoin = 1 kWh). Στόχος του νομίσματος είναι η δημιουργία ενός προγράμματος επιβράβευσης στο οποίο ο χρήστης θα επιβραβεύεται υπό τη μορφή νομισμάτων όταν βελτιώνει την ενεργειακή του αποδοτικότητα και καταναλώνει μικρότερες ποσότητες ενέργειας.

Για να λειτουργήσει το νόμισμα απαιτείται ένα αστικό περιβάλλον το οποίο μπορεί να αποτελεί μια πόλη, ή μια κοινότητα με την ευρύτερη έννοια, η οποία επιδιώκει να περιορίσει την κατανάλωση της, ή ακόμα και ένας πάροχος ενέργειας, ο οποίος εναρμονιζόμενος με την οδηγία του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου προσπαθεί να παρέχει κίνητρο στους πελάτες του ώστε να επιτύχουν ποσοστά εξοικονόμησης τουλάχιστον 1.5%. Ένα τέτοιο πρόγραμμα θα είχε οικονομικά κίνητρα και για τον ίδιο τον πάροχο καθώς θα οδηγούσε σε μείωση του φορτίου αιχμής, το οποίο όταν είναι σε υψηλά επίπεδα απαιτεί αύξηση της ικανότητας διάθεσης ισχύος κάτι που συνεπάγεται αυξημένα κόστη (Hassan, 2017). Επίσης είναι απαραίτητη η ύπαρξη ή η ενσωμάτωση έξυπνων μετρητικών συστημάτων καθώς ο χρήστης θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να γνωρίζει την κατανάλωση του προκειμένου να μπορεί να τροποποιεί την συμπεριφορά του εφόσον διαπιστώσει ότι κινείται σε υψηλότερες καταναλώσεις από ότι θα έπρεπε.

Έστω ότι έχουμε μια κοινότητα η οποία περιλαμβάνει n νοικοκυριά και θέλει να τρέξει το συγκεκριμένο πρόγραμμα για k μέρες.

Αν το συνολικό ποσό που έχει διαθέσιμο είναι B_T τότε το ημερήσιο διαθέσιμο ποσό για την μέρα i υπολογίστηκε με ισόποσο χωρισμό:

$$B_i = \frac{B_T}{k} \text{ (€)} \quad (4.1)$$

Στην απλή περίπτωση όπου το πρόγραμμα τρέχει για ένα χρόνο το ποσό αυτό διαιρείται με 365. Έτσι κάθε μέρα υπάρχει ένα διαθέσιμο ποσό B_i το οποίο μπορεί να μοιραστεί σε όσους εξοικονομούν ενέργεια.

Ταυτόχρονα κάθε μέρα i τα n νοικοκυριά εξοικονομούν $\sum_{j=1}^n ES_{i,j}$ κιλοβατώρες οι οποίες αντιστοιχούν και στα αντίστοιχα συνολικά νομίσματα που διατίθενται την συγκεκριμένη μέρα. Για κάποιο συγκεκριμένο νοικοκυριό j η ποσότητα $ES_{i,j}$ αναπαριστά την εξοικονόμηση που πραγματοποίησε εκείνη τη μέρα και άρα και την ποσότητα νομισμάτων που δικαιούται.

Τα συνολικά νομίσματα λοιπόν αντιστοιχούν στο διαθέσιμο ποσό που θα διαμοιραστεί άρα προκύπτει η παρακάτω εξίσωση για τη διαμόρφωση της ημερήσιας τιμής (rate) του κάθε νομίσματος:

$$C_i = \frac{B_i}{\sum_{j=1}^n ES_{i,j}} \left(\frac{\text{€}}{ATOMcoin} \right) \quad (4.2)$$

Έτσι κάθε μέρα διαμορφώνεται η αξία του κάθε νομίσματος που αντιστοιχεί στο κάθε νοικοκυριό.

Συνολικά λοιπόν μετά τη λήξη του προγράμματος κάθε νοικοκυριό j θα έχει στη διάθεση του:

$$m_j = \sum_{i=1}^k ES_{i,j} (ATOMCoins) \quad (4.3)$$

Αντίστοιχα τα συνολικά νομίσματα που θα κυκλοφορήσουν θα είναι το άθροισμα των νομισμάτων που θα αντιστοιχούν σε κάθε νοικοκυριό.

Μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό κέρδος που θα έχει το κάθε νοικοκυριό:

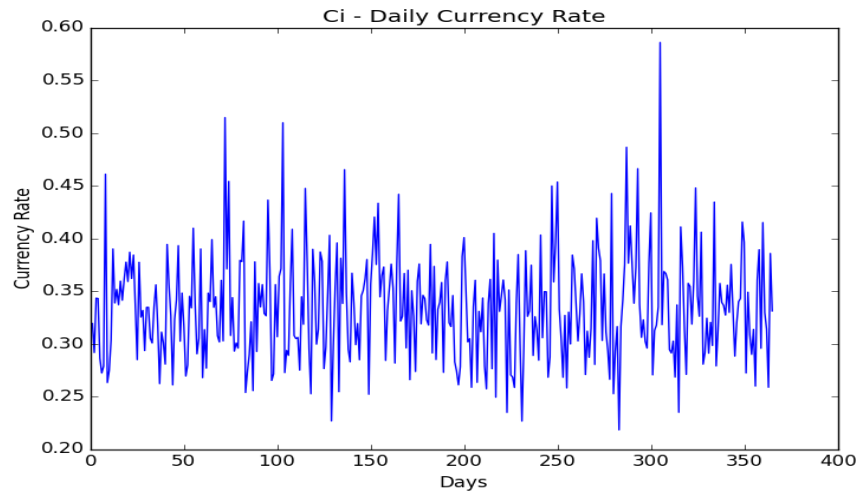
$$g_j = \sum_{i=1}^k ES_{i,j} * C_i (\text{€}) \quad (4.4)$$

Δηλαδή κάθε μέρα το rate του κάθε νομίσματος πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη εξοικονόμηση της ημέρας και αθροιστικά προκύπτει το συνολικό κέρδος.

Μάλιστα το συγκεκριμένο πλαίσιο δοκιμάστηκε σε προσομοίωση για μια κοινότητα 100 νοικοκυριών με συνολικό διαθέσιμο ποσό 5,000€ και το οποίο ήταν σε ισχύ για 1 έτος.

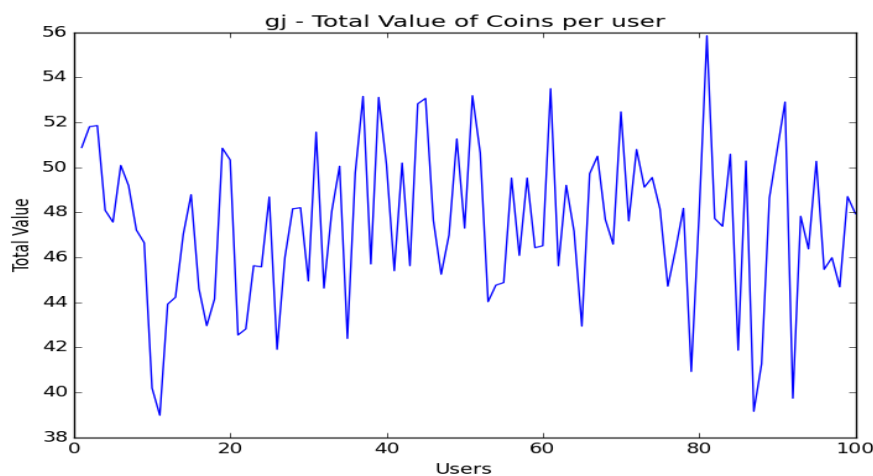
Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η υπόθεση ότι ένα μέσο νοικοκυριό τεσσάρων ατόμων καταναλώνει περίπου 10 kWh την ημέρα με μια απόκλιση της τάξης των $\pm 4\text{kWh}$. Έτσι κρίθηκε από τους συγγραφείς ότι για την προσομοίωση της ημερήσιας εξοικονόμησης ενέργειας είναι κατάλληλη η κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση $\sigma=4/3$. Επομένως $ES_{i,j} \sim N(\mu=0, \sigma=4/3)$.

Τελικά η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που υπολογίστηκε ήταν 14,517.5 kWh ένα ποσό που αντιστοιχεί στον συνολικό αριθμό νομισμάτων που κυκλοφόρησαν.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη του rate για το ATOMcoin. Πηγή: Marinakis et al. (2018)

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε πως διαμορφώθηκε η καμπύλη του rate για το ATOMcoin με βάση τη συγκεκριμένη προσομοίωση. Η μέση τιμή δεν μας δίνεται αλλά εποπτικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αυτή κυμαίνεται κάπου ανάμεσα στα 0.30 και 0.35 €/ATOMcoin. Παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη ανταλλακτική τιμή δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην ενεργειακή αξία του κάθε νομίσματος που είναι η μια κιλοβατώρα.



Σχήμα 4.4: Χρηματικό κέρδος για κάθε ένα από τα 100 νοικοκυριά. Πηγή: Marinakis et al. (2018)

Στο παραπάνω σχήμα δίνεται το κέρδος που έχει κάθε νοικοκυριό από τη συμμετοχή του σε ένα τέτοιο πρόγραμμα. Αν και δεν έχουμε μέση τιμή βλέπουμε από το σχήμα ότι αυτή κυμαίνεται περίπου γύρω στα 46€ ανά νοικοκυριό.

Βλέπουμε λοιπόν ότι κάθε οικογένεια μπορεί να λάβει ένα σημαντικό επιπρόσθετο χρηματικό κέρδος πέρα από το κλασικό κέρδος που θα έχει απλά και μόνο μειώνοντας την κατανάλωση. Έτσι ενθαρρύνεται να συμμετέχει, ενώ παρατηρώντας ότι υπάρχουν νοικοκυριά τα οποία πέτυχαν κέρδη άνω των 55€ μπορεί να λειτουργήσει εποικοδομητικά ώστε όχι μόνο το κάθε νοικοκυριό να συμμετέχει, αλλά και να συμμετέχει ενεργά.

4.2.2 Προβληματικές του αρχικού μοντέλου

Το αρχικό μοντέλο όπως αυτό παρουσιάστηκε από τους Marinakis et al. (2018) αποτελεί μια εξαιρετική πρώτη προσπάθεια στην εισαγωγή στα ενεργειακά νομίσματα τα οποία δεν στηρίζονται στην παραγωγή αλλά στην εξοικονόμηση ενέργειας, κάτι που τα καθιστά ιδιαίτερα πολύπλοκα. Η πολυπλοκότητα αυτή οδήγησε το αρχικό ATOMcoin στο να ενσωματώνει κάποια προβλήματα τα οποία είτε προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, είτε είναι δομικά και αφορούν την γενικότερη συμπεριφορά του νομίσματος.

4.2.2.1 Προβλήματα Διακύμανσης

Αρχικά, παρατηρώντας την εξίσωση (4.4) διαπιστώνουμε ότι για τον υπολογισμό του κέρδους του κάθε νοικοκυριού, για το κάθε νόμισμα χρησιμοποιείται το rate που είχε το νόμισμα την ημέρα που εκδόθηκε. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα δημιουργηθεί ένα νόμισμα την ημέρα 35 θα συνοδεύεται από το rate της ημέρας 35 για πάντα και άρα δεν επηρεάζεται από την μεταβολή του rate που μπορεί να έχει γενικότερα το νόμισμα ATOMcoin. Σε αυτό το σημείο λοιπόν προκύπτουν δύο προβλήματα. Αρχικά το νόμισμα μας χάνει την ανταλλακτική του αξία. Αυτό συμβαίνει διότι έχει μόνιμα σταθερή αξία και ίση με το rate της ημέρας που εκδόθηκε. Έτσι δεν υπάρχει λόγος για κάποιον να αγοράσει σε μια δευτερεύουσα αγορά ένα τέτοιο νόμισμα, καθώς απλά τοποθετεί μια χρηματική αξία σε ένα απόλυτα σταθερό περιουσιακό στοιχείο το οποίο μελλοντικά δεν του προσφέρει τίποτα. Εξάλλου κάτι τέτοιο αντιτίθεται και στη λογική που λέει ότι η αξία όλων των περιουσιακών στοιχείων μεταβάλλεται με το χρόνο. Το δεύτερο πρόβλημα έχει να κάνει με τη φιλοσοφία του νομίσματος συνολικότερα, καθώς η χρονοσειρά του rate του νομίσματος, εξαιτίας των παραπάνω, παύει να είναι συνεχής. Επειδή κάθε μέρα προκύπτει ένα rate το οποίο επηρεάζει μόνο τα νομίσματα της ημέρας, η ίδια η έννοια της χρονοσειράς δεν μπορεί να υφίσταται καθώς αυτή παρουσιάζει την εξέλιξη ενός φαινομένου στο χρόνο κάτι που εδώ δεν προσφέρει ιδιαίτερα συμπεράσματα.

Από την άλλη πλευρά, ακόμα και αν αυτό το πρόβλημα ξεπεραστεί εννοιολογικά και το rate αποκτήσει συνεχή υπόσταση επηρεάζοντας όλα τα παρελθοντικά νομίσματα, το Σχήμα 4.3 παρουσιάζει ένα rate το οποίο διακατέχεται από τεράστια διακύμανση (volatility). Αυτό συμβαίνει διότι κάθε μέρα είναι ανεξάρτητη της προηγούμενης, με αποτέλεσμα οι μεταβολές να είναι ακαριαίες μιας και τη μια μέρα μπορεί να υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση και την αμέσως επόμενη, εξαιτίας πιθανώς ακραίων καιρικών συνθηκών, να είναι πολύ χαμηλή. Το φαινόμενο αυτό είναι πιθανό να δημιουργήσει έντονη ανησυχία στους κατόχους, οι οποίοι μπορεί να χάσουν σημαντικό μέρος των χρημάτων τους από τέτοιες μεταβολές και άρα είναι λογικό να επιχειρήσουν να πουλήσουν τα νομίσματα σε πολύ τακτικά χρονικά διαστήματα.

Από τα παραπάνω ζητήματα που τέθηκαν διαπιστώνουμε ότι με την παρούσα δομή του νομίσματος εγκλωβιζόμαστε σε ένα δίλημμα το οποίο είτε θα μας οδηγήσει σε μηδενική διακύμανση και άρα ελάχιστη επενδυτική αξία, είτε θα οδηγηθούμε σε τεράστιες διακυμάνσεις και άρα πολύ επικίνδυνη επενδυτική αγορά. Όπως διαπιστώνει ο Shiller (1981) οι τιμές των μετοχών παρουσιάζουν πολύ έντονη διακύμανση για να βρίσκονται σε συμφωνία με την υπόθεση των αποτελεσματικών αγορών, ενώ ο Bhowmik (2013) εξηγεί ότι αγορές με μικρή διακύμανση μπορεί να αποδώσουν

σημαντικά κέρδη. Το νόμισμα μας λοιπόν υπό την παρούσα του μορφή αποτυγχάνει να διατηρήσει αυτή την αναγκαία ισορροπία.

Ταυτόχρονα όπως εξηγείται και στην αρχική παρουσίαση, η κατανομή του συνολικού διαθέσιμου ποσού ισόποσα στις μέρες που λαμβάνει χώρα το πρόγραμμα εγκυμονεί προβλήματα. Ένα βασικό πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι το σύστημα αποκτά χαρακτηριστικά έντονης προβλεψιμότητας όσον αφορά τις μεταβολές, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε κερδοσκοπικές συμπεριφορές. Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην Ελλάδα όπου η κατανάλωση είναι υψηλή, υπάρχει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Η γνώση αυτού του φαινομένου μπορεί να οδηγήσει σε στρατηγικές αποφάσεις για ρευστοποιήσεις και αγορές νομισμάτων ανάλογα με την εκτίμηση μεταβολής που μπορεί να δημιουργήσει ένα τέτοιο δομικό κενό. Κατά συνέπεια νοικοκυριά που δεν θα έχουν την γνώση της πλήρους πληροφoρίας προκειμένου να κινηθούν και εκείνα στρατηγικά είναι πιθανό να χάσουν σημαντικές ποσότητες από τα κέρδη. Ταυτόχρονα πιθανές μαζικές ρευστοποιήσεις όταν υπάρχει η γνώση ότι το rate του νομίσματος θα μειωθεί σημαντικά, θα οδηγήσουν σε κίνδυνο απορρύθμισης όλου του συστήματος.

4.2.2.2 Συμπεριφορικά προβλήματα

Σημαντικά είναι επίσης τα προβλήματα που πηγάζουν από το πως συμπεριφέρεται το νόμισμα σε μεταβολές και αποτυπώνονται στην εξίσωση (4.2).

Διαπιστώνουμε ότι στη συγκεκριμένη εξίσωση οι εξοικονομούμενες κιλοβατώρες βρίσκονται στον παρονομαστή. Το βασικό πρόβλημα που προκύπτει σε αυτό το σημείο έχει να κάνει με το γεγονός ότι σε μέρες με χαμηλότερη ποσότητα εξοικονόμησης ενέργειας το rate θα αυξάνεται, ενώ αντίστοιχα σε μέρες με υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας το rate θα πέφτει. Αυτό σημαίνει ότι όταν υπάρχει υψηλή εξοικονόμηση και άρα το νόμισμα είναι δημοφιλές από την άποψη ότι ο κόσμος προσπαθεί να εξοικονομήσει ώστε να το αποκτήσει, τότε η αξία του θα μειώνεται. Κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με την χρηματιστηριακή λογική όπου η δημοφιλία ενός στοιχείου αυξάνει την αξία του, αλλά και με την συμπεριφορά συμβατικών νομισμάτων όπως το Bitcoin (Nakamoto, 2018) όπου η αύξηση στο δημόσιο ενδιαφέρον οδήγησε σε ραγδαία αύξηση της αξίας του (Garcia et al., 2014). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα αδικίας, καθώς όταν τα νοικοκυριά προσπαθούν να εξοικονομήσουν ενέργεια θα βλέπουν την αξία του νομίσματος να πέφτει και άρα και τα δικά τους χρήματα να μειώνονται κάτι που θα οδηγήσει σε αδιαφορία και άρα θα αποτύχει στον αρχικό σκοπό του, δηλαδή να παρέχει κίνητρο στους τελικούς χρήστες.

Η ύπαρξη του συγκεκριμένου προβλήματος μας οδηγεί στο να αναλύσουμε τι θα συμβεί σε μερικές οριακές καταστάσεις που πιθανώς να δημιουργήσουν βαθύτερα προβλήματα στην σύσταση του νομίσματος. Αρχικά μελετούμε τι θα συμβεί αν για μία μέρα δεν υπάρξει καθόλου εξοικονόμηση στο σύστημα. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν είναι απίθανο, αρκεί να φανταστούμε μια συγκεκριμένη μέρα με αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες όπου είναι λογικό να υπάρξει υψηλή κατανάλωση για θέρμανση. Πραγματοποιούμε τον παρακάτω απλό υπολογισμό για συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που τείνει στο μηδέν:

$$C_i = \lim_{ES \rightarrow 0} \frac{B_i}{ES} = \infty$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι στο σενάριο όπου μια μέρα δεν υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας το rate του νομίσματος οδηγείται σε μια απροσδιόριστη κατάσταση όπου ισούται με άπειρο. Εδώ υπάρχει μια τεράστια δυσκολία ερμηνείας αυτού του αποτελέσματος, καθώς αν δεχτούμε μια πολύ μεγάλη τιμή αυτό σημαίνει πως όσοι έχουν στην κατοχή τους νομίσματα θα προσπαθήσουν να εξαργυρώσουν προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους από αυτή την παράλογη αύξηση. Αν από την άλλη δεχτούμε ότι αυτό το άπειρο είναι απλά συμβολικό για την μηδενική εξοικονόμηση άρα σημαίνει μηδενικό rate, τότε για ένα νόμισμα ο μηδενισμός αυτός σημαίνει χρεοκοπία, κάτι το οποίο δεν μπορεί να είναι λογικό επειδή μια μέρα δεν υπήρξε εξοικονόμηση.

Στο ίδιο πρόβλημα με τον μηδενισμό καταλήγουμε και στο σενάριο όπου υπάρχει πολύ υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας. Θα προσεγγίσουμε αυτό το σενάριο μέσα από την μαθηματική υπόθεση ότι η εξοικονόμηση τείνει στο άπειρο. Προκύπτει ότι:

$$C_i = \lim_{ES \rightarrow \infty} \frac{B_i}{ES} = 0$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι πάλι όταν υπάρχει υψηλή εξοικονόμηση το αποτέλεσμα οδηγεί στην χρεοκοπία. Σε αυτό το σημείο σημαντικό είναι να διευκρινίσουμε ότι επειδή αναφερόμαστε σε μονάδες μέτρησης €/kWh οι τάξεις μεγέθους οι οποίες συζητάμε κυμαίνονται περίπου στα δεκάδες λεπτά του ευρώ. Αυτό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση δεν χρειάζεται να φτάσει σε τόσο υψηλές τιμές ώστε να εντάσσεται στη μαθηματική προσέγγιση του απείρου, καθώς και συμβατικά υψηλές τιμές εξοικονόμησης είναι ικανές να προκαλέσουν πολύ χαμηλές τιμές στο rate που να θεωρηθούν σχεδόν μηδέν.

4.2.2.3 Προβλήματα μεθοδολογίας και τελική ανάλυση

Ένα ζητούμενο το οποίο επηρεάζει την φύση των αποτελεσμάτων όπως παρουσιάστηκαν αφορά την χρήση της κατανομής $N(\mu=0, \sigma=4/3)$ αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας. Θεωρούμε ότι η συγκεκριμένη κατανομή είναι αρκετά απαισιόδοξη με αποτέλεσμα να έχει επηρεάσει τα συμπεράσματα κατά τρόπο ο οποίος εξαιτίας της τυχαιότητας είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Ο λόγος για τον οποίο η κατανομή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως απαισιόδοξη έχει να κάνει με το γεγονός ότι η εφαρμογή του εν λόγω προγράμματος συνιστά εφαρμογή μιας δράσης εξοικονόμησης ενέργειας που στοχεύει στην βελτίωση της συμπεριφοράς του ανθρώπου. Η υπόθεση ότι αυτή η δράση θα έχει μηδενική μέση τιμή εξοικονόμησης είναι πολύ αυστηρή για την ίδια την δράση. Μέσω της υπόθεσης για κατανάλωση της τάξης $10 \pm 4 \text{ kWh}$ το αποτέλεσμα της εξοικονόμησης ανήλθε στο 4% όπως παρουσιάζεται στην ανάλυση. Ωστόσο επειδή η κατανομή είναι κανονική με μηδενική μέση τιμή δεν θα ήταν παράλογο η προσομοίωση τυχαίων αριθμών να δώσει συνολικά αρνητική εξοικονόμηση. Θεωρούμε ότι ένα τέτοιο σενάριο θα παρουσίαζε έντονο πρόβλημα στο χειρισμό, όπου πιθανώς να απαιτούνταν πρόστιμα υπερκατανάλωσης για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Αναφορικά με τα πρόστιμα ωστόσο, η λογική του νομίσματος μέχρι στιγμής αφορά τον αριθμό των εξοικονομούμενων κιλοβατώραν που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χρηματικό ποσό, με αποτέλεσμα τα κέρδη να μοιράζονται αναλογικά με την εξοικονόμηση που πέτυχε ο καθένας. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι σε περίπτωση προστίμων υπερκατανάλωσης τα πρόστιμα θα μοιραστούν εξίσου αναλογικά. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να δημιουργήσει περιπτώσεις έντονης κοινωνικής αδικίας. Για να γίνει κατανοητό αρκεί να σκεφτούμε την περίπτωση που όλοι οι συμμετέχοντες στο πρόγραμμα καταφέρνουν να εξοικονομήσουν εκτός από έναν ο οποίος θα υπερβεί κατά ελάχιστο το στόχο που έχει τεθεί. Τότε το αναλογικό μοίρασμα του προστίμου που ακολουθεί τη φιλοσοφία του νομίσματος μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά πρόστιμα για πολύ μικρές υπερβάσεις κάτι που θα αποθαρρύνει τον κόσμο από το να συμμετέχει.

Τελικά λοιπόν ο αναλογικός αυτός τρόπος διαμοίρασης ενός συγκεκριμένου ποσού είναι αυτός που οδηγεί στην καταστρατήγηση της έννοιας του νομίσματος μέσω της σταθερής αναλογίας που εισάγει για κάθε νόμισμα. Επιπρόσθετα αν δεν δεχθούμε αυτή την υπόθεση και προσπαθήσουμε να επαναφέρουμε την λογική του νομίσματος υπό το παρόν πλαίσιο οδηγούμαστε σε παράλογα αποτελέσματα με ιδιαίτερη έμφαση αυτά της ενότητας «4.2.2.2 Συμπεριφορικά προβλήματα».

4.3 Το νέο μοντέλο

Αφού έχουμε αναλύσει το αρχικό μοντέλο με τα προβλήματα που παρουσιάζει, θα επιχειρήσουμε να τροποποιήσουμε την υφιστάμενη μεθοδολογία εισάγοντας έναν καινοτόμο τρόπο υπολογισμού του rate του ATOMcoin, ενώ ταυτόχρονα θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε ζητήματα που δεν πραγματεύτηκε η αρχική μελέτη.

4.3.1 Μια νέα εξίσωση για το ATOMcoin

Ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίσαμε στο αρχικό μοντέλο είχε να κάνει με τη νοοτροπία που λειτουργούσε. Συγκεκριμένα διαπιστώσαμε ότι η λογική της δημιουργίας νομισμάτων με συγκεκριμένο rate που δεν αλλάζει, δεν μπορεί να ανταποκριθεί στη σύγχρονη πραγματικότητα των ψηφιακών νομισμάτων. Επαναπροσδιορίζουμε πλήρως την λογική που ακολουθούμε με ένα rate το οποίο θα διακατέχεται από συνέχεια, επομένως όσα ATOMcoins κυκλοφορούν, θα υπόκεινται στην εκάστοτε παρούσα αξία του συνολικού ATOMcoin η οποία θα διαμορφώνεται ενιαία.

Ταυτόχρονα για να θεραπεύσουμε και τα υπόλοιπα προβλήματα εισάγουμε την παρακάτω εξίσωση υπολογισμού για το rate του νομίσματος:

$$C_k = p_{kwh} * reg * \left(0.5 * \frac{\sum_{i=1}^k \{ \sum_{j=1}^N [ES_{ij} - (cc - cb)_{i-1}] \}}{\sum_{i=1}^k [B_i + reg * e - ratio_{i-1} * (cc - cb)_{i-1}] } + 0.5 * \frac{\sum_{i=k-5 \geq 0}^k ES_{ij}}{\sum_{i=k-5 \geq 0}^k B_i} \right) \quad (4.6)$$

όπου:

- p_{kwh} : κόστος κιλοβατώρας (€/kwh)
- k : ημέρα προγράμματος
- j : συμμετέχων
- N : συνολικός αριθμός συμμετεχόντων
- B_i : διαθέσιμο χρηματικό ποσό για τη μέρα i
- ES_{ij} : ενέργεια που εξοικονομήθηκε την ημέρα i από τον συμμετέχων j
- e : υπερκατανάλωση ενέργειας που ξεπέρασε το στόχο, προκειμένου να επιβληθεί ποινή
- cc : νομίσματα που εξαργυρώθηκαν
- cb : νομίσματα που αγοράστηκαν
- reg : σταθερά

Με βάση τη συγκεκριμένη εξίσωση θεμελιώνεται ένα σαφές πλαίσιο προγράμματος επιβράβευσης στηριγμένο πάνω σε ένα ψηφιακό νόμισμα. Συγκεκριμένα η μεταβλητή p_{kwh} έρχεται να λειτουργήσει ως μονάδα αναφοράς για το νόμισμα καθώς αγνοώντας τους υπόλοιπους όρους τότε το νόμισμα θα έχει σταθερό rate και ίσο με την αντίστοιχη τιμή πώλησης της κιλοβατώρας στον καταναλωτή. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται

να υπάρχει μεταβολή την οποία θα αναλύσουμε από τους υπόλοιπους παράγοντες, ωστόσο η αξία του νομίσματος θα παραμένει κοντά στην αξία της κιλοβατώρας στην οποία εξάλλου αντιστοιχεί και το κάθε νόμισμα.

Κομβικό ρόλο στη διαμόρφωση των μεταβολών παίζει η μεταβλητή reg η οποία ορίζεται όπως παρακάτω:

$$reg = \frac{B_T}{EST} \left(\frac{\text{€}}{kWh} \right) \quad (4.6)$$

όπου:

- B_T : συνολικό διαθέσιμο ποσό για το πρόγραμμα
- EST : συνολικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας (Energy Savings Target)

Η τιμή της μεταβλητής reg είναι σταθερή και διαμορφώνεται στην αρχή του προγράμματος ανάλογα με τους στόχους της αρχής που το χρησιμοποιεί. Ουσιαστικά εκφράζει ένα στόχο ο οποίος αφορά το πόση εξοικονόμηση αναμένεται να επιτευχθεί ανάλογα με το διαθέσιμο ποσό που δαπανάται. Ταυτόχρονα λαμβάνει διττό ρόλο καθώς εκφράζει και μια πρόβλεψη για το επίπεδο εξοικονόμησης που μπορούν να πετύχουν οι χρήστες δεδομένου του διαθέσιμου κινήτρου. Αυτή η διττή φύση του reg ως στόχος και πρόβλεψη ταυτόχρονα καθιστά την επιλογή της τιμής του ιδιαίτερα σημαντική στην αρχή, καθώς μια μη ρεαλιστική αριθμητική επιλογή στον στόχο που τίθεται μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στο σύστημα.

Ταυτόχρονα η τιμή του reg αποτελεί και μια μετρική για την αξιολόγηση του προγράμματος ως δράση εξοικονόμησης ενέργειας καθώς αριθμητικά εκφράζει τη δαπάνη που πρέπει να πραγματοποιηθεί προκειμένου να εξοικονομηθεί μια κιλοβατώρα. Έτσι είναι εφικτή μια σχετική σύγκριση του με άλλες δράσεις. Ωστόσο τα πλεονεκτήματα από την επιτυχή κινητοποίηση του κόσμου στην οποία στοχεύει το πλαίσιο που διαμορφώνουμε δεν είναι εύκολα μετρήσιμα.

Στη συνέχεια έχουμε τους όρους στην παρένθεση από τους οποίους το πρώτο κλάσμα αποτελεί τον μακροπρόθεσμο παράγοντα και το δεύτερο τον βραχυπρόθεσμο. Η ύπαρξη αυτών των δύο παραγόντων έχει να κάνει με το γεγονός ότι στο αρχικό πλαίσιο, όπως παρατηρήσαμε, το $rate$ της κάθε μέρα ήταν ανεξάρτητο της προηγούμενης με αποτέλεσμα από μέρα σε μέρα να επικρατούσε πολύ έντονη μεταβλητότητα. Αυτό συνέβαινε διότι κάθε ημέρα το $rate$ υπολογιζόταν με τα αποτελέσματα μόνο της παρούσας ημέρας χωρίς να λαμβάνει υπόψιν το παρελθόν. Η καινοτομία που εισάγουμε σε αυτό το σημείο αφορά το γεγονός ότι λαμβάνονται και τιμές του παρελθόντος προκειμένου να γίνει πιο ήπια η μεταβολή. Έτσι τα στοιχεία της παρούσας ημέρας έρχονται να προστεθούν στην ήδη διαμορφωμένη κατάσταση του παρελθόντος και άρα προκαλούν μεταβολή αλλά όχι τόσο έντονη ώστε να εμφανίζονται προβλήματα. Αν ωστόσο υπολογίζαμε μόνο τις τιμές όλου του παρελθόντος είναι πολύ πιθανό το σύστημα να έτεινε προς μια σταθερή κατάσταση καθώς αυξάνονταν οι μέρες και άρα και οι αριθμοί που υπολογίζονται, με αποτέλεσμα να χαθεί η αναγκαία μεταβλητότητα

προκειμένου το νόμισμα να έχει ανταλλακτική αξία. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο υπολογίζεται και ο βραχυπρόθεσμος παράγοντας, ο οποίος λαμβάνει υπόψιν μόνο τις προηγούμενες πέντε μέρες και άρα παρουσιάζει εντονότερη μεταβλητότητα. Οι δύο παράγοντες υπολογίζονται ισόποσα με ένα συντελεστή 0.5 για να λάβουμε κατά κάποιο τρόπο το μέσο όρο των δύο παραγόντων και έτσι να έχουμε και την απαραίτητη σταθερότητα αλλά και την αναγκαία μεταβλητότητα. Ουσιαστικά λοιπόν είναι σαν να δίνουμε μοναδιαία βαρύτητα στις τελευταίες πέντε ημέρες, ενώ στις παλιότερες μέρες τις υπολογίζουμε με βαρύτητα 0.5. Διευκρινίζουμε ότι για τις πρώτες πέντε μέρες του προγράμματος οι δύο παράγοντες πρακτικά εκφυλίζονται σε έναν.

Η επιλογή ενός προσθετικού μοντέλου με συντελεστή βαρύτητας έναντι ενός πολλαπλασιαστικού μοντέλου (πιθανώς με κάποια ρίζα για διόρθωση των μεγεθών και των μονάδων μέτρησης) αφορά κυρίως το βραχυπρόθεσμο παράγοντα. Αυτό διότι επειδή περιλαμβάνει μόνο πέντε μέρες είναι πιθανό να οδηγηθεί σε χαμηλές τιμές αν για εκείνη τη μικρή χρονική περίοδο υπάρχει χαμηλή εξοικονόμηση. Σε ένα πολλαπλασιαστικό μοντέλο κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε συνολικό μηδενισμό του rate. Αντίθετα στο προσθετικό μοντέλο το φαινόμενο αυτό θα επηρεάσει προκαλώντας πτώση αλλά αποφεύγεται ο μηδενισμός. Σε αυτή τη λογική λοιπόν το προσθετικό μοντέλο κρίνεται ως πιο κατάλληλο. Αυτός ο πιθανός μηδενισμός μάλιστα είναι και ο λόγος που δεν προτιμήθηκε η χρήση μόνο του βραχυπρόθεσμου όρου αλλά ένας συνδυασμός μακροπρόθεσμου και βραχυπρόθεσμου.

Περνώντας στην αναλυτική περιγραφή των δύο όρων, αρχικά παρατηρώντας τον πιο απλό βραχυπρόθεσμο όρο βλέπουμε ότι πλέον οι κιλοβατώρες εξοικονόμησης βρίσκονται στον αριθμητή ενώ το ημερήσιο χρηματικό ποσό στον παρονομαστή, ή γενικεύοντας, τα αντίστοιχα μεγέθη για τις πέντε παρελθοντικές ημέρες. Αυτό συμβαίνει προκειμένου το νόμισμα μας να αυξάνει την αξία του τις ημέρες με υψηλή εξοικονόμηση ενώ αντίστοιχα να την μειώνει σε μέρες με χαμηλή εξοικονόμηση. Αυτή η αλλαγή έρχεται να τροποποιήσει ριζικά το αρχικό πλαίσιο στο οποίο διαπιστώσαμε τη συγκεκριμένη αναντιστοιχία με την συμπεριφορά των περισσότερων ψηφιακών νομισμάτων.

Η ίδια αλλαγή έχει ακολουθηθεί και στον μακροπρόθεσμο παράγοντα. Ταυτόχρονα όμως το συγκεκριμένο κλάσμα περιλαμβάνει και περισσότερους όρους που τον περιπλέκουν. Ο λόγος είναι ότι επιθυμούμε ο μακροπρόθεσμος παράγοντας να συνιστά μια πλήρη αναπαράσταση του τι έχει συμβεί συνολικά στο σύστημα από την αρχή εφαρμογής του.

Συνεπώς έχουμε τον όρο (cc-cb) ο οποίος εκφράζει το πόσα νομίσματα εξαργυρώθηκαν από τους κατόχους τους μείον το πόσα νομίσματα μπήκαν ξανά σε κυκλοφορία επειδή επαναγοράστηκαν. Για παράδειγμα κάποιος μπορεί να επιθυμούσε να ρευστοποιήσει τα νομίσματα του επομένως αυτά τα νομίσματα πρέπει να αφαιρεθούν από την κυκλοφορία. Αν σε μελλοντική στιγμή αγοραστούν από κάποιο άλλο χρήστη τότε μπορούν να επανυπολογιστούν. Διευκρινίζεται ότι το rate διαμορφώνεται σε ημερήσια βάση. Αυτό σημαίνει πως θεωρούμε ότι τα νομίσματα εξαργυρώνονται με την λήξη της ημέρας και κατά τη διάρκεια της επόμενης, επομένως κοστολογούνται με το rate της προηγούμενης ημέρας. Για παράδειγμα αν κάποιος έχει διαθέσιμα 4 ATOMcoins και κατά τη διάρκεια της 24^{ης} ημέρας εξοικονομήσει 2kWh, τότε θα λάβει επιπλέον 2 ATOMcoins και θα φτάσει σε συνολικό αριθμό 6. Αν θελήσει να τα εξαργυρώσει την επόμενη μέρα τότε επειδή ακόμα δεν θα έχει προκύψει rate για την 25 μέρα, αυτά

αναγκαστικά θα ρευστοποιηθούν με το rate της 24 ημέρας δημιουργώντας τους δείκτες (i-1).

Στο παρονομαστή του μακροπρόθεσμου παράγοντα παρατηρούμε επιπλέον τον όρο reg^*e . Ο συγκεκριμένος όρος αφορά το πρόστιμο που πρέπει να καταβληθεί όταν υπάρχει υπερκατανάλωση συγκεκριμένου συμμετέχοντα έναντι του στόχου που είχε τεθεί. Ένα βασικό ερώτημα αφορά το γιατί πρέπει να υπάρχει πρόστιμο σε ένα τέτοιο πρόγραμμα το οποίο έχει σκοπό να ενθαρρύνει και να δώσει κίνητρο για εξοικονόμηση. Ο βασικός λόγος είναι πως επιθυμούμε όσοι συμμετέχουν να είναι ενεργοί και δραστήριοι. Από την άλλη πλευρά, επειδή συνολικά από την αρχή που τρέχει το πρόγραμμα έχει τεθεί ένας στόχος, η υπερκατανάλωση που προκαλεί κάποιος θα πρέπει να καλυφθεί είτε από κάποιον άλλο χρήστη, είτε από τον ίδιο σε μελλοντική στιγμή. Ως εκ τούτου σε εκείνη τη μελλοντική στιγμή που θα καλυφθεί το κενό, πρέπει να υπάρξει και το αντίστοιχο χρηματικό ποσό το οποίο θα αντιστοιχεί σε εκείνη την εξοικονόμηση, ένα ποσό που θα προκύπτει από το πρόστιμο. Ο λόγος που επιλέγεται η τιμή του reg για να κοστολογηθεί η αξία του προστίμου έχει να κάνει με το γεγονός ότι θέλουμε το κόστος ενός προστίμου να είναι ντετερμινιστικά καθορισμένο και σταθερό ώστε να είναι προκαταβολικά γνωστό. Έτσι θα αποφευχθούν φαινόμενα κοινωνικής αδικίας όπου κάποιος μπορεί να πληρώσει μεγαλύτερα πρόστιμα από άλλους. Ταυτόχρονα έχουμε εξηγήσει ότι ο reg εκφράζει το ποσό που πρέπει να δαπανηθεί ώστε να προκύψει μια κιλοβατώρα εξοικονόμησης. Επομένως θεωρούμε ότι είναι μια αντιπροσωπευτική τιμή για να μπορεί να καλυφθεί η υπερκατανάλωση που υπήρξε. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ύπαρξη του προστίμου αφορά ένα πρόγραμμα το οποίο τρέχει για νοικοκυριά σε φυσιολογικά επίπεδα οικονομικής κατάστασης, καθώς κάτι τέτοιο δεν θα ήταν εφικτό σε περιπτώσεις εφαρμογής κοστολογήσεων παρόμοιων με το ελληνικό «κοινωνικό τιμολόγιο». Σε τέτοιες περιπτώσεις επειδή υπάρχει διαφορετική χρέωση της κιλοβατώρας, το πρόγραμμα πρέπει να τρέχει ανεξάρτητα και πιθανώς να μην περιλαμβάνει πρόστιμο.

Έχοντας κατανοήσει όλα τα συστατικά που απαρτίζουν την εξίσωση του rate για το ATOMcoin, είναι σημαντικό να αναλύσουμε και την φιλοσοφία που εισάγει ο συγκεκριμένος υπολογισμός για την συμπεριφορά του νομίσματός μας.

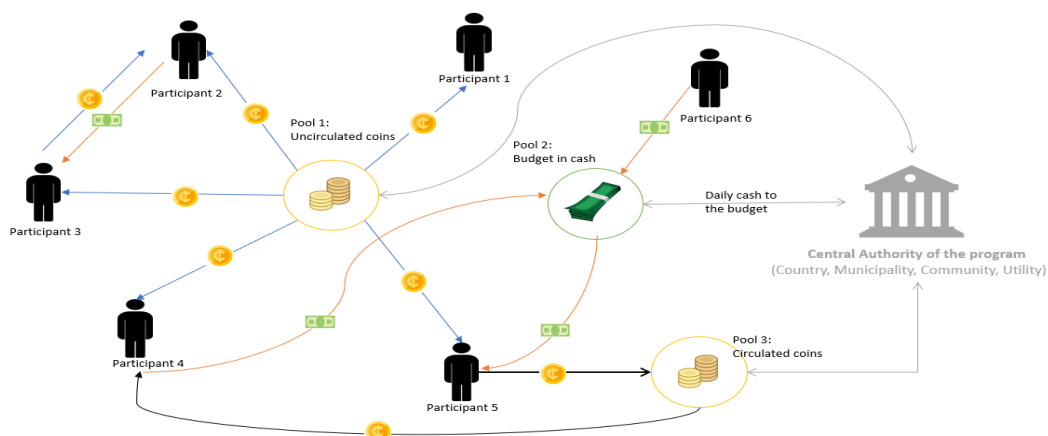
Αντιμετωπίζοντας ως ενιαία οντότητα την παρένθεση, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αντιπροσωπεύει το πραγματικό αποτέλεσμα που έχουν πετύχει οι συμμετέχοντες σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας αναφορικά με το διαθέσιμο χρηματικό ποσό της αντίστοιχης περιόδου. Ο όρος αυτός εκφράζεται σε kWh/€ και πολλαπλασιάζεται με το reg του οποίου οι μονάδες μέτρησης είναι €/kWh. Ο μεν όρος reg εκφράζει τον συνολικό στόχο του συστήματος, ενώ ο όρος της παρένθεσης εκφράζει το τελικό αποτέλεσμα των χρηστών, οπότε συνολικά το γινόμενο το οποίο είναι ένας καθαρός αριθμός εκφράζει πόσο κοντά ήταν η πρόβλεψη για τη συνολική απόδοση συγκριτικά με το τι συνέβη πραγματικά. Ταυτόχρονα οι δύο όροι παρουσιάζουν αντίστροφα χαρακτηριστικά όπως αποτυπώνονται στις μονάδες μέτρησης, οπότε αν η πρόβλεψη συμβαδίζει με το τι πέτυχαν οι καταναλωτές τότε το γινόμενο θα είναι μονάδα. Για να εξηγήσουμε παραστατικά αυτό το γεγονός μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουμε μια πόλη η οποία έχει ως στόχο 5% εξοικονόμηση. Αν οι καταναλωτές πετύχουν ακριβώς 5% ο καθένας έναντι του προσωπικού τους στόχου, τότε το γινόμενο του reg με την παρένθεση θα είναι ίσο με μονάδα. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν το rate του νομίσματος θα είναι ίσο με την τιμή της κιλοβατώρας r_{kWh} η οποία θα καθορίζει και την σωστή μονάδα μέτρησης για το rate σε €/kWh. Πρακτικά αυτό συνεπάγεται ότι σε

ένα τέτοιο ιδεατό σενάριο για κάθε κιλοβατώρα που εξοικονομεί κάποιος θα παίρνει bonus μια επιπλέον κιλοβατώρα υπό τη μορφή ATOMcoin, αφού μια κιλοβατώρα και ένα νόμισμα θα έχουν την ίδια αξία.

Επειδή όμως το σενάριο αυτό είναι ιδεατό είναι σημαντικό να μελετήσουμε την συμπεριφορά του νομίσματος στις αποκλίσεις. Παρατηρούμε ότι αν οι καταναλωτές πετύχουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση από το στόχο, τότε το γινόμενο θα είναι μεγαλύτερο της μονάδας επομένως το rate του νομίσματος θα είναι αντίστοιχα μεγαλύτερο από το κόστος της κιλοβατώρας. Ανάλογα θα κινηθεί αν συμβεί το αντίθετο δηλαδή έχουμε εξοικονόμηση μικρότερη του αναμενόμενου.

Τονίζουμε ξανά λοιπόν ότι επειδή χρησιμοποιείται η εκτίμηση της εξοικονόμησης από το reg ως μέτρο σύγκρισης, είναι πολύ σημαντικό η εκτίμηση αυτή να γίνει με ρεαλιστικά κριτήρια. Ωστόσο σε περίπτωση που φανεί ότι η επιλογή ήταν λανθασμένη καλό είναι να υπάρξει ρύθμιση από την αρχή που επιβλέπει το πρόγραμμα. Στο παρών πλαίσιο τέτοιου είδους ρυθμίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με δύο τρόπους. Η μία πρώτη ρύθμιση για μικρές αποκλίσεις μπορεί να γίνει μέσω του χρηματικού ποσού. Για παράδειγμα αν φανεί ότι υπάρχει υψηλότερη εξοικονόμηση από το αναμενόμενο, αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση του rate. Μια αρχή που μπορεί να τρέχει το πρόγραμμα, είναι πιθανό να μην θέλει η τιμή του rate να ανέβει πάνω από δύο φορές την τιμή της κιλοβατώρας. Αν συμβεί κάτι τέτοιο σημαίνει ότι η υπερεξοικονόμηση αυτή θα οδηγήσει το πρόγραμμα να ολοκληρωθεί νωρίτερα. Συνεπώς μπορεί η αρχή να χρησιμοποιήσει το budget μελλοντικών ημερών, προκειμένου τεχνητά να μειώσει λίγο το rate σε αποδεκτά επίπεδα. Μια δεύτερη ρύθμιση, εφόσον κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, είναι η τροποποίηση του reg σε πιο ρεαλιστικά επίπεδα εφόσον παρατηρηθεί ότι η αρχική εκτίμηση είτε ήταν πολύ αισιόδοξη είτε απαισιόδοξη. Διευκρινίζεται ότι μια τέτοια ρύθμιση μπορεί να προκαλέσει απότομη μεταβολή οπότε καλό είναι να αποφεύγεται εφόσον δεν είναι απόλυτα απαραίτητη. Η ιδανική λύση είναι εξαρχής να προηγηθεί μια μελέτη ικανότητας εξοικονόμησης ώστε να υπάρχει μια ικανοποιητική πρόβλεψη.

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα περιβάλλον που αναπαριστά το σύνολο των πιθανών συναλλαγών που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα πρόγραμμα σαν αυτό που προτείνουμε.



Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση των συναλλαγών σε ένα περιβάλλον εφαρμογής του ATOMcoin.

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την ύπαρξη μιας κεντρικής αρχής η οποία μπορεί είτε να είναι ένας δήμος, μια κοινότητα ή ακόμα και ένας πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό διαμορφώνει τρεις δεξαμενές (pools).

Στο pool 1 υπάρχουν τα ακυκλοφόρητα νομίσματα. Προκειμένου να αντλήσει κάποιος νομίσματα από αυτό το pool πρέπει να προκύψει εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα ο συμμετέχων 1 του σχήματος εξοικονομεί ενέργεια και λαμβάνει την αντίστοιχη ποσότητα νομισμάτων. Από το συγκεκριμένο pool δεν μπορούν να αγοραστούν νομίσματα διότι για να βγει ένα νόμισμα πρέπει να έχει προκύψει βεβαιωμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

Το pool 2 αφορά το διαθέσιμο budget του συστήματος. Εκεί ημερήσια μπαίνει το ποσό που έχει επιμερίσει η εκάστοτε αρχή, αλλά και τα πρόστιμα που προκύπτουν όπως για παράδειγμα από τον συμμετέχων 6.

Στο pool 3 τοποθετούνται τα νομίσματα που έχουν εξαργυρωθεί. Για όση διάρκεια παραμένουν εκεί δεν υπολογίζονται, ενώ δυνητικά μπορούν να αποσυρθούν και πλήρως από την κυκλοφορία. Έτσι για παράδειγμα έχουμε τον συμμετέχων 5 ο οποίος εξοικονομεί ενέργεια και παίρνει τα αντίστοιχα νομίσματα από το pool 1. Επιθυμεί να εξαργυρώσει οπότε πουλά πίσω στην αρχή (pool 3) τα νομίσματα και λαμβάνει το αντίστοιχο ποσό χρημάτων από το pool 2. Ταυτόχρονα ο χρήστης 4 θέλει να αγοράσει αυτά τα νομίσματα που υπάρχουν στο pool 3 και άρα καταβάλλει το αντίτιμο στο pool 2.

Σε παρόμοια λογική κινήθηκαν οι χρήστες 2,3 όπου ο χρήστης 3 πούλησε τα νομίσματα του στο χρήστη 2 έναντι κάποιου αντιτίμου. Υπάρχουν αρκετές διαφορές ανάμεσα στη συναλλαγή των χρηστών 2,3 έναντι αυτής των 4,5 με τη συμβολή της αρχής. Παραδείγματος χάρη, ο χρήστης 3 μπορεί να πλήρωσε μια υπηρεσία που του παρείχε ο χρήστης 2 μέσω ATOMcoin. Κάτι τέτοιο συμβολίζει ότι το νόμισμα είναι αποδεκτό στην κοινωνία ως εναλλακτική μορφή πληρωμής. Μια άλλη διαφορά αφορά το γεγονός ότι ο χρήστης 4 μπορεί να αγόρασε τα νομίσματα που ρευστοποίησε ο χρήστης 5 σε διαφορετική χρονική στιγμή.

4.3.2 Πρόβλεψη σεναρίου “business-as-usual”

Όπως έχουμε εξηγήσει τόσο στην ανάλυση των ενεργειακών κοινοτήτων όσο και τον νομισμάτων, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας της απλότητας που προσφέρει σε επίπεδο επιχειρηματικών σχεδίων, οδηγεί τις περισσότερες πρωτοβουλίες να στρέφονται πώς αυτή την κατεύθυνση.

Αντίθετα, η δημιουργία πλαισίων για νομίσματα βασισμένα στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολύπλοκα και για έναν επιπλέον λόγο πέρα από αυτούς που έχουν αναλυθεί: την απόδειξη ύπαρξης βεβαιωμένης εξοικονόμησης ενέργειας.

Για να υπάρξει βεβαιωμένη εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να εγκατασταθεί ένα αρχικό σενάριο “business-as-usual” (BAU) το οποίο αντιπροσωπεύει το τι θα συνέβαινε αν δεν πραγματοποιούταν καμία δράση και ο κάθε χρήστης συμπεριφερόταν με τον τρόπο που συμπεριφερόταν στο παρελθόν. Στη συνέχεια η πραγματική κατανάλωση συγκρίνεται με την προβλεπόμενη από το σενάριο για να προκύψει η εξοικονόμηση. Είναι εμφανές ότι η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί για τη διαμόρφωση του BAU σεναρίου οφείλει να είναι αρκετά αυστηρή και όσο γίνεται πιο ακριβής ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα.

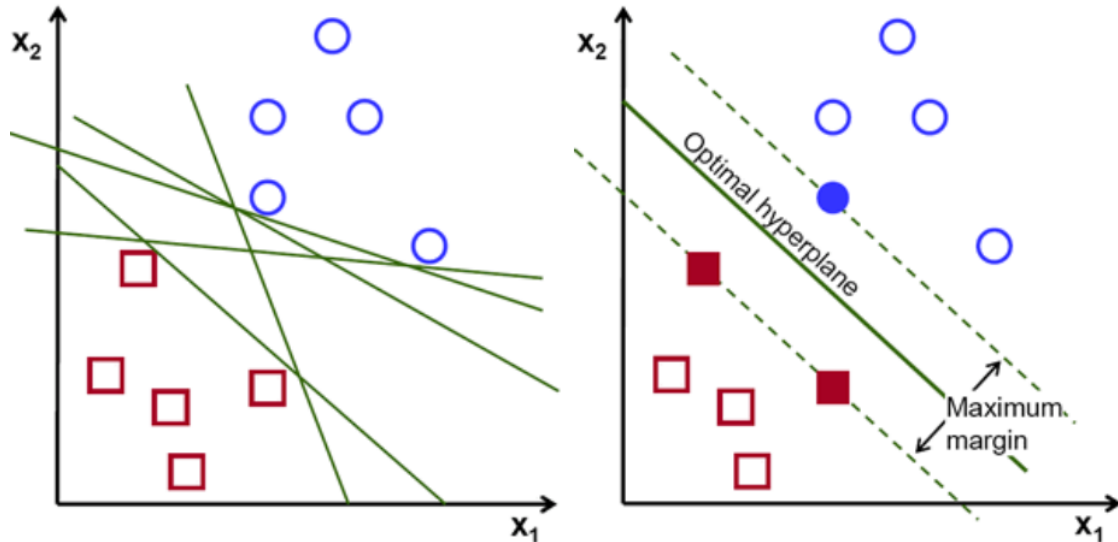
Η διαμόρφωση ενός μοντέλου πρόβλεψης απαιτεί την συνεκτίμηση αρκετών παραγόντων όπως ιστορικές παρατηρήσεις, αλλά και δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν ή πιθανώς τις ιδιαιτερότητες της κάθε ημέρας. Παραδείγματος χάρη τα σαββατοκύριακα αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο από ότι οι καθημερινές, όπως επίσης και οι μέρες αργίας παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που πρέπει να εξεταστούν.

Διαχρονικά για την πρόβλεψη φορτίου έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές διαφορετικές μέθοδοι που κυμαίνονται από στατιστικές προβλέψεις μέχρι προβλέψεις που βασίζονται στη μηχανική μάθηση. Συγκεκριμένα έχουμε ήδη δει το παράδειγμα της Robotina που χρησιμοποιεί μεθόδους AI στην πρόβλεψη. Στις μέρες μας τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν την μεγαλύτερη αποδοχή με τη χρήση τους να αποτελεί περίπου το 40% των μοντέλων ενεργειακού σχεδιασμού (Debnath et al., 2018).

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να παρέχουν προβλέψεις σε μικρά χρονικά διαστήματα, σε σημείο που πρόβλεψη σε βάθος ωρών μπορεί να θεωρηθεί μακροπρόθεσμη πρόβλεψη. Οι Bonetto et al. (2017) συνέκριναν μερικές μεθόδους πρόβλεψης μηχανικής μάθησης με ενδιαφέροντα αποτελέσματα που καταδεικνύουν την δυναμική τους. Μάλιστα μια από τις τεχνικές που έδειξε σχετική ακρίβεια σε προβλέψεις σε βάθος χρόνο ήταν αυτή των μηχανών διανυσμάτων υποστήριξης (support vector machines- SVM), η οποία επειδή πρωταρχικά αποτελεί μέθοδο ταξινόμησης, όταν αναφερόμαστε σε συνεχή πρόβλεψη μετατρέπεται στη μέθοδο παλινδρόμησης με μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (support vector regression-SVR).

Η μέθοδος SVM αποτελεί μια επέκταση του αλγορίθμου γενικευμένου πορτραίτου όπως αυτός αναπτύχθηκε από τους Vapnik and Lerner (1963). Στη παρούσα της μορφή η μέθοδος απέκτησε σύσταση από τους Cortes and Vapnik (1995), ενώ την ίδια χρονιά ο Vapnik (1995) εισήγαγε και την έννοια της παλινδρόμησης στη μέθοδο.

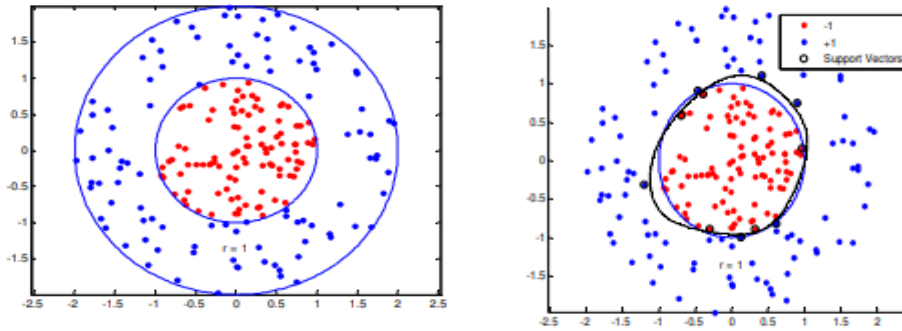
Η βασική ιδέα της μεθόδου SMV έχει να κάνει με την ταξινόμηση παρατηρήσεων και αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 4.6: Βασική ιδέα της SMV. Πηγή: <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-vs-logistic-regression-94cc2975433f>

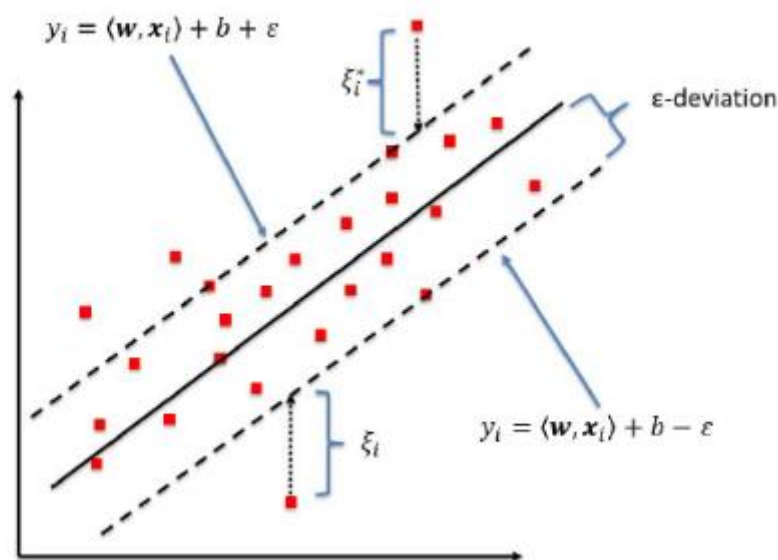
Στο πρώτο διάγραμμα βλέπουμε ότι έχουμε δύο κατηγορίες παρατηρήσεων και προσπαθούμε να χαράξουμε μια ευθεία η οποία θα χωρίζει τις ομάδες κατάλληλα, ώστε όταν έρθει μια νέα παρατήρηση, ανάλογα σε ποια πλευρά της ευθείας βρίσκεται να την ταξινομήσουμε κατάλληλα. Οι ευθείες αυτές όμως είναι άπειρες οπότε η μέθοδος SVM, όπως βλέπουμε στο δεύτερο διάγραμμα, έρχεται να ορίσει τη βέλτιστη ευθεία όπου μεγιστοποιεί την απόσταση από τις ακραίες παρατηρήσεις του κάθε δείγματος. Διευκρινίζουμε ότι η αναπαράσταση του σχήματος αφορά διδιάστατο χώρο οπότε ο χωρισμός γίνεται με ευθεία, ωστόσο μπορεί να αναφερόμαστε σε χώρο μεγαλύτερων διαστάσεων οπότε ο χωρισμός γίνεται μέσω υπερεπιπέδων (hyperplanes).

Η εύρεση του κατάλληλου υπερεπιπέδου γίνεται με την βελτιστοποίηση συναρτήσεων Lagrange, ενώ για μη γραμμικά διαχωρίσιμα συστήματα εφαρμόζεται η συνάρτηση πυρήνα ώστε το πρόβλημα να αναχθεί σε μεγαλύτερη διάσταση όπου είναι επιλύσιμο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος διαχωρισμός μέσω γκαουσιανής συνάρτησης πυρήνα:



Σχήμα 4.7: SVM με χρήση πυρήνα Gauss τύπου RBF. Πηγή: Tripathy et al. (2013).

Σε περιπτώσεις συνεχούς πρόβλεψης όπως στην πρόβλεψη φορτίου, εφαρμόζεται η SVR η οποία αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες των διανυσμάτων και αντιμετωπίζοντας κάθε σημείο μέσω μιας συνάρτησης ακτινικού τύπου (RBF) βελτιστοποιεί μια απόσταση «ε» μέγιστου αποδεκτού σφάλματος για να πραγματοποιήσει την πρόβλεψη.



Σχήμα 4.8: Αναπαράσταση μεθόδου SVR. Πηγή: Kleynhans et al. (2017).

Όπως βλέπουμε στο σχήμα το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου έχει να κάνει με την έμφαση που δίνει στις παρατηρήσεις εκτός του εύρους «ε».

Ο σκοπός της σύντομης ανάλυσης μας στην SVM και την προέκταση της SVR δεν είναι να αποδείξουμε την ανωτερότητα της έναντι άλλων μεθόδων αλλά να εξηγήσουμε την λογική που ακολουθεί ως μια υποσχόμενη μέθοδος. Η χρήση από μέρος μας της συγκεκριμένης μεθόδου θα πραγματοποιηθεί καθαρά δοκιμαστικά ώστε να αποτυπωθούν τα χαρακτηριστικά της.

Κεφάλαιο 5. Η περίπτωση του Μπαχρέιν

5.1 Το Βασίλειο του Μπαχρέιν

5.1.1 Γενικά στοιχεία

Το Βασίλειο του Μπαχρέιν αποτελεί μια χώρα-νησί που βρίσκεται στον Περσικό Κόλπο ανατολικά από τη Σαουδική Αραβία και βόρεια από το Κατάρ.



Σχήμα 5.1: Γεωγραφία του Μπαχρέιν. Πηγή: Google Maps

Πρόκειται για ένα μικρό νησί έκτασης περίπου 765 τετραγωνικών χιλιομέτρων το οποίο συγκριτικά με τα ελληνικά δεδομένα αποτελεί μέγεθος περίπου ίσο με το νησί της Κεφαλονιάς.

Με βάση στοιχεία του 2017 ο πληθυσμός ανερχόταν στα 1,494,090 άτομα και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βρισκόταν περίπου στις 16,559 GWh, με το 50% αυτής της ποσότητας να προκύπτει από τον οικιακό τομέα (Albufasa, 2018).

Η παραγωγή του Μπαχρέιν στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στο φυσικό αέριο το οποίο καταλαμβάνει μεγάλο ποσοστό του ενεργειακού μείγματος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

| Energy Mixture | |
|-------------------------------------|---------|
| Natural oil/Fuel oil (OCGT+CCGT+ST) | 3920 MW |
| Wind | 2 MW |
| Solar | 4 MW |
| Interconnection | 600 MW |

Πίνακας 5.1: Ενεργειακό μείγμα του Μπαχρέιν

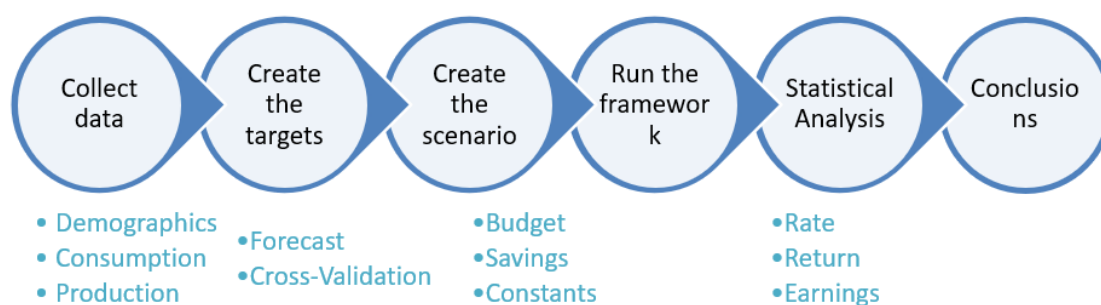
Βλέπουμε ότι η συμβατική παραγωγή μέσω ορυκτών καυσίμων αποτελεί τουλάχιστον το 85% της συνολικής παραγωγής ακόμα και αν υπολογίσουμε στο μείγμα τη διασύνδεση με τη Σαουδική Αραβία.

Εξαιτίας του χαμηλού ποσοστού ενσωμάτωσης παραγωγής από ΑΠΕ στη χώρα, κρίνεται απαραίτητο να υπάρξουν επενδύσεις και στην εξοικονόμηση ενέργειας ταυτόχρονα με τη σταδιακή διείσδυση πράσινων μορφών παραγωγής. Μάλιστα με βάση το σχέδιο δράσης του Μπαχρέιν (Sustainable Energy Unit, 2017), η κυβέρνηση σκοπεύει να μειώσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 6% μέχρι το 2025.

Δεδομένου λοιπόν ότι το Μπαχρέιν συνιστά ένα ολοκληρωμένο και ταυτόχρονα σχετικά μικρό δίκτυο, το καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρον στο να εφαρμοστεί το πλαίσιο του ATOMcoin.

5.1.2 Μεθοδολογία μελέτης

Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για το συγκεκριμένο case αναπαρίσταται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.2: Μεθοδολογία της μελέτης.

- Αρχικά θα αναζητηθούν και θα επεξεργασθούν τα δεδομένα αναφορικά με τα δημογραφικά στοιχεία, την παραγωγή και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μέσω μοντέλου πρόβλεψης θα διαμορφωθούν τα BAU σενάρια για κάθε κατηγορία νοικοκυριού.
- Θα χαραχθεί το γενικό σενάριο με επιλογή μεταβλητών και καθορισμό στόχων.
- Θα εφαρμοστεί το πλαίσιο του ATOMcoin.
- Θα πραγματοποιηθεί στατιστική ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων
- Στο τέλος θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των δεδομένων για τα δημογραφικά στοιχεία, ενώ στη συνέχεια θα μελετήσουμε την συνολική παραγωγή και κατανάλωση της χώρας προκειμένου να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε την πρόβλεψη μας για το BAU σενάριο.

5.2.1 Δημογραφικά στοιχεία

Η εύρεση και η ανάλυση των δημογραφικών στοιχείων για το Μπαχρέιν ήταν μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία καθώς δεν υπήρχαν πολλά και πρόσφατα δεδομένα, οπότε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αποτελούν ικανοποιητικές προσεγγίσεις.

Συγκεκριμένα, με βάση στοιχεία του ΟΗΕ (United Nations, 2017) ο οποίος όμως βασίζεται στην απογραφή του 2010, ο μέσος όρος ατόμων ανά νοικοκυριό ανέρχεται στα 5.9 άτομα, το οποίο αφενός δεν ακολουθεί τα δεδομένα στα οποία είμαστε συνηθισμένοι στην Ελλάδα, αφετέρου δημιουργεί πρόβλημα ακόμα και στην παρουσίαση των ίδιων των στοιχείων του ΟΗΕ. Συγκεκριμένα έχουμε:

| Country or area | Average household size (number of members) | Distribution of households by number of members (%) ⁱ | | | |
|---------------------|--|--|--------|--------|-----|
| | Total | 1 | 2 to 3 | 4 to 5 | 6+ |
| | Col (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| Thailand | 3.7 | 18 | 45 | 28 | 9 |
| Timor-Leste | 5.8 | 3 | 16 | 28 | 53 |
| Viet Nam | 3.8 | 7 | 35 | 44 | 14 |
| Western Asia | | | | | |
| Armenia | 3.8 | 12 | 29 | 38 | 21 |
| Azerbaijan | 4.5 | 7 | 21 | 45 | 28 |
| Bahrain | 5.9 | 13 | 17 | 23 | 47 |

Πίνακας 5.2: Δημογραφικά στοιχεία Μπαχρέιν με βάση τον ΟΗΕ

Ωστόσο με δεδομένο ότι ο μέσος όρος ανέρχεται στα 5.9 η κατανομή που σταματάει στα νοικοκυριά με 6+ μέλη δεν προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα καθώς ένα σημαντικό μερίδιο βρίσκεται στο άκρο του διαστήματος παρουσίας.

Προχωράμε λοιπόν σε μια προσέγγιση της πλήρους κατανομής συνυπολογίζοντας την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια. Καταλήγουμε σε μια εκτίμηση ότι υπάρχουν 250,000 νοικοκυριά ($\approx 1,490,090/5.9$) τα οποία κατανέμονται ανάλογα με τον αριθμό των μελών τους όπως στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5.3: Προσέγγιση κατανομής νοικοκυριών ανά αριθμό μέλους για το Μπαχρέϊν.

Η κατανομή αυτή έρχεται σε συμφωνία με την συνολική κατανάλωση του οικιακού τομέα, αν υποθέσουμε μια per capita κατανάλωση της τάξης του 5,608 kWh. Συγκεκριμένα καταλήγουμε σε ένα μέγεθος της τάξης του 8,272GWh το οποίο είναι πολύ κοντά στο 50% της συνολικής κατανάλωσης των 16,559GWh.

5.2.2 Δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα στοιχεία που αφορούν την χρονική εξέλιξη της παραγωγής και της κατανάλωσης δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| Year | Production (GWh) | Consumption (GWh) |
|------|------------------|-------------------|
| 2013 | 14760 | 13350 |
| 2014 | 16259 | 15186 |
| 2015 | 17247 | 16552 |
| 2016 | 17068 | 16270 |
| 2017 | 18006 | 16559 |

Πίνακας 5.3: Χρονική εξέλιξη παραγωγής και κατανάλωσης

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των απωλειών για αυτά τα πέντε χρόνια καταλήγουμε σε έναν αριθμό της τάξης των 1000GWh.

Εφαρμόζουμε μια μέθοδο απλής γραμμικής παλινδρόμησης για την παραγωγή. Έστω x_i οι παρατηρήσεις στην στήλη του χρόνου και y_i οι παρατηρήσεις της παραγωγής. Τότε για την κλίση και το σημείο τομής με τον άξονα yy' ισχύουν οι εξισώσεις:

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (5.1)$$

και:

$$a = \bar{y} - b * \bar{x} \quad (5.2)$$

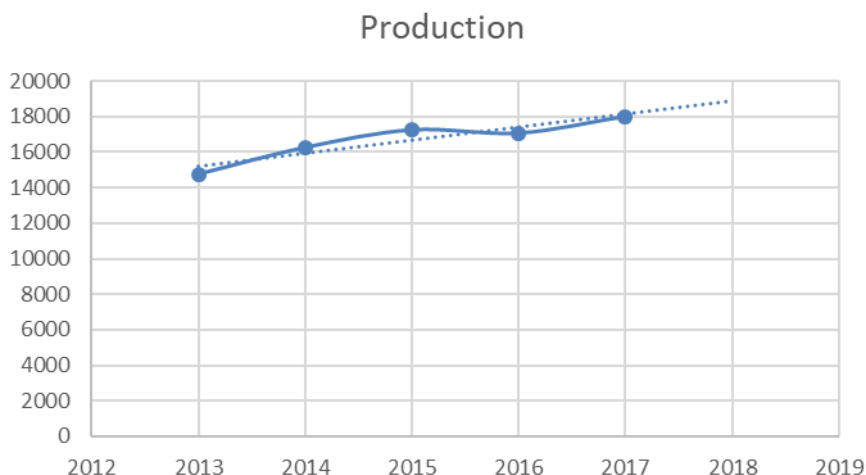
όπου \bar{y} και \bar{x} οι μέσες τιμές των αντίστοιχων μεγεθών αντίστοιχα.

Προκύπτει ότι $a=-1,454,483,5$ και $b=730,1$. Επομένως η παραγωγή για το 2018 δίνεται από τον τύπο:

$$y_{2018} = a + b * 2018 = 18,858.3GWh$$

Αφαιρώντας την μέση τιμή των απωλειών καταλήγουμε ότι η κατανάλωση αναμένεται περίπου στις 17,858.3GWh. Σε παρόμοιο αποτέλεσμα καταλήγουμε αν εφαρμόσουμε αντίστοιχα μια μέθοδο παλινδρόμησης για την κατανάλωση.

Σχηματικά η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την παραγωγή:



Σχήμα 5.4: Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης για την κατανάλωση

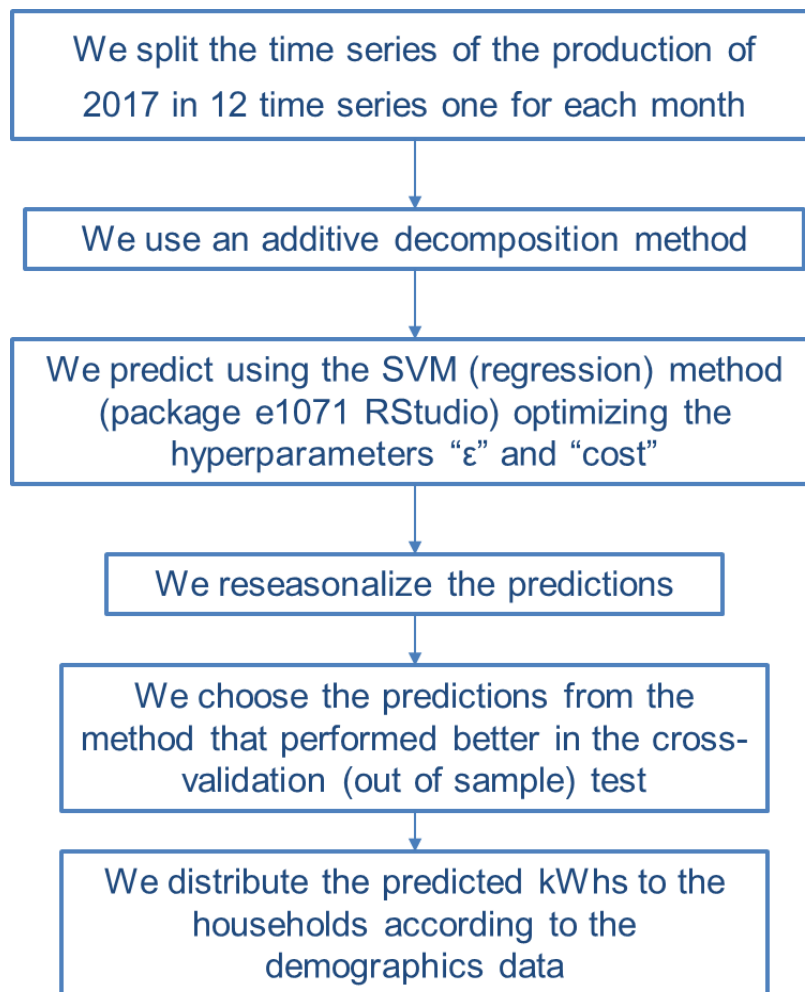
Από την γραφική παράσταση διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια μικρή κλίση που υποδηλώνει την αύξηση της παραγωγής επομένως μια απλή παλινδρόμηση αποτελεί μια ικανοποιητική μέθοδο πρόβλεψης.

Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιούμε τις προβλέψεις αυτές έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα ολοκληρωμένα στοιχεία που έχουμε διαθέσιμα είναι μέχρι το 2017 και υποθέτουμε ότι το case που θα τρέξει αφορά το 2018.

Ταυτόχρονα η πλήρης χρονοσειρά που μας έχει δοθεί από την EWA, την εταιρεία ηλεκτρισμού και ύδρευσης του Μπαχρέιν, αφορά την συνολική ημερήσια παραγωγή για το έτος 2017. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας όμως η κατανάλωση του 2018 αναμένεται να είναι σε παρόμοια επίπεδα με την παραγωγή του 2017, πρακτικά θεωρώντας ότι η αυξητική τάση που υπάρχει από χρόνο σε χρόνο καλύπτει τις απώλειες. Με δεδομένο ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση της παραγωγής με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Pamuk, 2016), θα χρησιμοποιήσουμε την χρονοσειρά της παραγωγής τους έτους 2017 θεωρώντας ότι αποτελεί μια καλή προσέγγιση προκειμένου να πραγματοποιήσουμε προβλέψεις για την κατανάλωση του 2018.

5.2.3 Διαμόρφωση Πρόβλεψης

Η δημιουργία ενός αυστηρού μοντέλου πρόβλεψης για την συγκεκριμένη προσομοίωση παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες διότι διαθέτουμε μόνο μια χρονοσειρά με ιστορικά δεδομένα για μόλις ένα έτος στο παρελθόν και καλούμαστε να παράξουμε τους στόχους του κάθε νοικοκυριού σε ημερήσια βάση. Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.5: Μεθοδολογία πρόβλεψης

Όπως αναφέραμε δεν είναι εφικτό να προβλέψουμε σε βάθος ενός έτους τιμές με τόσο λίγα ιστορικά δεδομένα. Αυτό που επιχειρούμε λοιπόν να κάνουμε είναι να σπάσουμε την ετήσια χρονοσειρά σε μηνιαίες και να επιχειρήσουμε πρόβλεψη για τον κάθε μήνα ξεχωριστά. Το πλεονέκτημα που κερδίζουμε με αυτό τον τρόπο είναι ότι τώρα έχοντας περίπου 30 παρατηρήσεις ανάλογα με το μήνα μπορούμε να προβλέψουμε μόλις 7 παρατηρήσεις για μια βδομάδα. Αυτές οι παρατηρήσεις θα αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τη βαρύτητα που έχει μια μέρα ενός μήνα, για παράδειγμα η Τετάρτη του Ιουνίου, και θα χρησιμοποιήσουμε αυτή την πρόβλεψη για όλες τις αντίστοιχες Τετάρτες του Ιουνίου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρουσιάζει το πρόβλημα ότι αγνοεί ειδικές μέρες αργιών ή περιόδους με συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες ωστόσο με τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεση μας κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί.

Αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε μια μέθοδο αποσύνθεσης προκειμένου να πάρουμε την εποχιακότητα την οποία θα επανεισάγουμε σε επόμενο στάδιο μετά την πρόβλεψη. Αυτή η μέθοδος θα μας δώσει επιπλέον πληροφορία για τις διαφορές της κάθε μέρας στους μήνες με ειδική έμφαση σε ιδιαιτερότητες ημερών που μπορούν να παρατηρηθούν όπως για παράδειγμα η Παρασκευή που για την πλειοψηφία του ισλαμικού κόσμου αποτελεί μέρα προσευχής. Η αποσύνθεση θα πραγματοποιηθεί με χρήση της εντολής “stl” του πακέτου “stats v 3.6.1” της γλώσσας R. Το μοντέλο αποσύνθεσης που χρησιμοποιείται από την εντολή είναι προσθετικό κάτι που δεν μας ενοχλεί διότι δεν αναμένουμε να έχουμε αυξητική τάση στην εποχιακότητα οπότε δεν υπάρχει έντονη διαφορά με το πολλαπλασιαστικό (Πετρόπουλος Φ. και Ασημακόπουλος Β., 2013).

Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τη μεθοδολογία της SVM για παλινδρόμηση όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα «4.3.2 Πρόβλεψη σεναρίου “business-as-usual”». Θα γίνει χρήση των εντολών “tune” και “svm” από το πακέτο “e1071” της R. Ουσιαστικά στο βασικό μοντέλο θα επιχειρήσουμε να βελτιστοποιήσουμε τις υπερπαραμέτρους “ε” και “cost”. Την λογική της παραμέτρου “ε” την είδαμε στην ενότητα 4.3.2 Πρόβλεψη σεναρίου “business-as-usual”. Η παράμετρος του κόστους αφορά πόσο μας ενδιαφέρει να συνυπολογίσουμε ακραίες παρατηρήσεις οι οποίες όμως μπορεί να οδηγήσουν σε over-fitting. Με την συγκεκριμένη έννοια αναφερόμαστε στο γεγονός ότι το μοντέλο μας θα προσπαθήσει να ακολουθήσει πιστά τις παρατηρήσεις που έχει διαθέσιμες με αποτέλεσμα όταν ξεφύγουμε και περάσουμε σε πρόβλεψη το μοντέλο να μην έχει καμία αξία. Για να αντιμετωπιστεί κάτι τέτοιο θα καταφύγουμε σε πιο απλά μοντέλα χωρίς αυστηρή βελτιστοποίηση.

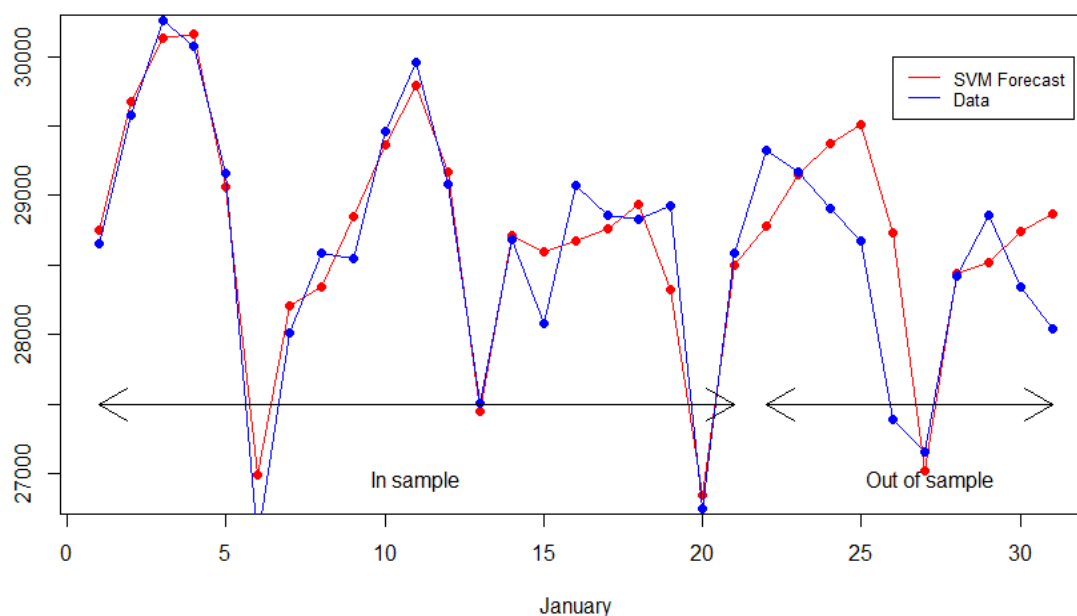
Ο τρόπος με τον οποίο θα καθοριστεί η ικανότητα των μοντέλων μας θα γίνει με εφαρμογή ενός cross-validation test. Συγκεκριμένα για κάθε μήνα θα δώσουμε στο μοντέλο μας μόλις 21 παρατηρήσεις προκειμένου να κάνει training και θα του ζητήσουμε να κάνει πρόβλεψη για τις υπόλοιπες μέρες του μήνα τις οποίες εμείς κρατάμε κρυφές. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την ακρίβεια της πρόβλεψης με χρήση του δείκτη MAPE ώστε να καθορίσουμε την αποτελεσματικότητα των μοντέλων μας. Ο δείκτης MAPE αποτελεί το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα και αποτελεί ίσως τον πιο διαδεδομένο δείκτη για τον υπολογισμό της ακρίβειας ενός μοντέλου πρόβλεψης (Kim et al., 2015). Υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| * 100\% \quad (5.3)$$

όπου:

- n: ο αριθμός των παρατηρήσεων για τις οποίες υπολογίζεται το σφάλμα
- Y_i : η πραγματική τιμή των παρατηρήσεων
- F_i : η τιμή της πρόβλεψης

Παρουσιάζουμε ενδεικτικά ένα τέτοιο τεστ για το μήνα Ιανουάριο:



Σχήμα 5.6: Cross-validation test για τον μήνα Ιανουάριο.

Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε δύο περιοχές. Η πρώτη (in-sample) είναι η περιοχή στην οποία το μοντέλο μας ήξερε τις παρατηρήσεις και έκανε training. Η δεύτερη (out-of-sample) είναι η περιοχή όπου το μοντέλο μας δεν ήξερε τις παρατηρήσεις και έκανε πρόβλεψη μόνο του. Εμάς μας ενδιαφέρει το MAPE στο out-of-sample δείγμα καθώς εντός του δείγματος είναι αναμενόμενο να είναι μικρό χωρίς να προσφέρει ιδιαίτερα συμπεράσματα. Τελικά λοιπόν από την συνολική διαδικασία με την βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων αλλά και την απλοποίηση σε περίπτωση overfitting καταλήγουμε σε ένα σφάλμα περίπου της τάξης $MAPE = 6.7\%$ το οποίο λαμβάνοντας υπόψιν την έλλειψη δεδομένων κρίνεται ως ικανοποιητικό.

Η πρόβλεψη η οποία λαμβάνουμε από την παραπάνω μεθοδολογία είναι συνολική. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να την επιμερίσουμε σε κάθε νοικοκυριό. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τα δημογραφικά στοιχεία που συλλέξαμε προκειμένου να βρούμε αρχικά πόσο καταναλώνει κάθε κατηγορία λαμβάνοντας υπόψιν την per capita κατανάλωση. Στη συνέχεια κάνουμε την υπόθεση ότι τα μέλη μιας κατηγορίας παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά οπότε ισομοιράζουμε την ποσότητα ενέργειας. Αν και αυτή η υπόθεση στατιστικά μπορεί να μην δίνει αποτελέσματα πολύ διαφορετικά από την πραγματικότητα, εντούτοις αγνοεί ότι μπορεί να υπάρχουν οικογένειες με συγκεκριμένο αριθμό μελών οι οποίες όμως να είναι πιο εύρωστης οικονομικής κατάστασης και άρα να έχουν διαφορετικό προφίλ κατανάλωσης. Κανονικά για να θεραπευτούν τέτοιες παθογένειες χρειάζονται δεδομένα από έξυπνους μετρητές ώστε το σύστημα πρόβλεψης να εφαρμοστεί προσωποποιημένα για το κάθε νοικοκυριό, δεδομένα τα οποία ωστόσο δεν έχουμε στη διάθεση μας.

5.3 Προσομοίωση

Έχοντας επεξεργασθεί τα δεδομένα και έχοντας λάβει τα σενάρια BAU για το κάθε νοικοκυριό είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε στο κύριο μέρος της προσομοίωσης.

5.3.1 Δημιουργία του σεναρίου

Η προσομοίωση θα τρέξει για το σύνολο του οικιακού τομέα του Μπαχρέιν επομένως θα έχουμε 250,000 συμμετέχοντες όσα και τα νοικοκυριά που εκτιμήθηκαν στα δημογραφικά.

Όπως αναφέραμε ήδη, το Μπαχρέιν στο εθνικό του σχέδιο έχει θέσει ως στόχο 6% εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι το 2025. Θεωρούμε λογικό λοιπόν να θέσουμε το στόχο και του προγράμματος στο 6% της συνολικής κατανάλωσης. Ο λόγος που επιλέγουμε μια τέτοια ποσότητα δεν σημαίνει ότι το παρόν σχέδιο θα μπορούσε να πετύχει το στόχο σε μόλις μια χρονιά εφαρμογής, αλλά αν εφαρμοστεί στην πράξη πιλοτικά για μια μερίδα του πληθυσμού, τότε πράγματι κρίνεται συνετό ο στόχος να είναι ο συνολικός. Η λογική της συγκεκριμένης προσομοίωσης δεν είναι να αποδείξει ότι τα νοικοκυριά μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια στα επίπεδα του 6%, αλλά να εξετάσει το τι συνεπάγεται, κυρίως από οικονομικής σκοπιάς, η εφαρμογή του πλαισίου του ATOMcoin.

Συνεπώς έχουμε θέσει τον στόχο στο 6% της συνολικής κατανάλωσης όπως αυτή προέκυψε από το άθροισμα όλων των BAU σεναρίων. Αυτός ανέρχεται στις 539.8GWh από τις συνολικά 8,997GWh που αναμένονται για τον οικιακό τομέα.

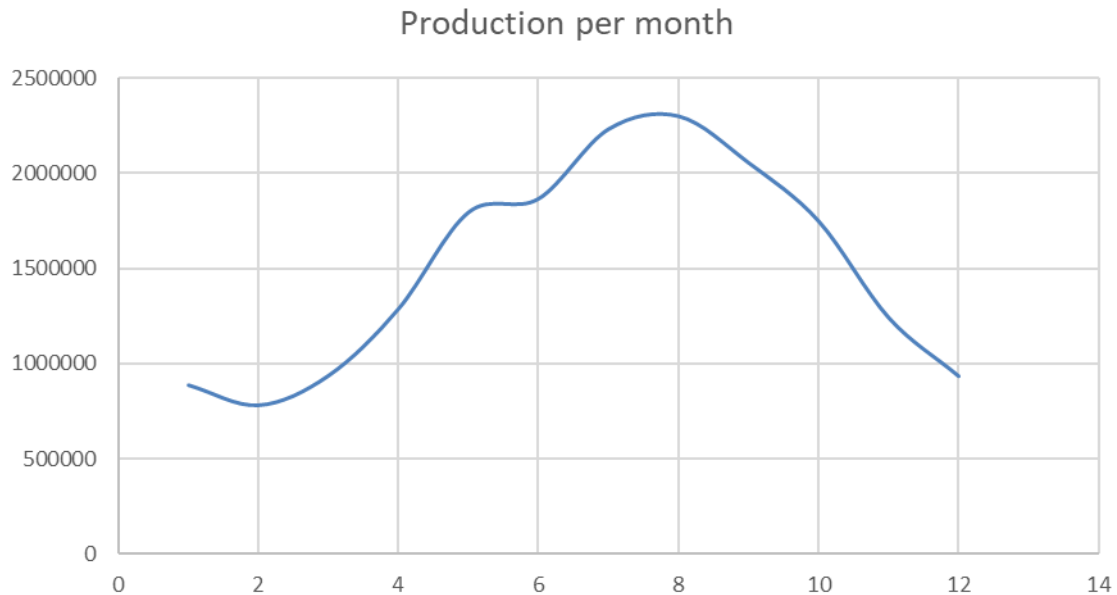
Έχοντας περιγράψει αναλυτικά την μεθοδολογία με την οποία διαμορφώνεται ο στόχος ανά συμμετέχον νοικοκυριό από το BAU σενάριο, χρειάζεται να προσομοιώσουμε την πραγματική συμπεριφορά των καταναλωτών. Με δεδομένο ότι όπως αναφέραμε σκοπός της προσομοίωσης δεν είναι να αποδείξει ότι υπάρχει η ικανότητα τα νοικοκυριά να εξοικονομήσουν 6%, θα προσομοιώσουμε την συμπεριφορά τους με τυχαία νούμερα που θα προκύπτουν από μια κανονική κατανομή με μέση τιμή στο 94% του στόχου που έχει τεθεί για κάθε νοικοκυριό και τυπική απόκλιση στο 10% του αντίστοιχου μεγέθους. Έτσι ουσιαστικά στο δείγμα μας θα συμπεριλάβουμε και καταστάσεις όπου θα υπάρχει υπερκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή των τυχαίων αυτών αριθμών θα γίνει με χρήση της συνάρτησης “rnorm” του πακέτου “compositions v1.40-2” της R.

Ταυτόχρονα εισάγουμε ένα κατώφλι εξοικονόμησης της τάξης του 50% θεωρώντας ότι αν η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από αυτό το επίπεδο, δεν μπορεί να προκύπτει μόνο από εξοικονόμηση και είτε το νοικοκυριό έλειπε για παράδειγμα σε διακοπές, είτε κατανάλωνε υπερβολικά μικρές ποσότητες προκειμένου να κερδίσει νομίσματα, μια συμπεριφορά που θέλουμε να αποθαρρύνουμε.

Προκειμένου να χρηματοδοτηθεί η εν λόγω δράση θα χρησιμοποιηθεί ένα κεφάλαιο της τάξης των 50,000,000\$ τα οποία θα διατεθούν υπό την μορφή ATOMcoin για την ενίσχυση της εξοικονόμησης ενέργειας. Με δεδομένο ότι η προσομοίωση θα τρέξει για ένα χρόνο μπορούμε να ισομοιάσουμε το συγκεκριμένο ποσό στις 365 ημέρες.

Ωστόσο, όπως διαπιστώσαμε στην ενότητα «4.2.2.1 Προβλήματα Διακύμανσης» αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψιμη συμπεριφορά για το μοντέλο μας.

Θα επιχειρήσουμε λοιπόν να μοιράσουμε τα διαθέσιμα χρήματα με βάση την καμπύλη παραγωγής του Μπαχρέιν, θεωρώντας πως όταν υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγή, θα υπάρχει και μεγαλύτερη κατανάλωση, ένα γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες ποσότητες εξοικονόμησης.



Σχήμα 5.7: Ετήσια καμπύλη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

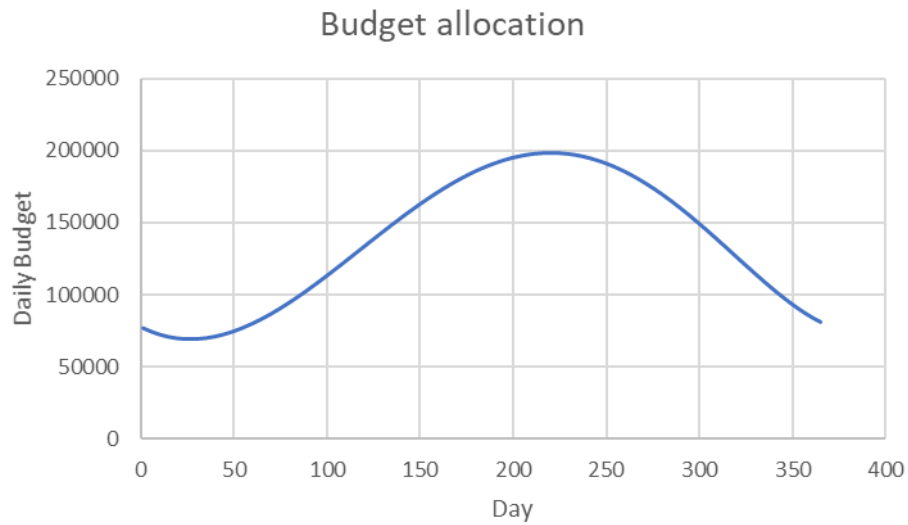
Για τον υπολογισμό του συντελεστή βαρύτητας κάθε ημέρας, εντοπίζουμε το βέλτιστο πολυώνυμο για την παραπάνω καμπύλη, το οποίο το κανονικοποιούμε για είσοδο από 1 έως 12. Λαμβάνουμε λοιπόν ότι οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν:

$$\begin{aligned}
 W_i = & (5.2396E - 6) * \left(1 + 11 * \frac{i}{365}\right)^5 - (9.5172E - 5) \\
 & * \left(1 + 11 * \frac{i}{365}\right)^4 - (2.8344E - 4) * \left(1 + 11 * \frac{i}{365}\right)^3 \\
 & + (1.0729E - 2) * \left(1 + 11 * \frac{i}{365}\right)^2 - (3.3897E - 2) \\
 & * \left(1 + 11 * \frac{i}{365}\right) + 0.072311
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

όπου:

- i : ημέρα
- W_i : συντελεστής βαρύτητας τη μέρα i

Αν πολλαπλασιάσουμε το συντελεστή βαρύτητας με το συνολικό budget των 50,000,000\$ προκύπτει το τελικό χρηματικό ποσό που αντιστοιχεί σε κάθε μέρα.



Σχήμα 5.8: Κατανομή ημερήσιου budget

Τελικά πετυχαίνουμε το ημερήσιο budget να μην κατανέμεται ισόποσα αλλά ακολουθώντας την καμπύλη παραγωγής.

Υπολογίζουμε τις σταθερές που απαιτούνται από την προσομοίωση λαμβάνοντας ότι:

$$reg = \frac{Total\ Budget}{Anticipated\ Savings} = \frac{50,000,000\$}{539.8GWh} = 0.093\$/kWh$$

ενώ για την τιμή της κιλοβατώρας ισχύει μια μέση προσέγγιση χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι πολιτικές επιδότησης που έχει το Μπαχρέιν:

$$p_{kWh} = 29fils * 0.0027\$/fils^4 = 0.0783\$/kWh$$

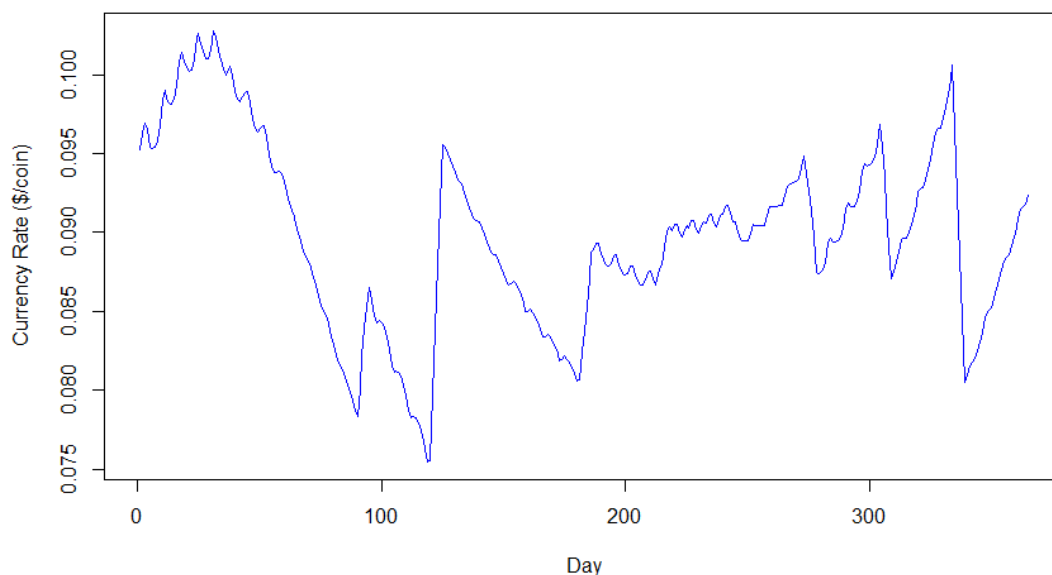
⁴ Η αναλογία μεταξύ 1fil με το δολάριο είναι στα 0.00265957 στις 13/07/2019 19:47 EEST. Πηγή: <https://www.xe.com/currencycharts/?from=BHD&to=USD>

5.3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

5.3.2.1 Το rate του νομίσματος

Με βάση την προσομοίωση που διαμορφώθηκε τελικά προέκυψε μια εξοικονόμηση της τάξης των 691.5 GWh. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σχετικά μεγαλύτερο από την αναμενόμενη εξοικονόμηση αποδεικνύοντας ότι το σενάριο $\sim N(\mu=94\%, sd=10\%)$ ήταν λίγο πιο αισιόδοξο, παρουσιάζοντας εξοικονόμηση μεγαλύτερη του 6% που είναι ο μέσος όρος. Ωστόσο αυτό μας δείχνει ότι οικονομικά το σύστημα μπορεί να είναι βιώσιμο ακόμα και σε μια τέτοια συνθήκη.

Το αποτέλεσμα για το rate του ATOMcoin όπως αυτό ορίζεται στην εξίσωση (4.6) παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



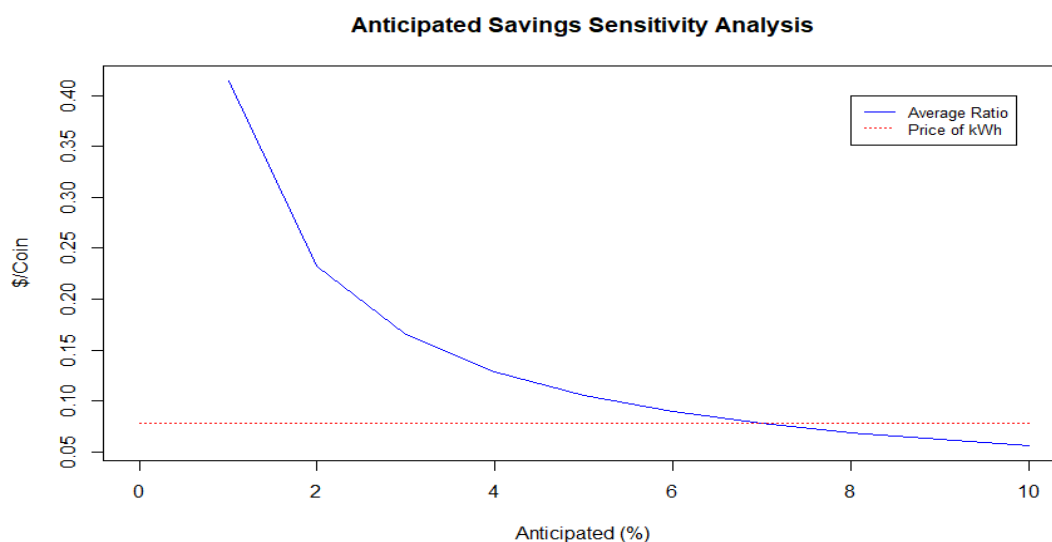
Σχήμα 5.9: Rate του νομίσματος ATOMcoin στην περίπτωση του Μπαχρέιν

Προκύπτει ότι η μέση τιμή του rate του ATOMcoin ανέρχεται στα $c_{\text{average}}=0.089\$/\text{coin}$ η οποία είναι λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αξία της κιλοβατώρας. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι υπήρχε μεγαλύτερη εξοικονόμηση από την εκτιμώμενη. Έτσι προκύπτει επιπλέον κίνητρο στους συμμετέχοντες για εξοικονόμηση ενέργειας καθώς το κέρδος τους θα είναι μεγαλύτερο.

Ταυτόχρονα η μέγιστη τιμή του νομίσματος φθάνει περίπου στα 0.10\$/coin ενώ αντίστοιχα η ελάχιστη τιμή ανέρχεται στα 0.075\$/coin. Αυτό σημαίνει ότι δεν δείχνει τάση να ξεφύγει από τα λογικά πλαίσια την ώρα που η διακύμανση βρίσκεται σε επίπεδα της τάξης του $\sigma=0.0058$. Έτσι λύνεται το πρόβλημα της έντονης διακύμανσης του αρχικού νομίσματος όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.3 ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει μεταβλητότητα για να έχει επενδυτική αξία.

5.3.2.2 Ανάλυση Ευαισθησίας

Επειδή η προσομοίωση μας έδωσε ένα αισιόδοξο σενάριο θέλουμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά του νομίσματος σε μεταβολή των τιμών της εξοικονόμησης που πέτυχαν τα νοικοκυριά. Ο όγκος ωστόσο των αριθμών που πρέπει να παραχθούν καθιστά δύσκολο να τρέξουμε πολλά σενάρια για το αποτέλεσμα της εξοικονόμησης καθώς μιλάμε για πίνακες με $250,000 \cdot 365 = 91,250,000$ αριθμούς σε κάθε σενάριο. Προκειμένου να αποφύγουμε αυτή την υπολογιστική πολυπλοκότητα θα πραγματοποιήσουμε την ανάλυση ευαισθησίας αναφορικά με την επίδοση των νοικοκυριών με μια διαφορετική προσέγγιση, η οποία ωστόσο δεν αλλάζει την λογική της ανάλυσης. Συγκεκριμένα αντί να τρέξουμε διαφορετικά σενάρια για την συμπεριφορά των νοικοκυριών θα αλλάξουμε την αναμενόμενη απόδοση που θα είχαμε θέσει ως στόχο στην αρχή. Για παράδειγμα, για τα νοικοκυριά έχουμε μια συμπεριφορά που χαρακτηρίζεται από την $\sim N(\mu=94\%, sd=10\%)$. Έχοντας θέσει ως στόχο 6% παρατηρήσαμε ότι είχαμε υπεραπόδοση. Στο διάγραμμα που ακολουθεί αναπαριστούμε το τι θα είχε συμβεί στο μέσο όρο του νομίσματος αν είχαμε θέσει διαφορετικό στόχο από 6% με δεδομένο ότι το τελικό αποτέλεσμα ήταν η κατανομή που περιγράψαμε:



Σχήμα 5.10: Ανάλυση ευαισθησίας ως προς την αναμενόμενη απόδοση

Με κόκκινη γραμμή αναπαριστούμε την τιμή της κιλοβατώρας που είναι σταθερά υπολογισμένη. Βλέπουμε ότι ο μέσος όρος συμπίπτει με την τιμή της κιλοβατώρας αν είχαμε θέσει αρχικά 7% εξοικονόμηση. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι η κατανομή $\sim N(\mu=94\%, sd=10\%)$ που χρησιμοποιήσαμε για τα νοικοκυριά ταιριάζει περισσότερο με μια πρόβλεψη 7% γι' αυτό προέκυψε και η υπεραπόδοση που παρατηρήσαμε. Ταυτόχρονα αν περιμέναμε 8% σημαίνει ότι θα είχαμε υπερεκτιμήσει τις δυνατότητες που υπήρχαν για εξοικονόμηση και άρα το rate του νομίσματος θα ήταν πιο χαμηλό από την τιμή της κιλοβατώρας και μάλιστα σε ένα επίπεδο $c_{average}=0.068\$/coin$. Ωστόσο, ακόμα και σε αυτό το αρνητικό σενάριο πάλι θα προκύπτει κέρδος για τους χρήστες απλά θα είναι πιο χαμηλό.

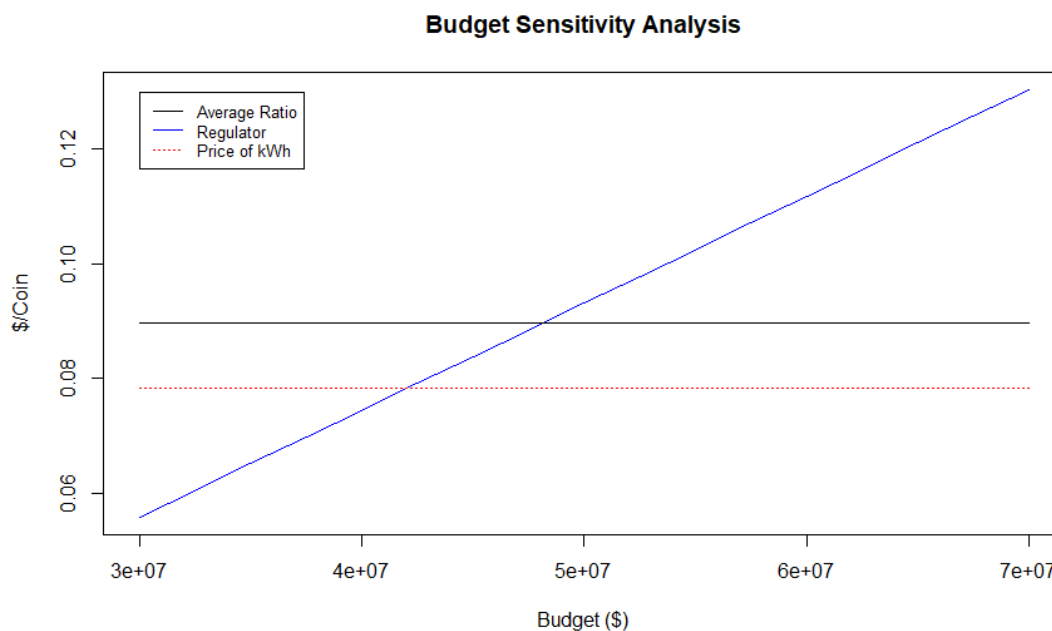
Ταυτόχρονα βλέπουμε ότι είναι αρκετά επικίνδυνο να υποτιμήσουμε τους καταναλωτές θεωρώντας ότι μπορούν να εξοικονομήσουν λιγότερο από ότι πραγματικά έχουν την

δυνατότητα. Βλέπουμε δηλαδή ότι αν οι χρήστες εξοικονομούσαν περίπου 7% όπως διαπιστώσαμε ότι συμβαίνει στην περίπτωση μας, αλλά εμείς είχαμε αρχικά προβλέψει 2% τότε το νόμισμα ανεβάζει ραγδαία την αξία του, ενώ αν υποτιμήσουμε τους καταναλωτές το φαινόμενο δεν είναι τόσο έντονο.

Σε αυτό το σημείο καλό είναι να τονιστεί ότι το νόμισμα μας εκτός από ανταλλακτική αξία, αντιστοιχεί και σε μια πραγματική ποσότητα, δηλαδή 1 κιλοβατώρα. Αν λοιπόν η ανταλλακτική αξία του νομίσματος είναι πολύ μεγαλύτερη από την αξία της ποσότητας που αντιπροσωπεύει, τότε είναι πιθανό να μπορούν να στηθούν απάτες ξεπλύματος μαύρου χρήματος (ή το ίδιο το νόμισμα να κατηγορηθεί ως μια τέτοια απάτη), κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν καθώς η ανωνυμία που προσφέρει το blockchain στις συναλλαγές κρυπτονομισμάτων, καθιστά πιθανό να παρουσιαστούν πράξεις ηλεκτρονικού εγκλήματος (van Wegberg et al., 2018).

Επομένως όπως έχει ήδη τονιστεί, είναι σημαντικό η επιλογή των παραμέτρων να γίνεται με ρεαλιστικά κριτήρια ενώ όπως φαίνεται και στο σχήμα μάλλον είναι προτιμότερο να υπερεκτιμηθεί η ικανότητα εξοικονόμησης και όχι το ανάποδο.

Ένα δεύτερο μέγεθος στο οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας είναι το συνολικό budget που είναι διαθέσιμο για το πρόγραμμα, μιας και η αρχική τιμή των 50,000,000\$ ήταν σχετικά αυθαίρετη. Για τα αρχικά δεδομένα προσομοίωσης τροποποιούμε το συνολικό budget με τα αποτελέσματα να φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5.11: Ανάλυση ευαισθησίας για το budget

Όπως και προηγουμένως η κόκκινη γραμμή αναπαριστά την τιμή της κιλοβατώρας. Αυξάνοντας το συνολικό budget, η πρώτη ποσότητα που μεταβάλλεται είναι αυτή του reg μια αλλαγή που αναπαριστά η μπλε γραμμή. Ταυτόχρονα αυξάνεται και σταδιακά η εισροή χρημάτων στο σύστημα από την διαφορετική χρηματική κατανομή. Με την μαύρη γραμμή φαίνεται η μεταβολή της μέσης τιμής του νομίσματος συγκριτικά με το

συνολικό διαθέσιμο ποσό. Το αποτέλεσμα αρχικά φαίνεται παράδοξο καθώς όσο και να μεταβάλλουμε το budget η μέση τιμή δεν αλλάζει. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι διότι με τον reg δηλώνουμε στην αρχή ένα συνολικό budget. Σταδιακά αυτό το budget θα μπει στο σύστημα οπότε δεν υπάρχει κάποια τυχαιότητα σε αυτό το κομμάτι του πλαισίου ώστε να προκληθεί μεταβολή. Αντίθετα η τυχαιότητα περιορίζεται στο κομμάτι που αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας που είναι και το σημαντικό μέγεθος. Για να αλλάξει η συμπεριφορά του νομίσματος από το budget αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να μεσολάβησε κάποια αλλαγή στο ενδιάμεσο του προγράμματος ή να είχε γίνει αρκετά εσφαλμένη κατανομή και να είχε δοθεί σημαντικό μέρος του budget σε μέρες με ελάχιστη εξοικονόμηση.

Το φαινόμενο αυτό παρόλο που σε πρώτη ανάγνωση φάνηκε παράδοξο, είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα του νομίσματος. Μας δείχνει ότι το rate του νομίσματος μπορεί να είναι ανεξάρτητο του budget που δαπανά μια αρχή για να τρέξει το πρόγραμμα. Αυτό σημαίνει ότι εφόσον το νόμισμα αποκτήσει ανταλλακτική αξία και αρχίσει να χρησιμοποιείται από τον κόσμο ως εναλλακτικό νόμισμα, δεν υπάρχει ανάγκη για μια κεντρική αρχή η οποία θα αντιστοιχεί τα νομίσματα σε χρήματα. Συνεπώς καθίσταται πλήρως ανεξάρτητο με την αξία του να πηγάζει από τον κόσμο που το αποδέχεται.

Περνώντας σε τεχνική ανάλυση του διαγράμματος, βλέπουμε ότι το σημείο τομής του reg με την μέση τιμή του νομίσματος είναι λίγο κάτω από τα 50,000,000\$ που σημαίνει ότι η αρχική μας επιλογή ήταν σωστή. Μπορεί να εξηγήσαμε ότι υπάρχει ανεξαρτησία ως προς το budget ωστόσο δεν θα θέλαμε ούτε υπερβολικά μεγάλες ποσότητες αλλά ούτε και μικρές γιατί κάτι τέτοιο μπορεί να επηρεάσει την εσωτερική διακύμανση του νομίσματος, γι' αυτό και στο διάγραμμα έχει γίνει αναπαράσταση από 30εκ. μέχρι 70εκ. Ταυτόχρονα κρίνεται συνετό ο reg να είναι σχετικά μεγαλύτερος από την τιμή του νομίσματος καθώς αυτό επιτρέπει στο νόμισμα να έχει βέλτιστη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια των ρευστοποιήσεων και των αγορών νομισμάτων. Συγκεκριμένα θέλουμε όταν κάποιος ρευστοποιεί νομίσματα, αυτό να έχει μια μικρή αρνητική επίδραση πάνω στο συνολικό νόμισμα. Ο λόγος που πρέπει να είναι μικρή έχει να κάνει με το γεγονός ότι το νόμισμα μας είναι ένα πρόγραμμα επιβράβευσης οπότε δεν θέλουμε να αποθαρρύνουμε αρκετά τον κόσμο από το να εισπράττει τα κέρδη του. Από την άλλη ωστόσο όταν κάποιος αποσύρει χρήματα από ένα νόμισμα αυτό σημαίνει ότι μειώνεται η κεφαλαιοποίηση του, και άρα και η αξία του.

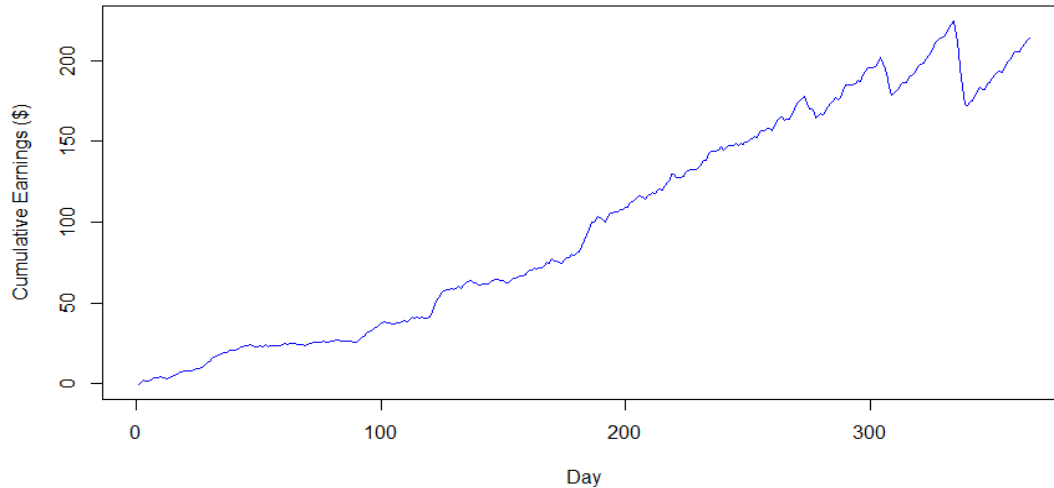
Θα αποδείξουμε γιατί θέλουμε το rate του νομίσματος να είναι μικρότερο του reg. Έστω ότι μια μέρα έχουμε εξοικονόμηση ES υπό budget B. Ο λόγος ES/B είναι αυτός που διαμορφώνει την τάση του νομίσματος. Αν κάποιος εξαργυρώσει ποσότητα νομισμάτων c όταν το rate του νομίσματος είναι r θέλουμε ο νέος λόγος να είναι μικρότερος του αρχικού. Διαδοχικά λαμβάνουμε:

$$\frac{ES - c}{B - r * c} < \frac{ES}{B} \Rightarrow B * ES - B * c < B * ES - ES * r * c \Rightarrow ES * r * c < B * c \Rightarrow r < \frac{B}{ES}$$

Θεωρώντας ότι η ποσότητα B/ES συνήθως πρέπει να τείνει στην τιμή του reg τότε βλέπουμε ότι η τιμή του νομίσματος πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή την ποσότητα.

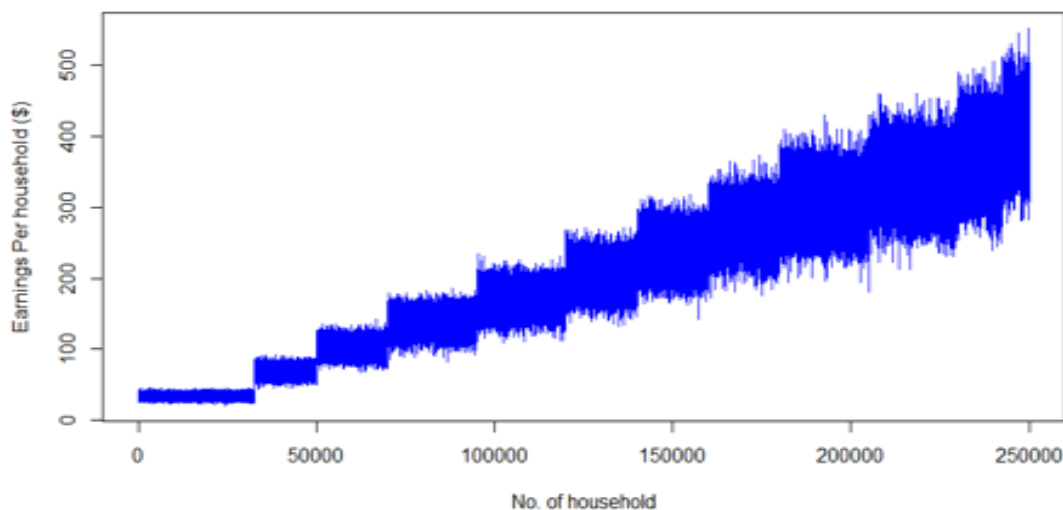
5.3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Μέχρι στιγμής είδαμε πως συμπεριφέρεται συνολικά το νόμισμα και διαπιστώσαμε τις προϋποθέσεις με τις οποίες καθίσταται οικονομικά σταθερό. Η εφαρμογή ωστόσο του πλαισίου του ATOMcoin αποτελεί ένα πρόγραμμα επιβράβευσης οπότε είναι σημαντικό να μελετήσουμε και την επίδραση που έχει στα νοικοκυριά.



Σχήμα 5.12: Αθροιστικά κέρδη για ένα τυχαίο νοικοκυριό 6 μελών

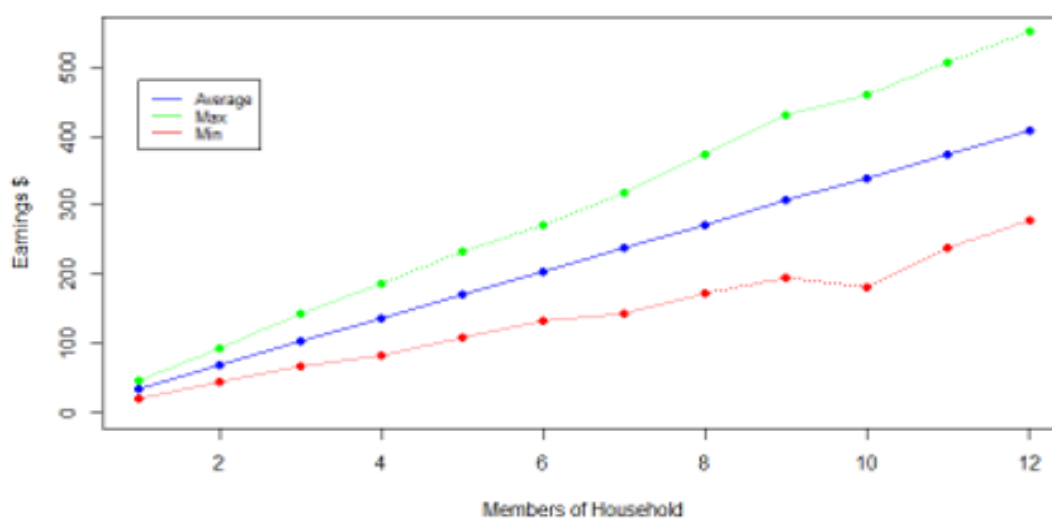
Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε πως διαμορφώνεται το κέρδος που έχει ένα τυχαίο μέσο νοικοκυριό έξι μελών από μέρα σε μέρα. Διαπιστώνουμε ότι η ικανότητα του νοικοκυριού να εξοικονομεί σταθερά ενέργεια, δημιουργεί μια αυξητική τάση στα συνολικά κέρδη. Πιθανές μειώσεις που εντοπίζονται μπορεί να οφείλονται είτε σε πρόστιμα που επιβλήθηκαν σε συγκεκριμένη μέρα λόγω υπερκατανάλωσης, είτε από σημαντική μείωση του rate του νομίσματος. Για παράδειγμα βλέπουμε ότι η μεταβλητότητα που εντοπίζεται στο νόμισμα μετά την 300^η μέρα αποτυπώνεται και σε διακύμανση των κερδών. Παρά λοιπόν τα πρόστιμα και τις αυξομειώσεις παρατηρούμε ικανοποιητικά κέρδη τα οποία για το συγκεκριμένο νοικοκυριό ανέρχονται στα 200\$.



Σχήμα 5.13: Συνολικά κέρδη για κάθε νοικοκυριό

Στο προηγούμενο σχήμα βλέπουμε το συνολικό κέρδος και των 250,000 νοικοκυριών. Αρχικά παρατηρούμε ότι παρά την εφαρμογή προστίμων στη μεθοδολογία, κανένα νοικοκυριό δεν παρουσιάζει ζημία από την συμμετοχή του. Αυτή η εικόνα ωστόσο είναι πιθανό να αλλάξει είτε αν συνολικά τα νοικοκυριά αποτύγχαναν να πιάσουν τους στόχους του, είτε αν κάποιο μεμονωμένο νοικοκυριό αδιαφορούσε. Ταυτόχρονα βλέπουμε ότι μεγαλύτερα κέρδη παρουσιάζουν τα νοικοκυριά με τα περισσότερα μέλη, τα οποία για την προσομοίωση μας αντιπροσωπεύουν τα νοικοκυριά με μεγαλύτερη κατανάλωση. Τα νοικοκυριά έχουν τοποθετηθεί σε αύξοντες αριθμούς ανάλογα με τα μέλη τους, οπότε στην αρχή έχουμε τις μονομελείς οικίες, ενώ στο τέλος έχουμε εκείνες με δώδεκα μέλη.

Επίσης όσο αυξάνεται το μέσο κέρδος ανάλογα με την κατηγορία, αυξάνεται και η διακύμανση που σημαίνει ότι υπάρχει η δυνατότητα για μεγαλύτερα κέρδη τα οποία όμως εμφανίζουν και μεγαλύτερο εύρος. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα μπορούμε να το παρατηρήσουμε καλύτερα στο επόμενο διάγραμμα:



Σχήμα 5.14: Μέσο, ελάχιστο και μέγιστο κέρδος για κάθε κατηγορία νοικοκυριών.

Το παραπάνω συμπέρασμα αποτυπώνεται πλήρως στο συγκεκριμένο διάγραμμα καθώς η μέση τιμή δείχνει σταθερή άνοδο, ωστόσο το εύρος ανάμεσα στη μέγιστη τιμή και την ελάχιστη αυξάνεται.

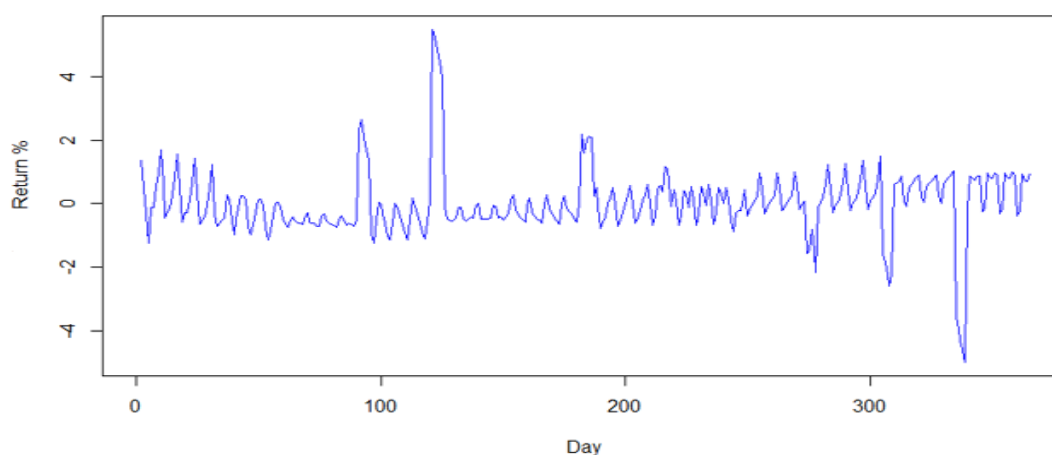
Σε αυτό το σημείο διαπιστώνουμε και ένα πολύ ενδιαφέρον φαινόμενο, το οποίο προέκυψε τελείως τυχαία από τις αριθμητικές τιμές της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι η ελάχιστη τιμή κέρδους στα νοικοκυριά με 10 μέλη, είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ελάχιστη τιμή των νοικοκυριών με 9 μέλη και παρόμοια με την αντίστοιχη των 8 μελών. Αυτό είναι ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο διότι πρακτικά αντιπροσωπεύει ένα νοικοκυριό το οποίο δεν μπορεί να κινηθεί σε παρόμοια επίπεδα με την κατηγορία που ανήκει, και η συμπεριφορά του είναι ενδεικτική χαμηλότερης κατηγορίας. Αν η προσομοίωση ήταν πιο αυστηρή το συγκεκριμένο νοικοκυριό θα έπαιζε το ρόλο είτε του αδιάφορου ως προς το πρόγραμμα, είτε εκείνου που δεν έχει τη δυνατότητα να εξοικονομήσει, και είναι πιθανό να μην κατάφερνε να παρουσιάσει κέρδη.

Επίσης μπορούμε να σχολιάσουμε ότι το μέγιστο κέρδος που εμφάνισε κάποιο νοικοκυριό ανέρχεται σε πάνω από 500\$, το οποίο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κίνητρο αλλά και παράδειγμα και για τα υπόλοιπα νοικοκυριά να προσπαθήσουν να πετύχουν τέτοιες ποσότητες εξοικονόμησης που θα τους εξασφαλίσουν σημαντικότερα κέρδη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ανάλυση του νομίσματος από επενδυτική σκοπιά. Συγκεκριμένα θα υπολογίσουμε την ημερήσια επιστροφή κεφαλαίου χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$Return_i = \frac{Rate_i - Rate_{i-1}}{Rate_{i-1}} * 100\% \quad (5.5)$$

Ο συγκεκριμένος τύπος εκφράζει την ποσοστιαία επιστροφή κέρδους που θα είχαμε αν επενδύαμε αγοράζοντας νομίσματα στην αρχή του προγράμματος. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5.15: Ημερήσια ποσοστιαία επιστροφή κεφαλαίου

Η μέση τιμή της συγκεκριμένης ποσότητας διαμορφώνεται σε μηδενικό επίπεδο ενώ ταυτόχρονα η διακύμανση τείνει περίπου στο 1%. Με βάση τον Senthilnathan (2016) μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την μέση τιμή ως μέση αναμενόμενη απόδοση, και την διακύμανση ως μετρική για το ρίσκο με αποτέλεσμα το νόμισμα μας να παρουσιάζει μηδενικό αναμενόμενο κέρδος με 1% ρίσκο. Αν συνδυάσουμε αυτά τα δεδομένα και με άλλες μετρικές όπως για παράδειγμα ότι εμφανίζεται λεπτοκύρτωση ($kurtosis > 0$), το ATOMcoin συνιστά μια μη συμφέρουσα επένδυση. Αυτή η ιδιότητα είναι αρκετά θετική καθώς σημαίνει πως αν κάποιος απλά επενδύσει στην αρχή αγοράζοντας νομίσματα δεν θα μπορέσει να βγάλει σημαντικό κέρδος μόνο από τις αυξομειώσεις του rate. Επομένως για να προκύψει κέρδος, κάποιος θα πρέπει να συμμετέχει στην διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας. Παρόλα αυτά το νόμισμα μέσω της διακύμανσης προσφέρει την δυνατότητα σε αγοραπωλησίες οι οποίες δυνητικά μπορούν να εξασφαλίσουν κέρδος. Εξάλλου, προκειμένου να παρουσιαστεί κέρδος από την μεταβολή του νομίσματος χωρίς αγοραπωλησίες, θα έπρεπε το νόμισμα να εμφανίζει αυξητική τάση στο rate. Κάτι τέτοιο δεν θα ήταν επιθυμητό καθώς το rate θέλουμε να

βρίσκεται κοντά στην τιμή της κιλοβατώρας την οποία αντιπροσωπεύει, και όχι διαρκώς να αυξάνει την αξία του.

Τέλος, σημαντικό είναι να σχολιάσουμε και τα αποτελέσματα από την πλευρά της κυβέρνησης που εφαρμόζει ένα τέτοιο πρόγραμμα. Είδαμε ότι με ένα χαμηλό budget στα επίπεδα των 50,000,000\$ το μέσο κίνητρο για το κάθε νοικοκυριό κινείται στα 200\$, ενώ υπό προϋποθέσεις μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 500\$. Τα χρήματα αυτά θεωρούνται ικανοποιητικά αν αναλογιστούμε ότι αφορούν ένα πρόσθετο κέρδος επιπλέον αυτού που θα έχουν από την ίδια την εξοικονόμηση.

Εναλλακτικά η κυβέρνηση του Μπαχρέιν θα μπορούσε αντί για εξοικονόμηση να αντικαταστήσει την παραγωγή από φυσικό αέριο με ένα χερσαίο αιολικό πάρκο προκειμένου να παράξει την αντίστοιχη ενέργεια των 691.5 GWh. Με τις υποθέσεις ότι ο μέσος συντελεστής χωρητικότητας (capacity factor) είναι της τάξης του 30% και ότι το μέσο κόστος επένδυσης σε ένα τέτοιο πάρκο είναι περίπου της τάξης των 1000\$/kW (IRENA, 2017) τότε το κόστος επένδυσης ανέρχεται στα:

$$cost = 1000 \frac{\$}{kW} * \frac{691.5GWh}{365 * 24 * 0.3} \approx 263m \$$$

Βλέπουμε ότι οι τάξεις μεγέθους είναι αρκετά διαφορετικές, οπότε κρίνεται χρήσιμο για ένα κράτος πρώτα να επενδύσει στην μείωση της κατανάλωσης και στη συνέχεια να επενδύσει στην παραγωγή από ΑΠΕ. Τα νούμερα που έχουν χρησιμοποιηθεί αφορούν παγκόσμιους σταθμισμένους μέσους όρους με αποτέλεσμα να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Στόχος της συγκεκριμένης αναφοράς δεν είναι να πραγματοποιήσει μια αυστηρή σύγκριση των δύο επενδύσεων, αλλά να καταδείξει τη διαφορά στις κλίμακες. Ταυτόχρονα για να πραγματοποιηθεί η δράση του ATOMcoin απαιτείται η ύπαρξη έξυπνων μετρητών οπότε, εφόσον δεν είναι εγκατεστημένοι, θα πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος εγκατάστασής τους.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα και προοπτικές

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική επιχειρήθηκε η προσέγγιση της μελέτης και της ανάπτυξης των μοντέλων και των τεχνολογιών τα οποία είναι ικανά να εμπλέξουν το άτομο στη διαδικασία μιας πράσινης ενεργειακής μετάβασης. Επιχειρήσαμε να τοποθετήσουμε τον άνθρωπο στο επίκεντρο, μετατρέποντας τον από παθητικό χρήστη, σε ενεργητικό που λαμβάνει αποφάσεις για το σύστημα, αλλά και λειτουργεί βέλτιστα κάτω από ένα πρίσμα ενεργειακής αποδοτικότητας.

Το πρώτο μοντέλο που εξετάστηκε ήταν αυτό των ενεργειακών κοινοτήτων. Είδαμε τα χαρακτηριστικά των κοινοτήτων/συνεταιρισμών γενικότερα ώστε να συγκεκριμενοποιήσουμε αυτές τις γνώσεις μας στον ενεργειακό τομέα με έμφαση σε καλές πρακτικές και πετυχημένα παραδείγματα από την Ευρώπη και το εξωτερικό. Η ανάλυση του πρόσφατου νομικού πλαισίου που θεσπίστηκε στη χώρα μας, μας έδειξε ότι χρειάζονται περαιτέρω προσπάθειες για την αναβάθμιση του ρόλου των κοινοτήτων καθώς αποτελούν μια πρακτική εφαρμογή ενός αποκεντρωμένου και δημοκρατικού συστήματος. Μάλιστα αν γίνει σωστή εκμετάλλευση του ενεργειακού συμφητισμού μαζί με την έννοια του prosumer, οι ενεργειακές κοινότητες παρουσιάζουν τεράστια δυναμική στο να κινητοποιήσουν μεγάλες μερίδες του κόσμου.

Η ύπαρξη των ενεργειακών κοινοτήτων σε συνδυασμό με τα micro-grids που μπορούν να δημιουργήσουν, μας οδήγησε να συνδέσουμε τις παραπάνω μεθοδολογίες με τις τεχνολογίες ICT. Συγκεκριμένα μας δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά του blockchain και να διαπιστώσουμε ότι στον τομέα της ενέργειας παρουσιάζονται ενδιαφέροντα επιχειρηματικά μοντέλα που εφαρμόζουν στην πράξη το blockchain γύρω από την παραγωγή από ΑΠΕ και γενικότερα γύρω από την πράσινη ανάπτυξη. Ένας βασικός λόγος είναι ότι τόσο οι ενεργειακές κοινότητες όσο και το blockchain συνιστούν ένα αυτόνομο και αποκεντρωμένο σύστημα, με αποτέλεσμα να αποτελούν δύο μοντέλα τα οποία χαρακτηρίζονται από δομική ομοιότητα, αλλά εφαρμόζονται σε διαφορετικούς τομείς.

Αυτή η ομοιότητα ήταν καταλυτικός παράγοντας στο να συνδέσουμε τις ενεργειακές κοινότητες με τα καινοτομικά ψηφιακά ενεργειακά νομίσματα, τα οποία προσπαθούν να προσδώσουν αξία στο νόμισμα μέσα από την σύνδεσή τους με ένα αγαθό όπως η ενέργεια. Τα περισσότερα νομίσματα αυτού του είδους στηρίζουν την σύνδεση αυτή μέσα από τις παραγόμενες κιλοβατώρες από ΑΠΕ. Έτσι συνεχίζεται ένα φαινόμενο που εμφανίστηκε ήδη από τις κοινότητες, δηλαδή να δίνεται έμφαση στην παραγωγή ενέργειας καθώς μπορούν να αναπτυχθούν πολύ πιο εύκολα επιχειρηματικά μοντέλα.

Σε αυτό το σημείο έρχεται λοιπόν να καινοτομήσει το ATOMcoin, μέσα σε ένα περιβάλλον συνδεδεμένων και αλληλένδετων εννοιών. Με τις προβληματικές που εντοπίστηκαν στην αρχική εφαρμογή από τους Marinakis et al. (2018), αλλά και με την θεραπεία αυτών των προβλημάτων μαζί με την αυστηρότερη θεμελίωση του από την παρούσα εργασία, το ATOMcoin αποτέλεσε ένα πρόγραμμα ώστε να συνδεθούν τα ενεργειακά νομίσματα με την εξοικονόμηση ενέργειας. Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο προγράμματος επιβράβευσης το οποίο μπορεί να προωθήσει ένας φορέας όπως δήμος, κοινότητα ή ακόμα και πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να ενθαρρύνει τους τελικούς χρήστες να εξοικονομήσουν ενέργεια και να λάβουν αντίστοιχα ένα bonus υπό τη μορφή ψηφιακών νομισμάτων.

Πέρα των πολλών πλεονεκτημάτων που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας, ένα βασικό σκέλος αφορά στο γιατί αυτό το πρόγραμμα επιβράβευσης να αποτελείται από ψηφιακό νόμισμα και όχι από ένα απλό χρηματικό bonus. Η απάντηση έγκειται στο γεγονός ότι μέσα από ένα ψηφιακό νόμισμα, το rate του οποίου μπορεί να μεταβάλλεται, ο κάθε χρήστης συνειδητοποιεί ότι η ενέργεια που καταναλώνει δεν έχει σταθερή αξία, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τα συνολικά επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης. Έτσι το πλαίσιο που αναπτύχθηκε αποτελεί μια εξαιρετική μέθοδο που μπορεί να εφαρμοστεί προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή σε ένα συνολικό σύστημα κλιμακούμενων χρεώσεων στον ενεργειακό τομέα. Σε συνδυασμό με εφαρμογή μεθόδων ICT τέτοιου είδους νομίσματα παρέχουν χρήσιμη πληροφορία για τη δομή ενός σύγχρονου μοντέλου λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με έμφαση στις έξυπνες πόλεις και την αποδοτική λειτουργία.

Το πλαίσιο που αναπτύχθηκε, ενέπνευσε την πιλοτική εφαρμογή του ATOMcoin στο περιβάλλον του Μπαχρέιν σε μια ρεαλιστική προσομοίωση, μιας και το Μπαχρέιν ως νησιωτικό και απομονωμένο σύστημα ήταν ένας ιδανικός τόπος εφαρμογής. Η προσομοίωση αυτή μας έδειξε ότι το υπάρχον πλαίσιο είναι εφικτό να λειτουργήσει αποδίδοντας οικονομικά τόσο για τον κόσμο που εξοικονομεί, και ο οποίος θα λάβει μια επιβράβευση για αυτή την προσπάθεια, αλλά και για το ίδιο το κράτος το οποίο με εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων είναι εφικτό να πιάσει τους στόχους και τις δεσμεύσεις του.

Η εφαρμογή αυτή λοιπόν παρέχει επαρκή πληροφορία προς τους φορείς χάραξης πολιτικής προκειμένου να προωθήσουν τις κατάλληλες ενέργειες ώστε με χρήση ICT να μεταβούμε στην ευφυή ενεργειακή διαχείριση βελτιώνοντας σημαντικά την κατανάλωση στον οικιακό τομέα.

6.2 Προοπτικές

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου της εργασίας υπήρξαν κάποιοι περιορισμοί οι οποίοι προσφέρονται για πρόσθετη μελέτη και έρευνα.

Ένα βασικό πρόβλημα το οποίο εντοπίστηκε σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το Μπαχρέιν ήταν η έλλειψη δεδομένων. Το γεγονός αυτό μας οδήγησε σε προσεγγίσεις, οι οποίες αν και δεν απέχουν πολύ από την πραγματικότητα, περιορίζουν τον βαθμό στον οποίο μπορούμε να εξάγουμε πλήρη συμπεράσματα. Κρίνεται απαραίτητο το συγκεκριμένο πλαίσιο να εφαρμοστεί σε περιβάλλοντα με περισσότερα δεδομένα, και ιδίως με χρήση έξυπνων μετρητών. Είδαμε ότι το ATOMcoin προκειμένου να λειτουργήσει απαιτεί την ύπαρξη ICT. Οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν βασικό συστατικό καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν γνώση για την κατανάλωση τους κάθε χρονική στιγμή, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν και στο ίδιο το σύστημα ακριβείς υπολογισμούς.

Η ύπαρξη ενός περιβάλλοντος ICT μάλιστα θα επιτρέψει μελλοντικά τη θεμελίωση ενός πιο αυστηρού μοντέλου πρόβλεψης. Για ένα νόμισμα που βασίζεται στην εξοικονόμηση ενέργειας, η διαμόρφωση του BAU σεναρίου είναι αναγκαία ώστε να μπορεί να προκύψει βεβαιωμένη μείωση της κατανάλωσης. Η ύπαρξη δεδομένων αλλά και μετρητών θα επιτρέψει την δημιουργία μιας προσωποποιημένης μεθόδου πρόβλεψης, η οποία θα λαμβάνει υπόψιν και δεδομένα όπως ο καιρός ή οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε συγκεκριμένες περιόδους όπως οι αργίες.

Με την ενσωμάτωση τεχνολογιών ICT ένα κομμάτι της έρευνας μπορεί να κινηθεί στην κατεύθυνση ανάπτυξης του blockchain το οποίο θα συνδέεται με το ATOMcoin. Στην παρούσα διπλωματική επιχειρήθηκε μια πρώτη προσέγγιση με το κομμάτι του blockchain η οποία ωστόσο παρέμεινε σε θεωρητική μελέτη και ανάλυση συγκεκριμένων πρακτικών. Το κύριο στάδιο της ανάπτυξης της αλυσίδας που θα συνοδεύει το ATOMcoin, είτε βασισμένη σε υπάρχουσες λύσεις είτε κατασκευασμένη εξολοκλήρου για το νόμισμα αποτελεί σημαντικό βήμα για τη μετάβαση από τη θεωρητική ανάλυση, στην πραγματική ύπαρξη του πλαισίου που περιγράφουμε.

Προκειμένου να περάσουμε σε πραγματική εφαρμογή ωστόσο απαιτούνται πρόσθετες μελέτες οι οποίες αφορούν τον βασικό υπολογισμό του rate του νομίσματος μέσα από την εξίσωση (4.6). Η εισαγωγή της εν λόγω εξίσωσης αποτελεί ένα καινοτομικό τρόπο υπολογισμού της αξίας του νομίσματος που απαιτεί ακόμα πιο εξειδικευμένη μελέτη για την αναζήτηση των βέλτιστων χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα παραμετροποίησης ως προς δύο βασικά χαρακτηριστικά. Αρχικά έχουμε τους συντελεστές βαρύτητας του μακροπρόθεσμου και του βραχυπρόθεσμου παράγοντα. Σε όλη τη διάρκεια της εργασίας οι παράγοντες αυτοί σταθμίστηκαν ισοβαρώς. Περαιτέρω μελέτη μπορεί να φανερώσει ότι κάποιος άλλος συνδυασμός βαρών αποδίδει καλύτερα ή μπορεί να υπάρχει κατάλληλος συνδυασμός βαρών ανάλογα με την περίπτωση στην οποία εφαρμόζεται το νόμισμα. Σε δεύτερο επίπεδο έχουμε την ξεχωριστή μελέτη του βραχυπρόθεσμου παράγοντα. Συγκεκριμένα έχουμε πραγματοποιήσει την παραδοχή ότι για τον υπολογισμό των πρόσφατων παρελθοντικών τάσεων αρκούν οι πέντε πρόσφατες ημέρες καθώς παρέχουν τόσο μια μεταβλητότητα που δεν θα είχαμε αν υπολογίζαμε παραπάνω, αλλά και μια αναγκαία σταθερότητα που επίσης δεν θα είχαμε αν λαμβάναμε υπόψιν μας λιγότερες μέρες. Ωστόσο ο ακριβής αριθμός ημερών αποτελεί ένα δεδομένο που πρέπει να αναλυθεί.

Μάλιστα οι δυο αυτοί παράγοντες μπορεί να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα η ρύθμιση τους να πρέπει να γίνει ταυτόχρονα.

Όπως είδαμε το μοντέλο θεμελιώνει και έναν εισαγωγικό τρόπο υπολογισμού για τις ανταλλαγές νομισμάτων, ιδίως όταν πρόκειται για εξαργυρώσεις και αγορές. Σε μια πρώτη προσομοίωση, όπου αναζητούνται τα γενικότερα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς του πλαισίου λειτουργίας, ο υπολογισμός τέτοιων παραμέτρων θα ήταν αρκετά δύσκολος και μάλιστα μπορεί να επιδρούσε αρνητικά στην εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων εισάγοντας μια τυχαιότητα που δεν θα μπορούσε να αναλυθεί. Έχοντας πραγματοποιήσει την πρώτη προσομοίωση στη συνέχεια μπορεί να διαμορφωθεί ένα διαφορετικό σενάριο το οποίο θα εξετάζει και το ενδεχόμενο αγοραπωλησιών νομισμάτων. Η μελέτη αυτή είναι σημαντική διότι όπως είδαμε και στην απόδειξη της ενότητας «5.3.2.2 Ανάλυση Ευαισθησίας» εντοπίζονται ασάφειες κάτω από συγκεκριμένες ειδικές περιπτώσεις.

Με την παρούσα διπλωματική ανοίγει ένας κύκλος μελετών και πιθανής έρευνας, ο συνδυασμός των οποίων μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία του υπαρκτού ATOMcoin το οποίο θα παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον να αναλυθεί πιλοτικά σε real-case σενάρια όχι μόνο για κράτη όπως η περίπτωση του Μπαχρέιν, αλλά και δήμους, κοινότητες ή παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα ο συνδυασμός του με διαφορετικά νομίσματα που βασίζονται στην παραγωγή, αλλά και η δημιουργία πρόσθετων νομισμάτων που επιβραβεύουν τη ρύθμιση φορτίου ή συχνότητας, μπορεί να οδηγήσει σε μια ενιαία νομισματική οντότητα η οποία προοδευτικά μπορεί να αποτελεί τον συνολικό ρυθμιστή της στιγμιαίας αξίας της ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- United Nations. (1998). Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change. [online] Available: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> [Accessed: July-2019].
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.]
- United Nations. (2015). Paris Agreement. [online] Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> [Accessed: July-2019].
- Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragon-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- European Commission. (2008). Covenant of Mayors for Climate & Energy [online] Available: https://www.eumayors.eu/IMG/pdf/covenantofmayors_text_en.pdf [Accessed: July-2019].
- European Parliament. (2019). Revised Energy Efficiency Directive. Retrieved from: [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI\(2017\)595923](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI(2017)595923) [Accessed: July-2019].
- Fairbairn, B. (1994). Meaning of Rochdale: the Rochdale pioneers and the co-operative principles. Saskatoon: University of Saskatchewan.
- Thompson, D. J. (1994). Weavers of Dreams: Founders of the Modern Co-operative Movement. Davis, CA: Center for Cooperatives University of California
- McDonnell, D. P., Macknight, E. C., & Donnelly, H. (2012). Democratic Enterprise: Ethical Business for the 21st Century. Glasgow: Co-operative Education Trust Scotland.
- Altman, M. (2009). History and theory of cooperatives. International Encyclopedia Of Civil Society, Helmut Anheier, Stefan Toepler, eds., Springer.
- The Rochdale Pioneers Museum. (n.d.) Time Machine. Retrieved from: <https://www.rochdalepioneersmuseum.coop/time-machine/> [Accessed: July- 2019]
- Birchall, J. (1997). The International Co-operative Movement. Manchester: Manchester University Press.

- ICA. (n.d). Cooperative Identity, Values and principles. Retrieved from: <https://www.ica.coop/en/cooperatives/cooperative-identity> [Accessed: July- 2019]
- Eum, H. (2017). Cooperatives and Employment: Second Global Report. Brussels: CICOPA.
- Debor, S. (2014). The socio-economic power of renewable energy production cooperatives in Germany: Results of an empirical assessment, Wuppertal Papers, No. 187, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.
- Ugarte, Sergio & LARKIN, Julia & van der REE, Bart & SWINKELS, Vincent & VOOGT, Monique & Friedrichsen, Nele & Michaelis, Julia & Thielmann, Axel & Wietschel, Martin & Villafafila-Robles, Roberto. (2015). Energy Storage: Which Market Designs and Regulatory Incentives Are Needed?.
- Tarhan, Mumtaz Derya. (2015). Renewable Energy Cooperatives: A Review of Demonstrated Impacts and Limitations. Journal of Entrepreneurial and Organizational Diversity. 4. 104-120.
- Craig M, Martin P. (2016). Energy Transition: The German Energiewende. Berlin: Heinrich Böll Stiftung.
- WECF /Zelena Energetska Zadruga (2017): Energy cooperatives: Comparative analysis in Eastern Partnership countries and Western Balkans. [online] Available: http://www.wecf.eu/german/publikationen/EnergyCoops_LongOnline.pdf [Accessed July-2019].
- Yildiz, Özgür and Rommel, Jens and Debor, Sarah and Holstenkamp, Lars and Mey, Franziska and Müller, Jakob R. and Radtke, Jörg and Rognli, Judith (2014): Research Perspectives on Renewable Energy Cooperatives in Germany: Empirical Insights and Theoretical Lenses.
- IEA. (2017). Photovoltaic Power Systems Program: Annual Report 2017. [online] Available: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6> [Accessed: July-2019].
- REScoop.eu. (n.d.) Who we are. Retrieved from: <https://www.rescoop.eu/federation> [Accessed: July-2019].
- INSIGHT_E. (2015). Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures [online] Available: http://www.insightenergy.org/static_pages/publications#?publication=15 [Accessed: July-2019].
- R.E.H. Sims, R.N. Schock, A. Adegbululgbé, J. Fenhann, I. Konstantinaviciute, W. Moomaw, H.B. Nimir, B. Schlamadinger, J. Torres-Martínez, C. Turner, Y. Uchiyama, S.J.V. Vuori, N. Wamukonya, X. Zhang, 2007: Energy supply. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Stadtwerke München GmbH. (2018). Annual Report 2018 [online] Available: <https://www.swm.de/dam/swm/dokumente/english/swm-annual-report.pdf> [Accessed: July-2019].
- Ecopower. (2019). Eeklo en Ecopower: een succesverhaal met massa's windmolens en nul bezwaarschriften. Retrieved from: <https://www.ecopower.be/blog/eeklo-en-ecopower-een-succesverhaal-met-massa-s-windmolens-en-nul-bezwaarschriften> [Accessed: July-2019].
- Danish Ministry of Energy, Utilities and Climate. (2008). Denmark: energy and climate pioneer: Status of the green transition [online] Available: https://en.efkm.dk/media/12032/denmark_energy_and_climate_pioneer_pdfa.pdf [Accessed: July-2019].
- IEA. (2017). Energy Policies of IEA countries: Denmark 2017 Review [online] Available: <https://webstore.iea.org/energy-policies-of-iea-countries-denmark-2017-review> [Accessed: July-2019].
- Sovacool, Benjamin. (2013). Energy policymaking in Denmark: Implications for global energy security and sustainability. *Energy Policy*. 61. 829-839. 10.1016/j.enpol.2013.06.106.
- Larsen, Jens & Christian Soerensen, Hans & Christiansen, Erik & Naef, Stefan. (2005). Experiences from Middelgrunden 40 MW Offshore Wind Farm.
- Ea Energy Analyses. (2006). Danish energy policy and Middelgrunden Off-shore Wind Farm. Retrieved from: http://www.ea-energianalyse.dk/presentations/Canadian_visit_5-9_May_2008/Jens_Larsen_Copenhagen_Energy_and_Environment_Office_Middelgrunden_Off_Shore_Wind_Farm.pdf [Accessed: July-2019].
- Ea Energy Analyses. (2006). Wind power integration in Denmark – Local involvement. Retrieved from: http://ea-energianalyse.dk/presentations/Canadian_visit_5-9_May_2008/Hans_Christian_Soerensen_Danish_Wind_Turbine_Owners_Association_Local_Involvement_in_Wind_Power_Integration.pdf [Accessed: July-2019].
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (1999). Νόμος 2773/1999 (ΦΕΚ Α 286/22.12.1999) Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-2773-1999.html> [Accessed: July-2019].
- European Commission. (2008). IP/08/386 Antitrust: Commission calls on Greece to grant fairer access to lignite so as to improve competition in the electricity sector. [online] Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-08-386_en.htm [Accessed July-2019].
- European Commission. (2018). IP/18/3401 Antitrust: Commission approves Greek measures to ensure fair access to lignite-fired electricity generation for PPC's competitors. [online] Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3401_en.htm [Accessed July-2019].

- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2018). Νόμος 4533/2018 (ΦΕΚ Α 75/27.04.2018) Διαρθρωτικά μέτρα για την πρόσβαση στο λιγνίτη και το περαιτέρω άνοιγμα της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρισμού και άλλες διατάξεις. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/nomos-4533-2018-phek-75a-27-4-2018.html> [Accessed: July-2019].
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2015). Νόμος 4336/2015 (ΦΕΚ Α 94/14.08.2015) Συνταξιοδοτικές διατάξεις – Κύρωση του Σχεδίου Σύμβασης Οικονομικής Ενίσχυσης από τον Ευρωπαϊκό Μηχανισμό Σταθερότητας και ρυθμίσεις για την υλοποίηση της Συμφωνίας Χρηματοδότησης. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/suntaksiodotika/n-4336-2015.html> [Accessed: July-2019].
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2015). Νόμος 4513/2018 (ΦΕΚ Α 9/23.01.2018) Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/nomos-4513-2018-fek-9a-23-1-2018.html> [Accessed: July-2019].
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2015). Νόμος 1667/1986 (ΦΕΚ Α 196/6.12.1986) Αστικοί συνεταιρισμοί και άλλες διατάξεις. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/kat-somateia-sundikalistikes-eleutheries/n-1667-1986.html> [Accessed: July-2019].
- Electra Energy Cooperative. (n.d). Projects and collaborations. Retrieved from: <http://electraenergy.coop/projects/> [Accessed: July-2019].
- Sifnos Island Cooperative. (n.d.). Brief Presentation. Retrieved from: <http://sifnosislandcoop.gr/en/index.html> [Accessed: July-2019]
- Ενεργειακή Συνεταιριστική Εταιρεία Καρδίτσας. (2010). Ενεργειακή Συνεταιριστική Εταιρεία στο Νομό Καρδίτσας. Retrieved from: https://www.anka.gr/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=461&Itemid=62&lang=el [Accessed: July-2019]
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2017). ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ 1547B/5.5.2017) Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006, όπως ισχύει. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/upourgike-apophase-apeelaph1-oik-175067-2017.html> [Accessed: July-2019].
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2006). Ν. 3468/2006 (ΦΕΚ Α 129/27.06.2006) Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις. [online] Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-3468-2006.html> [Accessed: July-2019].

- Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος. (28.03.2019). Τρεις Υπουργικές Αποφάσεις για την ενίσχυση του πλαισίου λειτουργίας των ΑΠΕ. Retrieved from: [http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=785&sni\[524\]=6189&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=785&sni[524]=6189&language=el-GR) [Accessed: July-2019].
- U.S. Department of Energy. (2014). Net metering: FUPWG Spring 2014. [online] Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/fupwg_may2014_net_metering.pdf [Accessed: July-2019].
- National Renewable Energy Laboratory. (2012). A Guide to Community Shared Solar: Utility, Private, and Nonprofit Project Development. [online] Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/54570.pdf> [Accessed-July-2019].
- The Edison Foundation. (2014). IEI CASE STUDY: Bright Tucson Community Solar Program. [online] Available: https://www.edisonfoundation.net/iei/publications/Documents/IEI_Solar_Case_Study_FINALSept2014.pdf [Accessed: July-2019].
- Tucson Electric Power. (n.d.). TEP GoSolar Shares. Retrieved from: <https://www.tep.com/gosolarshares/> [Accessed: July-2019].
- Clean Energy Collective. (n.d.). About Clean Energy Co. Retrieved from: <https://cleanenergyco.com/index.html> [Accessed: July-2019].
- Richey, R. (2013). Encyclopedia of terminology for educational communications and technology. New York: Springer.
- Toffler, Alvin. (1980). The third wave. New York: Morrow
- McLuhan, M. and Nevitt, B. (1972): Take today: The executive as dropout. New York, NY: Harcourt Brace Jovanovich.
- S. Grijalva and M. U. Tariq, "Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry," *ISGT 2011*, Anaheim, CA, 2011, pp. 1-6. doi: 10.1109/ISGT.2011.5759167
- Parag, Yael and Sovacool, Benjamin K (2016) Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy*, 1 (16032). ISSN 0001-4966
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21.
- Marinakis, V., Doukas, H., An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings, *Sensors (Switzerland)*, 18(2),610, 2018.
- Yli-Huomo J, Ko D, Choi S, Park S, Smolander K (2016) Where Is Current Research on Blockchain Technology?-A Systematic Review. *PLoS ONE* 11(10): e0163477. doi:10.1371/journal.pone.0163477

- Zheng, Zibin & Xie, Shaoan & Dai, Hong-Ning & Chen, Xiangping & Wang, Huaimin. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. 10.1109/BigDataCongress.2017.85.
- CoinDesk. (2016). State of blockchain q1 2016: Blockchain funding overtakes bitcoin [Online]. Available: <https://www.coindesk.com/state-of-blockchain-q1-2016> [Accessed: July-2019]
- Stephen, Remya & Alex, Aneena. (2018). A Review on BlockChain Security. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 396. 012030. 10.1088/1757-899X/396/1/012030.
- Mishra, Sailendra. (2017). Energy Consumption – Bitcoin’s Achilles Heel. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.3076734.
- Doukas, X. & Xidonas, P. (2018). Αποψη: Κρυπτονομίσματα και ενεργειακή παραδοξότητα. Retrieve from: <https://www.kathimerini.gr/943122/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/apoyh-kryptonomismata-kai-energeiakh-parado3othta> [Accessed: July-2019].
- Power Compare. (2018). Countries That Consume More Or Less Electricity Than Bitcoin Mining In Late 2018. Retrieved from: <https://powercompare.co.uk/bitcoin-mining-electricity-map/> [Accessed: July-2019].
- Fairley, P. (2017). Blockchain World-Feeding the Blockchain Beast if Bitcoin ever does go Mainstream, the Electricity Needed to Sustain it will be Enormous. IEEE Spectrum, 54(10):36-59.
- Zile, K., Strazdiņa, R. (2018). Blockchain Use Cases and Their Feasibility. Applied Computer Systems. 23. 12-20.
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... Peacock, A. (2019). Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges and Opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 143-174.
- Mylrea M. Gourisetti SNG. Blockchain for smart grid resilience: Exchanging distributed energy at speed, scale and security. In: Proceedings of the Resilience Week (RWS) 2017, IEEE, 2017, pp. 18–23.
- Indigo Advisory Group. (n.d.). Blockchain in energy and utilities. Retrieved from: <https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain> [Accessed: July-2019].
- LO3 Energy. (n.d.). Innovations. Retrieved from: <https://lo3energy.com/innovations/> [Accessed: July-2019].
- Brooklyn Microgrid. (n.d.). Brooklyn Microgrid. Retrieved from: <https://www.brooklyn.energy/> [Accessed: July-2019].

- Mengelkamp, E., Gärtner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets. *Applied Energy*, 210, 870–880. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054>
- Block, C., Neumann, D., & Weinhardt, C. (2008). A Market Mechanism for Energy Allocation in Micro-CHP Grids. In *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/hicss.2008.27>
- Car E-Wallet. (n.d). We connect vehicles, services and users on a multi-sided network. Retrieved from: <https://car-ewallet.de/index.php/what-we-do/> [Accessed: July-2019].
- ZF. (2017). ZF, UBS and innogy Innovation Hub Announce the Jointly Developed Blockchain Car eWallet. Retrieved from: https://press.zf.com/press/en/releases/release_2638.html [Accessed: July-2019].
- Slock.it. (2016). Partnering with RWE to explore the future of the Energy Sector. Retrieved from: <https://blog.slock.it/partnering-with-rwe-to-explore-the-future-of-the-energy-sector-1cc89b9993e6> [Accessed: July-2016].
- Beeldens, Anne & Hauspie, Patrick & Perik, Harold. (2016). INDUCTIVE CHARGING THROUGH CONCRETE ROADS: A BELGIAN CASE STUDY AND APPLICATION.
- Volt Markets. (n.d.). About. Retrieved from: <https://voltmarkets.com/about/> [Accessed: July-2019].
- Solarcoin. (2017). Solarcoin A Blockchain-based Solar Energy Incentive [online] Available at: https://solarcoin.org/wp-content/uploads/SolarCoin_Policy_Paper_EN-1.pdf [Accessed: July-2019].
- ElectricChain. (n.d.). Project 1- Crowdfunding. Retrieved from: <https://www.electricchain.org/our-projects/project-1/> [Accessed: July-2019].
- Lumo. (2016). Blockchain: qu'est-ce que c'est? A quoi ça sert? Retrieved from: <https://www.lumo-france.com/blog/2016/07/25/blockchain-qu-est-ce-que-c-est-a-quoi-ca-sert> [Accessed: July-2019].
- WePower. (2019). WePower Whitepaper [online] Available at: https://wepower.network/media/WhitePaper-WePower_v_2.pdf [Accessed: July-2019].
- Bittwatt. (2018). Bittwatt Whitepaper [online] Available at: <https://ico.bittwatt.com/static/files/Bittwatt-Whitepaper-EN.pdf> [Accessed: July-2019].
- Electrify. (2017). Electrify Whitepaper [online] Available at: https://electrify.asia/technical_whitepaper/ [Accessed: July-2019].

- SunContract. (2017). SunContract Whitepaper - An Energy Trading Platform that Utilises Blockchain Technology to Create a New Disruptive Model for Buying and Selling Electricity [online] Available at: <https://suncontract.org/res/whitepaper.pdf> [Accessed: July-2019].
- Power Ledger. (2018). Power Ledger Whitepaper [online] Available at: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4519667/Documents%20Power%20Ledger%20Whitepaper.pdf> [Accessed: July-2019].
- Robotina. (2018). Robotina Whitepaper - Internet of Things, Artificial Intelligence and Blockchain Empowering Energy Consumers [online] Available at: https://robotinarox.io/wp-content/uploads/2018/07/Robotina_WP.pdf [Accessed: July-2019].
- Mihaylov, M., Jurado, S., Narcis A., Van Moffaert, K., Magrans I., Nowe, A. (2014). NRGcoin: Virtual Currency for Trading of Renewable Energy in Smart Grids. International Conference on the European Energy Market, EEM. 1-6. 10.1109/EEM.2014.6861213.
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and Cooling Energy Trends and Drivers in Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41:85-98.
- EEA - European Environment Agency. (2018). Final Energy Consumption by Sector and fuel. Retrieved from: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-4?fbclid=IwAR3BUOwd1MLEiWpnd6NSCTWgviQEOM_HMBqAgSaAyMgN_Dn dkWvCaJUyhEI [Accessed: July-2019].
- Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M., Yan, J. (2013). Achieving Better Energy-efficient Air Conditioning—A Review of Technologies and Strategies. *Applied Energy*, 104, 87-104.
- Rosenthal DH, Gruenspecht HK, Moran E. Effects of global warming on energy use for space heating and cooling in the United States. *Energy J* 1995;16(2):77–96
- de Almeida, Aníbal & Fonseca, Paula & Schlomann, Barbara & Feilberg, Nicolai. (2011). Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Lancet*. 43. 1884-1894. 10.1016/j.enbuild.2011.03.027.
- Morrow, K. J., Smith-Morrow, J. A. (2008). Switzerland and the 2,000-Watt society. *Sustainability: The Journal of Record*, 1(1), 32-33.
- Marinakis, V., Nikolopoulou, C., Doukas, H. (2018). Digitizing Energy Savings in Sustainable Smart Cities: Introducing a Virtual Energy-Currency Approach. *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pp. 203-208.
- Hassan, M. (2017). Peak-Load Pricing. DOI 10.13140/RG.2.2.29651.17447.

- Shiller, Robert, “Do Stock Prices Move Too Much to Be Justified by Subsequent Changes in Dividends?” *American Economic Review*, LXXI (1981), 421– 436.
- Bhowmik, D. (2013). Stock market volatility: An evaluation. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(10), 1-17.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: a Peer-to-Peer Electronic Cash System. White paper. Seattle, WA: Bitcoin Foundation.
- Garcia, D., Tessone, C. J., Mavrodiev, P., & Perony, N. (2014). The Digital Traces of Bubbles: Feedback Cycles Between Socio-economic Signals in the Bitcoin Economy. *Journal of The Royal Society Interface*, 11(99).
- Debnath, Kumar & Mourshed, Monjur. (2018). Forecasting methods in energy planning models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 88. 297–325. 10.1016/j.rser.2018.02.002.
- Bonetto, Riccardo & Rossi, Michele. (2017). Machine Learning Approaches to Energy Consumption Forecasting in Households.
- Vapnik, V. and Lerner, A. Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and Remote Control* 24, 1963.
- Cortes, C. and Vapnik, V. Support vector networks. *M. Learning* 20:273 – 297, 1995.
- Vapnik, V. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, N.Y., 1995.
- Towards data science. (2018). Support Vector Machine vs Logistic Regression. Retrieved from: <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-vs-logistic-regression-94cc2975433f> [Accessed: July-2019].
- Tripathy, B.K. & Sahu, Sudhir & Prasad, M.B.N.V.. (2013). SUPPORT VECTOR MACHINE BINARY CLASSIFICATION AND IMAGE SEGMENTATION OF REMOTE SENSING DATA OF CHILIKA LAGOON. *International Journal of Research in Information Technology*. 1. 1-6.
- Kleynhans, Tania & Montanaro, Matthew & Gerace, Aaron & Kanan, Christopher. (2017). Predicting Top-of-Atmosphere Thermal Radiance Using MERRA-2 Atmospheric Data with Deep Learning. *Remote Sensing*. 9. 1133. 10.3390/rs9111133.
- Albuflasa H., (2018). Smart Energy Management Systems for Households in Bahrain. *Sustainability and Resilience Conference: Mitigating Risks and Emergency Planning*, KnE Engineering, pages 135–149.
- Sustainable Energy Unit. (2017). The Kingdom of Bahrain: National Energy Efficiency (action plan) [online] Available at: <http://www.seu.gov.bh/neeap/> [Accessed: July-2019].

United Nations. (2017). Household Size and Composition Around the World 2017. [online] Available:

<http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/databooklet/index.asp> [Accessed: March-2019].

EWA. (n.d.). Statistics. Retrieved from: <http://www.ewa.bh/en/Network/Electricity/Statistics> [Accessed: July-2019].

Pamuk, N. (2016). Empirical Analysis of Causal Relationship between Electricity Production and Consumption Demand in Turkey Using Cobb-Douglas Model. *Journal of Polytechnic*, 2016; 19 (4): 415-420.

RDocumentation. (n.d.). stats v3.6.1. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats> [Accessed: July-2019].

RDocumentation. (n.d.). stl. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats> [Accessed: July-2019].

Πετρόπουλος, Φ. και Ασημακόπουλος, Β. (2013). Επιχειρησιακές προβλέψεις. Ζωγράφου: Εκδόσεις Συμμετρία.

RDocumentation. (n.d.). e1071 v1.7-2. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/e1071> [Accessed: July-2019].

RDocumentation. (n.d.). svm. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/e1071/versions/1.7-2/topics/svm> [Accessed: July-2019].

RDocumentation. (n.d.). tune. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/e1071/versions/1.7-2/topics/tune> [Accessed: July-2019].

Kim, Sungil & Kim, Heeyoung. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*. 32. 669-679. 10.1016/j.ijforecast.2015.12.003.

RDocumentation. (n.d.). Compositional Data Analysis. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/compositions> [Accessed: July-2019].

RDocumentation. (n.d.). Normal Distributions on Special Spaces. Retrieved from: <https://www.rdocumentation.org/packages/compositions/versions/1.40-2/topics/rnorm> [Accessed: July-2019].

van Wegberg, R., Oerlemans, J-J., van Deventer, O. (2018). Bitcoin Money Laundering: Mixed Results? An Explorative Study on Money Laundering of Cybercrime Proceeds using Bitcoin. *Journal of Financial Crime*, 25(2):419-435.

Senthilnathan, S. (2016). Risk, Return and Portfolio Theory – A Contextual Note. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 5. 705-715. 10.21275/6101601.

IRENA. (2017). Renewable Power Generation Costs in 2017 [online] Available: www.irena.org/publications.

Παράρτημα. Κώδικας R της προσομοίωσης

```

library(e1071)
library(forecast)
library(xts)
library(Metrics)

#matrix for final forecasts, rows=months, columns=users
PerdayforecastMatrix = matrix(nrow=7, ncol=12)

#matrix for errors
ErrorsMatrix=matrix(nrow=5, ncol=12)
rownames(ErrorsMatrix)<- c("In Sample SVM", "Out of Sample SVM", "In Sample
Simple", "out of Sample Simple", "Chosen Method")

#loop for every file
for(i in 1:12){
  #in every loop timeSeries is our series to be forecasted
  timeSeries <- read.csv(csvfiles[i])

  #simple svm
  simplemodelsvm<-svm(y~x, timeSeries)
  simplepredictions<-predict(simplemodelsvm,
data.frame(x=c(seq((length(timeSeries$x)+1):(length(timeSeries$x)+7))))
  simplesvmcross<-svm(y~x, timeSeries[1:21,])
  crosspredictions<-predict(simplesvmcross, timeSeries)
  insamplesimple<-mape(crosspredictions[1:21],timeSeries$y[1:21])
  outofsamplesimple<-
mape(crosspredictions[22:length(timeSeries$x)],timeSeries$y[22:length(timeSeries$x
)])

  #decompose/deseasonalize
  tsdata<-ts(data= timeSeries$y, frequency = 7)
  decomposedSeries<- stl(tsdata, s.window="periodic")
  seasonal<- decomposedSeries$time.series[,1]
  deseasData<- tsdata-seasonal
  timeSeries$y<-deseasData #in the end the deseasonalized data are used

  #model for cross-validation of SVM
  crossvalidationModel <- tune(svm, y~x, data=timeSeries[1:21,], ranges=
list(epsilon=seq(0,1,0.1),cost=2^(2:9)))
  BestcrossvalidationModel <- crossvalidationModel$best.model

  #tuning model of svm and choose best model
  tuningInterModel <- tune(svm, y~x, data=timeSeries, ranges=
list(epsilon=seq(0,1,0.1),cost=2^(2:9)))
  tuningModel <- tuningInterModel$best.model

  #Forecasts for cross-validation of SVM
  validationPredictions<- predict(BestcrossvalidationModel, timeSeries)
  validationPredictions<-validationPredictions + seasonal #seasonal effect for cross
validation

```

```

#True Forecasts for the deseasonalized and reseasonalize
tempData <- predict(tuningModel,
data.frame(x=c(seq((length(timeSeries$x)+1):(length(timeSeries$x)+7))))
newData=matrix(ncol=2,nrow = 7)
newData[,1]<- tempData + seasonal[1:7]
if(timeSeries$d[1]=="Monday"){
  newData[,2]<-c(1,2,3,4,5,6,7)
} else if(timeSeries$d[1]=="Tuesday"){
  newData[,2]<-c(2,3,4,5,6,7,1)
} else if(timeSeries$d[1]=="Wednesday"){
  newData[,2]<-c(3,4,5,6,7,1,2)
} else if(timeSeries$d[1]=="Thursday"){
  newData[,2]<-c(4,5,6,7,1,2,3)
} else if(timeSeries$d[1]=="Friday"){
  newData[,2]<-c(5,6,7,1,2,3,4)
} else if(timeSeries$d[1]=="Saturday"){
  newData[,2]<-c(6,7,1,2,3,4,5)
} else if(timeSeries$d[1]=="Sunday"){
  newData[,2]<-c(7,1,2,3,4,5,6)
}
predictions<-newData[order(newData[,2])]

#error calculations
timeSeries$y<-tsdata
insampleSVM<- mape(validationPredictions[1:21], timeSeries$y[1:21])
outofsampleSVM<- mape(validationPredictions[22:length(timeSeries$x)],
timeSeries$y[22:length(timeSeries$x)])
ErrorsMatrix[1,i]<- insampleSVM
ErrorsMatrix[2,i]<- outofsampleSVM
ErrorsMatrix[3,i]<- insamplesimple
ErrorsMatrix[4,i]<- outofsamplesimple

#final decision of method
if(outofsampleSVM<=outofsamplesimple){
  PerdayforecastMatrix[,i] <- predictions/2
} else{
  PerdayforecastMatrix[,i] <- simplepredictions/2
}
}

#creating excel process automatically
rownames(PerdayforecastMatrix)<- c("Monday", "Tuesday",
"Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday", "Sunday")
colnames(PerdayforecastMatrix)<-c("January", "February", "March", "April", "May",
"June", "July", "August", "September", "October", "November", "December")

calendar<-read.csv("calendar2018.csv")

household_matrix=matrix(nrow=365, ncol = 13)

```

```

colnames(household_matrix)<-c("Total", "A", "B", "C", "D", "E", "ST", "F", "G",
"H", "I", "J", "K")

for (i in 1:365){
  household_matrix[i,1]<-
PerdayforecastMatrix[toString(calendar$Day[i]),toString(calendar$Month[i])]
  household_matrix[i,2]<-household_matrix[i,1]*0.022
  household_matrix[i,3]<-household_matrix[i,1]*0.024
  household_matrix[i,4]<-household_matrix[i,1]*0.041
  household_matrix[i,5]<-household_matrix[i,1]*0.068
  household_matrix[i,6]<-household_matrix[i,1]*0.085
  household_matrix[i,7]<-household_matrix[i,1]*0.081
  household_matrix[i,8]<-household_matrix[i,1]*0.095
  household_matrix[i,9]<-household_matrix[i,1]*0.108
  household_matrix[i,10]<-household_matrix[i,1]*0.153
  household_matrix[i,11]<-household_matrix[i,1]*0.169
  household_matrix[i,12]<-household_matrix[i,1]*0.093
  household_matrix[i,13]<-household_matrix[i,1]*0.061
}

household_matrix<-as.data.frame(household_matrix)

#main program
households<- read.csv("households.csv")

#matrices
targetMatrix=matrix(nrow=365, ncol = 250000)
scenarioMatrix=matrix(nrow=365, ncol = 250000)
savingsMatrix=matrix(nrow=365, ncol = 250000)
totalSavings=matrix(nrow=365, ncol=1)
excessMatrix=matrix(nrow=365, ncol=1)
summedSavings=matrix(nrow=365, ncol=1)
summedExcess=matrix(nrow=365, ncol=1)
per5summedSavings=matrix(nrow=365, ncol=1)
per5summedExcess=matrix(nrow=365, ncol=1)
budgetWeights=matrix(nrow=365, ncol=1)
budgetMatrix=matrix(nrow=365, ncol=1)
summedBudget=matrix(nrow=365, ncol=1)
per5summedBudget=matrix(nrow=365, ncol=1)
ratio=matrix(nrow=365, ncol=1)
earnings_per_household=matrix(nrow=250000, ncol=1)
earnings_statistics=matrix(nrow=5,ncol=12)
rownames(earnings_statistics)<- c("maximum", "minimum", "average", "variance",
"standard deviation")
return_percent=matrix(nrow=365,ncol=1)
ratio_return_statistics=matrix(nrow=9,ncol=1)
rownames(ratio_return_statistics)<- c("maximum", "minimum", "average","median",
"variance", "standard deviation", "kurtosis", "skewness", "var 95%")
colnames(ratio_return_statistics)<- "return statistics"
daily_earnings_variance=matrix(nrow=365, ncol=1)

```

```
cumulative_savings_variance=matrix(nrow=365, ncol=1)
cumulative_losses_variance=matrix(nrow=365, ncol=1)
```

```
#create target matrix
for(j in 1:250000){
  if(j<=32500){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$A/32500
  } else if (j<=50000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$B/17500
  }else if (j<=70000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$C/20000
  }else if (j<=95000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$D/25000
  }else if (j<=120000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$E/25000
  }else if (j<=140000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$ST/20000
  }else if (j<=160000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$F/20000
  }else if (j<=180000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$G/20000
  }else if (j<=205000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$H/25000
  }else if (j<=230000){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$I/25000
  }else if (j<=242500){
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$J/12500
  }else {
    targetMatrix[,j]<-1000*household_matrix$K/7500
  }
}
```

```
#create scenario matrix 6%
for(j in 1:250000){
  for(i in 1:365){
    if(j<=32500){
      scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
    } else if (j<=50000){
      scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
    }else if (j<=70000){
      scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
    }else if (j<=95000){
      scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
    }else if (j<=120000){
      scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
    }
  }
}
```



```

}else if (j<=140000){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else if (j<=160000){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else if (j<=180000){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else if (j<=205000){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else if (j<=230000){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else if (j<=242500){
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}else {
  scenarioMatrix[i,j]<-rnorm(1, mean=0.94*targetMatrix[i,j],
sd=0.1*targetMatrix[i,j])
}
}
}

```

```

#create matrix of savings
savingsMatrix<- targetMatrix- scenarioMatrix

```

```

#create matrix of savings with 50% threshold
for(i in 1:365){
  for(j in 1:250000){
    if (scenarioMatrix[i,j]< 0.5*targetMatrix[i,j]){
      savingsMatrix[i,j]<-0
    }else {
      savingsMatrix[i,j]<- targetMatrix[i,j] - scenarioMatrix[i,j]
    }
  }
}
}

```

```

#constants in dollars and kWh
p<-29*0.0027
TotalBudget<-50000000
AnticipatedSavings<-0.06*sum(targetMatrix)
reg<-TotalBudget/(AnticipatedSavings)

```

```

#saved kWh per day, excess to be penalised, and weights for budget matrices
for(i in 1:365){
  totalSavings[i,<- sum(savingsMatrix[i,][which(savingsMatrix[i,]>=0)])
  excessMatrix[i,<- sum(savingsMatrix[i,][which(savingsMatrix[i,]<0)])
}

```

```

budgetWeights[i,]<-((0.0000052396)*(1+11*i/365)^5-
(0.000095172)*(1+11*i/365)^4-
0.00028344*(1+11*i/365)^3+0.010729*(1+11*i/365)^2-
0.033897*(1+11*i/365)+0.072311)
}

# budget matrix
for (i in 1:365){
  budgetMatrix[i,]<-budgetWeights[i,]*TotalBudget/sum(budgetWeights)
}

#summed matrices for total and per 5 days
for(i in 1:365){
  summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[1:i,])
  summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[1:i,]))
  summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[1:i,])
  if(i<=5){
    per5summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[1:i,])
  } else {
    per5summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[(i-4):i,])
  }
  if(i<=5){
    per5summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[1:i,]))
  } else {
    per5summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[(i-4):i,]))
  }
  if(i<=5){
    per5summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[1:i,])
  } else {
    per5summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[(i-4):i,])
  }
}

#ratio calculations
for(i in 1:365){
  ratio[i,]<-
0.5*p*reg*((summedSavings[i,]/(summedBudget[i,]+reg*summedExcess[i,]))+(per5s
ummedSavings[i,]/per5summedBudget[i,]))
}
plot(ratio,type="l",col="blue", pch=16, ylab = "Currency Rate ($/coin)", xlab =
"Day")
max_ratio<-max(ratio)
min_ratio<-min(ratio)
average_ratio<-mean(ratio)
total_savings<-sum(totalSavings) #savings and coins circulated
print(sd(ratio))

#earnings per household calculations
for(j in 1:250000){
  savings_positive<-0

```

```

savings_negative<-0
for(i in 2:365){
  if(savingsMatrix[i,j]>=0){
    savings_positive<-savings_positive + savingsMatrix[i,j]
  } else{
    savings_negative<-savings_negative + savingsMatrix[i,j]
  }
}
earnings_of_hd<- savings_positive*ratio[365]+savings_negative*reg
earnings_per_household[j,<-earnings_of_hd
}
plot(earnings_per_household,type="l",col="blue", pch=16, ylab = "Earnings Per
household ($)", xlab = "No. of household")

#statistics for earnings
for(i in 1:12){
  earnings_statistics[1,i]<-
max(earnings_per_household[c(households[i,2]:households[i,3]),])
  earnings_statistics[2,i]<-
min(earnings_per_household[c(households[i,2]:households[i,3]),])
  earnings_statistics[3,i]<-
mean(earnings_per_household[c(households[i,2]:households[i,3]),])
  earnings_statistics[4,i]<-
var(earnings_per_household[c(households[i,2]:households[i,3]),])
  earnings_statistics[5,i]<-
sd(earnings_per_household[c(households[i,2]:households[i,3]),])
}
plot( earnings_statistics[1,], type="o", lty=3, col="green", pch=16,ylab = "Earnings
$", xlab = "Members of Household", ylim=c(0,550))
lines( earnings_statistics[2,], type="o", lty=3, col="red", pch=16)
lines(earnings_statistics[3,],type="o",col="blue", pch=16)
legend(1,480, legend = c("Average", "Max", "Min"), col=c("Blue", "Green",
"Red"),lty=1, cex=0.8)

x<-sample(120001:140000, 1)
#cumulative savings and losses first point
if(savingsMatrix[1,x]<0){
  cumulative_savings_variance[1,1]<-0
  cumulative_losses_variance[1,1]<-savingsMatrix[1,x]
}else{
  cumulative_savings_variance[1,1]<- savingsMatrix[1,x]
  cumulative_losses_variance[1,1]<-0
}
#cumulative matrices
for(i in 2:365){
  if(savingsMatrix[i,x]>=0){
    cumulative_savings_variance[i,1]<- cumulative_savings_variance[i-1,1]+
savingsMatrix[i,x]
    cumulative_losses_variance[i,1]<- cumulative_losses_variance[i-1,1]
  } else {

```

```

    cumulative_savings_variance[i,1]<- cumulative_savings_variance[i-1,1]
    cumulative_losses_variance[i,1]<- cumulative_losses_variance[i-1,1]+
savingsMatrix[i,x]
  }
}
#cumulative earnings
for(i in 1:365){
  daily_earnings_variance[i,1]<-
cumulative_savings_variance[i,1]*ratio[i]+cumulative_losses_variance[i,1]*reg
}
plot(daily_earnings_variance, type="l", col="blue", pch=16, ylab = "Cumulative
Earnings ($)", xlab = "Day")

#statistics for return
for(i in 2:365){
  return_percent[i]<-100*(ratio[i,]-ratio[i-1,])/ratio[i-1,]
}
plot(return_percent,type="l",col="blue", pch=16, ylab = "Total Return %", xlab =
"Day")

#statistical analysis
ratio_return_statistics[1,]<- max(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[2,]<- min(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[3,]<- mean(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[4,]<-median(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[5,]<-var(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[6,]<-sd(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[7,]<-kurtosis(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[8,]<-skewness(return_percent[2:365])
ratio_return_statistics[9,]<- quantile(return_percent[2:365],0.95)

#sensitivity analysis for budget
sens_ratio_budget=matrix(ncol=4, nrow=17)
k<-1
for (b in seq(30000000,70000000, by=2500000)){

# budget matrix
for (i in 1:365){
  budgetMatrix[i,]<-budgetWeights[i,]*b/sum(budgetWeights)
}

#summed matrices for total and per 5 days
for(i in 1:365){
  summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[1:i,])
  summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[1:i,]))
  summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[1:i,])
  if(i<=5){
    per5summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[1:i,])
  } else {
    per5summedSavings[i,]<-sum(totalSavings[(i-4):i,])
  }
}
}

```

```

}
if(i<=5){
  per5summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[1:i,]))
} else {
  per5summedExcess[i,]<-sum(abs(excessMatrix[(i-4):i,]))
}
if(i<=5){
  per5summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[1:i,])
} else {
  per5summedBudget[i,]<-sum(budgetMatrix[(i-4):i,])
}
}
reg<-b/(AnticipatedSavings)
for(i in 1:365){
  ratio[i,]<-
0.5*p*reg*((summedSavings[i,]/(summedBudget[i,]+reg*summedExcess[i,]))+(per5s
ummedSavings[i,]/per5summedBudget[i,]))
}
sens_ratio_budget[k,2]<-mean(ratio)
sens_ratio_budget[k,1]<-b
sens_ratio_budget[k,3]<-reg
sens_ratio_budget[k,4]<-p
k<-k+1
}
plot(sens_ratio_budget[,1],sens_ratio_budget[,3],type="l",col="blue", pch=16, ylab =
"$/Coin", xlab = "Budget ($)", main = "Budget Sensitivity")
lines(sens_ratio_budget[,1], sens_ratio_budget[,2],type="l",col="black", pch=16)
lines(sens_ratio_budget[,1], sens_ratio_budget[,4],type="l",lty=3,col="red", pch=16)
legend(3e+07,0.13, legend = c("Average Ratio", "Regulator", "Price of kWh"),
col=c("Black", "Blue", "Red"),lty=c(1,1,3), cex=0.8)

#sensitivity analysis for savings
sens_ratio_antic=matrix(ncol=4, nrow=11)
k<-1
for (perc in seq(0,0.1, by=0.01)){
  reg<- TotalBudget/(perc*sum(targetMatrix))
  for(i in 1:365){
    ratio[i,]<-
0.5*p*reg*((summedSavings[i,]/(summedBudget[i,]+reg*summedExcess[i,]))+(per5s
ummedSavings[i,]/per5summedBudget[i,]))
}
  sens_ratio_antic[k,3]<-reg
  sens_ratio_antic[k,2]<-mean(ratio)
  sens_ratio_antic[k,1]<- perc*100
  sens_ratio_antic[k,4]<- p
  k<-k+1
}
plot(sens_ratio_antic[,1],sens_ratio_antic[,3],type="l",col="blue", pch=16, ylab =
"$/Coin", xlab = "Anticipated (%)", main = "Anticipated Savings Sensitivity
Analysis")

```

```
print(sens_ratio_antic)
lines(sens_ratio_antic[1], sens_ratio_antic[4],type="l",lty=3,col="red", pch=16)
legend(8, 0.4, legend = c("Average Ratio", "Price of kWh"), col=c("Blue",
"Red"),lty=c(1,3), cex=0.8)
```