

## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΣΠΙΤΙΑ

Ιωάννης Αριστείδου

Η Διατριβή αυτή

Υποβλήθηκε προς Μερική Εκπλήρωση των

Απαιτήσεων για την Απόκτηση

Τίτλου Σπουδών Master

σε Προηγμένες Τεχνολογίες Πληροφορικής

στο

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συστήνεται προς Αποδοχή

από το Τμήμα Πληροφορικής

Ιανουάριος ,2021

## ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΡΙΣΗΣ

Διατριβή Master

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΣΠΙΤΙΑ**

Παρουσιάστηκε από

Ιωάννης Αριστείδου

Ερευνητικός Σύμβουλος

---

Δρ. Βάσος Βασιλείου

Μέλος Επιτροπής

---

Δρ. Αντρέας Πιτσιλλίδης

Μέλος Επιτροπής

---

Δρ. Χριστόφορος Χριστοφόρου

Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ιανουάριος, 2021

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον ερευνητικό μου σύμβουλο κ. Βάσο Βασιλείου για την καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής. Πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή του θέματος, που αφορά διαχείριση ενέργειας σε σπίτια, συνέβαλε η ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ με το ερευνητικό κέντρο αιφόρου ενέργειας FOSS του Πανεπιστημίου Κύπρου στο ερευνητικό ευρωπαϊκό πρόγραμμα DELTA. Ήταν μια πρωτόγνωρη εμπειρία για εμένα η συμμετοχή μου σε ένα τέτοιο ερευνητικό έργο. Η ενασχόληση μου με το πρόγραμμα αυτό, αποτελεί το εναρκτήριο λάκτισμα της επαγγελματικής μου σταδιοδρομίας στον τομέα της πληροφορικής. Μου έδωσε τη δυνατότητα να διευρύνω τους γνωστικούς μου ορίζοντες και το σημαντικότερο, να αναπτύξω τις ικανότητες μου στο να δουλεύω αποδοτικά σε μια ομάδα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στους συνεργάτες μου στην ομάδα Βενιζέλο Βενιζέλου, Αλέξη Φραγκουλλίδη και Κυριακή Ψαρά για τις συμβουλές και την καθοδήγηση τους που μου δίνουν μέχρι σήμερα και για την άψογη ομαδική συνεργασία που έχουμε για την υλοποίηση των καθηκόντων του προγράμματος DELTA. Τέλος ευχαριστώ όλους τους ανθρώπους που με στηρίζουν καθημερινά. Την οικογένεια μου και πάνω από όλους την φίλη μου Δέσποινα που στέκεται δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε στιγμή της προσωπικής μου ζωής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με το θέμα της διαχείρισης ενέργειας σε “Εξυπνα Σπίτια”. Τα τελευταία χρόνια, η αυξημένη ζήτηση ενέργειας που παρατηρείται παγκόσμια ανάγκασε τους παρόχους να αυξήσουν τις τιμές κατανάλωσης της κιλοβατώρας με αποτέλεσμα ο λογαριασμός ρεύματος των καταναλωτών να παρουσιάζεται οικονομικά φουσκωμένος. Εξαιτίας της κατάστασης αυτής, ο κάθε καταναλωτής προσπαθεί να βρει καινοτόμες λύσεις ώστε να εξοικονομήσει ενέργεια και να μειώσει το κόστος του λογαριασμού του ρεύματος.

Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος λαμβάνει πληροφορίες από ένα καταναλωτή για το πλάνο χρήσης των συσκευών του μέσα στην εβδομάδα και προσπαθεί να του δημιουργήσει ένα πρόγραμμα λειτουργίας τους ανά ημέρα όσο πιο κοντά στις προτιμήσεις του λαμβάνοντας υπόψη το μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης του Ontario για καλοκαιρινή και για χειμερινή περίοδο και το όριο ασφαλείας υποστατικού που τέθηκε για αποφυγή υπερφόρτωσης της γραμμής. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος προσομοιώνει τρεις διαφορετικές κατηγορίες καταναλωτών.

Ο αλγόριθμος έχει εις γνώση του τις τιμές μέσης κατανάλωσης των συσκευών οι οποίες ανακτήθηκαν από τα ενεργειακά δεδομένα REFIT μέσω της εργαλειοθήκης NILMTK. Για σκοπούς προσομοίωσης ανακτήθηκαν δεδομένα συσκευών από δύο διαφορετικά σπίτια. Για κάθε σπίτι, σε κάθε μέρα παρουσιάζονται τα προγράμματα που ο αλγόριθμος δημιούργησε για κάθε τύπο καταναλωτή μαζί με τα σχετικά γραφήματα ημερήσιας κατανάλωσης. Σε κάθε μέρα παρατίθενται παρατηρήσεις για τις διαφορές που προκύπτουν σχετικά με το χρονοπρογραμματισμό των συσκευών. Επιπλέον γίνεται σύγκριση των τύπων των καταναλωτών λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό εβδομαδιαίο κόστος κατανάλωσης και μετακίνησης. Στο τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από τη διατριβή αυτή και πως ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα πραγματικό σενάριο διαχείρισης ενέργειας σε σπίτια.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>Κεφάλαιο 1.....</b>	<b>1</b>
1.1 Κίνητρο .....	1
1.2 Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	8
1.2.1 Τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής (Distributed Generation) .....	9
1.2.2 Τεχνολογίες Κατανεμημένης Αποθήκευσης (Distributed Electricity Storage) ...	9
1.2.3 Διαχείριση Κατανάλωσης Στον Χώρο Κατανάλωσης (Demand side load management).....	9
1.3 Σχετική Εργασία .....	10
1.4 Δομή Διατριβής.....	16
<b>Κεφάλαιο 2.....</b>	<b>17</b>
2.1 Οφέλη ενός έξυπνου δικτύου .....	17
2.2 Μοντέλα τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος .....	20
2.3 Παροχή πληροφόρησης και αντίληψη του καταναλωτή.....	26
2.4 Εφαρμογές Διαχείρισης Κατανάλωσης Ενέργειας.....	28
2.4.1 Εφαρμογή iHEM.....	29
2.4.2 Ecobee Smart .....	29
2.4.3 Green Outlet.....	30
<b>Κεφάλαιο 3.....</b>	<b>32</b>
3.1 Η εργαλειοθήκη NILMTK.....	32
3.2 Τα ενεργειακά δεδομένα REDD .....	35
3.3 Τα ενεργειακά δεδομένα AMPDs .....	36
3.4 Τα ενεργειακά δεδομένα REFIT .....	37

<b>Κεφάλαιο 4.....</b>	<b>42</b>
4.1 Άπληστοι Αλγόριθμοι.....	42
4.1.1 Ορισμός.....	42
4.1.2 Προβλήματα που επιλύονται με άπληστο αλγόριθμο.....	44
4.1.2.1 Ο αλγόριθμος Knapsack.....	44
4.1.2.2 Το πρόβλημα προγραμματισμού εργασιών.....	46
4.2 Περιγραφή αλγορίθμου.....	47
4.2.1 Προδιαγραφές.....	47
4.2.2 Δεδομένα εισόδου.....	50
4.2.3 Τύποι καταναλωτών.....	50
4.2.4 Διαδικασία Χρονοπρογραμματισμού Ηλεκτρικών Συσκευών.....	53
<b>Κεφάλαιο 5.....</b>	<b>59</b>
5.1 Αποτελέσματα Σεναρίου Σπιτιού 1.....	59
5.1.1 Εβδομαδιαία προγράμματα λειτουργίας συσκευών σπιτιού 1.....	59
5.1.2 Σύγκριση συνολικού εβδομαδιαίου κόστους κατανάλωσης και συνολικής μετακίνησης λειτουργίας των συσκευών σπιτιού 1.....	94
5.2 Αποτελέσματα σεναρίου σπιτιού 2.....	96
5.2.1 Εβδομαδιαία προγράμματα λειτουργίας συσκευών σπιτιού 2.....	97
5.2.2 Σύγκριση συνολικού εβδομαδιαίου κόστους κατανάλωσης και συνολικής μετακίνησης λειτουργίας των συσκευών σπιτιού 2.....	136
<b>Κεφάλαιο 6.....</b>	<b>139</b>
6.1 Σχόλια και Συμπεράσματα.....	139
6.2 Μελλοντική Εργασία.....	141
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>143</b>

Κωάννης Αριστείδου

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΩΝ ΚΙΛΟΒΑΤΩΡΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΝΤΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 3 ΧΡΟΝΙΑ .....	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΠΙΤΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ REFIT .....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΩΝ REFIT ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑ ΣΠΙΤΙ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΑ .....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 .....	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 .....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ .....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ – ΣΠΙΤΙ 1	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 ....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 ...	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ- ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΑ- ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– .....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ .....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1..	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΤΡΙΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ.....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– .....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 ...	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1..	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1..	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1... ..	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΠΕΜΠΤΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1.....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ .....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 36 : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ – ΣΠΙΤΙ 1 .....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 ...	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 40: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 41: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1..	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 42: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΣΑΒΒΑΤΟ .....	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 43: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΣΑΒΒΑΤΟ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 1 .....	85





ΠΙΝΑΚΑΣ 92: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ- ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 93: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 94: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 95: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2 ...	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 96: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 97: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΣΆΒΒΑΤΟ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2 ..	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 98: ΠΛΑΝΟ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 99: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 100: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 101: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 102: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2 ..	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 103: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 104: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ - ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ– ΣΠΙΤΙ 2 .	133

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ 2018-2050 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΕΙΑ.....	2
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΤΟ ΈΞΥΓΝΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	5
ΕΙΚΟΝΑ 3: CURRENT DR CONCEPT – DELTA DR CONCEPT .....	7
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΤΆΣΗΣ .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΆΣΗΣ ΣΕ ΜΙΣΌ ΚΥΚΛΟ ΚΥΜΑΤΟΣ .....	13
ΕΙΚΟΝΑ 6: Η ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ WATT (POWER) ΑΝΑ ΣΠΙΤΙ ΓΙΑ ΜΙΑ ΜΕΡΑ ΑΠΌ ΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΒΟΝΒΙΝΙ	14
ΕΙΚΟΝΑ 7: Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΩΗ ΑΝΆ ΣΠΙΤΙ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΆ ΑΠΌ ΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΒΟΝΒΙΝΙ.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΟΙ ΑΝΆΓΚΕΣ ΚΆΘΕ ΣΠΙΤΙΟΥ ΣΕ ΙΣΧΥ ΑΝΆ ΏΡΑ ΑΠΌ ΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΒΟΝΒΙΝΙ .....	15
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΠΟΥ ΤΟ ΚΆΘΕ ΣΠΙΤΙ ΈΧΕΙ ΑΝΆΓΚΗ ΑΠΌ ΈΝΑ ΠΟΣΌ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΕ WATT) ΓΙΑ ΝΑ ΚΑΛΎΦΕΙ ΤΙΣ ΑΝΆΓΚΕΣ ΤΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΒΟΝΒΙΝΙ. ....	15
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΜΈΣΕΣ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΈΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ RMS ΤΆΣΗΣ, ΡΕΫΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΉΘΗΚΑΝ ΑΠΌ ΤΟΝ ΒΟΝΒΙΝΙ .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΔΕΙΓΜΑ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΗΚ .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΤΙΜΗ ΚΙΛΟΒΑΤΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΌΜΕΝΗ ΜΕΡΑ 21/12/2020 (ΜΠΛΕ ΓΡΑΜΜΗ), ΤΙΜΗ ΚΙΛΟΒΑΤΩΡΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΌ ΧΡΌΝΟ 20/12/2020( ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ).....	23
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΝΤΑΡΙΟ .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΣΕΙΡΆ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ ΓΕΓΟΝΌΤΩΝ ΑΠΌ ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ NILMTK .....	34
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΈΝΩΝ REFIT .....	38
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΑΡΆΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΒΑΣΙΚΌ ΛΟΓΙΚΌ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΛΟΓΙΚΌ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΣΚΕΫΩΝ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΑΙΌΤΗΤΑ 1 .....	56
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΛΟΓΙΚΌ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΌΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΥΣΚΕΫΗΣ .....	57
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΛΟΓΙΚΌ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΣΚΕΫΩΝ ΠΡΟΤΕΡΑΙΌΤΗΤΑΣ 2 .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΫΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 22 : ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΫΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΫΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	68
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST	68
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED	68
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΆΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΆΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΆΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	78
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	79
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	79
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΌΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΫΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	83

ΕΙΚΟΝΑ 34: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	83
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΣΑΒΒΑΤΟΥ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	87
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΣΑΒΒΑΤΟΥ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	88
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΣΑΒΒΑΤΟΥ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	92
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	92
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	92
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 – ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	94
ΕΙΚΟΝΑ 43: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 – ΧΕΙΜΩΝΙΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 – ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	95
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 1 – ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 46: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	101
ΕΙΚΟΝΑ 47: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	101
ΕΙΚΟΝΑ 48: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	101
ΕΙΚΟΝΑ 49: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	106
ΕΙΚΟΝΑ 50: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	107
ΕΙΚΟΝΑ 51: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	107
ΕΙΚΟΝΑ 52: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	112
ΕΙΚΟΝΑ 53: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	112
ΕΙΚΟΝΑ 54: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	113
ΕΙΚΟΝΑ 55: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	117
ΕΙΚΟΝΑ 56: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 57: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 58: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	123
ΕΙΚΟΝΑ 59 : ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	123
ΕΙΚΟΝΑ 60: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED.....	124
ΕΙΚΟΝΑ 61: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΣΑΒΒΑΤΟ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	128
ΕΙΚΟΝΑ 62: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΣΑΒΒΑΤΟ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	129
ΕΙΚΟΝΑ 63: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΣΑΒΒΑΤΟ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	129

ΕΙΚΟΝΑ 64: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS SHIFTING .....	133
ΕΙΚΟΝΑ 65: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ LESS COST .....	134
ΕΙΚΟΝΑ 66: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ OPTIMIZED .....	134
ΕΙΚΟΝΑ 67: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 – ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	136
ΕΙΚΟΝΑ 68: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 –ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	136
ΕΙΚΟΝΑ 69: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 – ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	137
ΕΙΚΟΝΑ 70: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΠΙΤΙΟΥ 2 – ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	137

Κωάννης Αριστείδου

# Κεφάλαιο 1

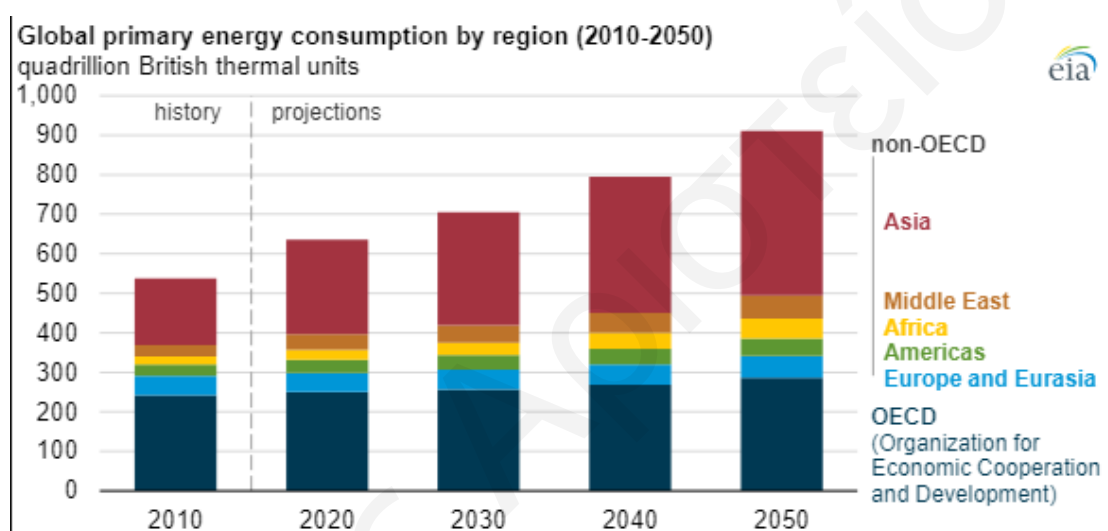
## Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, αρχικά δίνεται το κίνητρο που οδήγησε στη μελέτη του θέματος που αφορά τη διαχείριση ενέργειας σε σπίτια και κατ' επέκταση στην υλοποίηση σχετικού αλγορίθμου για προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών σε σπίτια. Αναφέρονται διάφορες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα και γίνεται αναφορά σε προηγούμενες σχετικές εργασίες που αφορούσαν την υλοποίηση αλγορίθμων για διαχείριση ενέργειας κυρίως σε περιόδους αυξημένης ζήτησης.

### 1.1 Κίνητρο

Τα τελευταία χρόνια η ζήτηση ενέργειας, κυρίως σε ώρες αιχμής, παρουσιάζει ραγδαία αύξηση παγκοσμίως. Αυτό αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας σε μια προσπάθεια ικανοποίησης των αιτημάτων των καταναλωτών στο μέγιστο δυνατό. Σύμφωνα με έρευνα της Αμερικάνικης Εταιρίας Πληροφοριών Ενέργειας (EIA)[1] που δημοσιεύτηκε το 2019 παρατηρείται ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως από το 2018 και εντεύθεν. Συγκεκριμένα από το 2018 μέχρι το 2050, όπως φαίνεται στην εικόνα 1, η κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί μέχρι και 50%, από 500 quadrillion Btu(British Thermal Units) σε 1000 quadrillion Btu ( αντιστοιχεί σε 278 000 000 MWh). Η αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας στα σπίτια είναι από 91 quadrillion Btu στα 139 quadrillion Btu που αντιστοιχεί σε 38 642 000 MWh. Πράγμα που δείχνει ότι αρκετά αυξημένη θα είναι και η ζήτηση ενέργειας. Η μεγαλύτερη αύξηση προέρχεται κυρίως από τις χώρες που δεν είναι ενταγμένες στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ)[2].

Ο οργανισμός ιδρύθηκε το 1961, έχει ως έδρα τη Γαλλία και μέχρι σήμερα διαθέτει 37 χώρες μέλη. Παρέχει ένα περιβάλλον όπου οι κυβερνήσεις μπορούν να συγκρίνουν εφαρμογές πολιτικής, να βρουν απαντήσεις στα κοινά προβλήματα, να προσδιορίσουν τις καλές πρακτικές και να συντονίσουν τις εσωτερικές και διεθνείς πολιτικές. Η γραμματεία του οργανισμού συλλέγει στοιχεία, παρακολουθεί τις τάσεις και αναλύσεις, καθώς και τις προβλέψεις οικονομικής ανάπτυξης. Ερευνώνται οι κοινωνικές αλλαγές ή πιθανά εξελισσόμενα σενάρια στο εμπόριο, το περιβάλλον, η γεωργία, η τεχνολογία, τη φορολογία, την ενέργεια και διάφορα άλλα πεδία.



Εικόνα 1: Συνολική κατανάλωση ενέργειας από το 2018-2050 παγκόσμια σύμφωνα με την έρευνα της EIA

Απόρροια της αύξησης αυτής είναι ότι οι διάφοροι πάροχοι σε όλο τον κόσμο αναγκάζονται να αυξάνουν συνεχώς την τιμή κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι ο άνθρωπος προσπαθεί να αξιοποιήσει τα διάφορα τεχνολογικά μέσα ώστε να βρει νέες καινοτόμες μεθόδους παραγωγής με σκοπό την πιο αποδοτική κατανάλωση ενέργειας των συσκευών είτε σε οικίες είτε σε βιομηχανίες και παράλληλα η χρήση τους να είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον.

Μολονότι τέτοιες μέθοδοι βοηθούν στην αποδοτική χρήση των ηλεκτρικών συσκευών, δεν λαμβάνουν υπόψη άλλους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη χρήση τους όπως η αυξημένη ζήτηση στο δίκτυο, οι καιρικές συνθήκες, η κοστολόγηση της κιλοβατώρας κ.α.



Τέτοιες παράμετροι είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη για την πιο αποδοτική και συνάμα πιο οικονομική χρήση των συσκευών μέσα σε ένα «Έξυπνο Σπίτι».

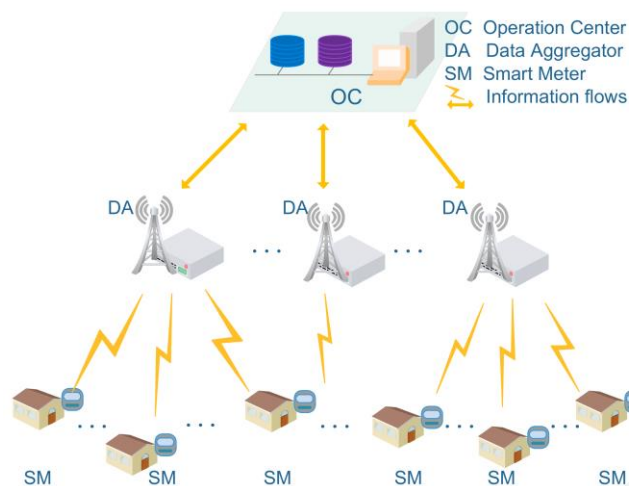
Με τον όρο «Έξυπνο Σπίτι»[3] αναφερόμαστε στη χρήση έξυπνων τεχνολογιών ελέγχου ενέργειας που μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες για τη κατανάλωση ενέργειας οικιακών συσκευών και να ενημερώνουν τον καταναλωτή όπου και αν βρίσκεται. Τέτοιες τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν μοτίβα (patterns). Για κάθε συσκευή είναι σε θέση να γνωρίζουν ποια περίοδο της ημέρας λειτουργεί, για πόσο χρονικό διάστημα, ποιες άλλες συσκευές δουλεύουν ταυτόχρονα, ποιες συσκευές λειτουργούσαν προηγουμένως και ποιες δουλεύουν με το τέλος της. Όλες αυτές οι πληροφορίες επεξεργάζονται, αναλύονται με στόχο να δίνουν συμβουλές στο καταναλωτή για μια πιο αποδοτική χρήση των οικιακών του συσκευών σε περιόδους της ημέρας που η ζήτηση ενέργειας είναι αυξημένη και η τιμή κατανάλωσης ψηλή. Τέτοιες λύσεις μπορεί να είναι η απενεργοποίηση μιας συσκευής για εκείνη τη χρονική περίοδο, η μετακίνηση λειτουργίας μιας συσκευής σε χρονικές περιόδους που η ζήτηση ενέργειας είναι ελάχιστη και το κόστος της κατανάλωσης να είναι πιο φθινό και επιπλέον σε περιόδους όπου οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας παρουσιάζουν αυξημένη παραγωγή. Απόρροια των λύσεων αυτών, είναι ότι ο λογαριασμός του ηλεκτρικού ρεύματος του καταναλωτή θα είναι πιο φθινός.

Για να μπορούν όμως τέτοιες εφαρμογές να προτείνουν λύσεις για προγραμματισμό λειτουργίας των διαφόρων οικιακών συσκευών πρέπει να γνωρίζουν το μοντέλο τιμολόγησης που ο παροχέας προσφέρει. Το δημοφιλέστερο από αυτά τα μοντέλα είναι το μοντέλο «Τιμολόγηση Αυξημένης Ζήτησης (Critical Peak Pricing)», όπου ο χρήστης πληρώνει λιγότερο ποσό ανά κιλοβατώρα σε ώρες που η ζήτηση είναι χαμηλότερη και περισσότερο σε ώρες με αυξημένη ζήτηση. Ένα τέτοιο μοντέλο εφαρμόζεται και στο Ontario στον Καναδά όπου οι ώρες αυξημένης και μειωμένης ζήτησης διαφοροποιούνται αναλόγως εποχής (χειμώνα ή καλοκαίρι) και αναλόγως ημέρας (καθημερινές, σαββατοκύριακα και αργίες). Θεωρητικά ένα μοντέλο σαν και αυτό είναι πιο εύκολο να εφαρμοστεί από τους παροχείς και είναι πιο αντιληπτό από τον καταναλωτή. Αναμφίβολα διάφορες χώρες που εφαρμόζουν ένα τέτοιο μοντέλο το

προσαρμόζουν με βάση τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στη χώρα, τον ρυθμό παραγωγής και ζήτησης ενέργειας και τον καθημερινό τρόπο ζωής των καταναλωτών.

Εξετάζοντας τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές και την έρευνα η οποία έχει γίνει στο εν λόγω ερευνητικό πεδίο, εύκολα κάποιος μπορεί να παρατηρήσει ότι η συλλογή δεδομένων που αφορούν την κατανάλωση συγκεκριμένων συσκευών είναι πλέον μια τετριμμένη διαδικασία η οποία γίνεται εφικτή με την χρήση αισθητήρων. Αυτό που δεν είναι ακόμα εφικτό είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτά τα δεδομένα με σκοπό την λήψη αποφάσεων διαχείρισης από ένα έξυπνο σύστημα. Τέτοια συμπεράσματα θα μπορούσε να αφορούν την μέση κατανάλωση μιας συσκευής, την πιθανότητα λειτουργίας της σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το συνολικό ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με εξωγενείς παράγοντες όπως η εξωτερική θερμοκρασία, οι καιρικές συνθήκες ακόμα και το ποσοστό παραγωγής ενέργειας σε περίπτωση που κάποιος στο υποστατικό του έχει τοποθετήσει φωτοβολταϊκά. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν ένα τέτοιο προγραμματισμό για να επιτευχθεί ο στόχος του μειωμένου συνολικού κόστους είναι τόσο ώστε να ανάγουν το πρόβλημα επίλυσης σε μη ντετερμινιστικό και πολυωνυμικά δύσκολο (NP hard problem).

Σε ένα “Έξυπνο Δίκτυο” [3] η συλλογή πληροφοριών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας από τους καταναλωτές που ανήκουν στο δίκτυο θα βοηθήσει στη διαχείριση ενέργειας κυρίως σε ώρες αιχμής. Με τον όρο “Έξυπνο Δίκτυο” (Smart Grids) εννοούμε τον συνδυασμό προηγμένων τεχνολογιών πληροφορικής, δικτύων και επικοινωνιών, με το παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να γίνει πιο «έξυπνο». Να μπορεί να ενώσει τις δράσεις των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σ’ αυτό, και μέσω του aggregator να μαζεύει πληροφορίες σχετικά με την συμπεριφορά παραγωγών και καταναλωτών με αυτοματοποιημένο τρόπο, για να μπορεί να παραδώσει βιώσιμα, οικονομικά και ασφαλή ηλεκτρικά εφόδια.



Εικόνα 2: Το έξυπνο δίκτυο

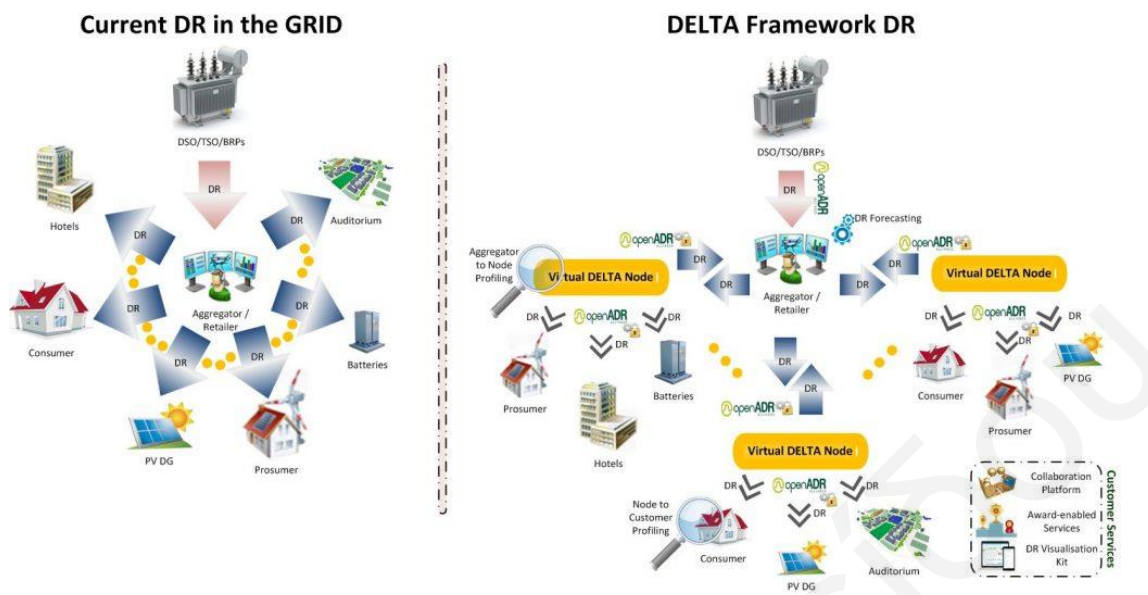
Οι παρόχοι σε μια προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής στέλνουν Demand Response αιτήματα προς τον Aggregator του δικτύου αιτήματα με αποδέκτες τους καταναλωτές ζητώντας τους να μειώσουν την κατανάλωση τους για κάποιο χρονικό διάστημα με σκοπό την καλύτερη λειτουργία του δικτύου. Τα αιτήματα αυτά χωρίζονται σε 2 κατηγορίες τα explicit DR και implicit DR. Τα explicit DR ικανοποιούνται χωρίς την συναίνεση του καταναλωτή. Ο Aggregator επεμβαίνει, ζητά από τον καταναλωτή να συνεισφέρει στο δίκτυο με το να αποδεσμεύσει την ενέργεια που καταναλώνει για κάποιο χρονικό διάστημα παρέχοντας του οικονομικά ανταλλάγματα. Από την άλλη ένα implicit DR ζητά από τον καταναλωτή να μετακινήσει την λειτουργία της συσκευής του σε μεταγενέστερη χρονική περίοδο που η ζήτηση ενέργειας του είναι λιγότερη. Κατ' επέκταση το κόστος κατανάλωσης της συσκευής που θα μετακινήσει θα είναι φθηνότερο. Σίγουρα δεν μπορούν όλοι οι καταναλωτές να ικανοποιούν ανά πάσα στιγμή οποιοδήποτε DR αίτημα με τον ίδιο τρόπο.

Μια προσέγγιση στο ζήτημα αυτό δίνεται μέσω του ευρωπαϊκού έργου DELTA[4]. Το DELTA είναι ένα τριετές έργο Έρευνας & Καινοτομίας. Ξεκίνησε την 1η Μαΐου 2018 και διαρκεί έως τα τέλη Νοεμβρίου του 2021. Η ομάδα του έργου αποτελείται από 10 οργανισμούς από 8 χώρες. Ο συντονιστής του έργου είναι το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης EKETA-CERTH, με έδρα την Ελλάδα. Από Κυπριακής πλευράς, στο έργο συμμετέχει το Πανεπιστήμιο Κύπρου μέσω του ερευνητικού εργαστηρίου FOSS και η ΑΗΚ.

Η ονομασία του έργου, αποτελεί μια συντομογραφία της περιγραφής ‘‘ Future tamper-proof Demand rEsponse framework through seLf-configured, self-opTimized and collABorative virtual distributed energy nodes’’.

Η διαφοροποίηση του έξυπνου δικτύου μέσω της προσέγγισης του DELTA, είναι ο διαχωρισμός των περιοχών σε ομάδες(clusters) και η προσθήκη νοητών κόμβων(DVNs). Όταν έρχεται το Demand Response από το DSO προς τον Aggregator θα ειδοποιείται μόνο ο κόμβος της περιοχής όπου εντοπίζεται το πρόβλημα και η επίλυση του θα γίνεται μόνο από τους καταναλωτές και τους παραγωγούς που βρίσκονται σε εκείνη την περιοχή. Η πλατφόρμα, μέσω προτεινόμενων αλγορίθμων ενεργειακής αντιστοίχισης θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει και να ενοποιήσει πολλαπλές στρατηγικές και πολιτικές που παρέχονται από εμπλεκόμενους φορείς της ενεργειακής αγοράς κάνοντας την αυθεντικά αρθρωτή(authentically modular) και διαχρονική(future-proof). Επιπλέον ο αυτόνομος σχεδιασμός της πλατφόρμας θα δίνει τη δυνατότητα στον τελικό χρήστη να ξεφύγει από την ταλαιπωρία να ανταποκρίνεται σε περίπλοκα σήματα της αγοράς.

Στην εικόνα 3 πιο κάτω παρουσιάζεται η γενική ιδέα του πως αναμένεται το Demand Response πρόγραμμα της πλατφόρμας να δουλέψει συγκριτικά με το πώς δουλεύει τώρα. Με βάση την υπάρχουσα δομή, όταν έρχεται ένα DR σήμα από τον παροχέα(DSO), ο Aggregator προωθεί το σήμα αυτό, όπου χρειάζεται, είτε σε καταναλωτές(σπίτια, επιχειρήσεις, ξενοδοχεία) ή σε παραγωγούς για να διαμορφώσουν το πρόγραμμα κατανάλωσης ή παραγωγής ενέργειας που ακολουθούν για να αποτραπεί το ενδεχόμενο εμφάνισης προβλημάτων στο δίκτυο που θα επηρεάσουν τη λειτουργία του. Τέτοια παραδείγματα είναι η υπερφόρτωση της γραμμής(feeder overloading), η υπόταση(undervoltage) και η υπέρταση(overvoltage) σε κάποιο υποσταθμό.



Εικόνα 3: Current DR concept – DELTA DR concept

Από την άλλη, μια δεύτερη προσέγγιση στο ζήτημα είναι, ο Aggregator να μαζεύει από τον κάθε καταναλωτή ιστορικά δεδομένα προηγούμενων καταναλώσεων μέσω έξυπνων μετρητών, για να γνωρίζει την βασική του κατανάλωση. Με άλλα λόγια, θα γνωρίζει για τον κάθε καταναλωτή περίπου πόση ενέργεια καταναλώνει και ποιες ώρες. Μια τέτοια προσέγγιση περιγράφεται στην έρευνα του Chandan et al[5]. Το DR σύστημα που προτείνεται, είναι δομημένο με τρόπο ώστε να είναι φιλικό προς το χρήστη. Όταν θα έρθει ένα DR σήμα από τον παροχέα ο Aggregator αρχικά με βάση την ώρα θα εντοπίσει ποιοι καταναλωτές είναι διαθέσιμοι να προσφέρουν ενέργεια και να ικανοποιήσουν το αίτημα. Στη συνέχεια, θα διαμορφώσει το αίτημα και θα στείλει στον κάθε καταναλωτή που θα επιλέξει αίτημα για παραχώρηση ενέργειας με ποσό ανάλογο της άνεσης του. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι ο Aggregator μπορεί να ζητήσει λιγότερο ποσό ενέργειας από ένα καταναλωτή που είναι πιο πιθανό να παραχωρηθεί πιο εύκολα.

Οι προκλήσεις στον σχεδιασμό ενός αλγορίθμου επίλυσης του προβλήματος διαχείρισης ενέργειας σε περιόδους αυξημένης ζήτησης καθιστούν μεγάλο το ερευνητικό ενδιαφέρον στον συγκεκριμένο τομέα και αυτό αποτελεί το βασικότερο κίνητρο. Η σωστή επιλογή των δεδομένων που αλγόριθμος θα χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου για να τα επεξεργαστεί ώστε να πάρει μια απόφαση αλλά και ο χρόνος επεξεργασίας τους αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την επιτυχημένη εφαρμογή του σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα «Έξυπνου

σπιτιού». Ένας καλά σχεδιασμένος αλγόριθμος αναμένεται να βοηθήσει στην περαιτέρω αφομοίωση των τεχνολογιών «Εξυπνων Σπιτιών» από τους καταναλωτές αφού το τελικό προϊόν θα παρέχει και πραγματική αξία στην συλλογή των πληροφοριών πέραν της αναπαράστασης τους, σε συνδυασμό με τις αυξημένες αυτοματοποιήσεις. Είναι σημαντικό ένας τέτοιος αλγόριθμος να μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά για κάθε καταναλωτή. Κάθε καταναλωτής έχει τη δική του καθημερινή ρουτίνα. Ως επίσης διαφέρει και η συχνότητα χρήσης των συσκευών κυρίως σε ώρες αυξημένης ζήτησης. Για παράδειγμα, σε περιόδους που η ζήτηση είναι αυξημένη, ένας φοιτητής θα επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τον ηλεκτρονικό του υπολογιστή σε αντίθεση με μια οικοκυρά που θα προτιμήσει να χρησιμοποιήσει το πλυντήριο ρούχων. Ένας τέτοιος αλγόριθμος που θα προσαρμόζει το πρόγραμμα κατανάλωσης των χρηστών σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τη ρουτίνα θα μπορεί να δώσει μια ξεκάθαρη εικόνα στον Aggregator για την βασική κατανάλωση του κάθε καταναλωτή. Έτσι, θα μπορεί να κατηγοριοποιήσει σε ομάδες τους καταναλωτές του με βάση τα χρονικά διάστημα που θα είναι διαθέσιμοι να ικανοποιήσουν ένα explicit DR αίτημα.

## 1.2 Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έδωσε τη δυνατότητα στον άνθρωπο να ψάξει και να δημιουργήσει καινοτόμες λύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και παραγωγής της. Τέτοιες λύσεις είναι οι προγραμματιζόμενες συσκευές οι οποίες καθορίζονται με πρόγραμμα για το πότε θα δουλέψουν και για πόση ώρα και τα φωτοβολταϊκά οικιακής χρήσης τα οποία παράγουν ενέργεια την οποία ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει τοπικά κυρίως σε ώρες αυξημένης ζήτησης.

Οι λύσεις αυτές χωρίζονται σε 3 κατηγορίες βάση του τρόπου προσέγγισης του προβλήματος εξοικονόμησης ενέργειας. Τις Τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής(Distributed Generation), τις Τεχνολογίες Κατανεμημένης Αποθήκευσης(Distributed Electricity Storage) και την Διαχείριση Κατανάλωσης Στον Χώρο Κατανάλωσης(Demand side load management)

### **1.2.1 Τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής (Distributed Generation)**

Στην κλασσική μέθοδο παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος, η παραγωγή ενέργειας συγκεντρώνεται σε ένα μικρό αριθμό μεγάλων μονάδων παραγωγής. Αντίστοιχα, στα μοντέλα κατανεμημένης παραγωγής το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται επίσης και από μικρότερες γεννήτριες γεωγραφικά κατανεμημένες πέραν των μεγάλων μονάδων παραγωγής. Στις κατανεμημένες μονάδες αυτές είτε έχουμε αυξημένη απόδοση είτε είναι μονάδες βασισμένες σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με την χρήση του μοντέλου αυτού μειώνονται αισθητά τα κόστη μεταφοράς της ενέργειας αφού ένα μεγάλο κομμάτι της παραγωγής γίνεται τοπικά. Οι κατανεμημένες μονάδες παραγωγής ποικίλουν από φωτοβολταϊκά πάρκα, μέχρι μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμου και οικιακές μονάδες παραγωγής.

### **1.2.2 Τεχνολογίες Κατανεμημένης Αποθήκευσης (Distributed Electricity Storage)**

Η αύξηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας δημιουργεί την ανάγκη για μεγαλύτερους χώρους αποθήκευσης της ενέργειας. Πολλές από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας (οι οποίες βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κ.α.) παράγουν ενέργεια σε χρονικές περιόδους στις οποίες η ενέργεια αυτή δεν χρησιμοποιείται.

Η αποθήκευση της ενέργειας σε αυξημένης χωρητικότητας αποθηκευτική συσκευή είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία καθώς παρουσιάζει μεγάλες απώλειες. Αντίθετα, η κατανεμημένη αποθήκευση ενέργειας με χρήση μικρότερων μονάδων μπορεί να δώσει την λύση. Τέτοιοι αποθηκευτικοί χώροι ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να τοποθετηθούν σε σπίτια και η αποθηκευμένη ενέργεια τους να αξιοποιηθεί σε χρονικά διαστήματα αυξημένης κατανάλωσης όπου το κόστος της κιλοβατώρας είναι επίσης αυξημένο.

### **1.2.3 Διαχείριση Κατανάλωσης Στον Χώρο Κατανάλωσης (Demand side load management)**

Κατά τη διάρκεια της μέρας η ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος αυξομειώνεται συνεχώς. Γεγονός που καθιστά αναγκαία την χρήση γρήγορων προσαρμόσιμων μονάδων παραγωγής για τη διαχείρισή τους. Η μεταφορά της διαχείρισης των αυξομειώσεων από τις μονάδες

παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης βοηθά στην καλύτερη απόδοση των μεγάλων μονάδων παραγωγής.

Η ιδέα αφορά τον προγραμματισμό διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους λειτουργίας στις οποίες η ζήτηση στο δίκτυο είναι μειωμένη. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σπίτια στο μεγαλύτερο ποσοστό της ( $\approx 50\%$ ) αφορά συσκευές όπως ψυγεία, καταψύκτες, θερμάνσεις, καυστήρες, πλυντήρια και στεγνωτήρια. Κάποιες από αυτές τις συσκευές είναι εύκολα διαχειριστικές. Για παράδειγμα το ψυγείο και ο καταψύκτης είναι δύσκολο να διαχειριστούν αφού η λειτουργία τους στηρίζεται κυρίως στον θερμοστάτη που διαθέτουν και δουλεύουν επί 24ώρου βάσεως. Από την άλλη το πλυντήριο και το στεγνωτήριο είναι συσκευές που μπορούν εύκολα να προγραμματιστούν για λειτουργία σε ώρες που ζήτηση είναι χαμηλότερη.

### 1.3 Σχετική Εργασία

Μια σχετική εργασία πάνω σ' αυτό το θέμα ήταν η διατριβή του Ιωάννη Δημητρίου[6] ο οποίος ανέπτυξε τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού ηλεκτρονικών οικιακών συσκευών Galatia. Πρόκειται για ένα άπληστο αλγόριθμο ο οποίος προσπαθεί να προγραμματίσει διάφορες οικιακές συσκευές να δουλέψουν σε προσομοίωση μιας μέρας με στόχο το κόστος κατανάλωσης ενέργειας να είναι το χαμηλότερο δυνατόν και επιπλέον η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας να μην ξεπερνά το όριο ασφαλείας του υποστατικού. Μέσα στο συνολικό κόστος κατανάλωσης και της κατανάλωσης ενέργειας υπολογίζονται, πέραν των συσκευών που επιδέχονται προγραμματισμό, συσκευές που δεν επιδέχονται προγραμματισμό και εκτελούνται συνέχεια χωρίς διακοπή όπως η κατάψυξη και το ψυγείο. Ο αλγόριθμος παίρνει ως είσοδο, για κάθε συσκευή που θα προγραμματιστεί, το χρόνο εκτέλεσης της συσκευής και την μέση κατανάλωση της όταν αυτή είναι σε λειτουργία. Ως κριτήριο προτεραιότητας για το ποιες συσκευές θα προγραμματιστούν πρώτες ορίζεται ο λόγος της κατανάλωσης ως προς το χρόνο εκτέλεσης. Δηλαδή συσκευές που έχουν μεγάλη κατανάλωση θα έχουν προτεραιότητα με βάση το χρόνο εκτέλεσης τους. Αντίθετα συσκευές με λιγότερο κόστος κατανάλωσης θα προγραμματίζονται με μικρότερη προτεραιότητα για τον λόγο ότι το



συνολικό τους κόστος είναι πιθανόν μικρότερο από γεγονότα με μεγάλη κατανάλωση. Ως έξοδο, ο αλγόριθμος έδινε ένα πρόγραμμα λειτουργίας των συσκευών το οποίο συγκριτικά με το αρχικό είχε λιγότερο κόστος. Αυτό επιτεύχθηκε με τη μετακίνηση συσκευών σε χρονικά διαστήματα που η τιμή τις κιλοβατώρας βάση του σχεδίου τιμολόγησης ήταν πιο φθηνή από άλλες.

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα AMPDs[7] και REDD[8] για τα οποία γίνεται εκτενή αναφορά στο κεφάλαιο 3. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 2 σχέδια τιμολόγησης. Ένα με 2 διαβαθμίσεις (2 χρονικά διαστήματα με διαφορετική τιμή κιλοβατώρας) και ένα σχέδιο τιμολόγησης με 3 διαβαθμίσεις στο διάστημα της μέρας. Λεπτομέρειες για τα σχέδια τιμολόγησης δίνονται στο Κεφάλαιο 2

Μια δεύτερη σχετική εργασία που έγινε από τους O. A. Sianaki, O. Hussain and A. R. Tabesh το 2010[3] αφορούσε την αποδοτική κατανάλωση ενέργειας των καταναλωτών βάση της καθημερινής τους ρουτίνας. Για την προσέγγιση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ο άπληστος αλγόριθμος Knapsack[3,9,21]. Λεπτομέρειες για τον αλγόριθμο στο Κεφάλαιο 3.

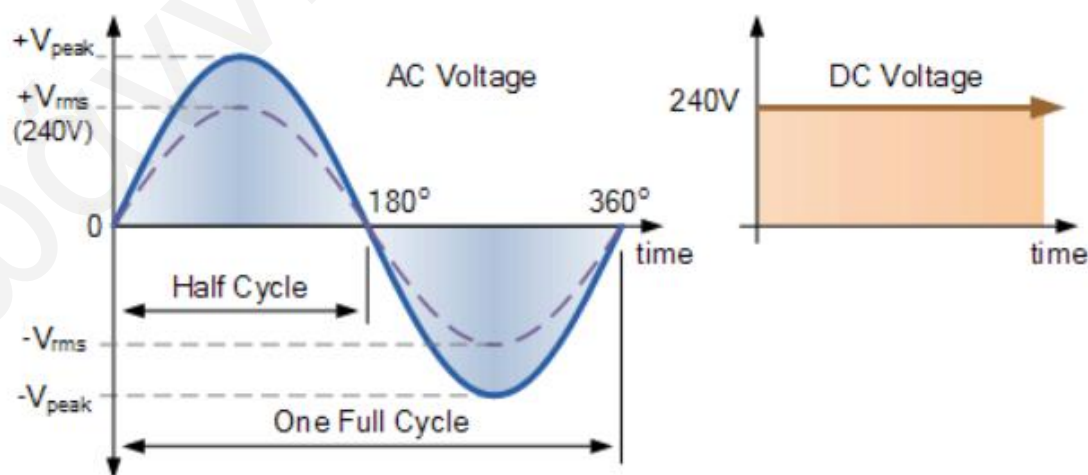
Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα ήταν το πλυντήριο πιάτων, ο Η/Υ, ο στεγνωτήρας μαλλιών, το λουτρό SPA, η τηλεόραση και η ηλεκτρική σκούπα. Για τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν έγινε κατηγοριοποίηση τους από τους χρήστες σε 3 κατηγορίες με βάση το πόσο συχνά επιθυμούν να τις χρησιμοποιούν κατά τις χρονικές περιόδους που η ζήτηση είναι αυξημένη. Οι 3 κατηγορίες ήταν με σειρά προτεραιότητας Emergent, Welfare και Enjoyment. Συσκευές με την πιο ψηλή προτεραιότητα έπρεπε να προγραμματιστούν πρώτες. Για παράδειγμα, ένας φοιτητής θα έθετε προτεραιότητα Emergent στη συσκευή του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε αντίθεση με κάποιο ενήλικα ο οποίος θα την έθετε ως enjoyment καθώς θα τη χρησιμοποιούσε για ξεκούραση όταν επιστρέφει στο σπίτι από την εργασία του. Από την άλλη μια οικοκυρά θα έδινε ως προτεραιότητα Emergent το πλυντήριο πιάτων και την ηλεκτρική σκούπα.

Με βάση τις προτιμήσεις των χρηστών ο αλγόριθμος υπολόγιζε, λαμβάνοντας υπόψη ένα σχέδιο δυναμικής τιμολόγησης, μια προτιμώμενη λύση για χρήση των ηλεκτρονικών συσκευών κατά τη διάρκεια της μέρας. Στο σχέδιο δυναμικής τιμολόγησης είναι δύσκολο να βρεθεί η

ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης ρεύματος και λογαριασμού. Οι καταναλωτές θεωρούν πως για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μειώσουν το χρόνο κατανάλωσης. Όμως αυτό δεν επιφέρει μείωση στο λογαριασμό του ρεύματος. Οπότε όσο πιο πολλά επιθυμεί ο χρήστης να διατηρήσει τη ρουτίνα της καθημερινότητας του, δύσκολα θα καταφέρει να μειώσει το κόστους του λογαριασμού του.

Στον αλγόριθμο, υπήρχε περιορισμός ότι το κόστος σε ώρες αιχμής (peak hours) να μην ξεπερνά το κόστος σε ώρες εκτός αιχμής ( off peak hours). Ενδεχομένως η βέλτιστη λύση για το χρήστη να έρχεται σε σύγκρουση με την προτεινόμενη. Οπότε η συσκευή ελέγχου ενέργειας έδειχνε και τα δύο σενάρια στους καταναλωτές ώστε η τελική λήψη αποφάσεων από αυτούς θα ήταν πιο παραγωγική για το συνολικό σύστημα του δικτύου. Η επίλυση του προβλήματος έγινε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού LINGO[10]

Τέλος ο Mario Bonvini[11] το 2015, υλοποίησε ένα πρόγραμμα στη γλώσσα προγραμματισμού Python το οποίο έκανε ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας σε σπίτια με χρήση της βιβλιοθήκης pandas. Συγκεκριμένα πήρε μετρήσεις από 5 σπίτια που αφορούσαν RMS μετρήσεις τάσης και ρεύματος καθώς και συνολικής κατανάλωσης ενέργειας με διαφορά δύο λεπτών. Μια RMS[12] μέτρηση ρεύματος ή τάσης χρησιμοποιείται διότι η τάση και το ρεύμα είναι ημιτονοειδές σήματα και το μέγεθος τους αλλάζει σε σχέση με τη χρονική στιγμή χωρίς να ξεπερνά την peak τιμή, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.

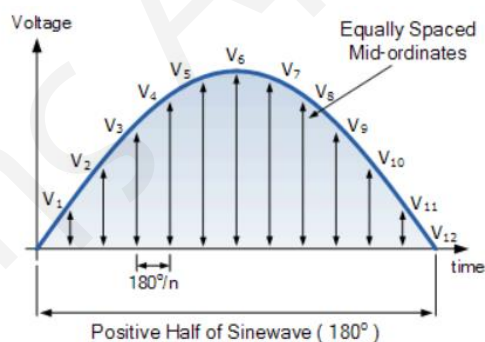


Εικόνα 4: Κυματομορφή ημιτονοειδούς σήματος τάσης

Το σήμα έχει συχνότητα 50Hz. Οπότε για απλοποίηση των αναλύσεων χρησιμοποιείται το RMS(Root Mean Square) το οποίο βρίσκει τη μέση τιμή ενέργειας που έχει το σήμα ώστε να μπορεί κάποιος να υπολογίσει ενέργεια και ισχύ. Η τιμή RMS για την τάση, αντίστοιχα είναι και ίδια για την RMS μέτρηση του ρεύματος, δίνεται από τον πιο κάτω τύπο:

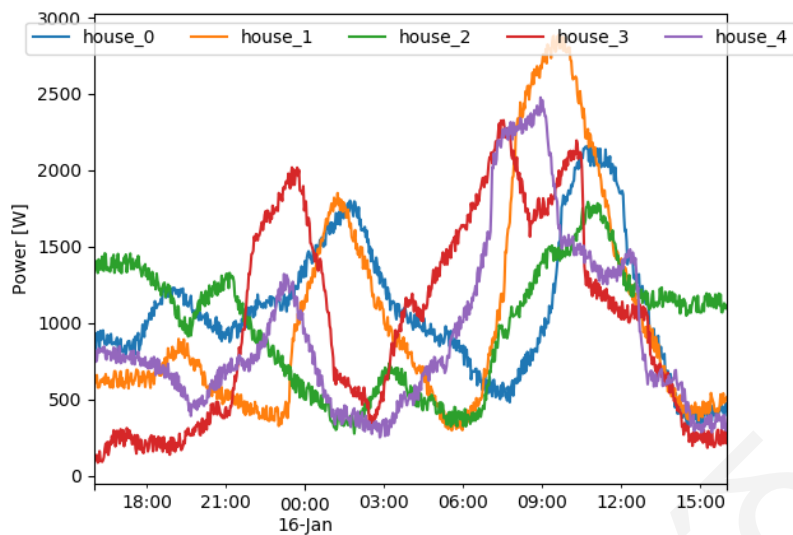
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum(\text{mid-ordinates}(\text{voltages}))^2}{\text{number of mid-ordinates}}}$$

Με βάση τον τύπο, μια RMS μέτρηση της τάσης είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των ενδιάμεσων τάσεων σε που παρατηρούνται στο τετράγωνο για κάθε μισό κύκλο του κύματος ( συμπληρώνεται σε χρόνο  $T/2$  όπου  $T= 1/f$ ) διά το πλήθος των ενδιάμεσων παρατηρήσεων. Όπως βλέπουμε στην εικόνα 5 για αν είχαμε 12 ενδιάμεσες παρατηρήσεις ίσων διαστημάτων σε μισή περίοδο κύματος. Θα παίρναμε το τετράγωνο του αθροίσματος των παρατηρήσεων και θα το διαιρούσαμε δια το πλήθος των παρατηρήσεων. Η τετραγωνική ρίζα του πηλίκου της διαίρεσης αυτής θα μας δώσει την RMS μέτρηση.

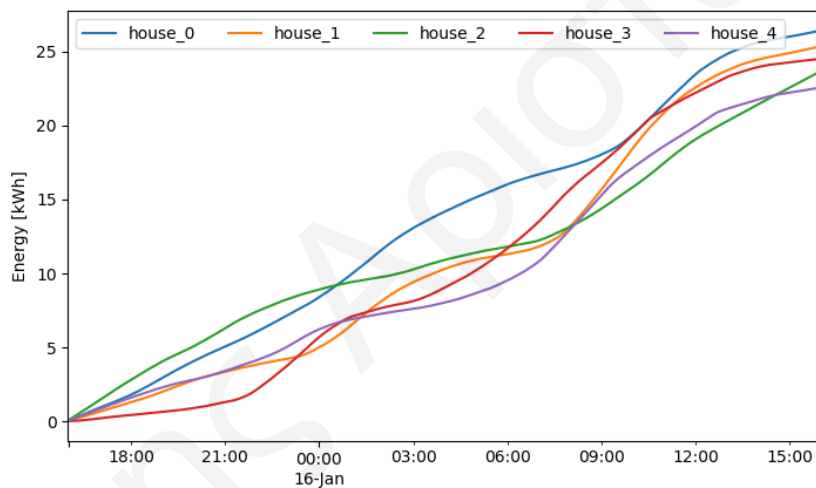


Εικόνα 5: Ενδιάμεσες παρατηρήσεις της τάσης σε μισό κύκλο κύματος

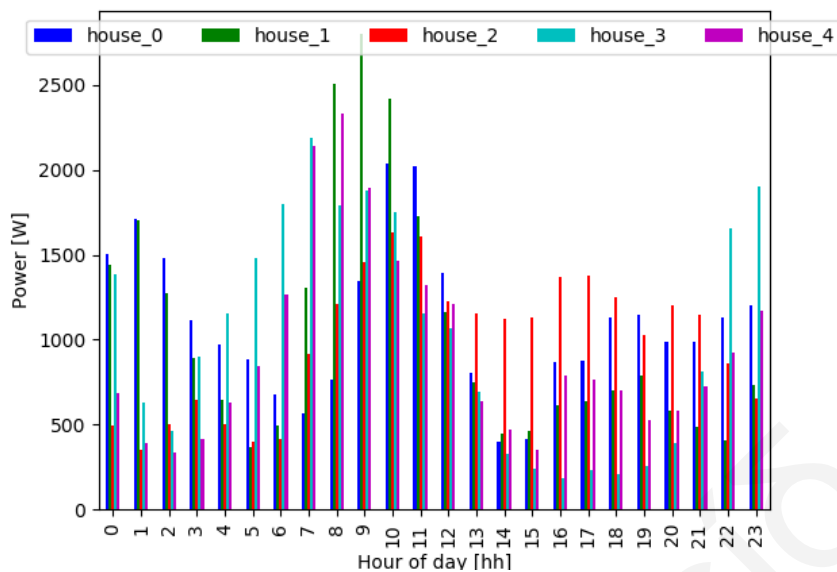
Μέσα από την ανάλυση αυτή παρουσιάζονται οι πιο κάτω γραφικές παραστάσεις:



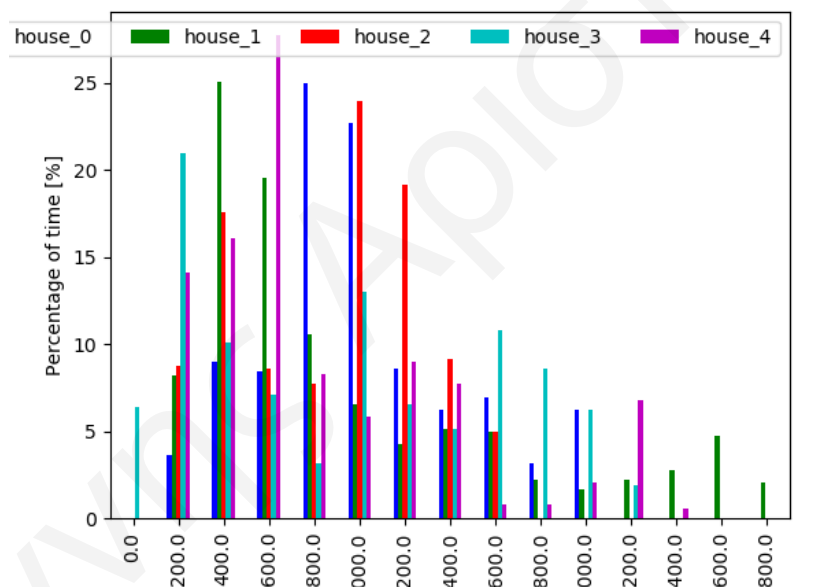
Εικόνα 6: Η μέση κατανάλωση ενέργειας σε Watt(power) ανά σπίτι για μια μέρα από την έρευνα του Bonvini



Εικόνα 7: Η συνολική κατανάλωση ενέργειας σε kWh ανά σπίτι κατά την διάρκεια της ημέρας αθροιστικά από την έρευνα του Bonvini



Εικόνα 8: Οι ανάγκες κάθε σπιτιού σε ισχύ ανά ώρα από την έρευνα του Bonvini



Εικόνα 9: Το ποσοστό του χρόνου της ημέρας που το κάθε σπίτι έχει ανάγκη από ένα ποσό ενέργειας (σε Watt) για να καλύψει τις ανάγκες του σύμφωνα με την έρευνα του Bonvini.

Τέλος παρουσιάζονται, πιο κάτω, πίνακες που αντιστοιχούν στις μέγιστες (max) και μέσες (mean) τιμές από κάθε σπίτι για τις 3 παραμέτρους που μετρά (RMS current, RMS voltage, active power). Πάνω είναι οι μέγιστες κάτω οι ελάχιστες.

	house_0	house_1	house_2	house_3	house_4
Vrms	119.878488	120.019535	120.002441	120.003110	119.967867
Irms	9.183381	8.801145	8.223990	8.504916	7.837928
Power	1100.231353	1056.093338	986.439907	1020.637442	939.794680
	house_0	house_1	house_2	house_3	house_4
Vrms	125.896826	126.600334	127.165443	126.849793	126.911168
Irms	18.560526	24.793293	15.097577	19.571164	21.256699
Power	2160.000088	2888.317576	1793.421109	2328.440192	2476.742068

Εικόνα 10: Μέσες ελάχιστες και μέγιστες τιμές των μετρήσεων RMS τάσης, ρεύματος και της ισχύος σύμφωνα με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από τον Bonvini

## 1.4 Δομή Διατριβής

Η δομή της διατριβής έχει ως εξής: Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το γνωστικό υπόβαθρο της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και του εργαλείου NLMTK. Γίνεται επίσης και αναφορά σε σχετικά δεδομένα ενέργειας και γίνεται αναφορά στις σχετικές έρευνες που έγιναν με τη χρήση της εργαλειοθήκης NLMTK. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε και παρουσιάζεται η σύνδεση του με την θεωρία των άπληστων αλγορίθμων. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η πειραματική αξιολόγηση του αλγορίθμου και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Τέλος στο Κεφάλαιο 6 παρατίθενται τα συμπεράσματα και η μελλοντική εργασία.

## Κεφάλαιο 2

### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα οφέλη από την χρήση ενός έξυπνου δικτύου και οι διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο έξυπνο δίκτυο. Επίσης γίνεται αναφορά σε μοντέλα τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες Ευρωπαϊκές και μη και πως αυτά τα μοντέλα επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την αντίληψη των χρηστών. Τέλος παρουσιάζονται τεχνικές διαχείρισης κατανάλωσης και προγραμματισμού ηλεκτρικών γεγονότων.

#### 2.1 Οφέλη ενός έξυπνου δικτύου

Με τον εκμοντερνισμό ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας του δίνεται η δυνατότητα να γίνεται πιο “έξυπνο” και γρηγορότερο στη λήψη αποφάσεων που αφορούν την καλύτερη λειτουργία του όπως πιο αποδοτική χρήση ενέργειας αλλά και προστασία του από διάφορες απειλές εσωτερικές ακόμα και εξωτερικές.

Τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση ενός έξυπνου δικτύου είναι:

- **Αξιοπιστία**

Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν τεχνολογίες που οδηγούν στην γρήγορη αναγνώριση λαθών και επιτρέπουν την χρήση διαδικασιών αυτόματης επίλυσης των προβλημάτων χωρίς της παρέμβαση τεχνικού προσωπικού. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η αξιοπιστία του δικτύου και μειώνονται σε μεγάλο βαθμό οι ευπάθειες του δικτύου σε ζητήματα ασφαλείας που αφορούν τόσο επιθέσεις αλλά και φυσικές καταστροφές.

- **Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου**

Το έξυπνο δίκτυο διευκολύνει τη σύνδεση και λειτουργία όχι μόνο των κεντρικών σταθμών παραγωγής, αλλά και των πηγών ενέργειας όλων των μεγεθών και τεχνολογιών, όπως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πηγών αποθήκευσης ενέργειας, μικρής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και καταναμημένων πηγών παραγωγής.

- **Απόδοση**

Το δίκτυο έχει τη δυνατότητα βελτιστοποιεί και διαχειρίζεται τους πόρους που έχει αποδοτικά. Έχει την ικανότητα να αντιμετωπίζει αυξημένη ζήτηση ενέργειας κατευθύνοντας αποτελεσματικά τη ροή ενέργειας χωρίς να απαιτούνται πρόσθετες υποδομές. Επιπλέον η παρακολούθηση της υγείας του εξοπλισμού βοηθά στην έγκαιρη αντικατάσταση του σε περίπτωση βλάβης, όταν προκύψει, με το ελάχιστο δυνατό κόστος αγοράς νέου εξοπλισμού και λειτουργίας του.

- **Βιωσιμότητα**

Η αυξημένη ευελιξία του δικτύου επιτρέπει την αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο καλύτερος έλεγχος και πρόβλεψη στις διακυμάνσεις στην παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές θα λύσει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των ηλεκτρολόγων μηχανικών το οποίο είναι η διατήρηση συνεχώς ενός σταθερού φορτίου.

- **Απελευθέρωση της αγοράς**

Δημιουργούνται νέες ευκαιρίες, αγορές και υπηρεσίες, και δίνεται η δυνατότητα στους καταναλωτές να μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα σε ανταγωνιστικές προσφορές και η ευκαιρία σε νέες επιχειρήσεις να μπορούν να εισέρχονται και να καινοτομούν εύκολα σε διάφορους τομείς του ηλεκτρικού δικτύου.



- **Ποιότητα ενέργειας**

Παρέχει την απαραίτητη ποιότητα ενέργειας για να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο εύρος πελατών με διαφορετικές ανάγκες. Ο κάθε καταναλωτής έχει τη δική του καθημερινή ρουτίνα και επίσης διαφορετικές προτιμήσεις σε χρήση συσκευών. Το έξυπνο δίκτυο έχει την δυνατότητα να εξυπηρετήσει κάθε ανάγκη κάθε χρήστη αλλά και να αντιμετωπίζει απρόσμενες καταστάσεις που αλλοιώνουν την ποιότητα του δικτύου όπως οι άστατες καιρικές συνθήκες, υπερτάσεις, υπερφόρτωση γραμμής κ.α.

- **Ενδυνάμωση του καταναλωτή**

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του έξυπνου δικτύου είναι η αναβάθμιση και οι δυνατότητες που προσφέρει στον καταναλωτή. Οι καταναλωτές μέσω της συνεχούς ενημέρωσης σχετικά με την χρήση ενέργειας από μέρους τους αλλά και σχετικά με τις επιλογές τους όσον αφορά νέες τεχνολογίες και νέους τρόπους τιμολόγησης παρακινούνται να προσαρμόσουν τις συνήθειες τους βασισμένοι σε προσωπικά κίνητρα, όπως οικονομικά ή περιβαλλοντικά, και έτσι βοηθούν στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Για παράδειγμα στις ώρες αιχμής θα μπορούσε να ζητείται από τους καταναλωτές να απενεργοποιήσουν κάποιες από τις συσκευές τους, με ανάλογα οικονομικά οφέλη. Η έννοια αυτή φυσικά βασίζεται στην ενσωμάτωση έξυπνων μετρητών, έξυπνων συσκευών και άλλων τεχνολογιών στο δίκτυο οι οποίες θα επιτρέπουν τις παραπάνω δυνατότητες.

- **Φιλικό στο περιβάλλον**

Απόρροια, όλων των παραπάνω ιδιοτήτων, από την ευρεία ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο θα είναι κατά κύριο λόγο "πράσινο", συμβάλλοντας στην αναχαίτιση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και οδηγώντας σε σημαντική περιβαλλοντική βελτίωση.

## 2.2 Μοντέλα τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος

Η βασικότερη πληροφορία η οποία χρησιμοποιείται σε όλους τους αλγόριθμους διαχείρισης κατανάλωσης είναι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Ο προγραμματισμός των γεγονότων κατανάλωσης ενέργειας βασίζεται στην συγκεκριμένη πληροφορία σε συνδυασμό με την πληροφόρηση που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και τις επιθυμίες του χρήστη με απώτερο σκοπό την μείωση του κόστους.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρία μοντέλα τιμολόγησης που χρησιμοποιούνται ευρέως ανά το παγκόσμιο:

### Μοντέλο Σταθερής τιμής

Το μοντέλο σταθερής τιμής αποτελεί το δημοφιλέστερο μοντέλο στην τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ορίζεται μια σταθερή για την κιλοβατώρα για όλο το διάστημα της ημέρας. Αλλάζει μόνο όταν η τιμή παραγωγής ενέργειας αυξάνεται ή μειώνεται βάση κάποιων εξωτερικών παραγόντων. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν δίνει ιδιαίτερα περιθώρια χρήσης μιας μεθοδολογίας τοπικής διαχείρισης κατανάλωσης αφού η τιμή του ρεύματος είναι σταθερή και κατ' επέκταση ο καταναλωτής δεν έχει λόγο να χρησιμοποιήσει μια τέτοια τεχνολογία. Μοναδική περίπτωση χρησιμοποίησης μιας τέτοιας τεχνολογίας είναι όταν ο καταναλωτής παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και ενδιαφέρεται να εκμεταλλευτεί στο μέγιστο την παραγόμενη του ενέργεια.

Τέτοιο μοντέλο χρησιμοποιείται και από την ΑΗΚ[13] για τους οικιακούς πελάτες. Υπάρχουν τρεις τύποι διατιμήσεων με τους κώδικες 01,02 και 08. Η διατίμηση 01 αφορά κανονική χρέωση της κιλοβατώρας με την πραγματική σταθερή τιμή που ορίζεται για την διμηνία. Ομοίως και για την διατίμηση 08, η τιμή της κιλοβατώρας είναι μεν σταθερή αλλά είναι προσαρμοσμένη για συγκεκριμένες κατηγορίες ευάλωτων καταναλωτών. Για την επιλογή της πρέπει να πληρούνται κάποια κριτήρια. Στη διατίμηση με κώδικα 02 η χρέωση της κιλοβατώρας διαφέρει τη νύκτα σε σχέση με τη μέρα.

Ανάλογα με την κατανάλωση του υποστατικού γίνονται αντίστοιχες χρεώσεις στον καταναλωτή που αφορούν την παραγωγή της ενέργειας και τη χρήση δικτύου. Επιπλέον υπάρχει και η διατίμηση με κώδικα 56 όπου η ενέργεια παρέχεται μόνο σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και της νύκτας τις οποίες καθορίζει η ΑΗΚ.

Οι διατιμήσεις της ΑΗΚ είναι δομημένες με βασική τιμή καυσίμων τα € 300 ανά Μετρικό Τόνο (ΜΤ). Η τρέχουσα τιμή καυσίμων είναι η Μέση Σταθμική Τιμή Καυσίμων (ΜΣΤΚ) ανά ΜΤ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΜΣΤΚ του μήνα υπολογίζεται με βάση την ποσότητα κατανάλωσης και το κόστος των καυσίμων με τον πιο κάτω τύπο (σε απλοποιημένη μορφή):

$$\frac{\text{Κόστος κατανάλωσης καυσίμων του μήνα} + \text{κόστος ΚΟΔΑΠ} + \text{κόστος αγοράς θερμοκηπιακών δικαιωμάτων}}{\text{Ποσότητα κατανάλωσης καυσίμων του μήνα}}$$

Το ακρωνύμιο ΚΟΔΑΠ αναφέρεται στον Κυπριακό Οργανισμό Διαχείρισης Αποθεμάτων Πετρελαιοειδών στον οποίο η ΑΗΚ πληρώνει στον ΚΟΔΑΠ τέλος για κάθε Μετρικό Τόνο καυσίμων που καταναλώνει. Από την άλλη, το κόστος αγοράς θερμοκηπιακών δικαιωμάτων αφορά το κόστος αγοράς δικαιωμάτων για τους ρύπους που εκπέμπουν οι Ηλεκτροπαραγωγοί Σταθμοί της ΑΗΚ.

Η τρέχουσα τιμή καυσίμων που υπολογίζεται κάθε μήνα χρησιμοποιείται για:

- **Μηνιαίους πελάτες**

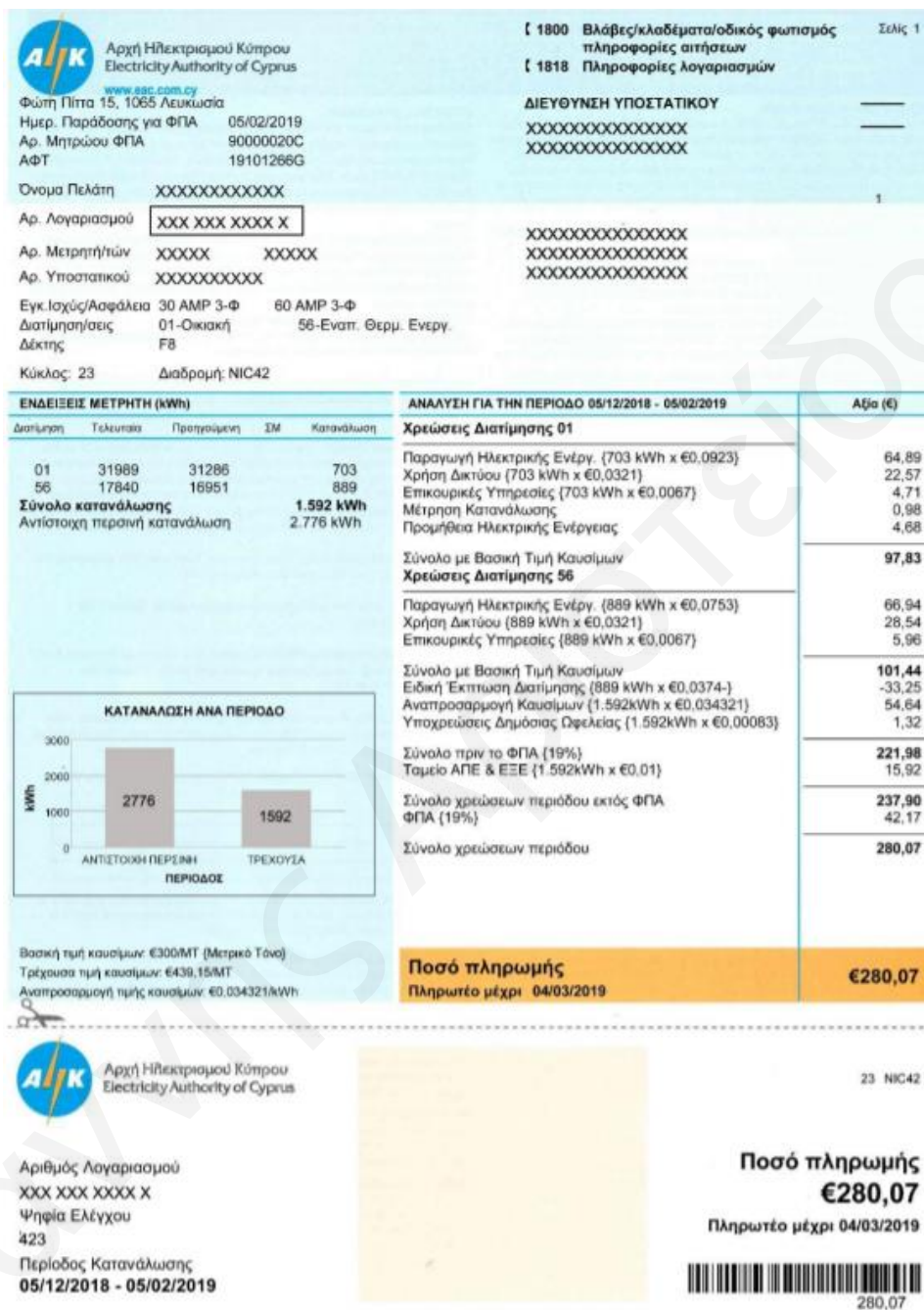
Η καταγραφή του μετρητή τους γίνεται το μήνα που ακολουθεί τον υπολογισμό της τρέχουσας τιμής

- **Διμηνιαίους πελάτες**

Η καταγραφή του μετρητή τους γίνεται δυο μήνες μετά τον υπολογισμό της τρέχουσας τιμής.

Πιο κάτω παρουσιάζεται δείγμα του λογαριασμού της ΑΗΚ που παραλαμβάνει ο καταναλωτής. Πάνω στο λογαριασμό διακρίνουμε πληροφορίες όπως οι διάφορες χρεώσεις με

βάση το είδος της διατίμησης, η συνολική κατανάλωση σε κιλοβατώρες και η σύγκριση της με την αντίστοιχη περσινή, η περίοδος κατανάλωσης, η βασική τιμή καυσίμων κ.α.

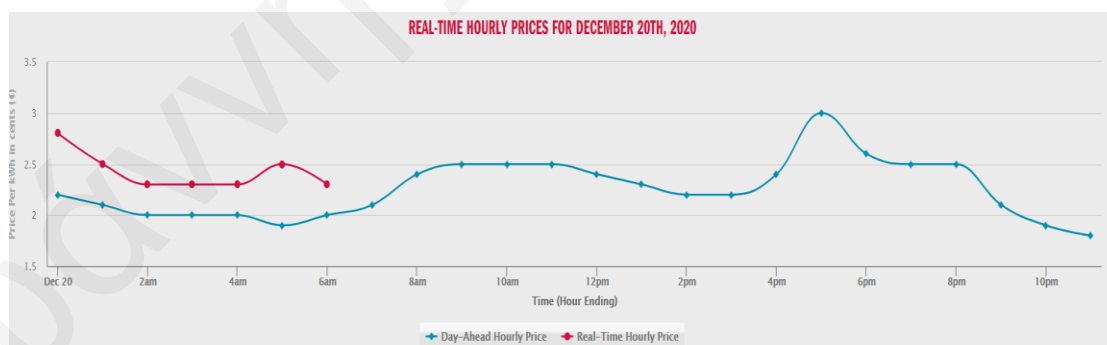


Εικόνα 11: Δείγμα λογαριασμού της ΑΗΚ

## Μοντέλο Τιμολόγησης Πραγματικού Χρόνου

Στο μοντέλο τιμολόγησης πραγματικού χρόνου η τιμή της κιλοβατώρας αλλάζει δυναμικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι τιμές ανά ώρα γίνεται γνωστές στους καταναλωτές την προηγούμενη μέρα και υπολογίζονται με βάση την πραγματική αξία της κιλοβατώρας στην αγορά στην συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Σκοπός του μοντέλου είναι να δώσει την ευκαιρία στον καταναλωτή να προγραμματίσει την κατανάλωση του με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσει το κόστος του.

Ένα τέτοιο μοντέλο εφαρμόζεται από την ComEd(Commonwealth Edison Company)[14] . Πρόκειται για παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας στο βόρειο Illinois των ΗΠΑ που εξυπηρετεί μέχρι και 4 000 000 κατοίκους της πολιτείας, περίπου 70% του πληθυσμού. Πιο κάτω στην εικόνα 12 βλέπουμε με μπλε χρώμα την πρόβλεψη της εταιρίας για την τιμή της κιλοβατώρας για την επόμενη μέρα. Μεταξύ 16:00 και 18:00 παρατηρείται η ψηλότερη τιμή της κιλοβατώρας που σημαίνει ότι η ζήτηση ενέργειας στην περίοδο αυτή θα είναι αυξημένη. Ομοίως και για την χρονική περίοδο 08:00-14:00 η τιμή της κιλοβατώρας είναι αυξημένη αλλά όχι στα ίδια επίπεδα όπως μεταξύ 16:00-18:00. Στην ίδια γραφική με κόκκινο χρώμα βλέπουμε ανά μία ώρα πως μεταβάλλεται η τιμή της κιλοβατώρας σε πραγματικό χρόνο



Εικόνα 12: Τιμή κιλοβατώρας για την επόμενη μέρα 21/12/2020 (μπλε γραμμή), τιμή κιλοβατώρας σε πραγματικό χρόνο 20/12/2020( κόκκινη γραμμή)

## Μοντέλο Διαφορικής Τιμολόγησης

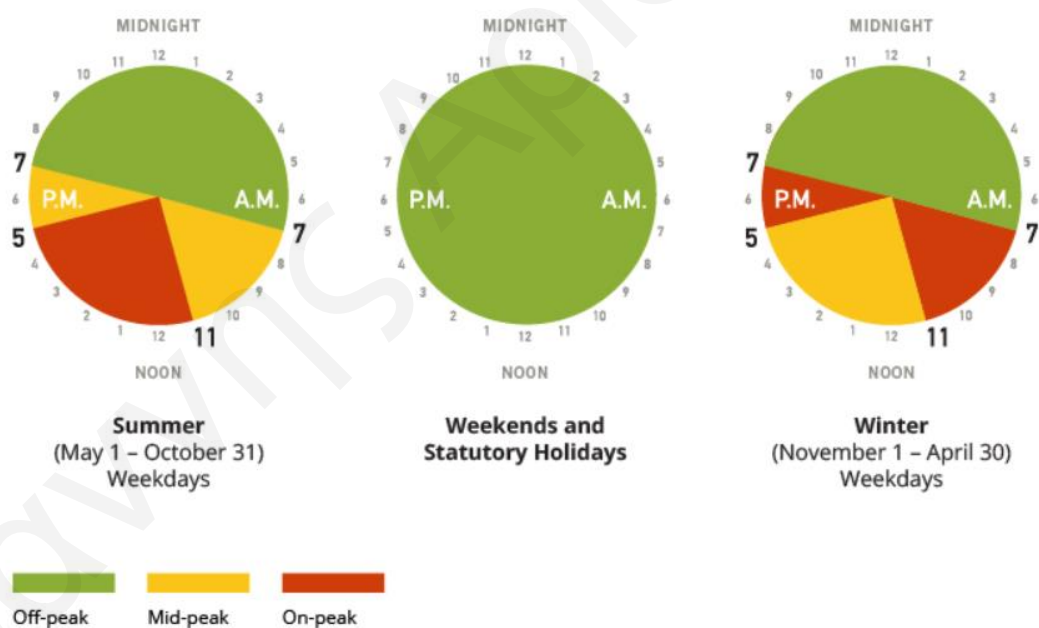
Στο μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης η τιμή της κιλοβατώρας αλλάζει με βάση την χρονική περίοδο. Στο συγκεκριμένο μοντέλο σε αντίθεση με το μοντέλο πραγματικού χρόνου η τιμή διαφοροποιείται μόνο σε δύο φάσεις, υψηλής και χαμηλής ζήτησης ή και σε τρεις φάσεις όπου έχουμε και την ενδιάμεση περίοδο ζήτησης. Ο καταναλωτής πληρώνει χαμηλότερη τιμή για την κιλοβατώρα σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και αντίστοιχα υψηλότερη σε χρονικές περιόδους υψηλής ζήτησης. Βασικός σκοπός του μοντέλου τιμολόγησης είναι η μετακίνηση ηλεκτρικών συσκευών από τις περιόδους υψηλής ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ώστε ο καταναλωτής να πληρώνει με την χαμηλότερη τιμή. Το μοντέλο παρουσιάζει την σημαντική διαφορά στο ότι ο χρήστης μπορεί πιο εύκολα να προγραμματίσει τις συσκευές του αφού η τιμή δεν αλλάζει δυναμικά ανά μέρα αλλά αλλάζει μετά από μια συγκεκριμένη ώρα. Τέτοια μοντέλα τιμολόγησης χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές χώρες ανά τον κόσμο.

Ένα παράδειγμα μοντέλου διαφορικής τιμολόγησης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στον αλγόριθμο που υλοποιήθηκε, είναι το μοντέλο που εφαρμόζεται από το Ontario Energy Board(OEB)[15] που έχει έδρα το Toronto στον Καναδά.

Το μοντέλο χωρίζεται σε δύο περιόδους τη χειμερινή και την καλοκαιρινή. Η χειμερινή περίοδος ξεκινά από 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου και διαρκεί μέχρι τέλος Απριλίου του επόμενου χρόνου και η καλοκαιρινή περίοδος ξεκινά από 1<sup>η</sup> Μαΐου μέχρι τέλος Οκτωβρίου. Σε κάθε περίοδο η μέρα, όπως βλέπουμε στην εικόνα 13, χωρίζεται σε 3 περιόδους ζήτησης. Την χαμηλή(off peak), την μέση(mid peak) και την υψηλή(on peak). Για την χειμερινή περίοδο, ως περίοδος χαμηλής ζήτησης της ημέρας ορίζεται το χρονικό διάστημα 19:00-07:00, ως περίοδος ενδιάμεσης ζήτησης ορίζεται το χρονικό διάστημα 11:00-17:00 και κατά αντιστοιχία ως περίοδοι υψηλής ζήτησης ορίζονται τα χρονικά διαστήματα μεταξύ 07:00-11:00 και 17:00-19:00. Τα ίδια χρονικά διαστήματα χρησιμοποιούνται και στη καλοκαιρινή περίοδο με τη μόνη διαφορά ότι η περίοδος υψηλής ζήτησης είναι μεταξύ 11:00 – 17:00 ενώ τα διαστήματα 07:00-11:00 και 17:00-19:00 ορίζονται ως περίοδοι ενδιάμεσης ζήτησης.

Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο ότι κατά τη χειμερινή περίοδο ο περισσότερος κόσμος μεταξύ 07:00-11:00 ξυπνά να ετοιμαστεί για να πάει στην εργασία του. Θα ανάψει το θερμοσίφωνα για να κάνει το μπάνιο του, θα χρησιμοποιήσει τοστιέρα και βραστήρα για να ετοιμάσει το πρόγευμα του. Συσκευές που έχουν αυξημένη συνολική κατανάλωση. Αντίστοιχα για την χρονική περίοδο 17:00-19:00 είναι η περίοδος στην οποία θα σχολάσει και αναμένεται πως όταν πάει σπίτι θα κάνει μπάνιο, θα μαγειρέψει, θα βάλει πλυντήριο κ.α. Από την άλλη, το καλοκαίρι η περίοδος υψηλής ζήτησης μεταφέρεται μεταξύ 11:00-17:00 διότι ο περισσότερος κόσμος βρίσκεται σε περίοδο διακοπών και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών μένει στο σπίτι.

Τέλος και για τις δύο περιόδους, η κοστολόγηση της κιλοβατώρας τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες είναι σταθερή και ίση με την τιμή της στις περιόδους χαμηλής ζήτησης με βάση το εποχιακό πρόγραμμα που ακολουθείται:



Εικόνα 13: Μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης Ontario

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της κιλοβατώρας για κάθε περίοδο τα τελευταία 2 χρόνια. Σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι οι τιμές της κιλοβατώρας για την χειμερινή περίοδο είναι αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Ειδική εξαίρεση αποτελεί η φετινή καλοκαιρινή περίοδος η οποία λόγω της πανδημίας

του κορωνοϊού και του lockdown ξεκίνησε εκτάκτως από τις 24 Μαρτίου 2020 μέχρι το τέλος Οκτωβρίου με δύο περιόδους. Η πρώτη περίοδος(εντός της χειμερινής περιόδου) διήρκεσε από 24 Μαρτίου 2020 μέχρι 1<sup>η</sup> Ιουνίου 2020. Η καλοκαιρινή περίοδος επί κορωνοϊού διήρκεσε από 1<sup>η</sup> Ιουνίου 2020 μέχρι 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2020. Η διαφορά στην τιμή της κιλοβατώρας για την περίοδο αυτή ήταν πως και για τις 3 περιόδους ζήτησης ήταν σταθερή

Effective date	Off-peak price (€ per kWh)	Mid-peak price (€ per kWh)	On-peak price (€ per kWh)
November 1,2020	10.5	15.0	21.7
June 1, 2020	12.8	12.8	12.8
March 24,2020	10.1	10.1	10.1
November 1,2019	10.1	14.4	20.8
May 1,2019	6.5	9.4	13.4
May 1, 2018	6.5	9.4	13.2
Jul 1, 2017	6.5	9.5	13.2
May 1,2017	7.7	11.3	15.7

Πίνακας 1: Ιστορικό τιμολογήσεων κιλοβατώρας του μοντέλου τιμολόγησης του Ontario για τα τελευταία 3 χρόνια

### 2.3 Παροχή πληροφόρησης και αντίληψη του καταναλωτή

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας και μείωσης του κόστους παίζει ο τελικός χρήστης. Σε έρευνα η οποία διεξάχθηκε το 2008 από τον Yoshimoto and et al[16] με σκοπό να καταγραφεί το προφίλ των καταναλωτών και πως παίρνουν αποφάσεις σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας, διακρίνεται ότι οι αποφάσεις των καταναλωτών δεν είναι πάντα λογικές και συνήθως είναι επηρεασμένες από το σύστημα τιμολόγησης ή ακόμα και ψυχολογικούς παράγοντες. Οι καταναλωτές δεν κατανοούν πλήρως την έννοια της κιλοβατώρας αλλά γνωρίζουν πολύ καλά και αντιλαμβάνονται τα χρηματικά ποσά που πρέπει να πληρωθούν όταν πάρουν τον λογαριασμό τους. Αν ο καταναλωτής ορίζει



ένα προϋπολογισμό για το πόσο πρέπει να ξοδέψει στους λογαριασμούς για ηλεκτρικό ρεύμα τότε προσαρμόζει την κατανάλωση του συγκρίνοντας προηγούμενους λογαριασμούς αντίστοιχης χρονικής περιόδου όπου πλήρωσε παρόμοιο χρηματικό ποσό. Η πιο πάνω συμπεριφορά ,δρα αρνητικά σε ένα μοντέλο τιμολόγησης πραγματικού χρόνου ή ένα μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης. Ο λόγος είναι διότι, αντί να μετακινήσει τη λειτουργία της συσκευής τους σε χρονική περίοδο που η ζήτηση είναι λιγότερη, απλά μειώνουν το χρόνο λειτουργίας της. Σε ένα μοντέλο τιμολόγησης πραγματικού χρόνου όπως της ComEd, ο συγκεκριμένος χρόνος λειτουργίας μπορεί να πέσει σε ένα διάστημα υψηλής τιμής της κιλοβατώρας καθιστώντας το συνολικό κόστος για τη λειτουργία της συσκευής ακριβότερο από ότι ήταν σε σχέση με το αν έτρεχε σε ένα μοντέλο σταθερής τιμής όπως της AHK. Επίσης τα μοντέλα διαφορικής τιμολόγησης και τιμολόγησης πραγματικού χρόνου απαιτούν μια αλλαγή στην καθημερινότητα του καταναλωτή ώστε να μπορεί να κερδίζει όσο το δυνατό περισσότερες μειώσεις στον λογαριασμό του.

Ακόμα μια μελέτη η οποία διεξάχθηκε το 2008 από την Corinna Fischer[17] είχε ως σκοπό να εξετάσει το πως συγκεκριμένη ανατροφοδότηση του χρήστη με περισσότερη πληροφορία στους λογαριασμούς του μπορεί να τον επηρεάσει στις αποφάσεις που ο ίδιος παίρνει σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας. Στην μελέτη εξετάστηκαν διαφορετικοί τρόποι ανατροφοδότησης από διάφορα προγράμματα τα οποία έτρεξαν σε όλο τον κόσμο για την εξοικονόμηση ενέργειας. Πιο κάτω παρουσιάζονται οι λόγοι που ξεχώρισαν για τους οποίους δινόταν η ανατροφοδότηση :

- Ενεργοποίηση και ενθάρρυνση των καταναλωτών για ανάπτυξη οικολογικής συνείδησης
- Αύξηση του επιπέδου ικανοποίησης του πελάτη για τις παρεχόμενες υπηρεσίες.
- Μείωση της κατανάλωσης στις ώρες αυξημένης ζήτησης.
- Μελέτη προτιμήσεων του πελάτη και αναγνώριση για το τι θα ήθελε ο πελάτης να βλέπει στον λογαριασμό του.

- Μελέτη των επιδράσεων της αυξημένης ανατροφοδότησης πληροφορίας στον καταναλωτή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με το να δίνεται στον πελάτη περισσότερη πληροφορία σε σχέση με την κατανάλωση του στον μηνιαίο λογαριασμό του, τον ωθεί στο να εξοικονομεί περισσότερη ενέργεια. Μπορεί όλες οι πιο πάνω περιπτώσεις να μην ανάφεραν, ούτε να ήταν σκοπός τους η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά στις περιπτώσεις που σκοπός τους ήταν η μείωση στους λογαριασμούς, το ποσοστό κυμαινόταν από 1,1% μέχρι 20%. Το συνηθέστερο ποσοστό μείωσης κυμαινόταν από 5-12%.

Το συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί και από τις δύο μελέτες είναι ότι ο τελικός καταναλωτής μπορεί να μην αντιλαμβάνεται τις τεχνικές ορολογίες και το πως ένα γεγονός μπορεί να συμβάλει είτε αρνητικά είτε θετικά στον λογαριασμό του, αλλά μπορεί εύκολα να αντιληφθεί καλά το συνολικό κόστος όταν αυτό του παρουσιάζεται σε χρηματικό κόστος. Ο καταναλωτής είναι πρόθυμος να αλλάξει συνήθειες δεδομένου ότι η πληροφόρηση η οποία του δίνεται του αποδεικνύει ότι θα έχει άμεσο όφελος.

## **2.4 Εφαρμογές Διαχείρισης Κατανάλωσης Ενέργειας**

Τα τελευταία χρόνια αρκετές είναι οι τεχνικές διαχείρισης κατανάλωσης ενέργειας που προτάθηκαν με σκοπό να μειώσουν το κόστος κατανάλωσης του καταναλωτή. Σε όλα τα μοντέλα τιμολόγησης που αναφέρθηκαν είναι κοινής παραδοχής ότι ο χρήστης πληρώνει περισσότερο σε περιόδους στις οποίες η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι μεγάλη(on peak), και λιγότερο όταν η χρήση στο δίκτυο είναι λιγότερη(off peak). Οι ακόλουθες τεχνικές που θα αναφερθούν έχουν ως σκοπό τους την μεταφορά λειτουργίας συσκευών κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης στο δίκτυο για να απολαμβάνει ο χρήστης φθηνότερες τιμές ή σε περιόδους όπου η τοπική παραγωγή είναι μεγάλη και θα χρησιμοποιεί την τοπικά αποθηκευμένη ενέργεια χωρίς κανένα κόστος.

### 2.4.1 Εφαρμογή iHEM

Η εφαρμογή διαχείρισης ενέργειας iHEM χρησιμοποιεί έξυπνες συσκευές, μια κεντρική μονάδα διαχείρισης (EMU), ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συσκευών, έξυπνους μετρητές και μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Η κεντρική μονάδα διαχείρισης(EMU) χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Zigbee[18] για την υλοποίηση του δικτύου αισθητήρων.

Το Zigbee χρησιμοποιείται για τη δημιουργία προσωπικών δικτύων μεταξύ συσκευών χαμηλής ισχύος, με μπαταρίες μεγάλης διάρκειας όπως οι έξυπνοι μετρητές που μπορούμε να έχουμε στο σπίτι μας για μέτρηση της κατανάλωσης. Το Zigbee έχει καθορισμένη ταχύτητα αποστολής πληροφοριών τα 250 kbit/s και η αποστολή των δεδομένων μπορεί να καλύψει απόσταση μέχρι και 10-100 m line-of-sight. Αυτό βέβαια εξαρτάται από την ισχύ της ενέργειας εξόδου και από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος.

Ο αλγόριθμος υλοποίησης είναι βασισμένος στο μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης και προσπαθεί να μεταφέρει τα ενεργειακά γεγονότα σε περιόδους μειωμένης ζήτησης όπου η τιμή του ρεύματος είναι φθηνότερη. Όταν ο χρήστης ανάβει μια έξυπνη συσκευή αποστέλλεται ένα πακέτο στην κεντρική μονάδα διαχείρισης. Η κεντρική μονάδα όταν παραλάβει το πακέτο επικοινωνεί με τους αισθητήρες και τις τοπικές μονάδες παραγωγής για να μαζέψει την πληροφορία που χρειάζεται για την τιμή αλλά και για την τοπική παραγωγή την δεδομένη χρονική στιγμή. Με βάση την συγκεκριμένη πληροφορία που λαμβάνεται η κεντρική μονάδα διαχείρισης προγραμματίζει τον χρόνο έναρξης της συσκευής. Ο χρόνος αναμονής για την έναρξη λειτουργίας της συσκευής μετριέται ως ο χρόνος προγραμματισμού της συσκευής μείον τον ζητηθέν χρόνο έναρξης. Τα γεγονότα του χρήστη μοντελοποιούνται σαν μια διαδικασία Poisson. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το ποσοστό κατανάλωσης σε ώρες αιχμής των συσκευών που λαμβάνουν μέρος στο δίκτυο είναι σαφώς μειωμένο.

### 2.4.2 Ecobee Smart

Το ecobee smart[19] είναι ένας έξυπνος θερμοστάτης ο οποίος με τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας έχει τη δυνατότητα να ζεστάνει ή να δροσίσει το σπίτι με χρήση κάποιου

προγράμματος λειτουργίας που καθορίζεται από τον χρήστη. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Μπορεί να ρυθμιστεί να δουλεύει όταν ο καταναλωτής βρίσκεται εντός του σπιτιού και όχι την ώρα που απουσιάζει.

Μέχρι τώρα ο παραδοσιακός τρόπος για να ζεσταθεί κάποιος ή να δροσίσει μέσα στο σπίτι ήταν να ανάψει το κλιματιστικό του δωματίου στο οποίο βρίσκεται. Όμως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η θερμοκρασία στα άλλα μέρη του σπιτιού θα διαφέρει. Οπότε ένας δεύτερος ένοικος του σπιτιού που θα βρίσκεται σε άλλο δωμάτιο θα χρησιμοποιήσει το κλιματιστικό του δωματίου που βρίσκεται για να το ζεστάνει ή να το δροσίσει. Το ecobee έχει την δυνατότητα να γνωρίζει τη θερμοκρασία όλων των δωματίων και τότε βρίσκεται ένας ένοικος εντός του σπιτιού. Μπορεί να ρυθμιστεί με πρόγραμμα για το πότε επιθυμεί ο ένοικος να λειτουργεί. Όταν το ecobee λειτουργεί λαμβάνει πληροφορίες από τους αισθητήρες που βρίσκονται σε κάθε δωμάτιο σχετικά με τη θερμοκρασία τους. Υπολογίζει το μέσο όρο των θερμοκρασιών και επιχειρεί να ζεστάνει ή να δροσίσει το σπίτι έτσι ώστε στο τέλος η θερμοκρασία σε κάθε δωμάτιο να είναι στα ίδια επίπεδα.

### 2.4.3 Green Outlet

Η εφαρμογή Green Outlet είναι μια i-Tunes εφαρμογή. Η εφαρμογή αυτή δίνει τη δυνατότητα στον καταναλωτή να ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή για τη συνολική κατανάλωση του υποστατικού του κατά τη διάρκεια της μέρας. Παράλληλα μπορεί να εκτιμήσει πόσο περίπου θα είναι το μηνιαίο κόστος κατανάλωσης που θα πληρώσει ο καταναλωτής. Λαμβάνοντας δεδομένα εισόδου από τον καταναλωτή που αφορούν χαρακτηριστικά των συσκευών του και ποιες λειτουργούν κάθε φορά, η εφαρμογή μπορεί να εμφανίσει στον χρήστη τη μέση κατανάλωση της συσκευής ενώσω λειτουργεί. Επιπλέον μπορεί να εκτιμήσει πόση θα είναι η συνολική μέση ημερήσια κατανάλωση, αν γνωρίζει το ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας της. Έτσι ο καταναλωτής θα μπορεί εύκολα να εντοπίσει αν υπάρχουν συσκευές που καταναλώνουν αρκετή ενέργεια όσο λειτουργούν με αποτέλεσμα είτε να διαμορφώσει το πρόγραμμα

λειτουργίας τους για να μειώσει το κόστος κατανάλωσης είτε να τις αντικαταστήσει με συσκευές που είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον .

Ιωάννης Αριστείδου

## Κεφάλαιο 3

### Εισαγωγή

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η εργαλειοθήκη NILMTK και πως αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε έρευνα για τη μελέτη ενεργειακών δεδομένων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα REFIT που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή καθώς και η σχετική εργασία που έγινε με χρήση της εργαλειοθήκης NILMTK. Επιπλέον παρουσιάζονται τα ενεργειακά δεδομένα AMPD και REDD καθώς και η σχετική έρευνα που έγινε επίσης με τη χρήση της εργαλειοθήκης NILMTK.

#### 3.1 Η εργαλειοθήκη NILMTK

Η εργαλειοθήκη NILMTK (Non- Intrusive Load Monitoring Toolkit) αναπτύχθηκε το 2014 από τον Nirun Batra et al [23] σε γλώσσα προγραμματισμού Python με χρήση της πλατφόρμας Anaconda. Πρόκειται για μια εργαλειοθήκη ανοικτού πηγαίου κώδικα. Η NILMTK δίνει την δυνατότητα εκτίμησης του τρόπου λειτουργίας μιας ηλεκτρικής συσκευής αλλά και της συνολικής κατανάλωσης μέσα σε ένα σπίτι μέσω των μετρήσεων που λαμβάνει ένας έξυπνος μετρητής. Η πληροφορία αυτή, βοηθά στην ανατροφοδότηση του καταναλωτή με έξυπνες αποφάσεις που αποσκοπούν στη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους. Συγκεκριμένα η NILMTK δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει στους ερευνητές να προσθέσουν και να αφαιρέσουν συγκεκριμένες δομές όπου χρειάζεται. Ο σχεδιασμός των

διεπαφών της εφαρμογής (Application Programming Interface) έχει εμπνευστεί από την βιβλιοθήκη εκμάθησης της γλώσσας προγραμματισμού Python την scikit-learn, η οποία έγινε γνωστή λόγω των καλά δομημένων διεπαφών της και της πολύ καλής τεκμηρίωσης της.

Η NILMTK, ως μια εφαρμογή πηγαίου κώδικα, ενθαρρύνει νέους ερευνητές στο να συνεισφέρουν σύνολα δεδομένων, να θέσουν σημεία αναφοράς για αλγορίθμους και τρόπους αξιολόγησης τους με απώτερο σκοπό να αυξηθεί η συνεργασία στην ερευνητική κοινότητα που απασχολείται με το συγκεκριμένο θέμα. Πρόκειται για σετ που δημιουργήθηκαν από σχετικές μελέτες σε θέματα κατανάλωσης ενέργειας σε σπίτια. Τέτοια δεδομένα είναι τα REFIT, AMPDs και τα REDD. Ήδη, μέχρι σήμερα η εργαλειοθήκη έχει 8 σετ ενεργειακών δεδομένων διαθέσιμα για μελέτη. Κάθε σετ δεδομένων που παρέχει η εργαλειοθήκη, διαθέτει και τον δικό του αλγόριθμο ο οποίος τα μετατρέπει στην προτεινόμενη μορφή NILMTK-DF, βασισμένη πάνω στα REDD δεδομένα, ούτως ώστε να μπορούν να διαβαστούν και να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία μέσω της εργαλειοθήκης και επίσης να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις των αλγορίθμων διαχωρισμού.

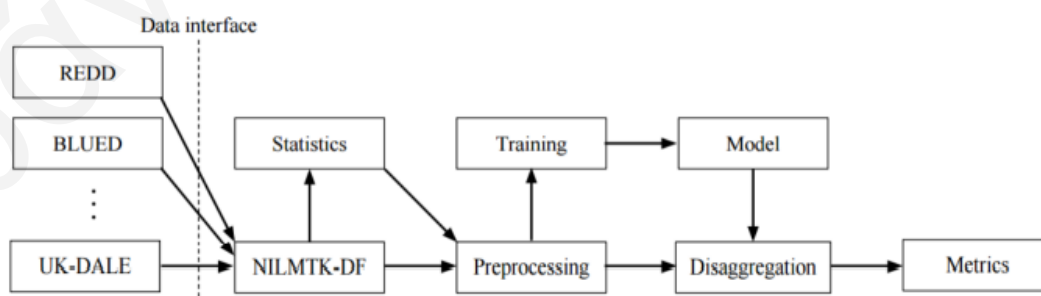
Μέσω της εργαλειοθήκης, κάθε ερευνητής μπορεί να εξετάσει στατιστικά αλλά και διαγνωστικά στοιχεία των ενεργειακών δεδομένων ώστε να τα κατανοήσει σε βάθος και να εξάγει τα δικά του συμπεράσματα. Τέτοια στοιχεία είναι η ακριβής κατανάλωση κάθε συσκευής που παρακολουθείται ανά ώρα και μέρα για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η συνολική κατανάλωση της για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο αλλά και τι ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης του σπιτιού ανήκει σε κάθε συσκευή, ως επίσης και η συχνότητα χρήσης μιας συσκευής. Προσφέρει επίσης υλοποιήσεις δύο διαφορετικών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί συνδυαστικές βελτιστοποιήσεις και η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί μοντέλο κρυμμένων αλυσίδων Markov. Και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την δομή δεδομένων του εργαλείου προσφέροντας την ευκαιρία για σύγκριση υλοποιήσεων σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων. Μερικά από τα μέχρι σήμερα υποστηριζόμενα σύνολα δεδομένων από το εργαλείο NILMTK παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα όπως και άλλα σχετικά ενεργειακά δεδομένα. Επιπλέον παρουσιάζονται στοιχεία και για άλλα σχετικά με το περιεχόμενό τους, συχνότητα καταγραφής,

τι μετρήσεις διαθέτει κάθε συλλογή, ως επίσης και στοιχεία για την σχετική έρευνα που έγινε όπως περιοχή, αριθμός σπιτιών και χρονική διάρκεια της έρευνας:

Dataset	Location	Duration, Year	No. Houses	Energy Sensors	Data Recorded	Readings Freq.
ACS-F1 <sup>32</sup>	CHE	2*1 h sessions, 2013	N/A	100 App. (10 types)	V, I, f, P, Q, Φ	10 secs
ACS-F2 <sup>20</sup>	CHE	2*1 h sessions, 2013	N/A	225 App. (15 types)	V, I, f, P, Q, Φ	10 secs
AMPds <sup>16</sup>	CAN	1 year, 2012	1	21 App.	V, I, f, pf, P, Q, S, E	1 min
AMPds <sup>27</sup>	CAN	2 years, 2012	1	21 App.	V, I, f, pf, P, Q, S, E	1 min
BLUED <sup>14</sup>	USA	8 days, 2011	1	Agg.	V, I	12 kHz
DRED <sup>33</sup>	NED	6 months, 2015	1	Agg., 12 App.	P	1 Hz
ECO <sup>22</sup>	CHE	8 months, 2012	6	Agg., 6-10 App.	V, I, P, Q, Φ	1 Hz
GREEND <sup>34</sup>	AUT, ITA	1 year, 2013	9	9 App.	P	1 Hz
HES <sup>2</sup>	GBR	1 month (255 houses), 1 year (26 houses), 2010	251	Agg., 1-10 Sub., 13-51 App.	P	10 min
iAWE <sup>35</sup>	IND	73 days, 2013	1	Agg., 10 App.	Agg. V, I, f, P, Q, S, E, Φ App. V, I, f, P, S, E, Φ	1 Hz
IHEPCDS <sup>18</sup>	FRA	4 years, 2006	1	Agg., 3 Sub.	Agg. P, Q Sub. E	1 min
REDD <sup>13</sup>	USA	3-19 days, 2011	6	Agg., 9-24 App.	Agg. V, P App. P	Agg. 15 kHz App. 3 secs
REFIT	GBR	2 years, 2013	20	Agg., 9 App.	P	8 secs
Smart <sup>23</sup>	USA	3 months, 2012	3	House A. Agg., 26 Sub., 55 App. House B, C. Agg., 21 Sub.	Agg. V, f, P, S Sub. V, f, P, S App. P	Agg. 1 Hz Sub. 1 Hz App. 2.5 secs
Tracebase <sup>21</sup>	DEU	1,883 days, 2012 onwards	15	158 App. (43 types)	P	1 Hz
UK-DALE <sup>19</sup>	GBR	655 days, 2012	5	Agg., 5-54 App.	Agg. V, I App. P	Agg. 16 kHz App. 6 secs

Πίνακας 2: Διαθέσιμα ενεργειακά δεδομένα

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σειρά εκτέλεσης για επιμερισμό γεγονότων με βάση τις επιμέρους υλοποιήσεις που ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί.



Εικόνα 14: Σειρά εκτέλεσης επιμερισμού γεγονότων από το εργαλείο NILMTK

Παρακάτω γίνεται περιγραφή τριών ενεργειακών δεδομένων και η σχετική εργασία που έγινε με τα δεδομένα αυτά με χρήση της εργαλειοθήκης NILMTK. Πρόκειται για τα δεδομένα



AMPDs, τα REDD πάνω στα οποία βασίστηκε το κτίσιμο της εργαλειοθήκης και τα REFIT που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.

### 3.2 Τα ενεργειακά δεδομένα REDD

Το σετ δεδομένων ενέργειας REDD(Reference Energy Disaggregation Data Set)[24], ήταν το πρώτο δημόσιο σετ ενεργειακών δεδομένων που κυκλοφόρησε το 2012. Αναπτύχθηκε από τους J. Zico Kolter και Mathew J. Johnson του πανεπιστημίου MIT(Massachusetts Institute of Technology) έχοντας ως κίνητρο τον διαχωρισμό ενεργειακών γεγονότων για να εξεταστεί η συνεισφορά τους σε ένα συν αθροιζόμενο ενεργειακό σήμα που προέρχεται από μετρητή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Με άλλα λόγια ήθελαν να υπολογίσουν τη μέση κατανάλωση ενέργειας από κάθε συσκευή και πόσο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης αποτελεί. Μια πρώτη μελέτη στο θέμα διαχωρισμού ενέργειας έγινε το 1992 από τον Hart and et al[25] που εστιαζόταν κυρίως στο πότε μια συσκευή ανάβει και πότε κλείνει.

Το σύνολο REDD περιέχει μετρήσεις σχετικές με κατανάλωση συσκευών από 10 σπίτια για περίοδο 110 ημερών(περίπου 4 μήνες). Για κάθε συσκευή μετρούσαν την πραγματική ισχύ και το χρόνο μέτρησης σε μορφή unix. Η συχνότητα καταγραφής καθορίστηκε στα 15 Khz. Η επιλογή της συχνότητας καταγραφής προέκυψε από την μελέτη διαφορετικών σχετικών εργασιών που προηγήθηκαν. Σε μερικές από αυτές οι ερευνητές χρησιμοποιούσαν τον μέσο όρο των μετρήσεων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, σε άλλες χρησιμοποιούσαν ανάλυν τις αρμονικές των κυματομορφών AC, και στις πλείστες περιπτώσεις η προσέγγιση ήταν ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων τεχνικών. Οι ερευνητές του MIT κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι είναι λογικό να λαμβάνουν μετρήσεις στην υψηλότερη δυνατή συχνότητα, όπως αυτή ορίζεται από τις παραμέτρους αποθήκευσης των δεδομένων, δεδομένου ότι δεδομένα τα οποία λαμβάνονται με υψηλότερη συχνότητα μπορούν να αναλυθούν σε δεδομένα χαμηλότερης συχνότητας. Όσο για το τι δεδομένα συλλέγαν η επιλογή τους στηρίζεται κυρίως στο γεγονός ότι με δεδομένη την καταγραφή της πραγματικής ισχύος οι υπόλοιποι δείκτες

μπορούν να υπολογιστούν με σχετική ευκολία. Επίσης δεδομένου της υψηλής συχνότητας καταγραφής των δεδομένων επιπλέον στοιχεία καταγραφής θα επέφεραν σημαντική αύξηση στις ανάγκες χώρου αποθήκευσης των δεδομένων.

Για την καταγραφή των πιο πάνω δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ασύρματοι αισθητήρες πριζών της εταιρίας Enmetric. Το σύστημα αποτελείται από πολλαπλούς αισθητήρες συνδεδεμένους με ένα κεντρικό δρομολογητή ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την οικιακή σύνδεση προς το διαδίκτυο. Ακολούθως τα δεδομένα αποστέλλονται από τον κάθε αισθητήρα σε ένα κεντρικό εξυπηρετητή στην επιθυμητή συχνότητα που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για το διαχωρισμό ενέργειας χρησιμοποιεί το μοντέλο κρυμμένων αλυσίδων Markov και είναι διαθέσιμος και στην εργαλειοθήκη της NILMTK. Κάθε συσκευή έχει μια διακριτή κρυφή κατάσταση  $X_i \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Μια κατάσταση  $X_i$  μιας συσκευής σε μια χρονική στιγμή  $t$  αντιπροσωπεύει μια κατάσταση της συσκευής είτε όταν είναι σε λειτουργία είτε όταν δεν είναι. Έχοντας ένα ηλεκτρικό σήμα με τη συνολική ενέργεια κατανάλωσης καθώς και την κατανάλωση από κάθε συσκευή, προσπάθησαν να εξετάσουν σε ποια κατάσταση λειτουργίας  $B$  θα ήταν η κάθε συσκευή δεδομένου ότι ήταν σε μια κατάσταση  $A$  που προηγήθηκε όταν καταγράφηκε ένα ποσό  $X$  ενέργειας. Έτσι χώρισαν τα δεδομένα κάθε σπιτιού σε 2 ομάδες. Η μια ομάδα, που ήταν περίπου το 59-71% των δεδομένων από κάθε σπίτι (περίπου 65% των συνολικών δεδομένων), χρησιμοποιήθηκε για την εκμάθηση του μοντέλου και ένα ποσοστό περίπου 35-55% (περίπου 47% του συνολικού) χρησιμοποιήθηκε για επαλήθευση. Παρατηρήθηκε ότι η εκτίμηση λειτουργίας των συσκευών ήταν κοντά με την πραγματική λειτουργία με μοναδικό πρόβλημα το ψυγείο. Δεν μπορούσε να εκτιμηθεί σωστά το πώς δουλεύει διότι πρόκειται για μια συσκευή που λειτουργεί επί 24ώρου βάσεως.

### 3.3 Τα ενεργειακά δεδομένα AMPDs

Η σχετική έρευνα με τα δεδομένα AMPDs (Almanac of Minutely Dataset) έγινε από τον Stephen Makonin et al [26] του British Columbia Institute of Technology το 2012. Οι μετρήσεις πάρθηκαν από ένα σπίτι για περίοδο ενός χρόνου. Συγκεκριμένα, πάρθηκαν μετρήσεις

διαφοράς ενός λεπτού από 11 συσκευές με χρήση 21 υπό μετρητών. Οι μετρήσεις αφορούσαν την πραγματική ισχύ, την τάση και το ρεύμα. Επιπλέον πάρθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν κατανάλωση φυσικού αερίου και νερού.

Πρότειναν και αυτοί ένα αλγόριθμο διαχωρισμού ηλεκτρικών γεγονότων ο οποίος προσπαθούσε να επιλύσει το εξής πρόβλημα. Έστω μια μέτρηση συνολικής ενέργειας  $Z$  από το σπίτι. Είναι γνωστό ότι η συνολική ενέργεια  $Z$  προέρχεται από το άθροισμα κατανάλωσης των συσκευών  $X_i$  που μελετώνται. Οπότε το  $Z$  ως εξίσωση γράφεται  $Z = X_1 + X_2 + \dots + X_i$ . Υπάρχει πληθώρα συνδυασμών λειτουργίας των συσκευών τέτοια ώστε το άθροισμα της κατανάλωσης ενέργειας τους να δίνει το  $Z$ . Στόχος ήταν να βρουν το συνδυασμό ο οποίος έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα. Ποια ήταν η πιο πιθανή κατάσταση των συσκευών όταν μετρήθηκε η ενέργεια  $Z$ .

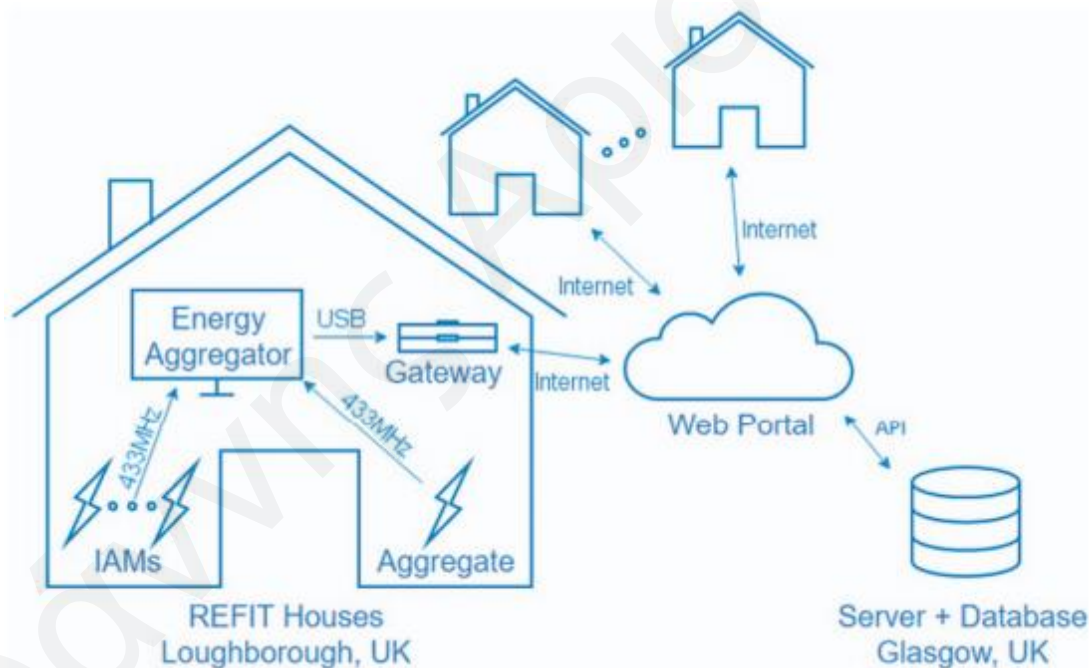
Το πιο σημαντικό συμπέρασμα της έρευνας αυτής ήταν ότι, ο διαχωρισμός ενεργειακών γεγονότων έδινε καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη την κατανάλωση ρεύματος αντί την πραγματική ισχύ. Η πραγματική ισχύς ορίζεται ως το γινόμενο του ρεύματος  $I$ , της τάσης  $V$  και του συνημίτονου της γωνιάς  $\Theta$  που σχηματίζει το ρεύμα με την τάση ( $P = I \cdot V \cdot \cos\Theta$ ). Το ρεύμα και η τάση κυμαίνονται ανεξάρτητα. Επομένως η πραγματική ισχύς θα είχε μεγαλύτερη διακύμανση από το ρεύμα. Η τάση μετρείτο πάνω από τον διακόπτη ισχύος, πράγμα που έφερνε απώλειες απ' ότι όταν μετρείτο από κάτω. Κάποιες φορές είχε μηδενική ένδειξη πράγμα που έδειχνε την πραγματική ισχύ 0 αλλά η συσκευή δούλευε κανονικά. Όσο πιο μακριά μετρείτο η τάση από το μετασχηματιστή τόσο λιγότερο ακριβής ήταν η ένταση της τάσης και κατ' επέκταση λιγότερο ακριβής η μέτρηση της ενέργειας. Το ρεύμα όμως δεν επηρεάστηκε από τον παράγοντα αυτό.

### **3.4 Τα ενεργειακά δεδομένα REFIT**

Η έρευνα των REFIT(Personalised Retrofit Decision Support Tools For UK Homes Using Smart Home Technology)[27] ενεργειακών δεδομένων έγινε στο Loughborough στο Ηνωμένο Βασίλειο κοντά στο Leicester από τους David Murray , Lina Stankovic και Vladimir Stankovic. Διήρκησε για 2 χρόνια, από τα τέλη του 2012 μέχρι τα τέλη του 2014. Τα δεδομένα

περιέχουν συνολικά φορτία 20 σπιτιών σε συνδυασμό με ξεχωριστές μετρήσεις 9 συσκευών διαφορετικές σε κάθε σπίτι. Κατά την διάρκεια της έρευνας οι κάτοικοι των σπιτιών συνέχιζαν την ρουτίνα τους κανονικά. Οι μετρήσεις ενέργειας από τους μετρητές που τοποθετήθηκαν στις συσκευές γινόταν ανά 8 δευτερόλεπτα σε Watt.

Οι μετρητές αγοράστηκαν από τους ίδιους τους ερευνητές (10 ανά σπίτι) και μέσω ασύρματης σύνδεσης έδιναν πληροφορίες στον aggregator. Αυτός τα προωθούσε μέσω gateway σε ένα δρομολογητή ο οποίος με τη σειρά του τα προωθούσε στο web portal. Η αποθήκευση της πληροφορίας στη βάση δεδομένων γινόταν μέσω API από το portal προς το server ο οποίος ήταν εγκατεστημένος στην Γλασκόβη όπως και η βάση δεδομένων. Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα για τη μεταφορά της πληροφορίας από τους μετρητές προς τη βάση δεδομένων



Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική συλλογής ενεργειακών δεδομένων REFIT

Στόχος της έρευνας ήταν να συλλέξουν πληροφορίες για την καθημερινή κατανάλωση των σπιτιών και να εξετάσουν με ποιο τρόπο θα δίνουν ανατροφοδότηση με συμβουλές στους κατοίκους ως προς τη χρήση των συσκευών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του κόστους. Στην έρευνα παρέχονται επίσης πληροφορίες για κάθε σπίτι που

χρησιμοποιήθηκε, όπως έτος κατασκευής ο αριθμός δωματίων, ο αριθμός των μελών του νοικοκυριού καθώς και ο συνολικός αριθμός συσκευών που υπάρχουν στο σπίτι. Πληροφορίες για τα σπίτια παρουσιάζονται στον πίνακα πιο κάτω:

House	Occupancy	Dwelling Age	# of Appliances	Dwelling Type	Size
1	2	1975–1980	35	Detached	4 bed
2	4	—	15	Semi-detached	3 bed
3	2	1988	27	Detached	3 bed
4	2	1850–1899	33	Detached	4 bed
5	4	1878	44	Mid-terrace	4 bed
6	2	2005	49	Detached	4 bed
7	4	1965–1974	25	Detached	3 bed
8	2	1966	35	Detached	2 bed
9	2	1919–1944	24	Detached	3 bed
10	4	1919–1944	31	Detached	3 bed
11	1	1945–1964	25	Detached	3 bed
12	3	1991–1995	26	Detached	3 bed
13	4	post 2002	28	Detached	4 bed
15	1	1965–1974	19	Semi-detached	3 bed
16	6	1981–1990	48	Detached	5 bed
17	3	mid 60s	22	Detached	3 bed
18	2	1965–1974	34	Detached	3 bed
19	4	1945–1964	26	Semi-detached	3 bed
20	2	1965–1974	39	Detached	3 bed
21	4	1981–1990	23	Detached	3 bed

*Πίνακας 3: Πληροφορίες για τα σπίτια που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των ενεργειακών δεδομένων REFIT*

Επιπλέον στον πίνακα 4 παρουσιάζονται όλες οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν από κάθε σπίτι αλλά και συνολικά:

Appliance	House Number																					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21		
Television	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		2 x	2 x	x	x	x	x	x	x	x	21	
Hi-Fi		x							x		x							x			4	
Fridge-Freezer		x	x	x	x				x	x	x	x		x	2 x	x	x			x	14	
Fridge	x			x			x	x			x						x	x	x		7	
Freezer	2 x		x	x		x	2 x	x		2 x						x	x	x	x		13	
Microwave		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		16	
Cooker Hood		x																			1	
Kettle		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	x	16	
Toaster		x	x		x	x	x	x				x		x							8	
Misc Kitchen										2 x									x	x	4	
Washing Machine	x	x	x	2 x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	20	
Washer Dryer									x								x				2	
Tumble Dryer	x		x		x		x	x					x	x		x			x	x	10	
Dishwasher	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x		x	x	15	
Computer	x			x	x	2 x		x			x		x	x	x	x	x		x		13	
Router											x										1	
Elec Heater	x								x						2 x						4	
Lamp																			x		1	
Misc															x	x				2 x	4	

Πίνακας 4: Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των REFIT ενεργειακών δεδομένων ανά σπίτι και συνολικά

Κάθε σπίτι έχει ξεχωριστή κατανάλωση ενέργειας. Έχει τις δικές του ηλεκτρικές συσκευές και διαφορετικούς κατοίκους που ο καθένας είχε διαφορετικές καθημερινές συνήθειες. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, από τα χαρακτηριστικά των σπιτιών που χρησιμοποιήθηκαν, υπήρχε διαφορετικός αριθμός στα μέλη του νοικοκυριού. Σε κάποια σπίτια έμεναν οικογένειες με ένα ή δύο παιδιά, άλλες οικογένειες χωρίς παιδιά αλλά και άτομα που έμεναν μόνοι. Ως αποτέλεσμα, τα μοτίβα που δημιουργούσε κάθε σπίτι από την κατανάλωση ενέργειας ήταν διαφορετικά.

Υπήρχαν βέβαια και οι παράγοντες που είχαν σημαντική επίδραση στην ακριβή μέτρηση ενέργειας κατανάλωσης είτε σπιτιού είτε συσκευής όπως:

- Σε μερικά σπίτια υπήρχαν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά. Αυτό επηρέαζε τη μέτρηση ενέργειας των μετρητών. Ο λόγος είναι ότι δεν μπορούσε να διαχωριστεί η ενέργεια που καταναλώθηκε με την ενέργεια που παράχθηκε από τα φωτοβολταϊκά. Ο μετρητής τη μετρούσε αθροιστικά.

- Λόγω αλλαγών των καιρικών συνθηκών.
- Ο ρυθμός λειτουργίας του ψυγείου. Δεν ήταν αρκετό να γνωρίζεις την μάρκα του αλλά το πώς δούλευε. Το ίδιο ίσχυσε και για τα σπίτια που είχαν θάλαμο.
- Επιπλέον, στο σπίτι 6, παρουσιάστηκε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από τον Η/Υ διότι είχε πάνω του ενωμένες συσκευές όπως DVD player, δορυφορικό κουτί, ηχεία και επίσης έμενε ανοικτός για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να χρησιμοποιείται
- Υπήρχαν συσκευές οι οποίες αν και δεν χρησιμοποιούνταν ο μετρητής έπαιρνε μέτρηση για κατανάλωση ενέργειας διότι οι πρίζες τους έμεναν αναμμένες.
- Ακόμα και ο τρόπος λειτουργίας της τηλεόρασης επηρέαζε τις μετρήσεις λόγω των ρυθμίσεων φωτεινότητας και ήχου που έχει ο καθένας θέσει για να το βοηθήσουν στη θέαση.

Τελικό συμπέρασμα από την έρευνα αυτή ήταν ότι, ένας aggregator για να μπορεί να δώσει ανατροφοδότηση με εισηγήσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση κόστους θα πρέπει να κάνει εξατομικευμένα μιας και δημιουργούνται διάφορα μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας από κάθε σπίτι λόγω της διαφορετικής καθημερινής ρουτίνας που έχουν οι καταναλωτές. Θα πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες κάθε συσκευής όταν δουλεύει και όταν δεν δουλεύει ώστε να έχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για την κατανάλωση ενέργειας από κάθε σπίτι. Ως επίσης ποια είναι η ακριβής κατανάλωση ενέργειας όταν κάποιος χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών του. Επίσης, σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι και ο αριθμός μελών του νοικοκυριού, πόσοι είναι οι ενήλικες και πόσα τα παιδιά μιας και το κάθε μέλος έχει διαφορετικές προτιμήσεις σε χρήσεις των συσκευών κυρίως σε περιόδους αυξημένης ζήτησης.

## Κεφάλαιο 4

### Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στη θεωρία των άπληστων αλγορίθμων. Εξηγούνται ποιες είναι οι προϋποθέσεις για να θεωρηθεί ένας αλγόριθμος άπληστος, γίνεται περιγραφή των χαρακτηριστικών του και παρουσιάζονται δύο γνωστά προβλήματα που μπορούν να υλοποιηθούν με ένα άπληστο αλγόριθμο. Το πρόβλημα του σακιδίου και το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού εργασιών. Έπειτα δίνεται εκτενής περιγραφή του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε. Εξηγούνται τα δεδομένα εισόδου που διαβάζει ο αλγόριθμος, η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και τι παράγεται από τον αλγόριθμο ως έξοδο και πως αυτός ο αλγόριθμος εντάσσεται στην κατηγορία των άπληστων αλγορίθμων βάση του τρόπου που επιλύει το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού ηλεκτρικών συσκευών.

### 4.1 Άπληστοι Αλγόριθμοι

#### 4.1.1 Ορισμός

Ως άπληστο αλγόριθμο [20] ορίζουμε μια διαδικασία εξεύρεσης λύσης σε ένα δοθέν πρόβλημα βελτιστοποίησης, επιλέγοντας σε κάθε βήμα της διαδικασίας την τοπικά βέλτιστη λύση η οποία μπορεί να οδηγήσει στην συνολική βέλτιστη. Για την επιλογή της τοπικά βέλτιστης λύσης σε κάθε βήμα ορίζουμε ένα κανόνα απληστίας. Οι άπληστοι αλγόριθμοι, λόγω του ότι εξαρτώνται από τις επιλογές που κάνουν σε κάθε βήμα ακολουθούν την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω (top-down).



Τέτοιοι αλγόριθμοι δεν συνιστώνται για την επίλυση όλων των προβλημάτων βελτιστοποίησης αλλά μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά από αυτά προσφέροντας πολύ καλά αποτελέσματα. Υπάρχουν προβλήματα στα οποία η απληστία δίνει μια καλή λύση αλλά όχι την βέλτιστη και άλλα προβλήματα στα οποία η απληστία μπορεί να δώσει κακή λύση. Ένα πρόβλημα για να μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας ένα άπληστο αλγόριθμο πρέπει να ακολουθεί τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

**Ιδιότητα της άπληστης επιλογής :** Η βέλτιστη λύση είναι δυνατόν να εξευρεθεί εκτελώντας την επιλογή μια τοπικά βέλτιστης λύσης και προχωρώντας στο επόμενο βήμα.

**Βέλτιστη υποδομή :** Οι άπληστοι αλγόριθμοι έχουν την ιδιότητα να δρουν επαγωγικά και μπορεί να αποδειχθεί πως οι άπληστες επιλογές τους οδηγούν την συνολική βέλτιστη λύση.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πέντε συστατικά που πρέπει να διαθέτει ένας άπληστος αλγόριθμος:

1. Ένα σετ από υποψήφιες επιλογές
2. Μια διαδικασία επιλογής όπου με βάση ενός κανόνα απληστίας επιλέγεται η τοπικά βέλτιστη λύση για να προστεθεί στο σύνολο της λύσης.
3. Μια διαδικασία αξιολόγησης η οποία χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει αν η επιλογή που έχει γίνει από την διαδικασία επιλογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση.
4. Μια διαδικασία τοποθέτησης της επιλογής στο τελικό σύνολο της βέλτιστης λύσης ή ένα προσωρινό σύνολο της τελικής λύσης το οποίο ενδέχεται να αλλάξει.
5. Μια διαδικασία τερματισμού η οποία τερματίζει τον αλγόριθμο σε περίπτωση που έχει βρεθεί μια πλήρης λύση.

Οι άπληστοι αλγόριθμοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως «κοντόφθαλμοι» (short sighted). Επιλέγουν κάθε φορά την τοπικά βέλτιστη λύση χωρίς να τους απασχολεί αν η επιλογή τους

οδηγεί στην βέλτιστη λύση σε κάθε βήμα. Επιπλέον χαρακτηρίζονται και ως «μη ανακτήσιμοι» (non recoverable) αφού σε περίπτωση μη δυνατής επιλογής κάποιας τοπικής λύσης η οποία θα μπορεί να ενταχθεί στο τελικό σύνολο της λύσης ο αλγόριθμος τερματίζει. Γενικότερα οι άπληστοι αλγόριθμοι είναι ιδανικοί για προβλήματα τα οποία διαθέτουν βέλτιστη υποδομή και ειδικά σε απλά προβλήματα όπως για παράδειγμα το πρόβλημα των «ρέστων», όπου ένας πωλητής πρέπει να επιλέξει ένα σύνολο από κέρματα για να δώσει ως ρέστα στον αγοραστή με βάση τα κέρματα που διαθέτει.

#### 4.1.2 Προβλήματα που επιλύονται με άπληστο αλγόριθμο

Τα δύο δημοφιλέστερα προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν με άπληστους αλγορίθμους είναι το πρόβλημα του σακιδίου(αλγόριθμος knapsack)[3,9,21] και το πρόβλημα του προγραμματισμού εργασιών(job scheduling)[22].

##### 4.1.2.1 Ο αλγόριθμος Knapsack

Ο αλγόριθμος Knapsack [3,9,21], είναι και γνωστός ως το πρόβλημα του σακιδίου. Με βάση την θεωρία των άπληστων αλγορίθμων το πρόβλημα στην πιο απλή του μορφή μοντελοποιείται ως εξής. Έστω ότι έχουμε ένα σακίδιο χωρητικότητας  $W$ . Έχουμε επίσης, στη διάθεση μας και κάποια προϊόντα. Για κάθε προϊόν  $i$  γνωρίζουμε το βάρος του  $W_i$  και την αξία του  $p_i$ . Στόχος είναι να γεμίσουμε το σακίδιο έτσι ώστε να ισχύει:

$$\max \left( \sum_{i=1}^n p_i x_i \right) \text{ subject to } \sum_{i=1}^n x_i * w_i \leq W$$

Στην ουσία θέλουμε να γεμίσουμε το σακίδιο με τα προϊόντα των οποίων το άθροισμα της αξίας τους είναι το μέγιστο χωρίς ωστόσο το συνολικό βάρος τους να ξεπερνά τη χωρητικότητα  $W$  του σακιδίου.

Το πρόβλημα εμφανίζεται με διάφορες παραλλαγές όπως η καλύτερη δυνατή ταξινόμηση αντικειμένων σε μια αποθήκη, ή η καλύτερη τοποθέτηση αντικειμένων σε ένα μεταφορικό μέσο. Στην περίπτωση που απασχολεί την εν λόγω διπλωματική εργασία το πρόβλημα ανάγεται στην καλύτερη επιλογή ενεργειακών συμβάντων σε ένα σπίτι σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ώστε να επιτευχθεί το μικρότερο κόστος στον καταναλωτή.

Μια πρώτη προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος θα ήταν ο υπολογισμός όλων των πιθανών λύσεων με σκοπό την επιλογής αυτής όπου η συνολική αξία των αντικειμένων είναι η μέγιστη δυνατή χωρίς το συνολικό βάρος να ξεπερνά την χωρητικότητα του σακιδίου. Σε αυτή την προσέγγιση όμως ο χρόνος επίλυσης του προβλήματος γίνεται εκθετικός και κατ' επέκταση απαγορευτικός όταν το σύνολο των αντικειμένων για επιλογή είναι μεγάλο διότι οι συνδυασμοί αυξάνονται. Μια δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιώντας τεχνική άπληστου αλγορίθμου είναι η τοποθέτηση αντικειμένων στο σακίδιο ξεκινώντας από το αντικείμενο με την μεγαλύτερη αξία και συνεχίζοντας με το επόμενο σε αξία αντικείμενο μέχρι το σακίδιο να γεμίσει. Είναι εύκολο για τον αναγνώστη να αντιληφθεί ότι η συγκεκριμένη τεχνική δεν αποδίδει την βέλτιστη λύση αλλά επιλύει το πρόβλημα σε πολύ λιγότερα βήματα από την πρώτη προσέγγιση. Για παράδειγμα αν το σακίδιο είχε συνολική χωρητικότητα 20 kg και τα αντικείμενα επιλογής ήταν τα ακόλουθα :

- Αντικείμενο Α αξία 10 μέγεθος 10 kg.
- Αντικείμενο Β αξία 6 μέγεθος 3 kg .
- Αντικείμενο Γ αξία 7 μέγεθος 5 kg.
- Αντικείμενο Δ αξία 7 μέγεθος 5 kg .
- Αντικείμενο Ε αξία 6 μέγεθος 2 kg.

Σε αυτή την περίπτωση, η δεύτερη προσέγγιση θα επέλεγε τα αντικείμενα Α, Γ, Δ των οποίων η συνολική αξία είναι 24. Δεν είναι όμως η βέλτιστη δυνατή λύση γιατί η επιλογή των αντικειμένων Α,Β,Γ,Ε ικανοποιεί την συνθήκη χωρητικότητας αλλά η συνολική αξία των αντικειμένων είναι 29. Μια τρίτη προσέγγιση που θα μπορούσε να καταλήξει στην βέλτιστη λύση θα ήταν να επιλέγει κάθε φορά το αντικείμενο με το μικρότερο βάρος. Με βάση τα αντικείμενα του προβλήματος ο αλγόριθμος θα επέλεγε με τη σειρά τα αντικείμενα Ε,Β,Γ,Δ. Η λύση αυτή τυχαίνει να είναι η βέλτιστη που αναφέρθηκε προηγουμένως όμως ο κανόνας αυτός δεν θα έδινε την βέλτιστη λύση αν τα αντικείμενα με το χαμηλότερο βάρος είχαν μικρή αξία.

#### 4.1.2.2 Το πρόβλημα προγραμματισμού εργασιών

Έχουμε ένα σύνολο εργασιών  $S = \{1, 2, \dots, n\}$  κάθε μία από τις οποίες χρειάζεται μία μονάδα χρόνου για να ολοκληρωθεί. Κάθε εργασία έχει κάποια προθεσμία  $d_i$  και εκτέλεσή της πριν από την πάροδο της προθεσμίας της μας επιφέρει κέρδος  $g_i$ . Για τη συμπλήρωση των εργασιών έχουμε στη διάθεση μας ένα επεξεργαστή (ανά πάσα στιγμή ο επεξεργαστής είναι χρησιμοποιήσιμος από το πολύ μια εργασία). Στόχος μας, είναι να βρούμε το σύνολο συμβατών εργασιών που επιφέρουν το μέγιστο δυνατό κέρδος. Ένα σύνολο συμβατών εργασιών περιέχει μια σειρά εκτέλεσης εργασιών που ικανοποιεί την προθεσμία της κάθε εργασίας.

Αρχικά ταξινομούμε τις εργασίες σε φθίνουσα σειρά με βάση το κόστος που επιφέρουν. Έπειτα ξεκινούμε την επιλογή των εργασιών, επιλέγοντας την εργασία με το μεγαλύτερο κέρδος. Ακολούθως επιλέγουμε την επόμενη κερδοφόρα εργασία η οποία είναι συμβατή με το σύνολο των εργασιών που έχουμε ήδη επιλέξει. Στην δεύτερη επιλογή αν η προθεσμία  $d_2$  της εργασίας 2 είναι μικρότερη της προθεσμίας  $d_1$  της εργασίας 1 ( $d_2 < d_1$ ) τότε η εργασία 2 μπαίνει στη σειρά για εκτέλεση πριν να εκτελεστεί η εργασία 1. Οπότε κάθε φορά που επιλέγουμε κάποια εργασία, έστω  $j$ , κοιτάζουμε στο σύνολο αν η εργασία είναι συμβατή, να μπορεί να δουλέψει χωρίς κάποια άλλη εργασία να χάσει την προθεσμία της. Αν ναι τότε την τοποθετούμε στη θέση  $r$ . Αν υπάρχουν εργασίες στις θέσεις που είναι μεγαλύτερες του  $r$  τότε μετακινούνται μια θέση δεξιότερα για να μπορεί να μπει η εργασία  $j$  που επιλέχθηκε για να τρέξει. Σε κάθε εκτέλεση της επανάληψης το σύνολο εργασιών που δημιουργείται είναι πάντοτε ταξινομημένο σε αύξουσα σειρά με βάση την προθεσμία. Οι εργασίες με τη λιγότερη προθεσμία θα εκτελεστούν πρώτες. Παρακάτω στην εικόνα 16 παρουσιάζεται παράδειγμα εκτέλεσης του αλγορίθμου για τον προγραμματισμό εργασιών.

$i$	$d_i$	$g_i$	
1	4	70	$\langle 1 \rangle$
2	2	60	$\langle 2, 1 \rangle$
3	4	50	$\langle 2, 1, 3 \rangle$
4	3	40	$\langle 2, 4, 1, 3 \rangle$
5	1	30	$\langle 2, 4, 1, 3 \rangle$
6	4	20	$\langle 2, 4, 1, 3 \rangle$
7	6	10	$\langle 2, 4, 1, 3, 7 \rangle$

Εικόνα 16: Παράδειγμα εκτέλεσης αλγορίθμου προγραμματισμού εργασιών

Το πρόβλημα αυτό μπορούμε να το παραλληλίσουμε με την περίπτωση ενός φοιτητή ο οποίος προσπαθεί να δημιουργήσει ένα πρόγραμμα για το πώς θα εκπονήσει τις εργασίες που του ανατέθηκαν στα μαθήματα του εξαμήνου που παρακολουθεί με στόχο να εξασφαλίσει το μέγιστο δυνατό ποσοστό που θα του δώσει ψηλότερο βαθμό στα μαθήματα του. Κάθε εργασία έχει μια ημερομηνία παράδοσης και το ποσοστό που παίρνει στον τελικό βαθμό του μαθήματος. Στην τελική οι εργασίες που θα επιλεγθούν θα είναι αυτές που έχουν το μεγαλύτερο συνολικό ποσοστό και θα τοποθετηθούν στο πρόγραμμα με τέτοιο τρόπο ώστε ο φοιτητής να ασχοληθεί πρώτα με τις εργασίες που έχουν τη λιγότερη προθεσμία.

Παρακάτω περιγράφεται ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε και πως συνδέεται με τη θεωρία των άπληστων αλγορίθμων

## 4.2 Περιγραφή αλγορίθμου

### 4.2.1 Προδιαγραφές

Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού οικιακών ηλεκτρικών συσκευών που υλοποιήθηκε χρησιμοποιεί τα ενεργειακά δεδομένα REFIT που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Συγκεκριμένα για σκοπούς προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν ενεργειακά δεδομένα από 2 σπίτια για τις χρονικές περιόδους χειμώνα και καλοκαιριού. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ως σταθερή παράμετρος ένα όριο ασφαλείας υποστατικού. Το όριο αυτό καθορίζεται στην πραγματικότητα

από τον καταναλωτή. Δηλώνει στον παροχέα του τη μέγιστη κατανάλωση που αναμένεται να έχει το υποστατικό ανά πάσα στιγμή. Για σκοπούς προσομοίωσης το όριο ασφαλείας στο σπίτι 1 τέθηκε στα 6000 Watt ενώ για το δεύτερο σπίτι στα 4000 Watt. Μόνο 9 διαθέσιμες συσκευές υπήρχαν στα ενεργειακά δεδομένα REFIT για κάθε σπίτι.

Από κάθε σπίτι, με χρήση της εργαλειοθήκης NILMTK έγινε διάσπαση των δεδομένων για δύο περιόδους. Την χειμωνιάτικη περίοδο που ξεκινά από 01/12 μέχρι 28/02 και την καλοκαιρινή που ξεκινά από 01/06 μέχρι 31/08. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν από το κάθε σπίτι και η αντίστοιχη μέση κατανάλωση κάθε συσκευής τους για χειμώνα και καλοκαίρι.

Όνομα Ηλεκτρικής Συσκευής	Μέση Κατανάλωση Χειμώνα [Watt]	Μέση Κατανάλωση Καλοκαιριού[Watt]
<b>Ψυγείο</b>	135	82
<b>Θάλαμος</b>	56	53
<b>Θάλαμος(2)</b>	80	81
<b>Στεγνωτήριο</b>	2010	1032
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	2166	1623
<b>Πλυντήριο Πιάτων</b>	2218	2272
<b>Η/Υ</b>	28	29
<b>Τηλεόραση</b>	36	37
<b>Ηλεκτρική Θερμάστρα</b>	1015	0

Πίνακας 5: Ηλεκτρικές συσκευές και μέση κατανάλωση του σπιτιού 1

Όνομα Ηλεκτρικής Συσκευής	Μέση Κατανάλωση Χειμώνα [Watt]	Μέση Κατανάλωση Καλοκαιριού[Watt]
Ψυγείο-Θάλαμος	88	88
Πλυντήριο Ρούχων	1844	1848
Πλυντήριο Πιάτων	2215	2200
Τηλεόραση	50	47
Φούρνος μικροκυμάτων	1168	1100
Τοστιέρα	951	921
Στερεοφωνικό	18	17
Βραστήρας	2727	2728
Ανεμιστήρας Οροφής	102	84

Πίνακας 6: Ηλεκτρικές συσκευές και μέση κατανάλωση του σπιτιού 2

Ως μοντέλο τιμολόγησης της κιλοβατώρας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο διαφορικής τιμολόγησης του Ontario που επεξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2. Τέλος το πρόγραμμα λειτουργίας των συσκευών για ημερήσιο πρόγραμμα που βγαίνει ως έξοδος από τον αλγόριθμο, βγαίνει σε διαστήματα τετάρτου ξεκινώντας από τις 00:00:00 μέχρι τις 23:45:00. Αυτό σημαίνει ότι αν μια συσκευή ξεκινήσει την λειτουργία της η ώρα 00:00:00 σημαίνει ότι θα δουλεύει για το επόμενο τέταρτο. Αντίστοιχα, αν μια συσκευή εμφανίζεται, στο πρόγραμμα, να λειτουργεί στις 23:45:00 σημαίνει πως θα ολοκληρώσει την λειτουργία της στο επόμενο τέταρτο. Για το λόγο αυτό τα χρονικά διαστήματα κάθε περιόδου ζήτησης στις καθημερινές μέρες, για τις ανάγκες του αλγορίθμου, διαμορφώνεται ως εξής:

Για χειμώνα:

OFF PEAK → 00:00:00 – 06:45:00, 19:00:00 – 23:45:00

MID PEAK → 11:00:00 – 16:45:00

ON PEAK → 07:00:00 – 10:45:00, 17:00:00 – 18:45:00

Για καλοκαίρι:

OFF PEAK → 00:00:00 – 06:45:00, 19:00:00 – 23:45:00

MID PEAK → 07:00:00 – 10:45:00, 17:00:00 – 18:45:00

ON PEAK → 11:00:00 – 16:45:00

#### 4.2.2 Δεδομένα εισόδου

Ο χρήστης στο πρόγραμμα δίνει ως είσοδο μια λίστα με πληροφορίες που αφορούν τις συσκευές που θα λειτουργήσουν μέσα στη μέρα. Για κάθε συσκευή δίνει το όνομα της, ένα αριθμό προτεραιότητας που θα είναι 0,1 ή 2, ώρα έναρξης όπου μπορεί η συσκευή από εκείνη την ώρα και μετά να μπορεί να ξεκινήσει να δουλεύει, ώρα λήξης όπου δηλώνεται πότε πρέπει η συσκευή να έχει ολοκληρώσει τη λειτουργία της και χρονική διάρκεια λειτουργίας σε λεπτά που μπορούν να εκφραστούν σε τέταρτα (15, 30, 45 κ.ο.κ).

Η προτεραιότητα 0 αφορά συσκευές που θα λειτουργούν 24ωρο όπως το ψυγείο και ο θάλαμος. Στα δεδομένα εισόδου ως ώρα έναρξης και λήξης δίνεται ο χαρακτήρας 0 όπως και στη διάρκεια λειτουργίας των συσκευών. Για τις προτεραιότητες 1 και 2 δίνονται ώρες έναρξης και λήξης μαζί με τη χρονική διάρκεια λειτουργίας της συσκευής. Οι συσκευές με προτεραιότητα 1 θα προγραμματιστούν πρώτες με άμεση ανάθεση της συσκευής στο πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα που μπορεί να δουλέψει και μετά προγραμματίζονται οι συσκευές με προτεραιότητα 2 όπου λαμβάνονται υπόψη διάφορα κριτήρια επιλογής που αντιπροσωπεύουν ένα είδος καταναλωτή. Ως ώρα έναρξης ο χρήστης μπορεί να δώσει 0 που σημαίνει ότι η συσκευή μπορεί να προγραμματιστεί από τις 00:00:00 μέχρι την δοθείσα ώρα λήξης. Ομοίως αν δώσει ώρα λήξης 0 ο αλγόριθμος θα ψάξει για διαθέσιμο χρονικό διάστημα από την ώρα έναρξης μέχρι το τέλος της ημέρας.

#### 4.2.3 Τύποι καταναλωτών

Τα τρία κριτήρια που αντιπροσωπεύουν τους τρεις διαφορετικούς καταναλωτές είναι τα ακόλουθα:



1. Λιγότερη μετακίνηση συσκευής από τη δοθείσα ώρα έναρξης(Less shifting)
2. Λιγότερο δυνατό κόστος κατανάλωσης(Less cost)
3. Λιγότερη συνολική κατανάλωση ανά πάσα στιγμή και ταυτόχρονα λιγότερο δυνατό κόστος κατανάλωσης και λιγότερη μετακίνηση( Optimized)

Το κριτήριο less shifting αντιπροσωπεύει τον καταναλωτή που επιθυμεί τη λιγότερη μετακίνηση συσκευών από την ώρα έναρξης. Τέτοιοι καταναλωτές είναι αυτοί που δεν έχουν αρκετό ελεύθερο χρόνο στο σπίτι, προτιμούν να κάνουν δουλειές του σπιτιού τα πρωινά ή το απόγευμα όταν σχολάσουν από την εργασία τους για να έχουν το βράδυ ελεύθερο για ξεκούραση. Ο αλγόριθμος στην περίπτωση αυτή για όσες συσκευές δηλώσει με προτεραιότητα 2 θα προσπαθήσει να εντοπίσει το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα που μπορεί η συσκευή να δουλέψει για όση ώρα ζήτησε ο χρήστης. Μοναδική παράμετρος που ενδέχεται να μετατοπίσει την ώρα έναρξης της συσκευής είναι το όριο ασφαλείας υποστατικού επειδή έχει ήδη προηγηθεί τοποθέτηση ηλεκτρικών συσκευών σε χρονικά διαστήματα με προτεραιότητα 1. Αν από τη μετατόπιση της συσκευής ο χρόνος σε λεπτά που απομένει μέχρι την ώρα λήξης είναι μικρότερος από τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής τότε η συσκευή δεν θα συμπεριλαμβάνεται στο ημερήσιο πρόγραμμα.

Το δεύτερο κριτήριο λαμβάνει υπόψη και το κόστος κατανάλωσης της συσκευής σε κάθε πιθανό χρονικό διάστημα που εντόπισε ο αλγόριθμος για να δουλέψει σύμφωνα με το μοντέλο τιμολόγησης του Ontario. Το ιδανικό για τέτοιους καταναλωτές είναι να έχουν τις συσκευές που έχουν μεγάλη κατανάλωση όπως το πλυντήριο ρούχων, το στεγνωτήριο και το πλυντήριο πιάτων να λειτουργήσουν κατά τις βραδινές ώρες μεταξύ 19:00-00:00 ή κατά τις πρωινές ώρες πριν τις 07:00. Αν το δούμε όμως ρεαλιστικά, είναι σχεδόν αδύνατο όλοι οι καταναλωτές να έχουν τη δυνατότητα να βάζουν αυτές τις συσκευές να λειτουργούν το βράδυ λόγω διαφορετικής καθημερινής ρουτίνας. Στο κριτήριο αυτό οι χρήστες δεν ενδιαφέρονται για το πόσο θα μετακινηθεί η συσκευή από την ώρα έναρξης της αλλά τους ενδιαφέρει στο τέλος του μήνα να έχουν ένα πιο ξεφουσκωμένο λογαριασμό ρεύματος. Ο αλγόριθμος αφού εντοπίσει τα

πιθανά χρονικά διαστήματα θα τα ταξινομήσει βάση του κόστους και θα επιλέξει αυτό με το λιγότερο κόστος κατανάλωσης για να τοποθετήσει τη συσκευή. Σε περίπτωση που εντοπιστούν περισσότερα χρονικά διαστήματα με ίδιο κόστος κατανάλωσης, όπως το σαββατοκύριακο που η τιμή της κιλοβατώρας είναι ίδια, θα επιλέξει το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα που εντόπισε με το χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης της συσκευής. Υπάρχει το ενδεχόμενο ένας χρήστης να δώσει για μια συσκευή ώρα έναρξης το πρωί και ώρα λήξης αργά το βράδυ. Οπότε εκεί ο αλγόριθμος θα προτιμήσει ένα βραδινό χρονικό διάστημα όπου η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή.

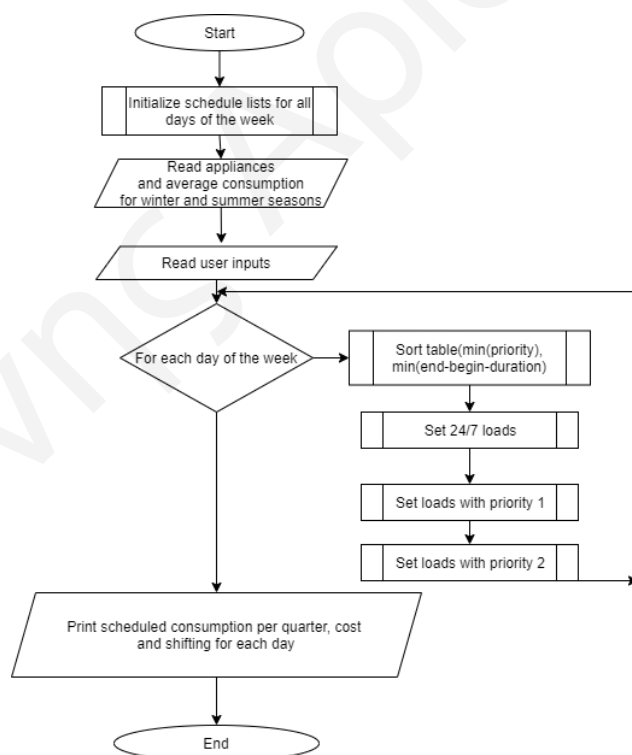
Στο τρίτο κριτήριο λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το όριο ασφαλείας του υποστατικού. Στόχος για ένα τέτοιο χρήστη είναι να ζητά όσο το δυνατό λιγότερη ενέργεια ανά πάσα στιγμή. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι μια οικοκυρά ξεκινάει ταυτόχρονα στις 10:00 το πρωί ένα πλυντήριο και ένα στεγνωτήριο. Όσο οι δύο συσκευές δουλεύουν ταυτόχρονα η ζήτηση σε ενέργεια θα είναι μεγάλη. Αντίθετα αν η συγκεκριμένη οικοκυρά έβαζε πρώτα το πλυντήριο και αργότερα το στεγνωτήριο η ζήτηση ενέργειας ανά πάσα στιγμή θα είναι σαφώς μειωμένη, και η συνολική κατανάλωση ενέργειας του υποστατικού θα ήταν αρκετά κάτω από το όριο ασφαλείας. Ενδεχομένως η μετακίνηση αυτή να την ωφελήσει διότι μπορεί να τοποθετήσει τη συσκευή σε χρονικό διάστημα που το κόστος κατανάλωσης της θα είναι φθηνότερο και το πιο σημαντικό είναι πως θα έχει την άνεση να χρησιμοποιήσει μια άλλη συσκευή κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς να επηρεάζεται το ηλεκτρικό δίκτυο του σπιτιού από ενδεχόμενη παραβίαση του ορίου ασφαλείας του υποστατικού. Αν ο αλγόριθμος εντοπίσει 2 ή περισσότερα χρονικά διαστήματα που μπορεί η συσκευή να δουλέψει, θα επιλέξει εκείνο που ταυτόχρονα θα είναι το πιο φθινό και έχει τη λιγότερη μετακίνηση.

Σύμφωνα με την θεωρία των άπληστων αλγορίθμων, διαπιστώνουμε ότι το κάθε κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να αποτελέσει ως ένα κανόνα απληστίας. Σε όλα τα κριτήρια, επειδή οι άπληστοι αλγόριθμοι είναι κοντόφθαλμοι, η επιλογή του χρονικού διαστήματος για την τοποθέτηση μιας ηλεκτρικής συσκευής γίνεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη αν θα επηρεαστεί κάποια άλλη συσκευή που θα προγραμματιστεί αργότερα. Υπολογίζονται όλα τα πιθανά χρονικά διαστήματα που μπορεί η συσκευή να δουλέψει και έπειτα εφαρμόζεται ο κανόνας

απληστίας που θα δώσει την τελική επιλογή του αλγορίθμου. Αν κάποια συσκευή για διάφορους λόγους δεν μπορεί να προγραμματιστεί ο αλγόριθμος τερματίζει για εκείνη τη συσκευή και επαναλαμβάνεται για τον προγραμματισμό λειτουργίας της επόμενης συσκευής που έχει σειρά. Το τελικό πρόγραμμα που θα δώσει ο αλγόριθμος ως έξοδο, με βάση τον κανόνα που επιλέχθηκε, μπορεί να είναι μια βέλτιστη λύση αποδεκτή αλλά ίσως να μην είναι και η ιδανική που να ικανοποιεί πλήρως το χρήστη.

#### 4.2.4 Διαδικασία Χρονοπρογραμματισμού Ηλεκτρικών Συσκευών

Στην εικόνα 17 παρουσιάζεται το βασικό λογικό διάγραμμα που δείχνει τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για το χρονοπρογραμματισμό των ηλεκτρικών συσκευών.



Εικόνα 17: Βασικό Λογικό Διάγραμμα Αλγορίθμου

Ακολουθεί εκτενής περιγραφή της διαδικασίας:

Αρχικά ο αλγόριθμος βρίσκει όλες τις συσκευές που υπάρχουν στα ενεργειακά δεδομένα του κάθε σπιτιού και για κάθε συσκευή υπολογίζει την μέση κατανάλωση εν ώρα λειτουργίας και για τις δύο εποχές(χειμώνα-καλοκαίρι). Για τον υπολογισμό της μέσης κατανάλωσης αγνοούνται οι τιμές 0 που δηλώνουν ότι η συσκευή δεν ήταν σε λειτουργία. Ο τύπος του αριθμητικού μέσου που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Το  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων  $X_i$ , όπου  $X_i$  οι τιμές ισχύος της συσκευής όταν αυτή είναι σε λειτουργία. Χρησιμοποιήθηκε η μέση κατανάλωση των συσκευών γιατί δεν υπήρξε αρκετή πληροφορία για τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στα 2 σπίτια. Αρκετές μάρκες συσκευών ήταν γνωστές στην τοπική αγορά ενώ άλλες συσκευές που προέρχονταν από γνωστό κατασκευαστή είχαν σταματήσει να πωλούνται.

Έπειτα, για κάθε εποχή, αρχικοποιείται μια λίστα 96 θέσεων για κάθε μέρα της εβδομάδας. Οι 96 θέσεις αντιστοιχούν σε κάθε τέταρτο της ημέρας από 00:00:00 έως 23:45:00. Μια τέτοια λίστα θα περιέχει πληροφορίες για το πρόγραμμα της ημέρας που δημιουργήθηκε. Συγκεκριμένα σε κάθε θέση της λίστας θα υπάρχει η ώρα της ημέρας, η τιμή της κιλοβατώρας βάση του μοντέλου του Ontario, μια υπό-λίστα με τα ονόματα των συσκευών που θα δουλεύουν στο επόμενο τέταρτο, η συνολική κατανάλωση για το επόμενο τέταρτο σε Watt και το συνολικό κόστος κατανάλωσης για το επόμενο τέταρτο.

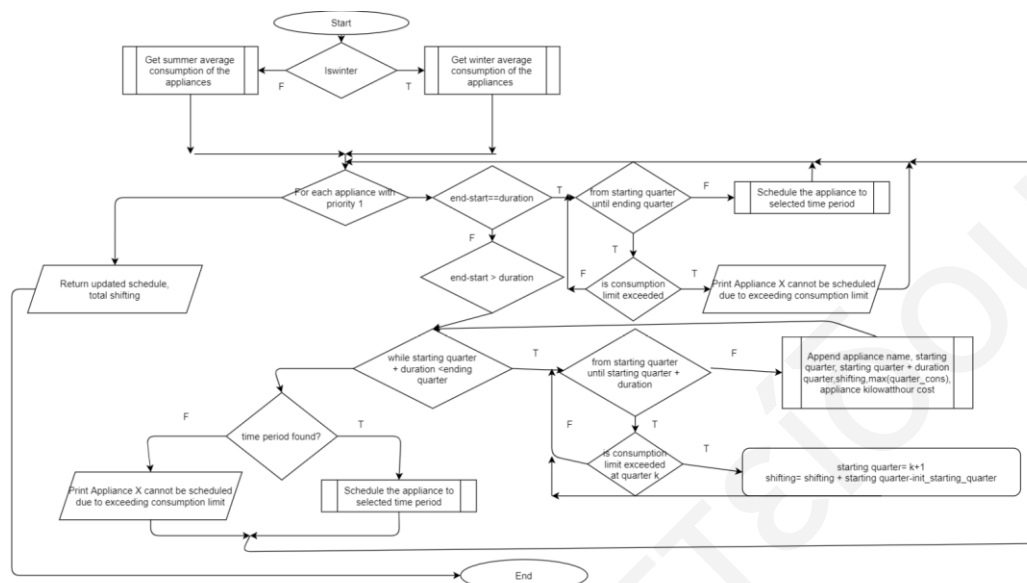
Όταν ο χρήστης δώσει τις επιλογές του για την κάθε μέρα, η λίστα που δημιουργείται ταξινομείται πρώτα με βάση την προτεραιότητα, όπου οι συσκευές με την μικρότερη προτεραιότητα μπαίνουν μπροστά και μετά βάση τη μικρότερη διαφορά που προκύπτει από την αφαίρεση της ώρας λήξης σε τέταρτα ημέρας μείον την ώρα έναρξης σε τέταρτα ημέρας μείον την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής επίσης σε τέταρτα όπως φαίνεται πιο κάτω:

*Table.sort(min (Priority (i)), min(quarter( $t_{end(i)}$ ) - quarter( $t_{begin(i)}$ )- quarter(duration)))*

Έτσι, για τις συσκευές με προτεραιότητα 1 και 2 θα προγραμματίζονται πρώτα αυτές που έχουν ένα μόνο χρονικό διάστημα που θα δουλέψουν (διαφορά ίση με 0) και έπειτα ακολουθούν αυτές που έχουν περισσότερα πιθανά χρονικά διαστήματα. Όσο πιο μεγάλη η διαφορά τόσο περισσότερα χρονικά διαστήματα θα υπάρχουν για να δουλέψει μια συσκευή. Απόρροια, της ταξινόμησης αυτής είναι να μπορούν όλες οι συσκευές που έδωσε ο χρήστης να δουλέψουν. Πριν ξεκινήσει ο χρονοπρογραμματισμός των συσκευών για όσες έχουν προτεραιότητα 1 και 2, ο αλγόριθμος θα τοποθετήσει σε κάθε λίστα που δημιουργήθηκε όσες συσκευές δουλεύουν συνέχεια, τη συνολική κατανάλωση του επόμενου τετάρτου και θα υπολογίσει το κόστος των κιλοβατώραν που καταναλώνονται σε κάθε τέταρτο.

Έπειτα θα πάρει όσες συσκευές έχουν προτεραιότητα 1. Για κάθε συσκευή, θα ελέγξει πρώτα αν η διαφορά του χρόνου λήξης πλην του χρόνου έναρξης ισούται με τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής. Αν ναι, τότε εξετάζεται κάθε τέταρτο του χρονικού διαστήματος, που θα μπει η συσκευή να δουλέψει, αν με την προσθήκη της νέας συσκευής παραβιάζεται το όριο ασφαλείας του υποστατικού. Αν δεν παραβιάζεται τότε στο πρόγραμμα της ημέρας γίνεται άμεση ανάθεση της συσκευής στο χρονικό διάστημα και σε κάθε τέταρτο του ανανεώνεται το συνολικό κόστος κατανάλωσης και η συνολική κατανάλωση. Αν η διαφορά χρόνου λήξης με χρόνο έναρξης είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια λειτουργίας τότε ο αλγόριθμος από την ώρα έναρξης θα ξεκινήσει να ψάχνει το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα που θα μπει η συσκευή για να δουλέψει, όπως προηγουμένως, και όταν το βρει θα κάνει την ανάθεση. Αν φτάσει σε χρονικό σημείο, τέτοιο ώστε η διάρκεια της λειτουργίας να ξεπερνά το διαθέσιμο χρόνο μέχρι την ώρα λήξης θα ενημερώσει το χρήστη ότι η συσκευή δεν μπορεί να μπει στο πρόγραμμα με αιτία την υπέρβαση του ορίου κατανάλωσης. Επίσης κάθε φορά που κάνει ανάθεση της κάθε συσκευής σε κάποιο χρονικό διάστημα, υπολογίζει και τη συνολική μετακίνηση που έτυχε η συσκευή από την ώρα έναρξης της σε τέταρτα. Για παράδειγμα, αν μια συσκευή είχε ως ώρα έναρξης 08:00 το πρωί και έγινε ανάθεση της από τον αλγόριθμο στις 08:45, για αποφυγή παραβίασης του ορίου ασφαλείας, στη συνολική μετακίνηση της ημέρας που γίνεται ο προγραμματισμός θα προστεθεί 3, δηλαδή 3 τέταρτα.

Πιο κάτω στην εικόνα 18 παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα που δείχνει τη διαδικασία που ακολουθεί ο αλγόριθμος για τον προγραμματισμό συσκευών προτεραιότητας 1.

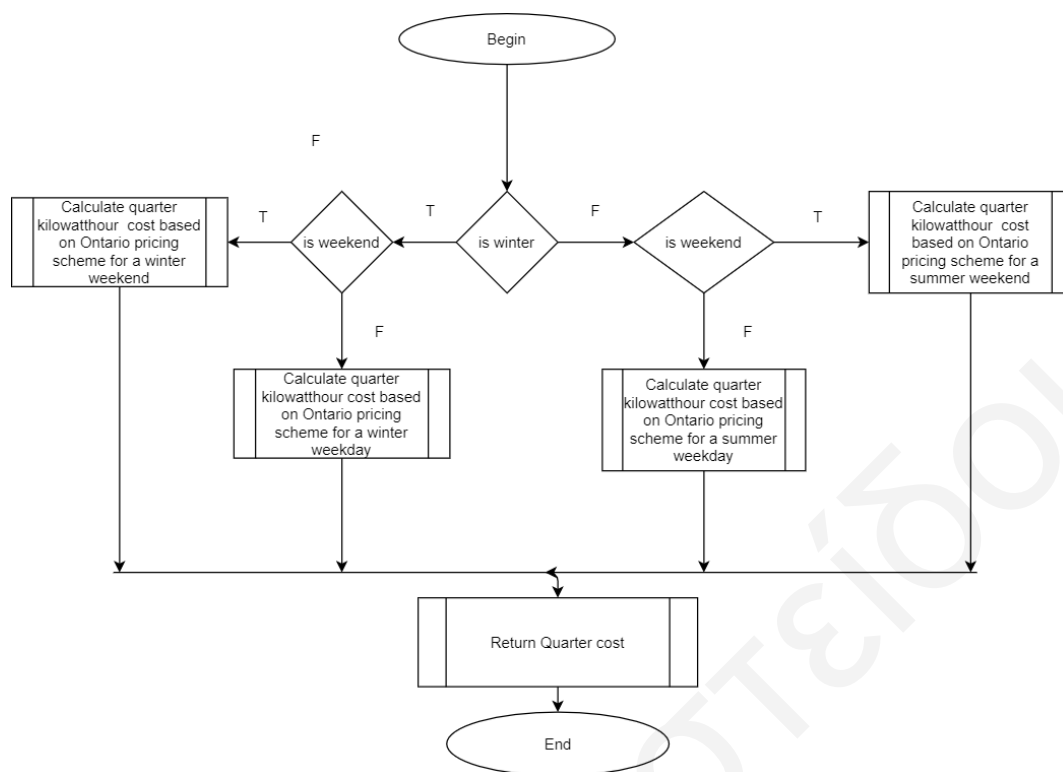


Εικόνα 18: Λογικό διάγραμμα διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού συσκευών με προτεραιότητα 1

Όσο αφορά τον υπολογισμό του κόστους κατανάλωσης κάθε συσκευής, γίνεται ανά τέταρτο με μετατροπή της μέσης κατανάλωσης σε κιλοβατώρες τετάρτου με τον τύπο:

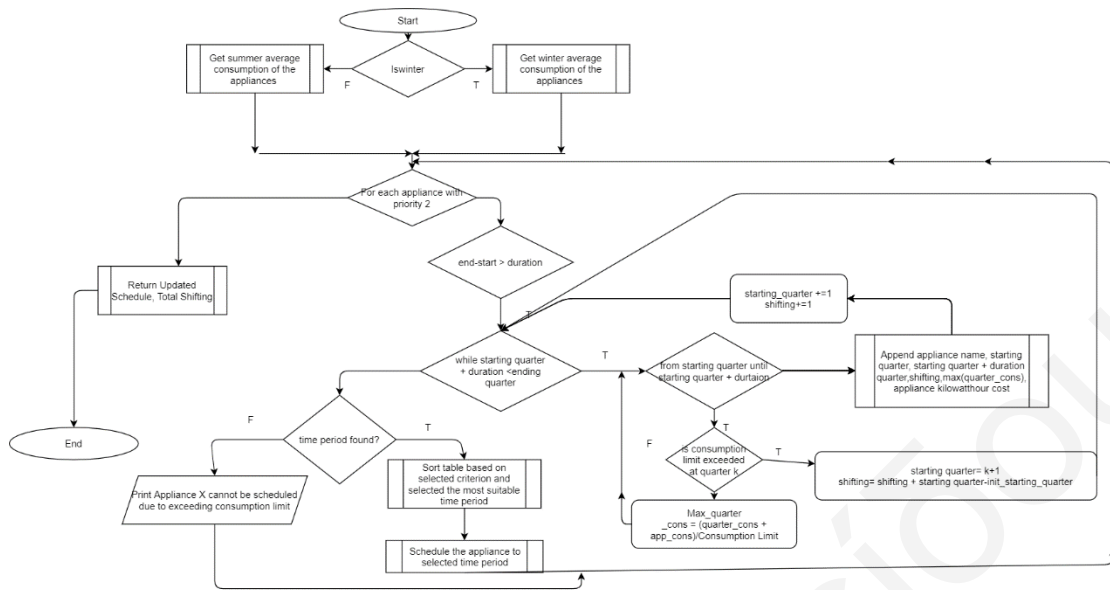
$$\text{Power(kwh)} = \frac{\text{Power(Watt)} * \frac{15}{60}}{1000}$$

Η διαδικασία υπολογισμού του κόστους δίνεται στην εικόνα 19 σε λογικό διάγραμμα. Για τις συσκευές που έχουν προτεραιότητα 2 γίνεται ένας αρχικός υπολογισμός του κόστους κατανάλωσης για όλη τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής. Ο λόγος είναι γιατί λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου χρονικού διαστήματος με βάση το κριτήριο που επιλέγεται. Κατά την ανάθεση, το κόστος κατανάλωσης της συσκευής υπολογίζεται και ανά τέταρτο για να προστεθεί στο ολικό κόστος κάθε τετάρτου που η συσκευή θα δουλεύει.



Εικόνα 19: Λογικό διάγραμμα υπολογισμού κόστους κατανάλωσης συσκευής

Ακολουθώς ο αλγόριθμος θα πάρει όσες συσκευές έχουν προτεραιότητα 2. Η διαφοροποίηση του αλγορίθμου σ' αυτή την περίπτωση παρατηρείται σε δύο σημεία. Το πρώτο ότι υπολογίζει όλα τα πιθανά χρονικά διαστήματα που μπορεί η συσκευή να λειτουργήσει, μαζί με το κόστος κατανάλωσης της για κάθε χρονικό διάστημα και τη συνολική μετακίνηση της από την ώρα έναρξης που δόθηκε. Η επιλογή του χρονικού διαστήματος θα γίνει σύμφωνα με ένα από τα 3 κριτήρια που επιλέχθηκε όπως εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 3.2. Η τελική ανάθεση της συσκευής γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και με την ανάθεση των συσκευών που έχουν προτεραιότητα 1. Πιο κάτω στην εικόνα 20 παρουσιάζεται σε λογικό διάγραμμα η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον χρονοπρογραμματισμό συσκευών με προτεραιότητα 2.



Εικόνα 20: Λογικό διάγραμμα διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού συσκευών προτεραιότητας 2

Στο τέλος ο χρήστης μπορεί να δει τα προγράμματα του για όλες τις μέρες της εβδομάδας και για κάθε μέρα μπορεί να γνωρίζει την συνολική μετακίνηση των συσκευών σε τέταρτα και το συνολικό κόστος κατανάλωσης της ημέρας. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να δει για κάθε τέταρτο της μέρας ονομαστικά ποιες συσκευές δουλεύουν, συνολική κατανάλωση του επόμενου τέταρτου και συνολικό κόστος του επόμενου τέταρτου. Λεπτομέρειες για την αναπαράσταση των δεδομένων εξόδου δίνονται με παραδείγματα και σχολιασμό στο κεφάλαιο 5 όπου γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της πειραματικής αξιολόγησης του αλγορίθμου.



## Κεφάλαιο 5

### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η πειραματική αξιολόγηση του αλγορίθμου. Υλοποιήθηκαν 2 σενάρια, ένα για κάθε σπίτι που χρησιμοποιήθηκε. Για κάθε σπίτι, με βάση την χρήση των συσκευών, δημιουργήθηκαν πλάνα χρήσης για κάθε μέρα της εβδομάδας. Για κάθε πλάνο, ο αλγόριθμος δημιούργησε 3 διαφορετικά προγράμματα. Ένα για κάθε τύπο καταναλωτή που εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.3, για χειμώνα και για καλοκαίρι. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο τιμολόγησης του Ontario που εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2 και ως μέση κατανάλωση συσκευών ανά εποχή αυτή που παρουσιάζεται στους πίνακες 7 και 8. Σε κάθε σενάριο θα δίνονται αρχικά το πλάνο χρήσης της ημέρας, τα 3 προγράμματα που δημιούργησε ο αλγόριθμος για κάθε εποχή μαζί με τα σχετικά γραφήματα κατανάλωσης και θα γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων βάση των προδιαγραφών που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4. Στο τέλος κάθε σεναρίου γίνεται η σύγκριση και σχολιασμός του συνολικού εβδομαδιαίου κόστους και της συνολικής μετακίνησης συσκευών σε τέταρτα για τις περιόδους χειμώνα και καλοκαιριού

### 5.1 Αποτελέσματα Σεναρίου Σπιτιού 1

#### 5.1.1 Εβδομαδιαία προγράμματα λειτουργίας συσκευών σπιτιού 1

Για κάθε μέρα αρχικά παρουσιάζεται το πλάνο χρήσης συσκευών. Από το πλάνο εξαιρούνται το ψυγείο και ο θάλαμος γιατί πρόκειται για συσκευές που δουλεύουν συνεχώς και δεν

επιδέχονται προγραμματισμό. Στο πλάνο για την χειμερινή περίοδο προστίθεται και η ηλεκτρική θερμάστρα η οποία χρησιμοποιείται 4 ώρες την ημέρα λόγω της εποχής χωρίς ωστόσο να επηρεάζει την λειτουργία άλλων συσκευών κατά τη διάρκεια της μέρας. Η τηλεόραση θα έχει πάντοτε προτεραιότητα 1 και οι ώρες λειτουργίας θα είναι σταθερές θεωρώντας πως τα μέλη του νοικοκυριού επιθυμούν να παρακολουθήσουν τηλεόραση σε συγκεκριμένη περίοδο της ημέρας. Επίσης και η ηλεκτρική θερμάστρα στα πλάνα των ημερών για τη χειμερινή περίοδο θα έχει προτεραιότητα 1 με σταθερή ώρα έναρξης και λήξης. Ακολουθούν, για κάθε μέρα, τα προγράμματα που δημιούργησε ο αλγόριθμος για κάθε κριτήριο και για τις 2 περιόδους και στη συνέχεια ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις ημερήσιας κατανάλωσης συγκριτικά για κάθε κριτήριο και για τις 2 περιόδους. Τέλος ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

#### Ημέρα Δευτέρα:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στεγνωτήριο	13:00	17:00	105	1
Πλυντήριο Πιάτων	11:00	18:00	150	2
H/Y	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	00:00	04:00	240	1

Πίνακας 7: Πλάνο σπιτιού 1 για Δευτέρα

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	11:00	13:30
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
H/Y	18:00	00:00

Πίνακας 8: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος – Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	11:00	13:30
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
H/Y	18:00	21:00

Πίνακας 9: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Δευτέρα-Χειμερινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
Πλυντήριο Πιάτων	15:30	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 10: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	11:00	13:30
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
H/Y	19:00	22:00

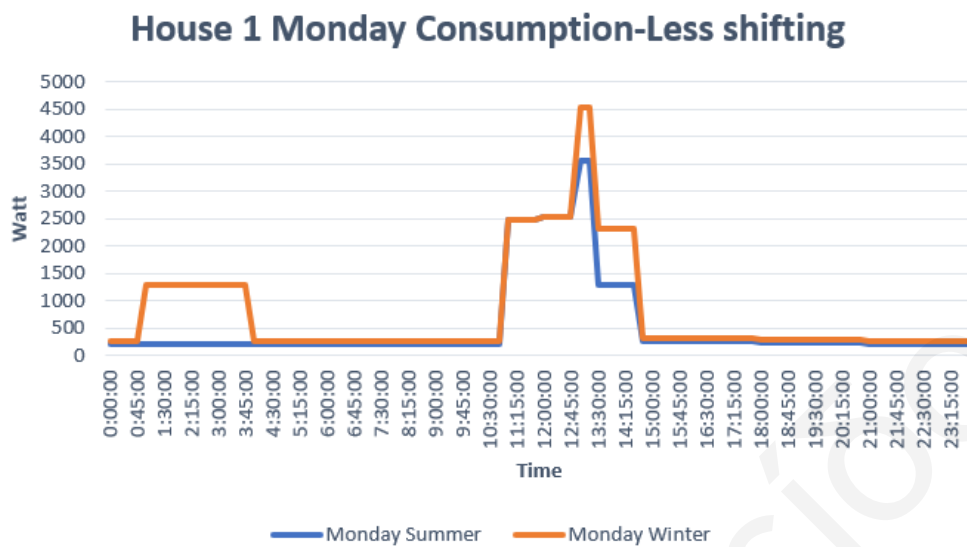
Πίνακας 11: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *Less Cost* για Δευτέρα- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
Πλυντήριο Πιάτων	15:30	18:00
H/Y	19:00	22:00

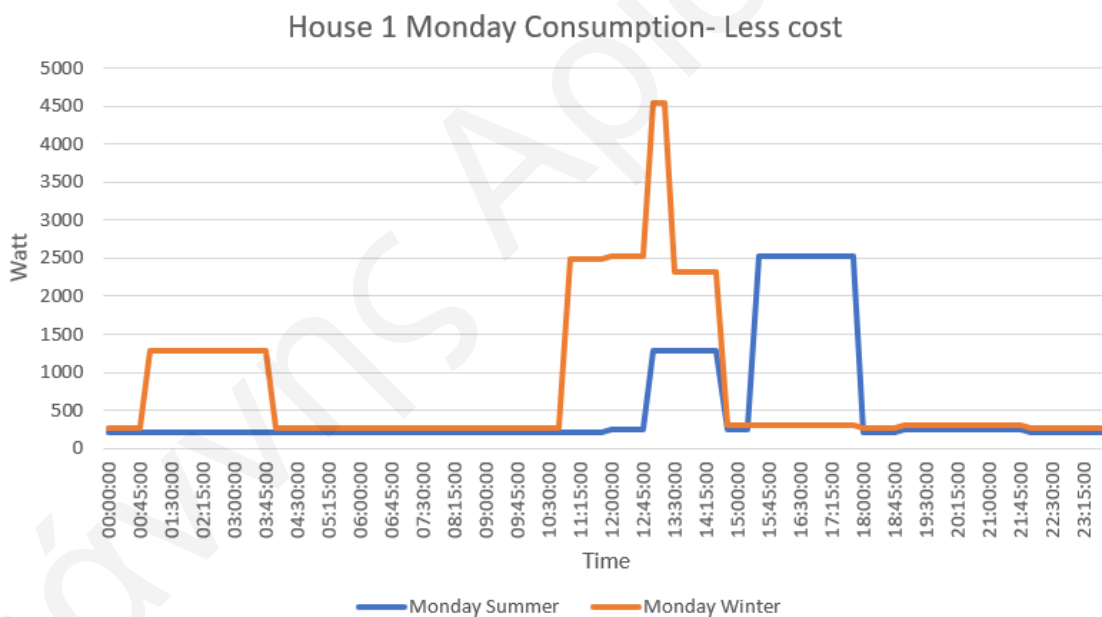
Πίνακας 12: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *Optimized* για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	11:00	13:30
Τηλεόραση	12:00	18:00
Στεγνωτήριο	13:00	14:45
H/Y	19:00	22:00

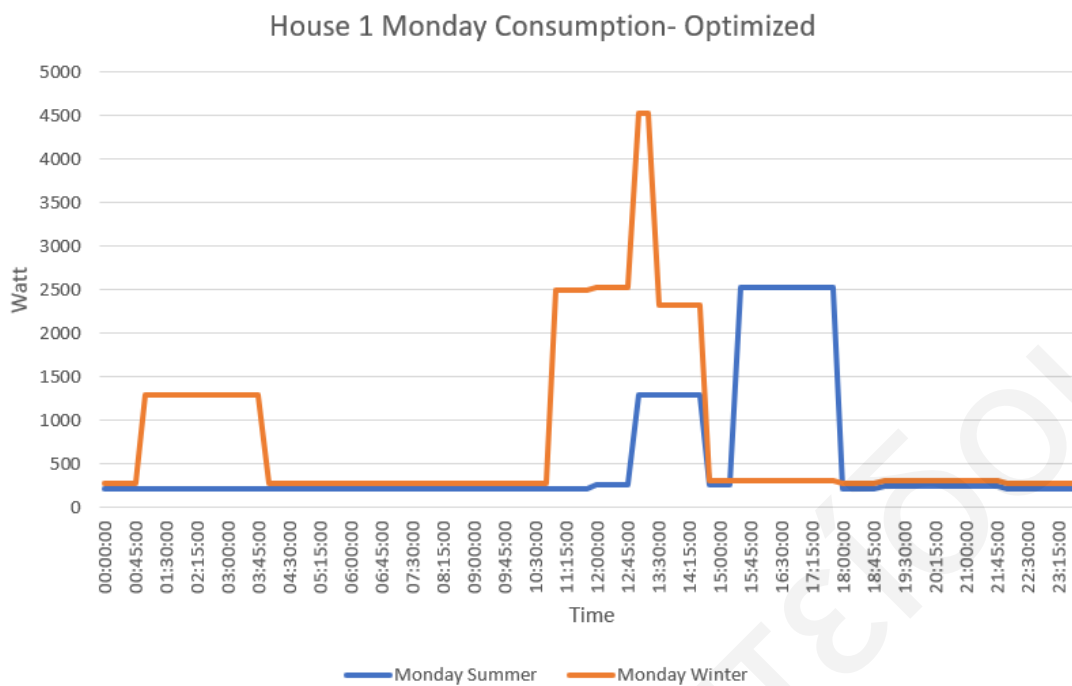
Πίνακας 13: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *Optimized* για Δευτέρα- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1



Εικόνα 21: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 1 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 22 : Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 1 με κριτήριο less cost



Εικόνα 23: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 1 με κριτήριο Optimized

Για το πλάνο της Δευτέρας ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματίσει τις συσκευές που αναφέρονται στο πλάνο με την ακόλουθη σειρά:

1. Τηλεόραση
2. Στεγνωτήριο
3. Υπολογιστής
4. Πλυντήριο πιάτων.

Βλέπουμε πως στο κριτήριο less shifting και στις δύο περιόδους καλοκαιριού και χειμώνα ο αλγόριθμος δημιούργησε το ίδιο πρόγραμμα όπου επιλέγεται το πρώτο χρονικό διάστημα που εξετάζει ο αλγόριθμος με ώρα έναρξης αυτή που δόθηκε στο πλάνο. Οπότε χωρίς περιορισμό οι συσκευές χρονοπρογραμματίζονται χωρίς να υποστούν οποιαδήποτε μετακίνηση στην ώρα έναρξης της λειτουργίας τους. Αντίθετα στα προγράμματα που δημιούργησε ο αλγόριθμος για τα κριτήρια less cost και optimized παρατηρούμε ότι η ώρα έναρξης του ηλεκτρονικού υπολογιστή μετακινείται από τις 18:00 στις 19:00 διότι βάση του μοντέλου τιμολόγησης του

Ontario από τις 19:00 και έπειτα είναι off peak περίοδος όπου η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλότερη.

Από την άλλη παρατηρείται διαφοροποίηση στην επιλογή του αλγορίθμου για τον χρονοπρογραμματισμό του πλυντηρίου πιάτων στις δύο περιόδους για τα κριτήρια less cost και optimized. Στην καλοκαιρινή περίοδο παρατηρούμε πως για τα 2 κριτήρια αυτά ο αλγόριθμος επέλεξε το χρονικό διάστημα 15:30 – 18:00. Ο λόγος είναι γιατί από τις 17:00 - 18:00 βρισκόμαστε σε mid peak περίοδο όπου η τιμή της κιλοβατώρας μειώνεται. Δεν ισχύει το ίδιο για τη χειμερινή περίοδο όπου επιλέχθηκε για τη λειτουργία του πλυντηρίου χρονικό διάστημα 11:00 – 13:30 που είναι ίδιο με την επιλογή του στο κριτήριο less shifting. Στη χειμερινή περίοδο από τις 11:00 - 17:00 βρισκόμαστε σε mid peak περίοδο. Οπότε δεν θα μπορούσε να επιλεγεί το ωράριο 15:30-18:00 γιατί στο χρονικό διάστημα 17:00-18:00 θα βρισκόμασταν σε on peak περίοδο. Ο αλγόριθμος από τις 11:00-17:00 θα μπορούσε να επιλέξει και άλλα χρονικά διαστήματα με ώρα έναρξης μετά τις 11:00 όμως επιλέχθηκε και στις 2 περιπτώσεις το χρονικό διάστημα με τη λιγότερη μετακίνηση. Τέλος από τις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας των συσκευών για το χειμώνα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το καλοκαίρι

### Ημέρα Τρίτη:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	11:00	105	1
Πλυντήριο Ρούχων	11:00	00:00	120	2
H/Y	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	240	1

Πίνακας 14: Πλάνο σπιτιού 1 για Τρίτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	11:00	13:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00

Πίνακας 15: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τρίτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	11:00	13:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00

Πίνακας 16: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τρίτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Πλυντήριο Ρούχων	19:00	21:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 17: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τρίτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1



Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Πλυντήριο Ρούχων	19:00	21:00
H/Y	19:00	22:00

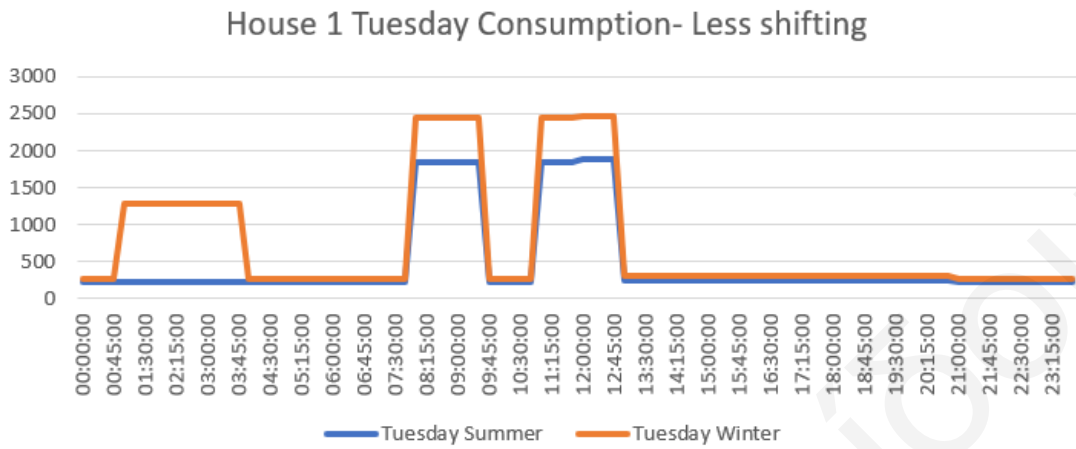
Πίνακας 18: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τρίτη-Χειμερινή Περίοδο- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00
Πλυντήριο Ρούχων	22:00	00:00

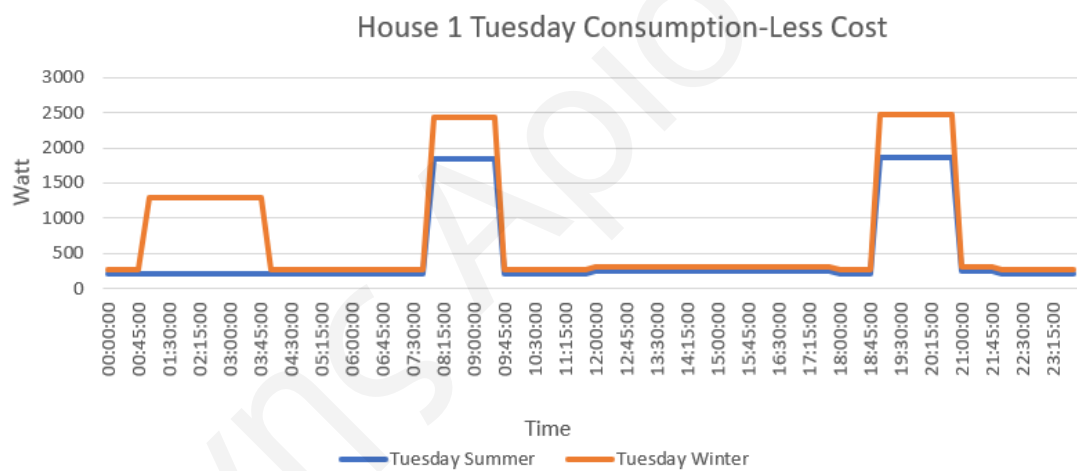
Πίνακας 19: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τρίτη- Καλοκαιρινή Περίοδο- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00
Πλυντήριο Ρούχων	22:00	00:00

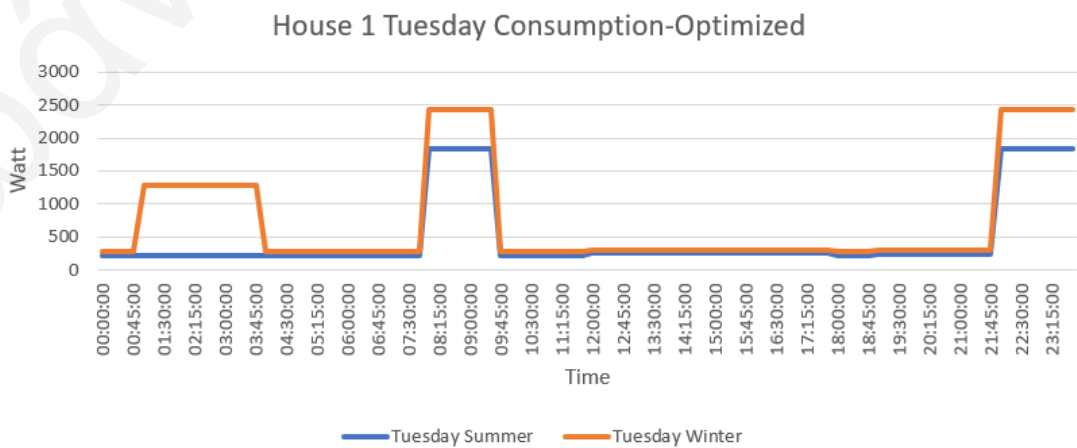
Πίνακας 20: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τρίτη-Χειμερινή Περίοδο- Σπίτι 1



Εικόνα 24: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 25: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 26: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *optimized*

Από τα προγράμματα και τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις κατανάλωσης ενέργειας για κάθε κριτήριο παρατηρούμε ότι η κάθε συσκευή χρονοπρογραμματίζεται στα ίδια χρονικά διαστήματα και για καλοκαίρι και για χειμώνα. Όπως και στο πλάνο της Δευτέρας η τηλεόραση χρονοπρογραμματείται πρώτη μεταξύ 12:00 – 18:00 και για τη χειμερινή περίοδο η ηλεκτρική θερμάστρα μεταξύ 01:00 – 04:00. Ομοίως και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής χρονοπρογραμματείται να δουλέψει και για τις 2 περιόδους 18:00-21:00 με το κριτήριο less shifting και 19:00-22:00 στα κριτήρια less cost, optimized.

Έχουμε 2 προγράμματα πλυντηρίου ρούχων, το ένα είναι από τις 08:00 μέχρι τις 11:00 για 1 ώρα και 45 λεπτά με προτεραιότητα 1. Σε όλες τις περιπτώσεις το πλυντήριο μπαίνει στο πρόγραμμα για να δουλέψει μεταξύ 08:00 – 09:45. Το δεύτερο πλυντήριο έχει προτεραιότητα 2 και ζητείται να δουλέψει για 2 ώρες από τις 12:00 το μεσημέρι μέχρι τις 12:00 το βράδυ. Η πιο σημαντική παρατήρηση για τα προγράμματα τις Τρίτης έχει να κάνει με τις 3 διαφορετικές επιλογές του αλγορίθμου για τα 3 κριτήρια στο προγραμματισμό λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων με προτεραιότητα 2. Στο κριτήριο less shifting και για τις 2 περιόδους το πλυντήριο χρονοπρογραμματείται να δουλέψει χωρίς περιορισμό μεταξύ 11:00 με 13:00. Στο κριτήριο less cost επιλέγεται το χρονικό διάστημα 19:00 – 21:00 που είναι το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα σε off peak περίοδο όπου το κόστος της κιλοβατώρας είναι το μικρότερο της ημέρας. Στο κριτήριο optimized επιλέγεται το χρονικό διάστημα μεταξύ 22:00 – 00:00 καθώς μεταξύ 19:00 – 22:00 επιλέχθηκε πρώτα να δουλέψει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η επιλογή αυτή οφείλεται στο ότι σε οποιοδήποτε τέταρτο που το πλυντήριο θα δουλεύει ταυτόχρονα με τον υπολογιστή η συνολική ζήτηση ενέργειας του υποστατικού θα είναι αυξημένη ενώ από τις 22:00 και μετά ο υπολογιστής σταματά τη λειτουργία του.

Επιπλέον μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι εάν η επιλογή ώρας λήξης του πλυντηρίου ήταν στις 18:00 αντί στις 00:00 ο αλγόριθμος θα επέλεγε στην καλοκαιρινή περίοδο για το κριτήριο less cost το χρονικό διάστημα 16:00 – 18:00 καθώς από τις 17:00 και μετά είμαστε σε περίοδο mid peak ενώ για τον ίδιο λόγο στη χειμερινή περίοδο θα επέλεγε το χρονικό διάστημα 11:00 – 13:00 αφού μετά τις 17:00 βρισκόμαστε σε on peak περίοδο. Τα ίδια χρονικά διαστήματα

αντίστοιχα θα επέλεγε και στο κριτήριο optimized με τη διαφορά ότι η επιλογή του χρονικού διαστήματος στην καλοκαιρινή περίοδο θα ήταν λόγω κόστους κατανάλωσης ενώ στη χειμερινή περίοδο θα λαμβάνονταν υπόψη και η λιγότερη μετακίνηση της ώρας έναρξης της συσκευής μιας και θα υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα χρονικά διαστήματα με το ίδιο κόστος κατανάλωσης.

#### Ημέρα Τετάρτη:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στεγνωτήριο	12:00	17:00	105	1
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	13:00	120	1
Η/Υ	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	11:00	150	1
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	180	1

Πίνακας 21: Πλάνο σπιτιού 1 για Τετάρτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 22: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο less shifting για Τετάρτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 23: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τετάρτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	19:00	22:00

Πίνακας 24: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τετάρτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

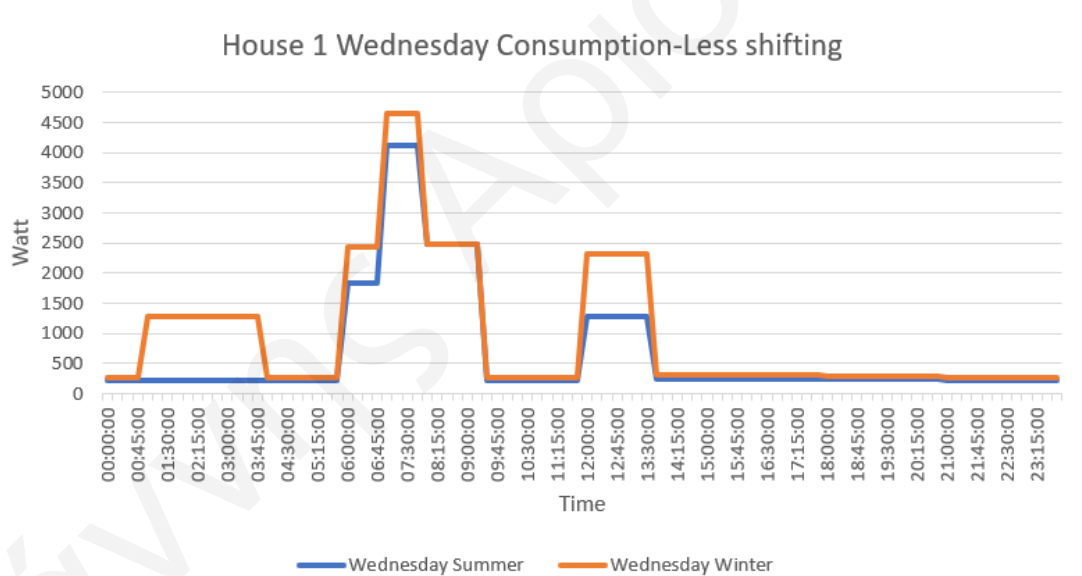
Πίνακας 25: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τετάρτη-Χειμερινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

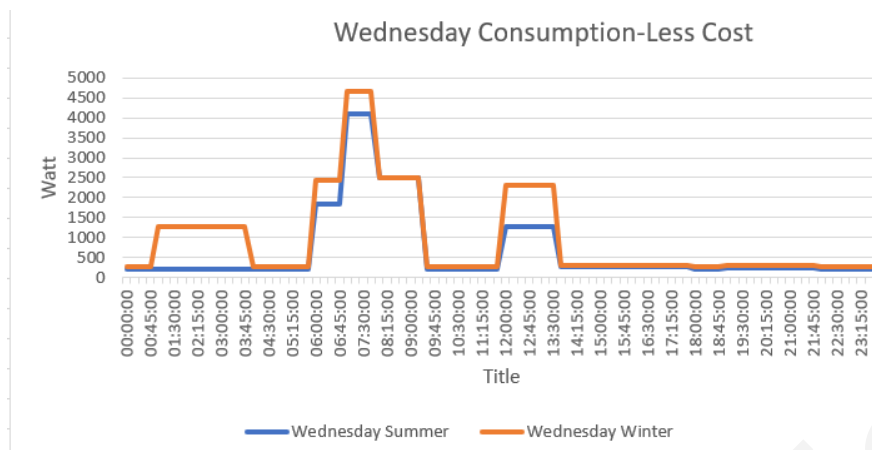
Πίνακας 26: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τετάρτη- Καλοκαιρινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:00	09:30
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	19:00	22:00

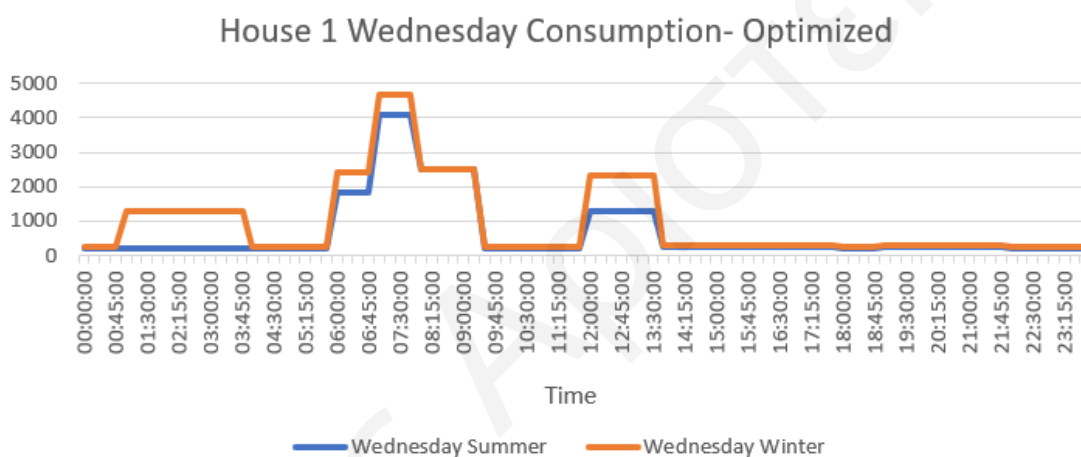
Πίνακας 27: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τετάρτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1



Εικόνα 27: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 28: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 1 με κριτήριο less cost



Εικόνα 29: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 1 με κριτήριο optimized

Σύμφωνα με το πλάνο της Τετάρτης ο αλγόριθμος δημιούργησε τα ίδια προγράμματα για τη λειτουργία των συσκευών για το κάθε κριτήριο και για τις 2 περιόδους. Διαφέρουν μόνο στο χρονοπρογραμματισμό του ηλεκτρονικού υπολογιστή και της ηλεκτρικής θερμάστρας για τους λόγους που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Το πλυντήριο πιάτων προγραμματίστηκε χωρίς περιορισμούς μεταξύ 07:00-09:30, όπως και το πλυντήριο ρούχων μεταξύ 06:00 – 08:00. Από τις γραφικές βλέπουμε πως υπάρχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας κοντά στα 4500 Watt μεταξύ 07:00 – 08:00 όπου και οι 2 συσκευές εκείνη την ώρα θα δουλεύουν ταυτόχρονα καθώς δεν παραβιάζεται το όριο ασφαλείας υποστατικού το οποίο τέθηκε στα 6000 Watt. Αν ήταν γύρω στις 4000 Watt θα παρατηρούσαμε μετακίνηση λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων. Το



πληντύριο πιάτων επειδή έχει μεγάλη διάρκεια λειτουργίας και λιγότερα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα χρονοπρογραμματίζεται πριν το πληντύριο ρούχων.

Τέλος το στεγνωτήριο θα προγραμματιστεί για όλες τις περιπτώσεις μεταξύ 12:00 – 13:45 καθώς το χρονικό διάστημα που δόθηκε μεταξύ 12:00 – 17:00 αναγκάζει τον αλγόριθμο να επιλέξει το χρονικό διάστημα με τη λιγότερη μετακίνηση καθώς όλα τα πιθανά χρονικά διαστήματα έχουν το ίδιο κόστος κατανάλωσης με τη λειτουργία του στεγνωτηρίου και δεν παραβιάζουν το όριο ασφαλείας υποστατικού.

### Ημέρα Πέμπτη:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στεγνωτήριο	12:00	17:00	105	2
Πλυντήριο Ρούχων	08:30	13:00	105	1
Πλυντήριο Ρούχων	13:00	16:45	105	2
Πλυντήριο Πιάτων	07:15	11:00	150	1
H/Y	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	180	1

Πίνακας 28: Πλάνο σπιτιού 1 για Πέμπτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	07:15	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	08:30	10:15
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00

<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>13:00</b>	<b>14:45</b>
<b>H/Y</b>	<b>18:00</b>	<b>21:00</b>

Πίνακας 29: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

<b>Όνομα Συσκευής</b>	<b>Ωρα έναρξης</b>	<b>Ωρα λήξης</b>
<b>Ηλεκτρική Θερμάστρα</b>	<b>01:00</b>	<b>04:00</b>
<b>Πλυντήριο Πιάτων</b>	<b>07:15</b>	<b>09:45</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>08:30</b>	<b>10:15</b>
<b>Στεγνωτήριο</b>	<b>12:00</b>	<b>13:45</b>
<b>Τηλεόραση</b>	<b>12:00</b>	<b>18:00</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>13:00</b>	<b>14:45</b>
<b>H/Y</b>	<b>18:00</b>	<b>21:00</b>

Πίνακας 30: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Πέμπτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

<b>Όνομα Συσκευής</b>	<b>Ωρα έναρξης</b>	<b>Ωρα λήξης</b>
<b>Πλυντήριο Πιάτων</b>	<b>07:15</b>	<b>09:45</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>08:30</b>	<b>10:15</b>
<b>Στεγνωτήριο</b>	<b>12:00</b>	<b>13:45</b>
<b>Τηλεόραση</b>	<b>12:00</b>	<b>18:00</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>13:00</b>	<b>14:45</b>
<b>H/Y</b>	<b>19:00</b>	<b>22:00</b>

Πίνακας 31: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:15	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	08:30	10:15
Στεγνωτήριο	12:00	13:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Πλυντήριο Ρούχων	13:00	14:45
Η/Υ	19:00	22:00

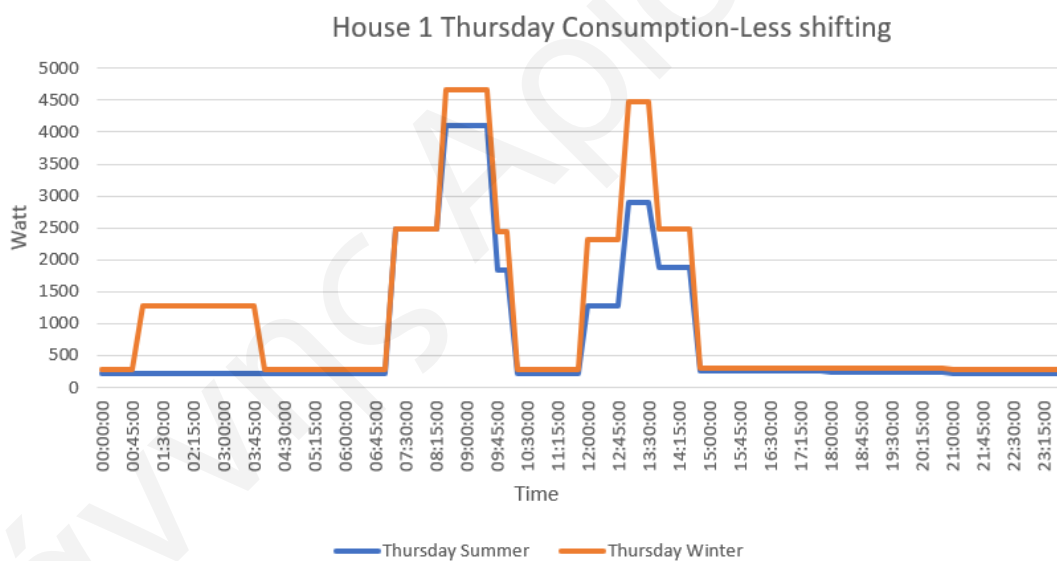
Πίνακας 32: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Πέμπτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	07:15	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	08:30	10:15
Τηλεόραση	12:00	18:00
Πλυντήριο Ρούχων	13:00	14:45
Στεγνωτήριο	14:45	16:30
Η/Υ	19:00	22:00

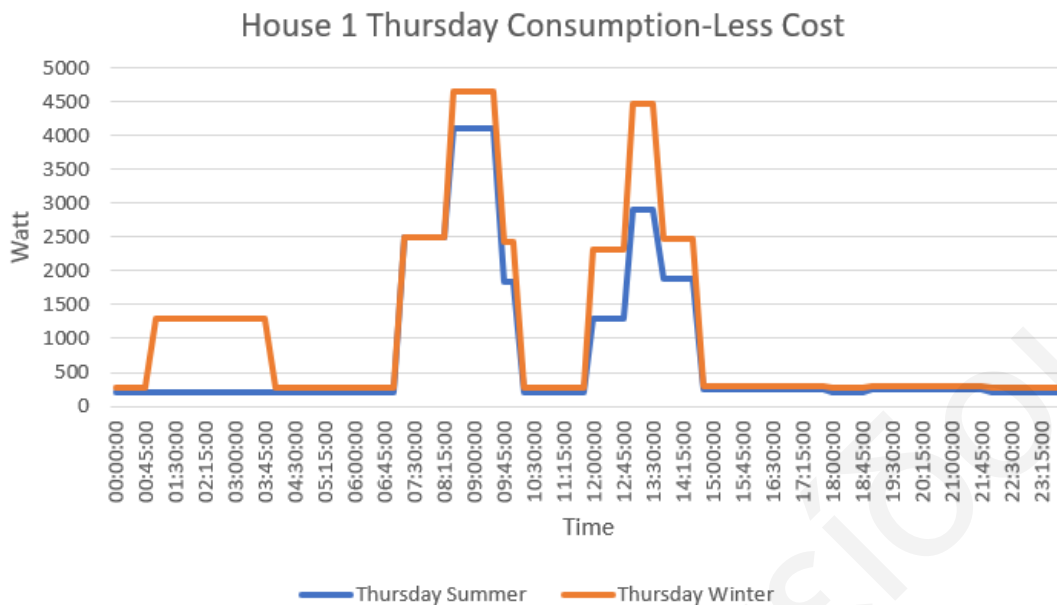
Πίνακας 33: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	07:15	09:45
Πλυντήριο Ρούχων	08:30	10:15
Τηλεόραση	12:00	18:00
Πλυντήριο Ρούχων	13:00	14:45
Στεγνωτήριο	14:45	16:30
Η/Υ	19:00	22:00

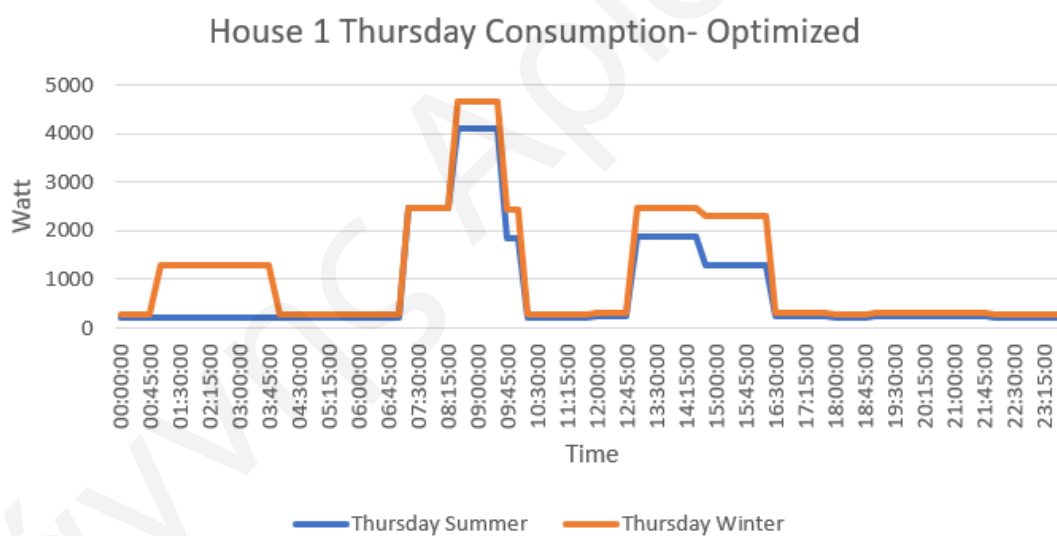
Πίνακας 34: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Πέμπτη-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1



Εικόνα 30: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 31: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 32: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 1 με κριτήριο *optimized*

Όσο αφορά το πλάνο της Πέμπτης η πιο σημαντική παρατήρηση έχει να κάνει με τον χρονοπρογραμματισμό του πλυντηρίου ρούχων ( με προτεραιότητα 2) και του στεγνωτηρίου. Στο κριτήριο *less shifting* και για τις 2 περιόδους οι 2 συσκευές χρονοπρογραμματούνται χωρίς περιορισμούς στα πρώτα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα. Το πλυντήριο ρούχων μεταξύ 13:00 – 14:45 και το στεγνωτήριο μεταξύ 12:00 – 13:45. Ομοίως και στο κριτήριο *less cost* επιλέγεται

το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα καθώς και στις 2 συσκευές το χρονικό διάστημα μεταξύ έναρξης και λήξης που δόθηκε δεν δίνει τη δυνατότητα στον αλγόριθμο να ψάξει για χρονικό διάστημα λειτουργίας με λιγότερο κόστος. Από τη μια στην καλοκαιρινή περίοδο μεταξύ 12:00 – 17:00 βρισκόμαστε σε on peak περίοδο και από την άλλη στη χειμερινή περίοδο βρισκόμαστε σε mid peak περίοδο. Στο optimized κριτήριο επειδή λαμβάνεται υπόψη η συνολική κατανάλωση ανά τέταρτο ο αλγόριθμος επιλέγει να τοποθετήσει το πλυντήριο να δουλέψει μεταξύ 13:00 – 14:45 και το στεγνωτήριο 14:45 – 16:30. Έτσι, η ζήτηση ενέργειας μεταξύ 12:45 – 13:30, όπως φαίνεται στις σχετικές γραφικές παραστάσεις πιο πάνω μειώνεται περίπου στα 2500 Watt ανά τέταρτο από τα περίπου 4500 Watt ανά τέταρτο που είναι στα κριτήρια less cost και less shifting όπου οι 2 συσκευές για εκείνο το χρονικό διάστημα δουλεύουν ταυτόχρονα.

Σε ότι αφορά το πλυντήριο ρούχων και το πλυντήριο πιάτων που ορίστηκαν σε πρωινές ώρες, 07:15 – 09:45 και 08:30 – 10:15 αντιστοίχως, δεν μπορεί να γίνει διαχείριση με στόχο τη μείωση ζήτησης ενέργειας καθώς έχουν και οι 2 συσκευές προτεραιότητα 1. Πράγμα που σημαίνει ότι η ανάθεση γίνεται με τη λιγότερη δυνατή μετακίνηση συσκευής χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και κόστος κατανάλωσης.

Εάν το στεγνωτήριο είχε σαν χρονικό διάστημα λειτουργίας μέχρι τις 18:00 αντί μέχρι τις 17:00 τότε ο αλγόριθμος στο κριτήριο less cost για την καλοκαιρινή περίοδο θα το τοποθετούσε να δουλέψει μεταξύ 16:15 – 18:00 καθώς από τις 17:00 μέχρι τις 18:00 βρισκόμαστε σε περίοδο mid peak όπου το κόστος της κιλοβατώρας μειώνεται. Το ίδιο χρονικό διάστημα θα επέλεγε και με το optimized κριτήριο για λόγους κόστους. Αν όμως στο optimized κριτήριο λάμβανε υπόψη πρώτα τη μετακίνηση και μετά το κόστος θα επέλεγε το χρονικό διάστημα μεταξύ 14:45-16:30. Δεν θα έλεγχε το κόστος κατανάλωσης γιατί η συνολική μετακίνηση ανά τέταρτο σε κάθε διαθέσιμο χρονικό διάστημα που θα επέλεγε ο αλγόριθμος είναι διαφορετική.

**Ημέρα Παρασκευή:**

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
H/Y	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	180	1

Πίνακας 35: Πλάνο σπιτιού 1 για Παρασκευή

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00

Πίνακας 36 : Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Παρασκευή- Καλοκαιρινή Περίοδος – Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00

Πίνακας 37: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Παρασκευή-Χειμερινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 38: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Παρασκευή - Καλοκαιρινή Περίοδος– Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 39: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Παρασκευή-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

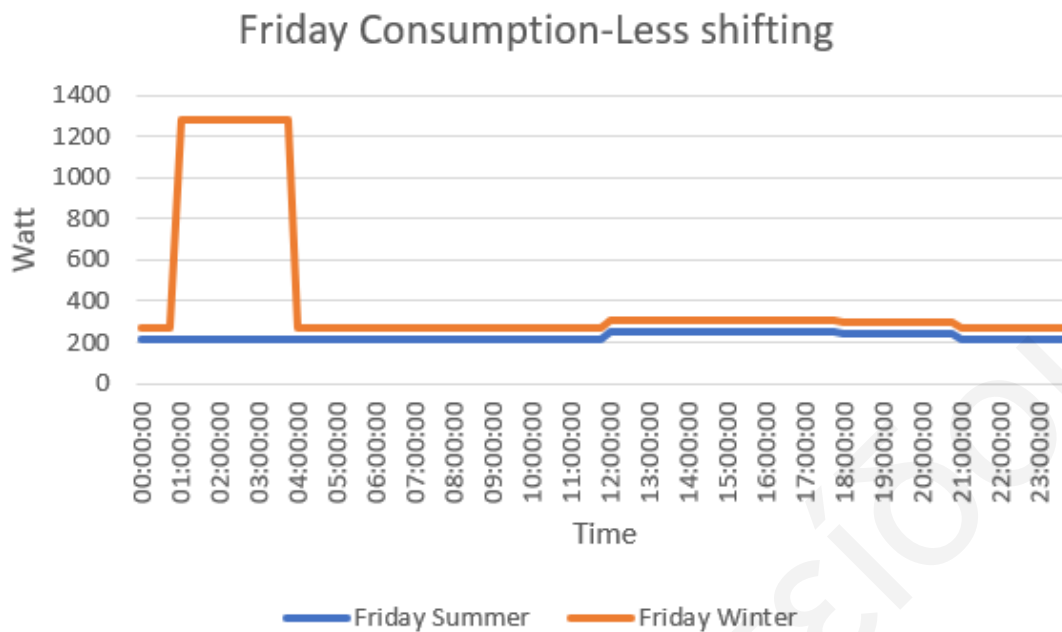
Όνομα Συσκευής	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 40: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Παρασκευή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

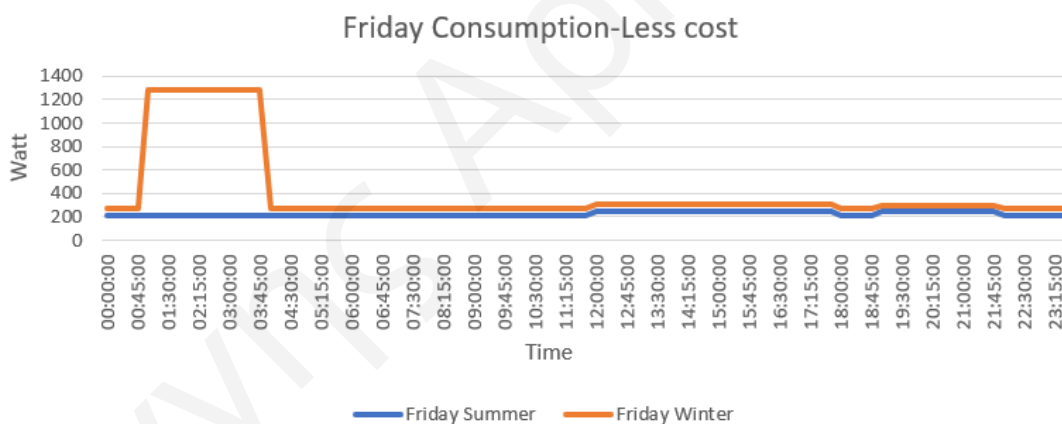
Όνομα Συσκευής	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 41: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Παρασκευή-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

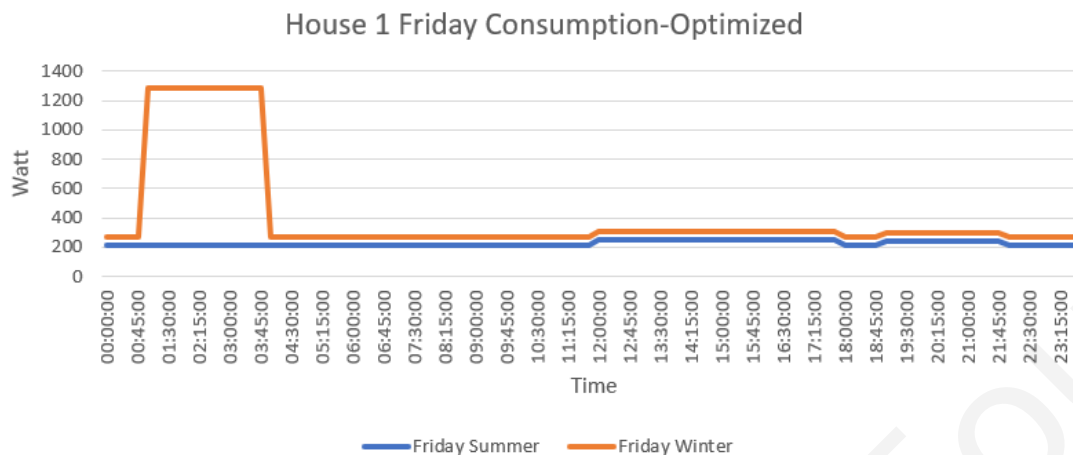




Εικόνα 33: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 1 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 34: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 1 με κριτήριο less cost



Εικόνα 35: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 1 με κριτήριο optimized

Δεν υπήρχαν συσκευές βάση των ενεργειακών δεδομένων να λειτουργούν την Παρασκευή πέραν του υπολογιστή και της τηλεόρασης και της ηλεκτρικής θερμάστρας στην χειμερινή περίοδο. Όπως και τις προηγούμενες μέρες η τηλεόραση προγραμματίζεται πρώτη για 6 ώρες από 12:00 – 18:00 και μετά ο υπολογιστής 18:00 – 21:00 για το κριτήριο less shifting και 19:00 – 22:00 για το κριτήριο optimized. Αν ο υπολογιστής είχε ως ώρα έναρξης πριν τις 18:00 στο κριτήριο less cost θα υπήρχε μετακίνηση λειτουργίας της συσκευής καθώς θα επέλεγε και πάλι το χρονικό διάστημα 19:00 – 22:00 λόγω κόστους κατανάλωσης. Στο κριτήριο optimized θα μπορούσε να επιλέξει χρονικό διάστημα όπου ο υπολογιστής θα δουλεύει ταυτόχρονα με την τηλεόραση μιας και η συνολική κατανάλωση ενέργειας των 2 συσκευών δεν επηρεάζει το όριο ασφαλείας υποστατικού.

### Σαββατοκύριακο:

Για το Σαββατοκύριακο οι τιμές της κιλοβατώρας είναι σταθερές σε κάθε χρονική περίοδο της ημέρας. Οποιοδήποτε πλάνο δοθεί, η ανάθεση των συσκευών στα χρονικά διαστήματα θα γίνει χωρίς περιορισμούς μόνο αν δεν παραβιάζεται το όριο ασφαλείας του υποστατικού. Η μόνη περίπτωση που ενδεχομένως να υπάρχει μετακίνηση ώρας έναρξης συσκευής είναι με το κριτήριο optimized όπου πρώτα θα λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε κάποιο τέταρτο ενός πιθανού χρονικού διαστήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται

τα σχετικά πλάνα για Σάββατο και Κυριακή, τα σχετικά προγράμματα που δημιούργησε ο αλγόριθμος για κάθε κριτήριο και ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Η/Υ	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	12:00	45	2
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	180	1

Πίνακας 42: Πλάνο σπιτιού 1 για Σάββατο

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 43: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Σάββατο- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 44: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Σάββατο-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

Πίνακας 45: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Σάββατο - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

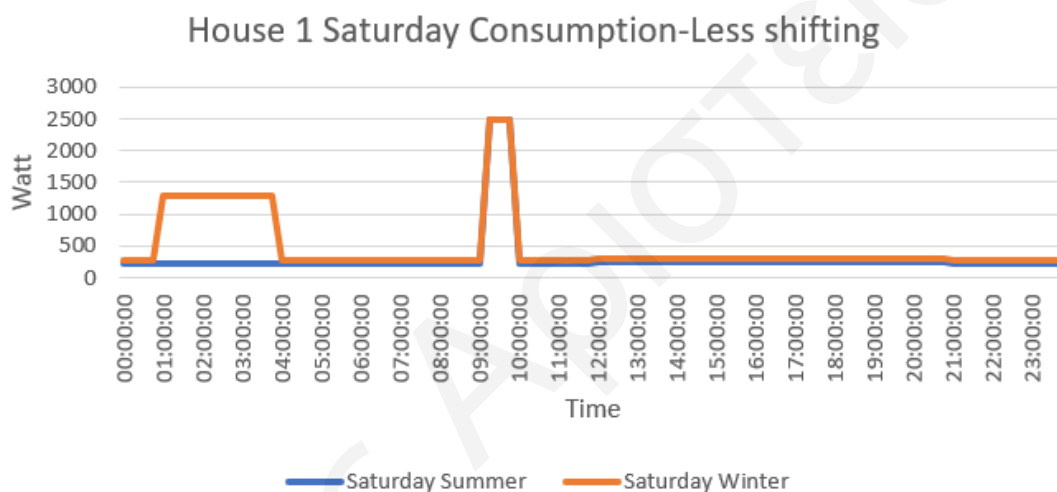
Πίνακας 46: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Σάββατο-Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

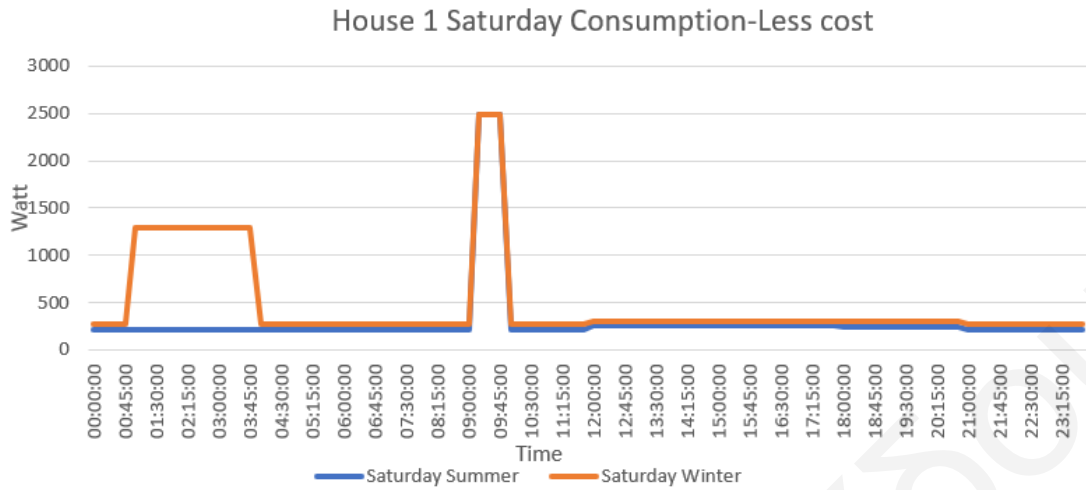
Πίνακας 47: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Σάββατο - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Πιάτων	09:15	10:00
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	19:00	22:00

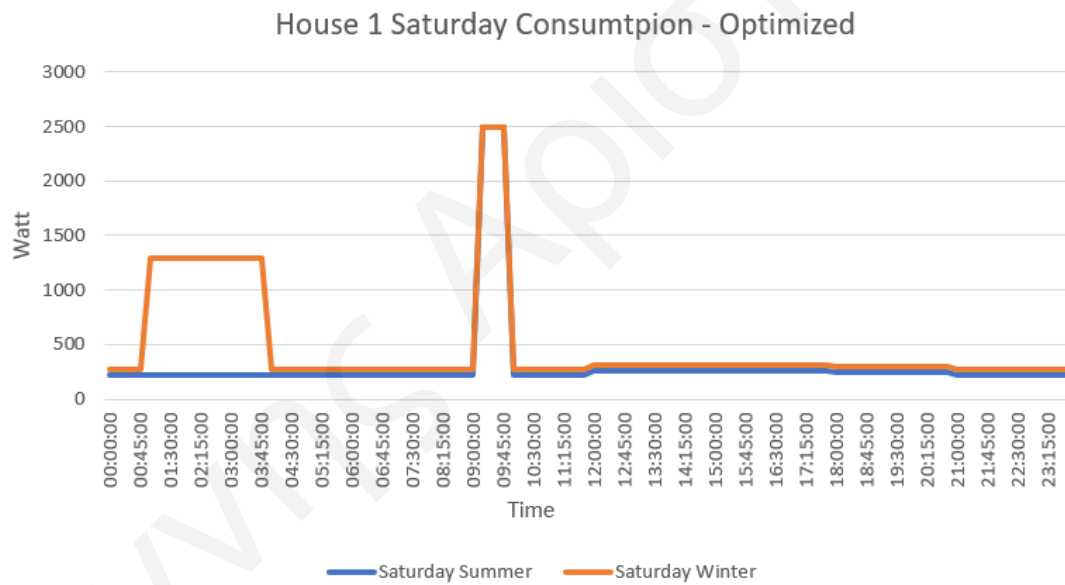
Πίνακας 48: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Σάββατο-Χειμερινή Περίοδο- Σπίτι 1



Εικόνα 36: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα του Σαββάτου του σπιτιού 1 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 37: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα του Σαββάτου του σπιτιού 1 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 38: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα του Σαββάτου του σπιτιού 1 με κριτήριο *optimized*

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Η/Υ	18:00	00:00	180	2
Τηλεόραση	12:00	18:00	360	1
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15	180	1
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	13:30	150	2
Στεγνωτήριο	08:00	00:00	105	2
Ηλεκτρική Θερμάστρα*	01:00	04:00	180	1

Πίνακας 49: Πλάνο σπιτιού 1 για Κυριακή

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	10:30
Στεγνωτήριο	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 50: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Κυριακή- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	10:30
Στεγνωτήριο	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 51: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Κυριακή -Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	10:30
Στεγνωτήριο	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
Η/Υ	18:00	21:00

Πίνακας 52: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Κυριακή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1



Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	10:30
Στεγνωτήριο	08:00	09:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00

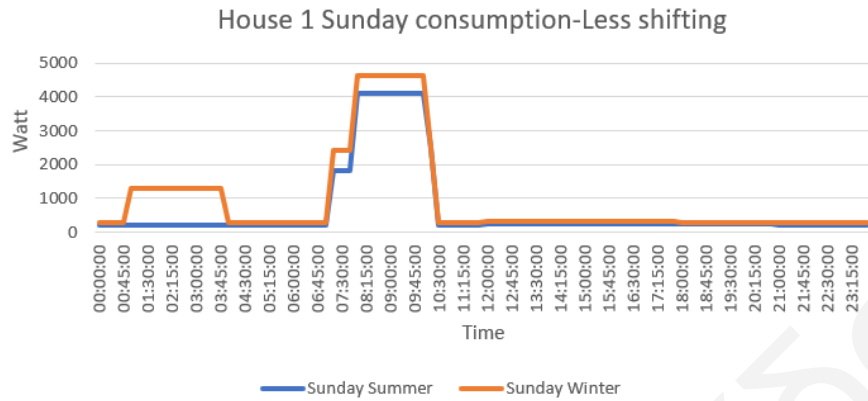
Πίνακας 53: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Κυριακή -Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	10:15	12:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00
Στεγνωτήριο	21:00	22:45

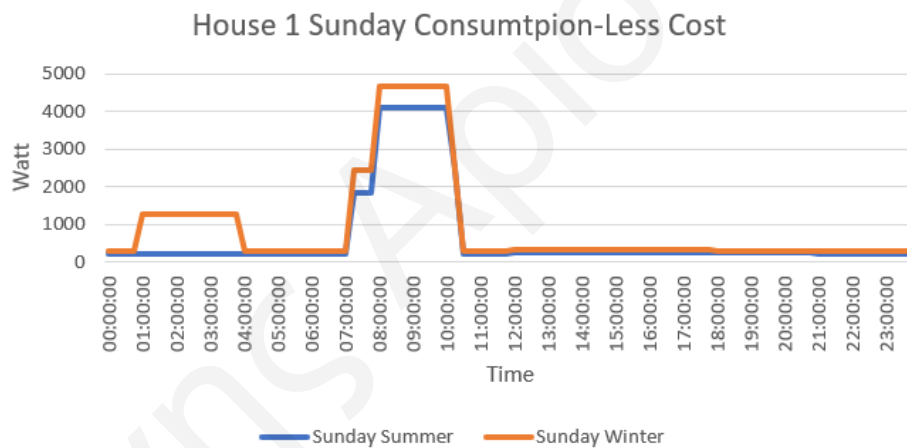
Πίνακας 54: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Κυριακή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 1

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Ηλεκτρική Θερμάστρα	01:00	04:00
Πλυντήριο Ρούχων	07:15	10:15
Πλυντήριο Πιάτων	10:15	12:45
Τηλεόραση	12:00	18:00
H/Y	18:00	21:00
Στεγνωτήριο	21:00	22:45

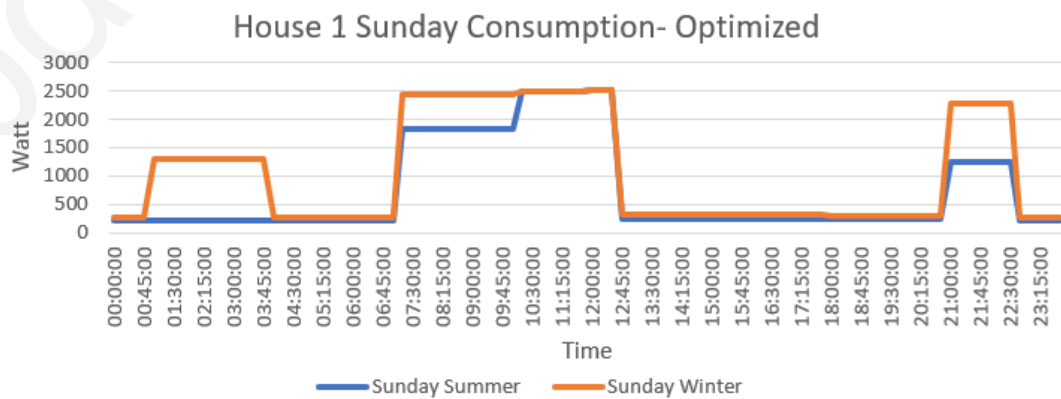
Πίνακας 55: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Κυριακή -Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 1



Εικόνα 39: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 1 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 40: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 1 με κριτήριο less cost



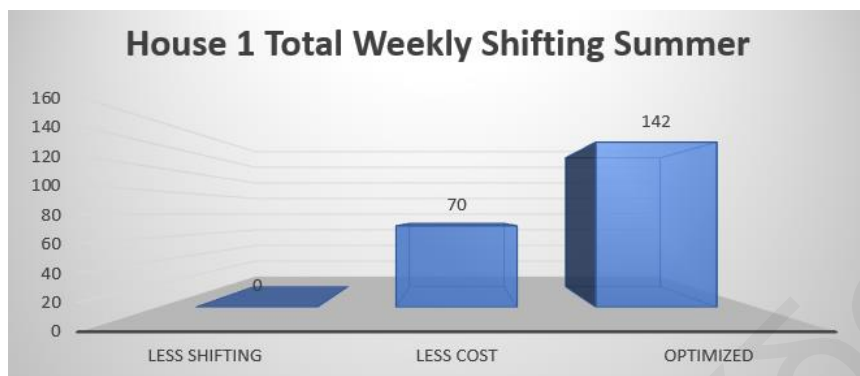
Εικόνα 41: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 1 με κριτήριο optimized

Ως γνωστό το σαββατοκύριακο σύμφωνα με το μοντέλο του Ontario η τιμή της κιλοβατώρας είναι σταθερή για όλο το 24ωρο και είναι ίση με την off peak τιμή της περιόδου. Έτσι ο αλγόριθμος στις πλείστες των περιπτώσεων θα επιλέγει πάντοτε το πρώτο διαθέσιμο χρονικό διάστημα ανεξαρτήτως κριτηρίου. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε από τα προγράμματα του Σαββάτου όπου η τηλεόραση, το πλυντήριο πιάτων και ο υπολογιστής για όλα τα κριτήρια και στις 2 περιόδους τοποθετήθηκαν στα ίδια χρονικά διαστήματα. Η τηλεόραση προγραμματίζεται πρώτη 12:00 με 18:00, το πλυντήριο πιάτων 09:15 με 10:00μ και ο υπολογιστής 18:00 με 21:00

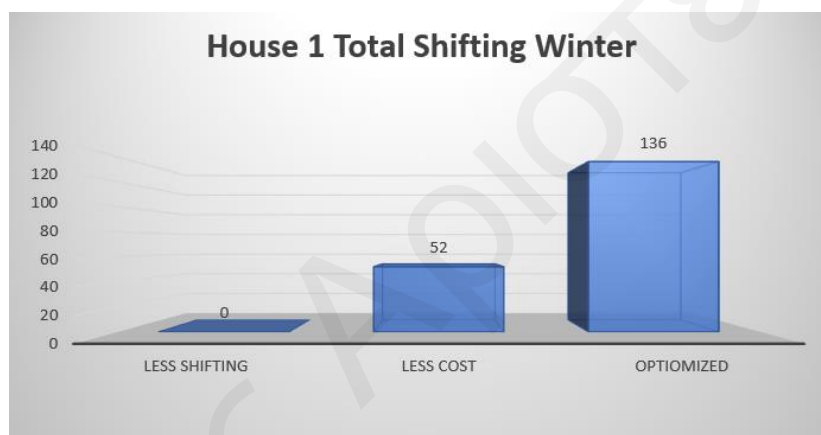
Το ίδιο ισχύει και στα προγράμματα της Κυριακής όπου η τηλεόραση, ο υπολογιστής, το πλυντήριο ρούχων, το πλυντήριο πιάτων και το στεγνωτήριο για τα κριτήρια less cost και less shifting τοποθετούνται στα ίδια χρονικά διαστήματα και στις 2 περιόδους. Η τηλεόραση τοποθετείται πρώτη μεταξύ 12:00 και 18:00 όπως και στις άλλες μέρες, ο υπολογιστής όπως και το Σάββατο 18:00 με 21:00, το πλυντήριο ρούχων 07:15-10:15, το πλυντήριο πιάτων 08:00-10:30 και το στεγνωτήριο 08:00 - 09:45. Από τις γραφικές παραστάσεις των κριτηρίων less shifting και less cost βλέπουμε πως η κατανάλωση ενέργειας μεταξύ 08:00 και 09:45 είναι αισθητά αυξημένη κυρίως στη χειμωνιάτικη περίοδο καθώς το πλυντήριο πιάτων, το πλυντήριο ρούχων και το στεγνωτήριο δουλεύουν ταυτόχρονα.

Υπάρχει διαφοροποίηση στο πρόγραμμα μόνο στο κριτήριο optimized όπου η ώρα έναρξης της λειτουργίας του πλυντηρίου πιάτων και του στεγνωτηρίου αλλάζει. Το πλυντήριο πιάτων μετακινείται για να δουλέψει από τις 10:15 και μετά, όταν τελειώνει το πλυντήριο ρούχων. Το στεγνωτήριο είναι η τελευταία συσκευή που χρονοπρογραμματίζεται λόγω του μεγάλου διαστήματος μεταξύ ώρας έναρξης και λήξης που σημαίνει έχει περισσότερα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα. Ο αλγόριθμος θα επιλέξει το χρονικό διάστημα 21:00 – 22:45. Αυτό συμβαίνει διότι από τις 08:00 μέχρι τις 21:00 υπάρχει τουλάχιστο μια συσκευή που λειτουργεί σε κάθε τέταρτο. Έτσι επιλέγει το χρονικό διάστημα 21:00 με 22:45 που είναι το πρώτο διαθέσιμο που έχει τη λιγότερη μέγιστη κατανάλωση, ελάχιστο κόστος κατανάλωσης και τη λιγότερη μετακίνηση.

### 5.1.2 Σύγκριση συνολικού εβδομαδιαίου κόστους κατανάλωσης και συνολικής μετακίνησης λειτουργίας των συσκευών σπιτιού 1



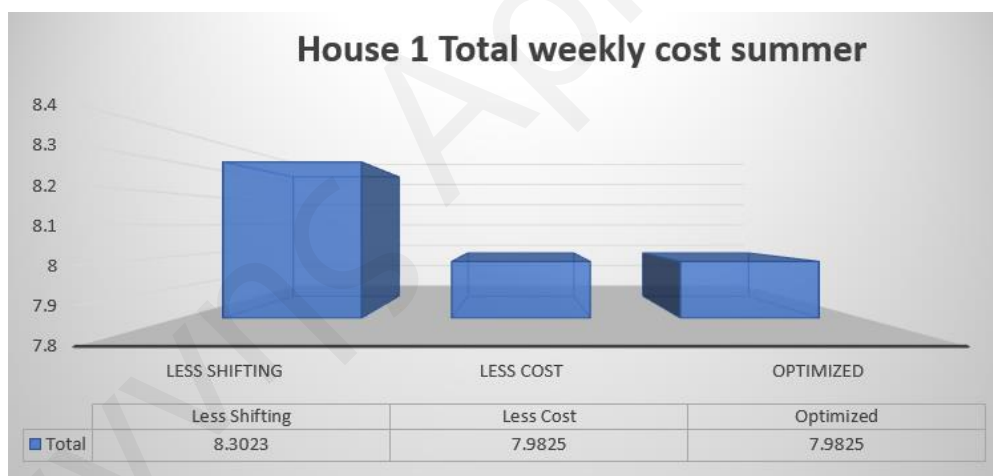
Εικόνα 42: Συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών σπιτιού 1 – Καλοκαιρινή Περίοδος



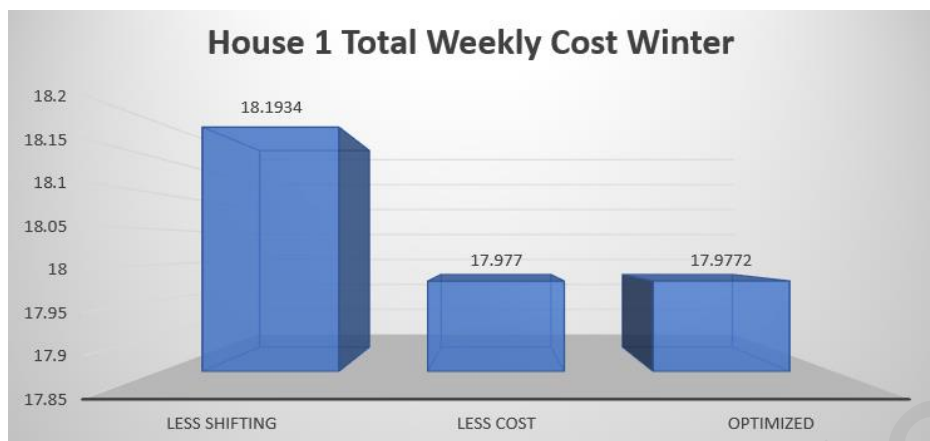
Εικόνα 43: Συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών σπιτιού 1 – Χειμωνιάτικη Περίοδος

Οι 2 πιο πάνω γραφικές δείχνουν το συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών σε τέταρτα της ώρας. Βλέπουμε ότι και στις 2 περιόδους στο κριτήριο less shifting δεν παρατηρείται μετακίνηση χρόνου έναρξης της συσκευής. Αυτό οφείλεται στο ότι το όριο ασφαλείας υποστατικού τέθηκε στα 6000 Watt το οποίο είναι αρκετά ψηλό με βάση τη μέση κατανάλωση των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν και δεν παραβιάστηκε σε καμιά περίπτωση. Από την άλλη αρκετά ψηλό είναι το κόστος μετακίνησης συσκευών στα κριτήρια less cost και optimized. Ιδιαίτερα στο optimized κριτήριο διότι η περισσότερη μετακίνηση λειτουργίας των συσκευών γίνεται κυρίως λόγω της συνολικής κατανάλωσης που παρατηρούνται στα τέταρτα

της ημέρας. Στις πλείστες περιπτώσεις ο αλγόριθμος προσπαθεί να διατηρήσει τη συνολική κατανάλωση σε χαμηλά επίπεδα επιλέγοντας το χρονικό διάστημα που το κάθε τέταρτο του επηρεάζει λιγότερο τη συνολική κατανάλωση του. Τέλος για το κριτήριο less cost, το συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών στην καλοκαιρινή περίοδο είναι περισσότερο από το αντίστοιχο κόστος κατανάλωσης στη χειμερινή περίοδο. Αυτό συμβαίνει διότι πολλές συσκευές μετακινήθηκαν ώστε να δουλέψουν μέσα στη χρονική περίοδο 17:00 – 19:00 που για την καλοκαιρινή περίοδο θεωρείται περίοδος μεσαίας ζήτησης (mid peak) και το κόστος της κίλοβατώρας είναι μειωμένο. Αντίθετα στην χειμερινή περίοδο η αντίστοιχη περίοδος θεωρείται περίοδος αυξημένης ζήτησης και το κόστος κίλοβατώρας είναι υψηλό. Στην περίπτωση αυτή ο αλγόριθμος επέλεγε να χρονοπρογραμματίσει τις συσκευές κοντά στις μεσημβρινές ώρες με αποτέλεσμα η μετακίνηση λειτουργίας των συσκευών να είναι λιγότερη.



Εικόνα 44: Συνολικό κόστος κατανάλωσης συσκευών σπιτιού 1 – Καλοκαιρινή Περίοδος



Εικόνα 45: Συνολικό κόστος κατανάλωσης συσκευών σπιτιού 1 – Χειμερινή Περίοδος

Σε ότι αφορά το συνολικό κόστος κατανάλωσης της εβδομάδας βλέπουμε αρχικά πως το κόστος κατανάλωσης για τη χειμερινή περίοδο είναι λίγο πιο πάνω από το διπλάσιο κόστος του καλοκαιριού. Αυτό συμβαίνει διότι βάση των ενεργειακών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, η μέση κατανάλωση των συσκευών του υποστατικού ήταν αυξημένη το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι. Πέραν τούτου παρατηρούμε ότι το κριτήριο less shifting έχει το μεγαλύτερο κόστος κατανάλωσης και στις 2 περιόδους καθώς ο αλγόριθμος επιλέγει πάντοτε το χρονικό διάστημα με το λιγότερο κόστος μετακίνησης και δεν λαμβάνει υπόψη του το κόστος κατανάλωσης.

## 5.2 Αποτελέσματα σεναρίου σπιτιού 2

Όπως και στο πρώτο σπίτι έτσι και στο δεύτερο θα παρουσιαστεί αρχικά για κάθε μέρα το πλάνο χρήσης συσκευών. Από το πλάνο εξαιρείται το ψυγείο - θάλαμος ο οποίος δουλεύει συνεχώς. Η τηλεόραση θα έχει πάντοτε προτεραιότητα 1 και οι ώρες λειτουργίας θα είναι σταθερές θεωρώντας πως τα μέλη του νοικοκυριού επιθυμούν να παρακολουθήσουν τηλεόραση σε συγκεκριμένη περίοδο της ημέρας. Για ευκολία χειρισμού των υπόλοιπων συσκευών θα θεωρήσουμε πως ο βραστήρας θα χρησιμοποιείται πάντα για 15 λεπτά κάθε φορά που χρονοπρογραμματίζεται.

Ακολουθούν, για κάθε μέρα, τα προγράμματα που δημιούργησε ο αλγόριθμος για κάθε κριτήριο και για τις 2 περιόδους και στη συνέχεια ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις ημερήσιας κατανάλωσης συγκριτικά για κάθε κριτήριο και για τις 2 περιόδους. Τέλος ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

### 5.2.1 Εβδομαδιαία προγράμματα λειτουργίας συσκευών σπιτιού 2

#### Ημέρα Δευτέρα:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	09:00	120	1
Πλυντήριο Ρούχων	09:00	12:00	120	1
Πλυντήριο Πιάτων	19:00	00:00	120	2
Τοστιέρα	11:00	11:30	30	1
Στερεοφωνικό	06:00	10:00	240	1
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	13:00	30	2
Τηλεόραση	17:00	22:00	300	1
Βραστήρας	08:00	08:15	15	1
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1

Πίνακας 56: Πλάνο σπιτιού 2 για Δευτέρα

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	09:00	11:00
Τοστιέρα	11:00	11:30

<b>Φούρνος Μικροκυμάτων</b>	<b>11:00</b>	<b>11:30</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>17:00</b>	<b>17:15</b>
<b>Τηλεόραση</b>	<b>17:00</b>	<b>22:00</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>19:00</b>	<b>19:15</b>
<b>Πλυντήριο Πιάτων</b>	<b>19:00</b>	<b>21:00</b>

Πίνακας 57: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

<b>Όνομα Συσκευής</b>	<b>Ώρα έναρξης</b>	<b>Ώρα λήξης</b>
<b>Στερεοφωνικό</b>	<b>06:00</b>	<b>10:00</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>06:00</b>	<b>08:00</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>08:00</b>	<b>08:15</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>09:00</b>	<b>11:00</b>
<b>Τοστιέρα</b>	<b>11:00</b>	<b>11:30</b>
<b>Φούρνος Μικροκυμάτων</b>	<b>11:00</b>	<b>11:30</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>17:00</b>	<b>17:15</b>
<b>Τηλεόραση</b>	<b>17:00</b>	<b>22:00</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>19:00</b>	<b>19:15</b>
<b>Πλυντήριο Πιάτων</b>	<b>19:00</b>	<b>21:00</b>

Πίνακας 58: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Δευτέρα- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

<b>Όνομα Συσκευής</b>	<b>Ώρα έναρξης</b>	<b>Ώρα λήξης</b>
<b>Στερεοφωνικό</b>	<b>06:00</b>	<b>10:00</b>
<b>Πλυντήριο Ρούχων</b>	<b>06:00</b>	<b>08:00</b>
<b>Βραστήρας</b>	<b>08:00</b>	<b>08:15</b>



Πλυντήριο Ρούχων	09:00	11:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	22:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:00	21:00

Πίνακας 59: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	09:00	11:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	22:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:00	21:00

Πίνακας 60: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Δευτέρα- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

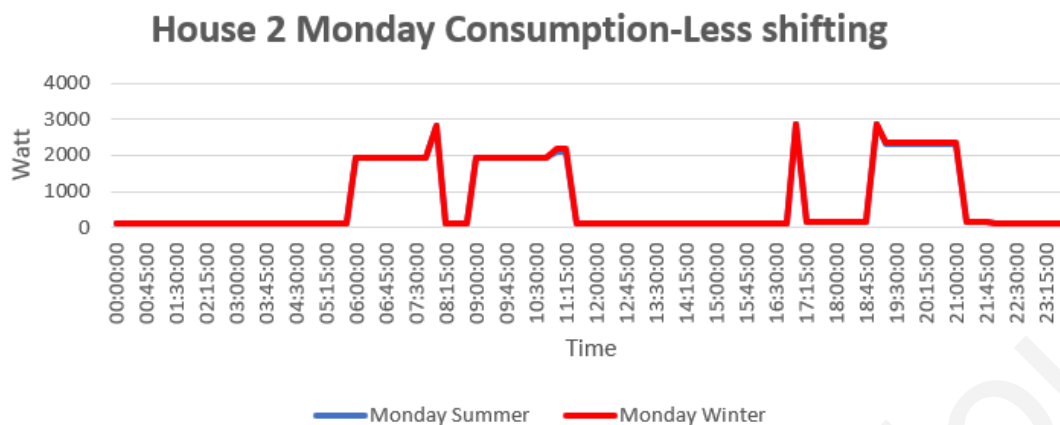
Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00

Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	09:00	11:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:30	12:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	22:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	22:00	00:00

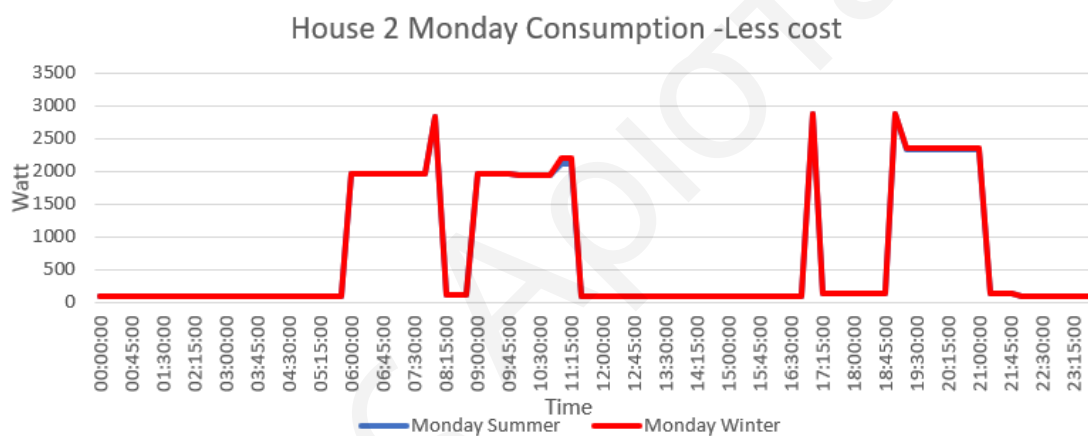
Πίνακας 61: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο optimized για Δευτέρα- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Πλυντήριο Ρούχων	06:00	08:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	09:00	11:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	22:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	22:00	00:00

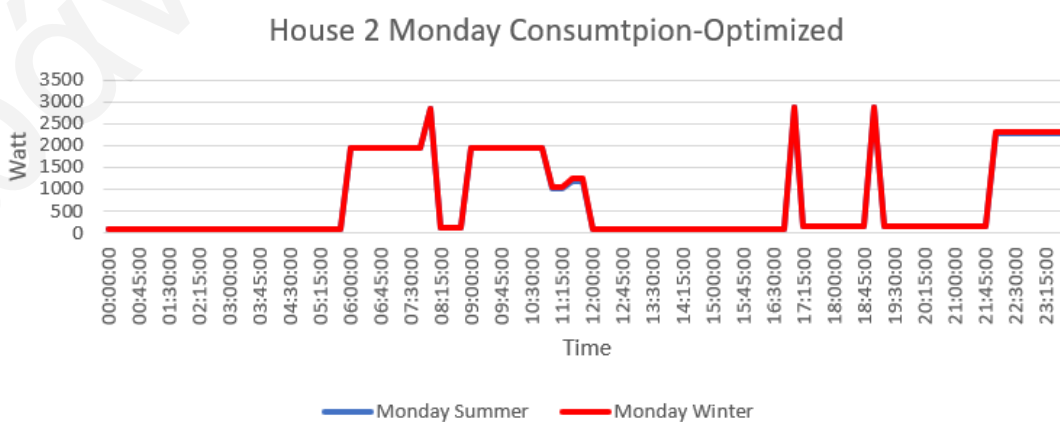
Πίνακας 62: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο optimized για Δευτέρα- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2



Εικόνα 46: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 2 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 47: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 2 με κριτήριο less cost



Εικόνα 48: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Δευτέρας του σπιτιού 2 με κριτήριο optimized

Αρχικά ο αλγόριθμος για όλες τις περιπτώσεις χρονοπρογραμματίζει πρώτα το βραστήρα στα χρονικά διαστήματα 08:00 – 08:15, 17:00 – 17:15, 19:00 – 19:15, την τηλεόραση μεταξύ 17:00 – 22:00, τη τοστιέρα 11:00 – 11:30, το στερεοφωνικό 06:00 – 10:00 και το πλυντήριο ρούχων αρχικά 06:00 – 08:00 και μετά 09:00 – 11:00.

Στο κριτήριο optimized παρατηρείται μετακίνηση του φούρνου μικροκυμάτων και πλυντηρίου πιάτων. Ο φούρνος μικροκυμάτων δηλώθηκε να χρησιμοποιηθεί από τις 11:00 με προτεραιότητα 2. Όμως επειδή η τοστιέρα δηλώθηκε επίσης με ώρα έναρξης 11:00 αλλά με προτεραιότητα 1, ο φούρνος μικροκυμάτων θα μπει στο πρόγραμμα να δουλέψει μεταξύ 11:30 – 12:00 μόλις τελειώσει η τοστιέρα. Η επιλογή του 11:30 – 12:00 γίνεται διότι από τα διαθέσιμα μισάωρα από τις 11:00 μέχρι τις 13:00 έχει τη λιγότερη μετακίνηση. Σε όλες τις περιπτώσεις το κόστος κατανάλωσης των διαθέσιμων χρονικών διαστημάτων για τον φούρνο μικροκυμάτων θα είναι το ίδιο.

Από την άλλη το πλυντήριο πιάτων που έχει προτεραιότητα 2, για τα κριτήρια less cost και less shifting θα τοποθετηθεί στο πρόγραμμα για να δουλέψει μεταξύ 19:15 – 21:15. Αυτό συμβαίνει διότι το τέταρτο 19:00 – 19:15 δεσμεύεται για τη λειτουργία του βραστήρα. Ενδεχόμενη ταυτόχρονη λειτουργία του βραστήρα με το πλυντήριο πιάτων θα παραβίαζε το όριο ασφάλειας υποστατικού που ορίστηκε στα 4000 Watt. Στο κριτήριο optimized ο αλγόριθμος επιλέγει το χρονικό διάστημα 22:00 – 00:00 για το πλυντήριο πιάτων. Μολονότι είναι το μόνο διαθέσιμο χρονικό διάστημα ο αλγόριθμος θα το επιλέξει επειδή είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο δεν δουλεύει άλλη συσκευή πέραν του ψυγείου και έχει το πιο φθηνό κόστος κατανάλωσης βάση του μοντέλου τιμολόγησης του Ontario.

**Ημέρα Τρίτη:**

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Πλυντήριο Πιάτων	16:30	20:30	90	2
Τοστιέρα	11:00	11:30	30	1
Στερεοφωνικό	06:00	10:00	240	1
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	13:00	30	2
Τηλεόραση	10:00	12:00	120	1
Βραστήρας	08:00	08:15	15	1
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1

Πίνακας 63: Πλάνο σπιτιού 2 για Τρίτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

Πίνακας 64: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τρίτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

Πίνακας 65: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τρίτη- Χειμερινή Περίοδος– Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

Πίνακας 66: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τρίτη - Καλοκαιρινή Περίοδος– Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

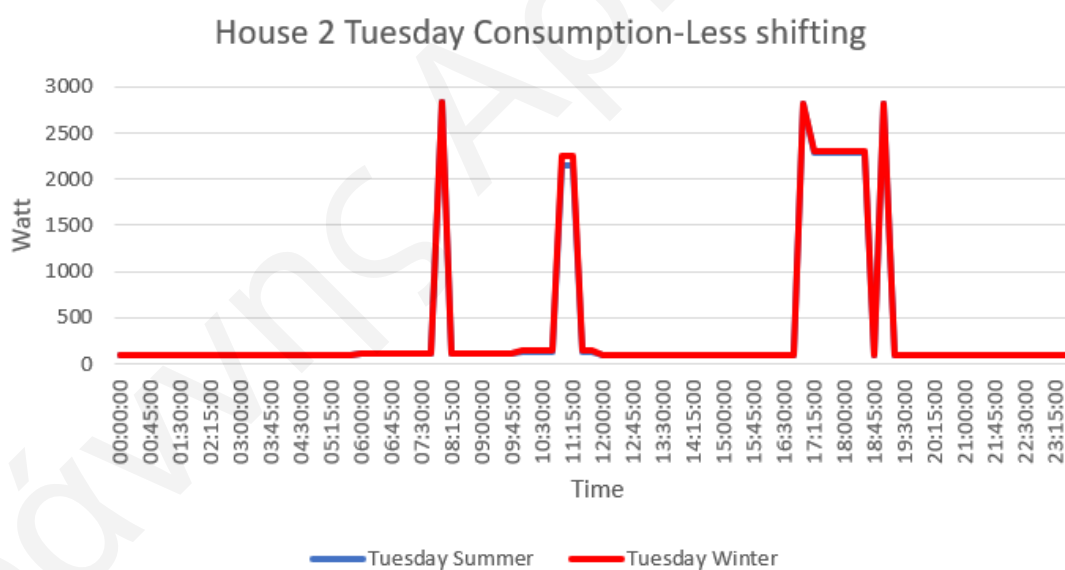
Πίνακας 67: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τρίτη - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:30	12:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

Πίνακας 68: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τρίτη - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

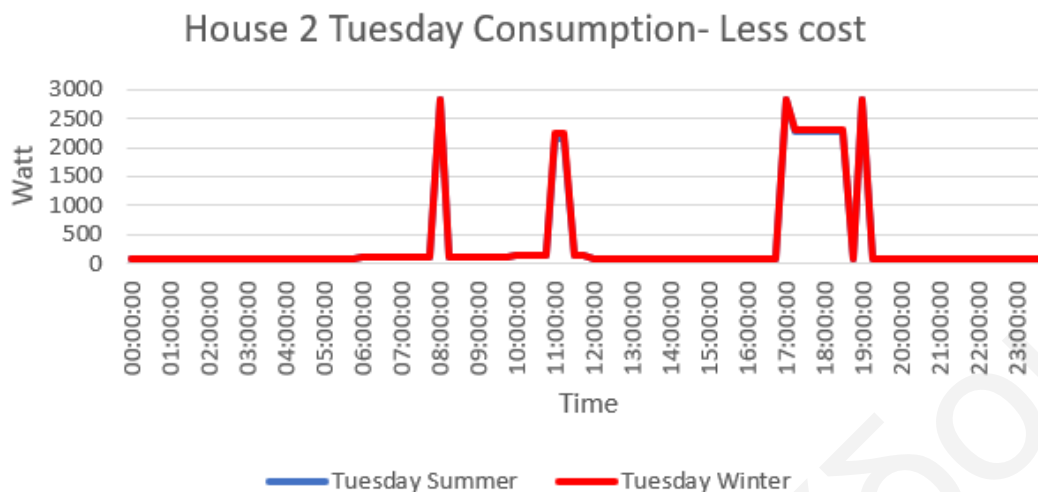
Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Τηλεόραση	10:00	12:00
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:30	12:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Πλυντήριο Πιάτων	17:15	18:45
Βραστήρας	19:00	19:15

Πίνακας 69: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο optimized για Τρίτη- Χειμερινή Περίοδος– Σπίτι 2

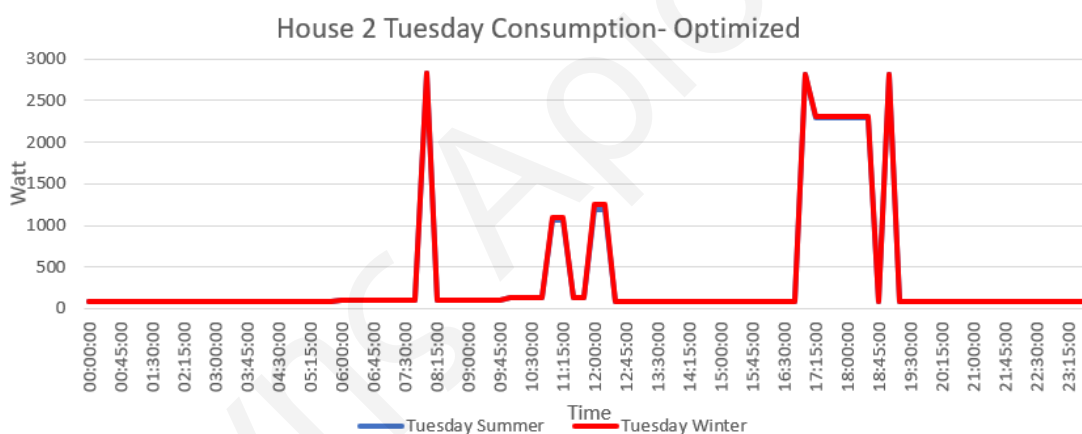


Εικόνα 49: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 2 με κριτήριο less shifting





Εικόνα 50: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 51: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τρίτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *optimized*

Στο πρόγραμμα της Τρίτης αρχικά προγραμματίζεται η τοστιέρα μεταξύ 11:00 – 11:30, το στερεοφωνικό 06:00 – 10:00, η τηλεόραση 10:00 – 12:00 και ο βραστήρας στις 08:00 , 17:00 και 19:00. Όπως και στο σενάριο της Δευτέρας ο φούρνος μικροκυμάτων μπαίνει στο πρόγραμμα και για τις 2 περιόδους 11:00 – 11:30 για τα κριτήρια *less shifting* και *less cost*. Ενώ για το κριτήριο *optimized* μπαίνει στο πρόγραμμα να δουλέψει 11:30 – 12:00 για τους ίδιους λόγους που αναλύθηκαν στο σενάριο της Δευτέρας. Τέλος το πλυντήριο πιάτων και για τα 3 κριτήρια για κάθε περίοδο χρονοπρογραμματίζεται να δουλέψει από τις 17:15 μέχρι τις 18:45. Για το κριτήριο *less shifting* είναι η πρώτη διαθέσιμη επιλογή διότι στις 17:00 δουλεύει

ο βραστήρας και έτσι για λόγους ασφαλείας του υποστατικού η ώρα έναρξης του μετακινείται από τις 16:30 στις 17:15. Στα κριτήρια less cost και optimized όπου λαμβάνεται υπόψη και το κόστος κατανάλωσης, παρατηρούμε πως το πλυντήριο πιάτων δεν μπορεί να προγραμματιστεί μετά τις 19:00 όπου το κόστος κιλοβατώρας είναι λιγότερο διότι στις 19:00 είναι προγραμματισμένη η χρήση του βραστήρα. Από τις 19:15 μέχρι τις 20:30 που είναι η ώρα λήξης του πλυντηρίου πιάτων δεν συμπληρώνονται 90 λεπτά που χρειάζεται το πλυντήριο πιάτων να δουλέψει.

### Ημέρα Τετάρτη:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στερεοφωνικό	06:00	10:00	240	1
Πλυντήριο Ρούχων	08:00	11:00	120	1
Βραστήρας	08:00	08:15	15	1
Τοστιέρα	11:00	11:30	30	1
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	13:00	30	2
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	17:30	180	2
Πλυντήριο Ρούχων	13:00	19:00	120	2
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1
Τηλεόραση	21:00	23:00	120	1

Πίνακας 70: Πλάνο σπιτιού 2 για Τετάρτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Πλυντήριο Ρούχων	14:30	16:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 71: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τετάρτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Πλυντήριο Ρούχων	14:30	16:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 72: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Τετάρτη- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Πλυντήριο Ρούχων	14:30	16:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 73: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τετάρτη - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Πλυντήριο Ρούχων	14:30	16:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

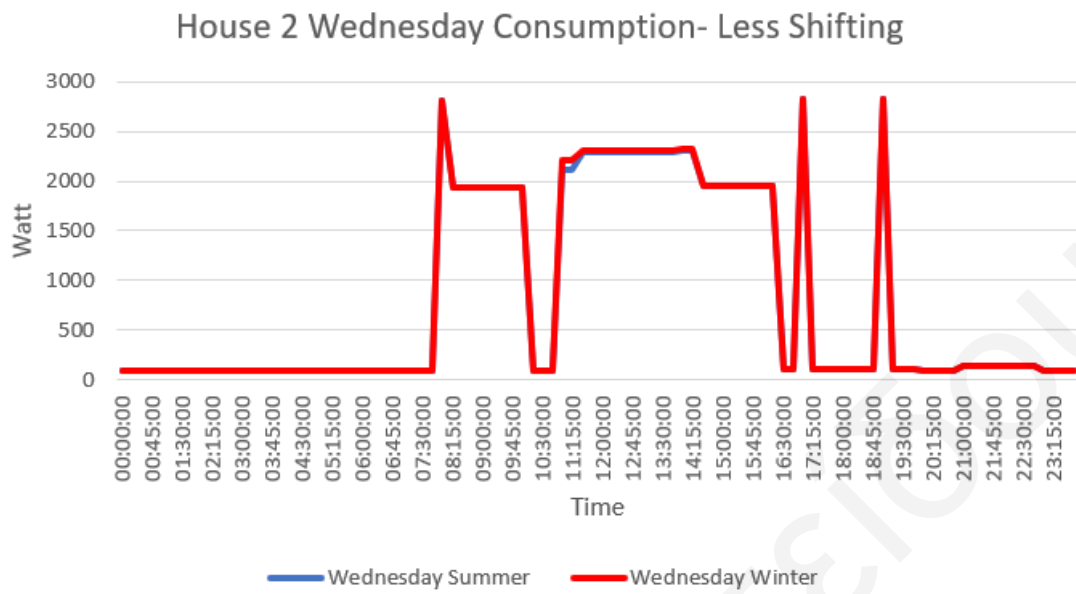
Πίνακας 74: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Τετάρτη - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:30	12:00
Πλυντήριο Πιάτων	12:00	15:00
Πλυντήριο Ρούχων	15:00	17:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

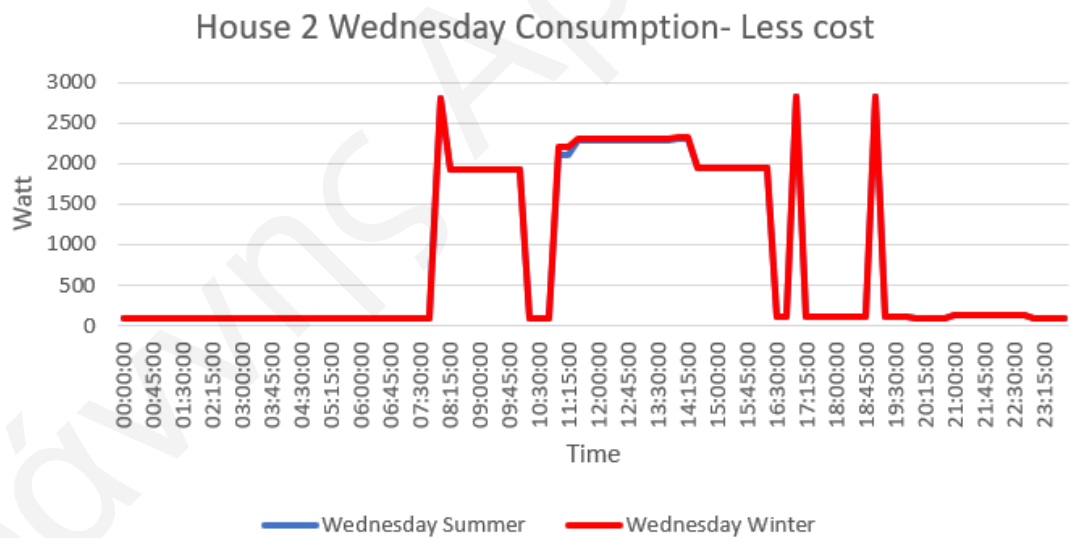
Πίνακας 75: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τετάρτη - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Στερεοφωνικό	06:00	10:00
Βραστήρας	08:00	08:15
Πλυντήριο Ρούχων	08:15	10:15
Τοστιέρα	11:00	11:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:30	12:00
Πλυντήριο Πιάτων	12:00	15:00
Πλυντήριο Ρούχων	15:00	17:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

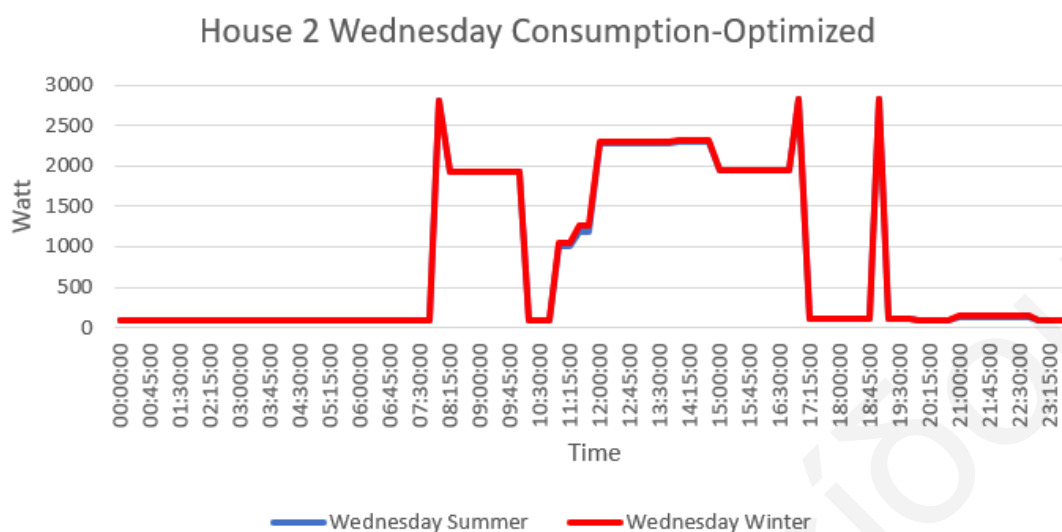
Πίνακας 76: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Τετάρτη- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2



Εικόνα 52: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 2 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 53: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 2 με κριτήριο less cost



Εικόνα 54: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Τετάρτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *optimized*

Στα προγράμματα της Τετάρτης αρχικά παρατηρούμε ότι μετακινείται η ώρα έναρξης του πλυντηρίου ρούχων στις 08:15 λόγω προγραμματισμένης λειτουργίας του βραστήρα στις 08:00 για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο παραβίασης ασφαλείας του υποστατικού. Για τον ίδιο λόγο, στα κριτήρια *less shifting* και *less cost* μετακινείται και η ώρα έναρξης του 2<sup>ου</sup> πλυντηρίου από τις 13:30 στις 14:30 όταν τελειώνει το πλυντήριο πιάτων που προγραμματίστηκε πρώτα να δουλέψει μεταξύ 11:30 – 14:30. Μολονότι και οι 2 συσκευές έχουν ίδια προτεραιότητα και ίδιο χρονικό διάστημα μεταξύ έναρξης και λήξης, το πλυντήριο πιάτων χρονοπρογραμματίζεται πρώτα γιατί έχει μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και κατά συνέπεια λιγότερα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα σε αντίθεση με το πλυντήριο ρούχων.

Στο κριτήριο *optimized* παρατηρούμε ότι ο φούρνος μικροκυμάτων χρονοπρογραμματείται να δουλέψει μεταξύ 11:30 – 12:00. Αυτό προκαλεί μετακίνηση στη λειτουργία του πλυντηρίου πιάτων και του πλυντηρίου ρούχων. Αυτή τη φορά το πλυντήριο πιάτων τοποθετείται στο πρόγραμμα να δουλέψει μεταξύ 12:00 – 15:00 και το πλυντήριο ρούχων μεταξύ 15:00 – 17:00. Οι υπόλοιπες συσκευές χρονοπρογραμματίζονται κανονικά χωρίς μετακίνηση της ώρας έναρξης της λειτουργίας τους.

**Ημέρα Πέμπτη:**

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στερεοφωνικό	15:00	21:00	360	1
Βραστήρας	08:00	08:15	15	1
Τοστιέρα	08:00	08:30	30	1
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	13:00	30	2
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Πλυντήριο Πιάτων	18:30	22:00	120	2
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1
Τηλεόραση	21:00	23:00	120	1

Πίνακας 77: Πλάνο σπιτιού 2 για Πέμπτη

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 78: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2



Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 79: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Πέμπτη- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι  
2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 80: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι  
2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

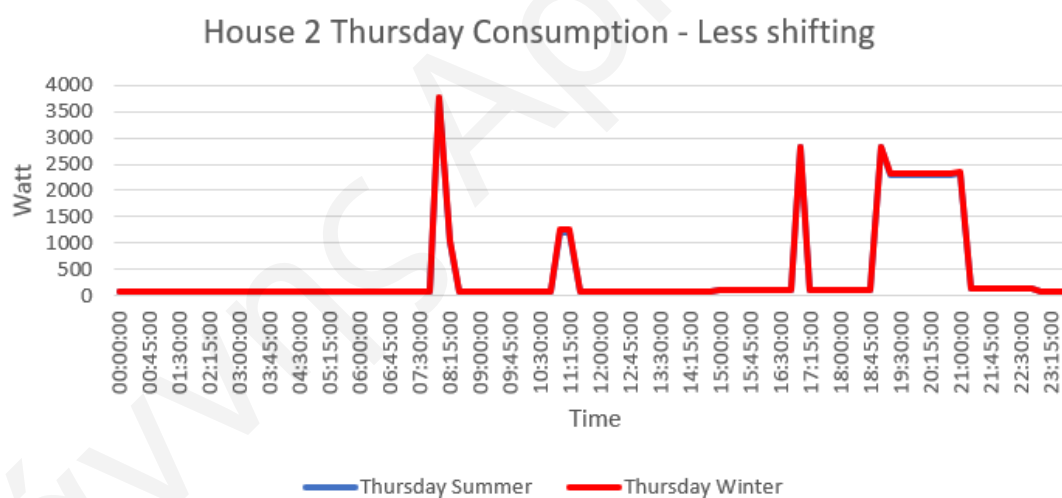
Πίνακας 81: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Πέμπτη- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

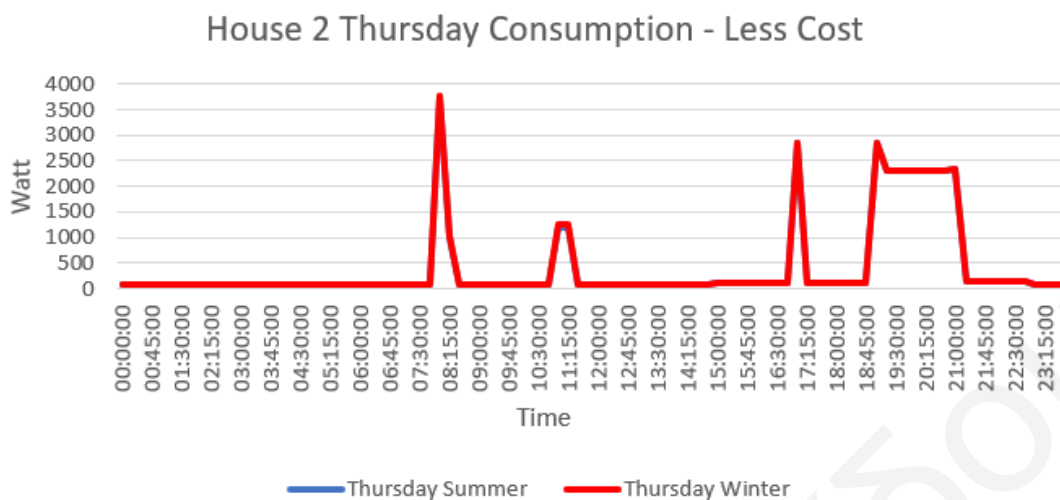
Πίνακας 82: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Πέμπτη- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

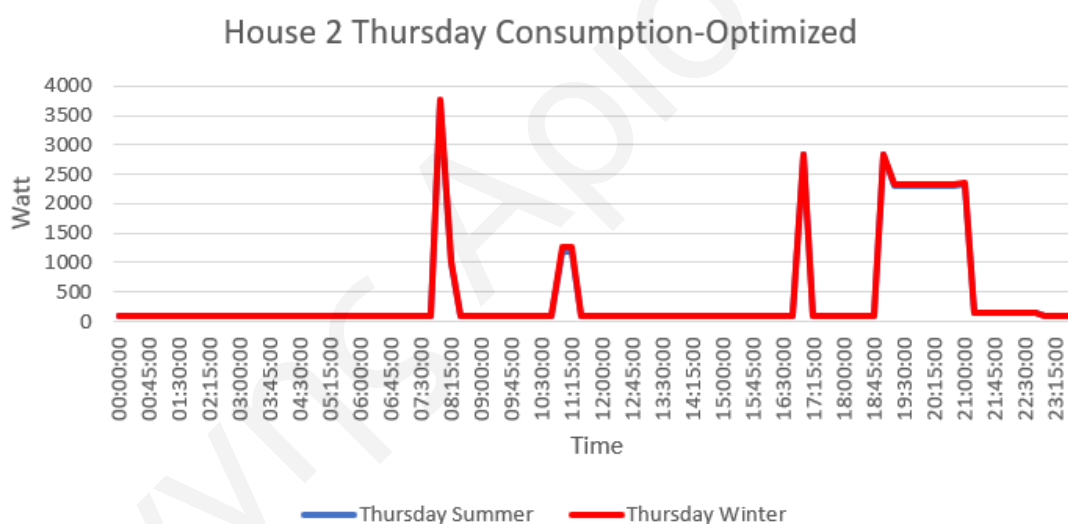
Πίνακας 83: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Πέμπτη- Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2



Εικόνα 55: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 56: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 57: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Πέμπτης του σπιτιού 2 με κριτήριο *optimized*

Παρατηρούμε ότι και στις 3 περιπτώσεις μετακινείται η ώρα του πληντυρίου πιάτων από τις 18:30 στις 19:15 διότι η ώρα 19:00 είναι προγραμματισμένη η λειτουργία του βραστήρα. Η επιλογή αυτή αποτελεί ταυτόχρονα και την πιο οικονομική διότι συμπίπτει σε περίοδο μειωμένης ζήτησης όπου η τιμή της κιλοβατώρας είναι η πιο φθηνή της ημέρας. Οι υπόλοιπες συσκευές χρονοπρογραμματίζονται κανονικά χωρίς μετακίνηση. Σημαντικό να παρατηρήσουμε από τις

γραφικές παραστάσεις πιο πάνω ότι σε όλα τα κριτήρια μεταξύ 08:00 και 08:15 η συνολική κατανάλωση είναι αυξημένη. Ο λόγος είναι ότι λειτουργούν ταυτόχρονα βραστήρας και τοστιέρα και έχουν προτεραιότητα 1. Τα κριτήρια χρονοπρογραμματισμού των συσκευών διαχειρίζονται μόνο τις συσκευές που έχουν προτεραιότητα 2. Αν η ταυτόχρονη λειτουργία τους παραβίαζε το όριο ασφαλείας του υποστατικού δεν θα μπορούσε να μπει στο πρόγραμμα η τοστιέρα καθώς δεν υπάρχει άλλο διαθέσιμο χρονικό διάστημα για να δουλέψει βάση της διάρκειας λειτουργίας της και της διαφοράς μεταξύ ωρών έναρξης και λήξης που δόθηκαν.

### Ημέρα Παρασκευή:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στερεοφωνικό	14:00	20:00	360	1
Βραστήρας	08:00	08:15	15	1
Τοστιέρα	08:00	08:30	30	1
Πλυντήριο Ρούχων	10:00	18:00	180	2
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	14:00	30	2
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	19:30	180	2
Πλυντήριο Πιάτων	18:30	21:30	120	1
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1
Τηλεόραση	21:00	23:00	120	1

Πίνακας 84: Πλάνο σπιτιού 2 για Παρασκευή

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 85: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Παρασκευή- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 86: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Παρασκευή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 87: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Παρασκευή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 88: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Παρασκευή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

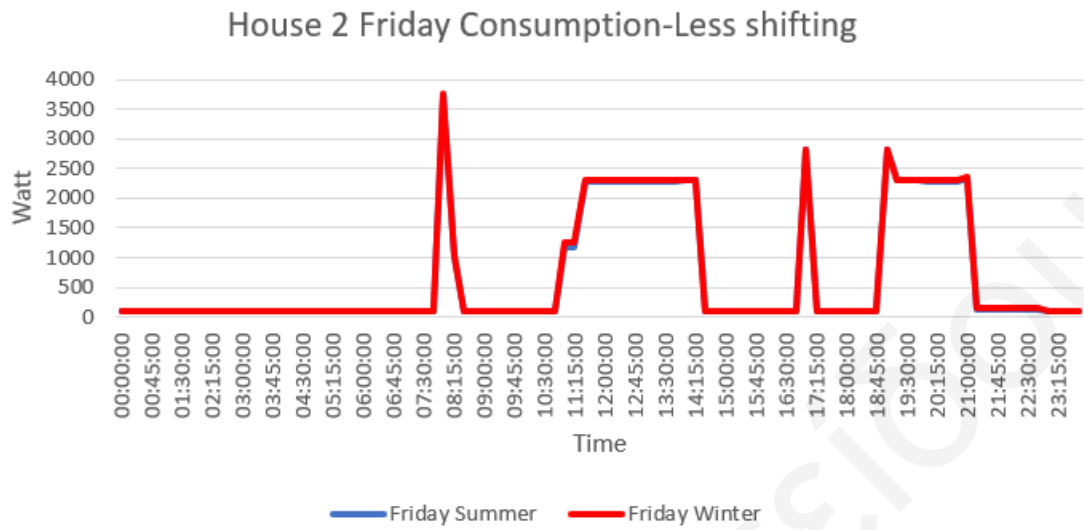
Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Σtereοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 89: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Παρασκευή- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

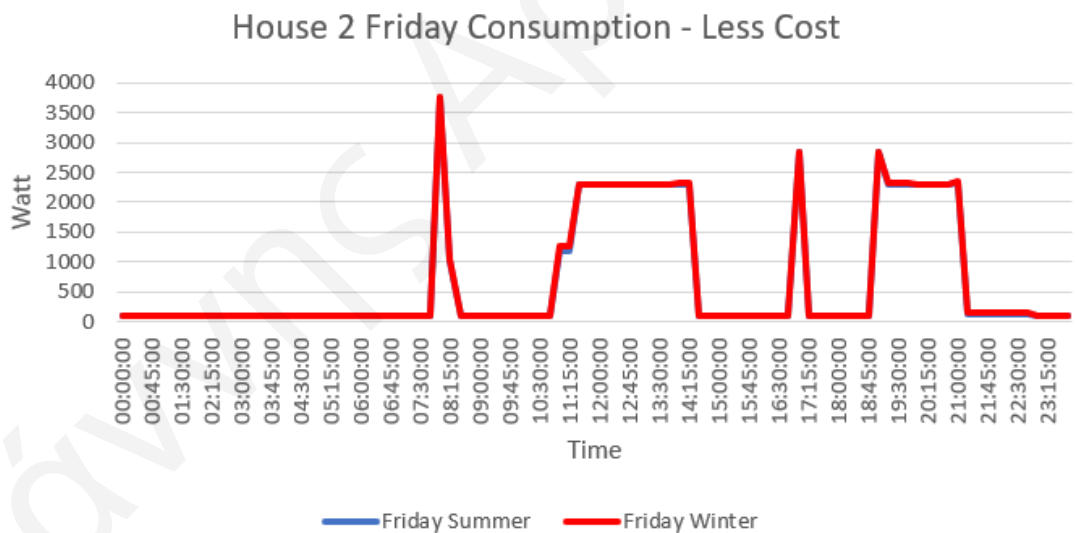
Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	08:00	08:15
Τοστιέρα	08:00	08:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Πιάτων	11:30	14:30
Σtereοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 90: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Παρασκευή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

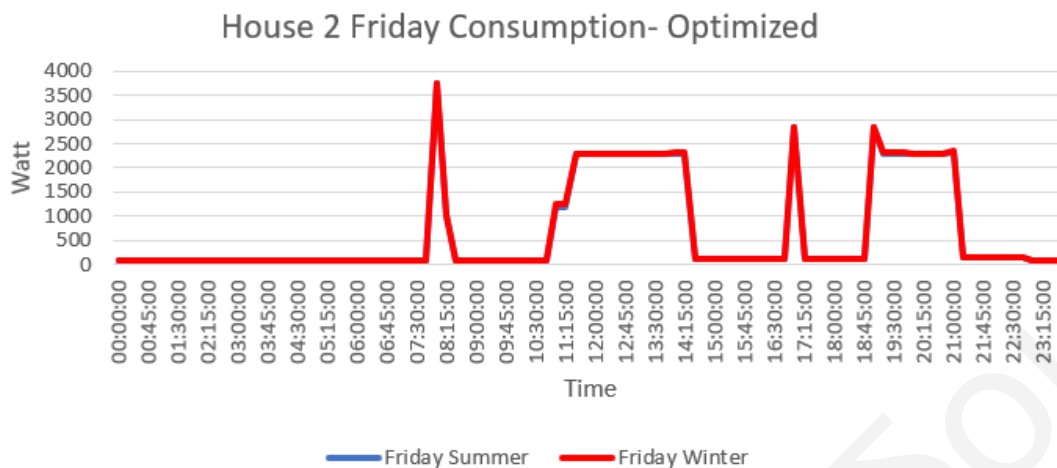




Εικόνα 58: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 2 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 59 : Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 2 με κριτήριο less cost



Εικόνα 60: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Παρασκευής του σπιτιού 2 με κριτήριο *optimized*

Παρατηρούμε πως όπως και στα προγράμματα της Παρασκευής, το πληντήριο των πιάτων μετακινείται για λόγους ασφαλείας από τις 18:30 στις 19:15. Το πιο σημαντικό που παρατηρούμε είναι πως σε όλες τις περιπτώσεις δεν μπορεί να προγραμματιστεί το πληντήριο ρούχων. Ορίστηκε να δουλέψει για τρεις ώρες μεταξύ 10:00 – 18:00 αλλά επειδή προηγήθηκε χρονοπρογραμματισμός άλλων συσκευών με πιο υψηλή προτεραιότητα ο αλγόριθμος δεν βρήκε διαθέσιμο χρονικό διάστημα για να το βάλει να δουλέψει καθώς ταυτόχρονη λειτουργία του πληντηρίου με άλλες συσκευές, σε κάποια από τα τέταρτα της ημέρας, θα παραβίαζαν το όριο ασφαλείας υποστατικού. Συγκεκριμένα ο χρονοπρογραμματισμός του πλυντηρίου πιάτων μεταξύ 11:30 – 14:30 περιορίζει το χρονοπρογραμματισμό του πλυντηρίου ρούχων εκείνη τη χρονική περίοδο. Ομοίως και μετά τις 14:30 καθώς στις 17:00 λειτουργεί ο βραστήρας και έτσι δεν μπορεί το πλυντήριο πιάτων να δουλέψει κανονικά για 3 ώρες. Η συνολική τους κατανάλωση σε ενδεχόμενη τοποθέτηση του πλυντηρίου σε κάποιο χρονικό διάστημα τριών ωρών της ημέρας θα ξεπερνούσε τις 4000 Watt.

## Σαββατοκυριακό:

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Στερεοφωνικό	12:00	18:00	360	1
Βραστήρας	10:00	10:15	15	1
Τοστιέρα	10:00	10:30	30	1
Πλυντήριο Ρούχων	17:00	23:00	150	2
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	14:00	30	2
Βραστήρας	17:00	18:30	15	1
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00	180	1
Βραστήρας	20:00	20:15	15	1
Τηλεόραση	17:00	23:00	360	1

Πίνακας 91: Πλάνο σπιτιού 2 για Σάββατο

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 92: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Σάββατο- Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 93: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Σάββατο - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

Πίνακας 94: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Σάββατο - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

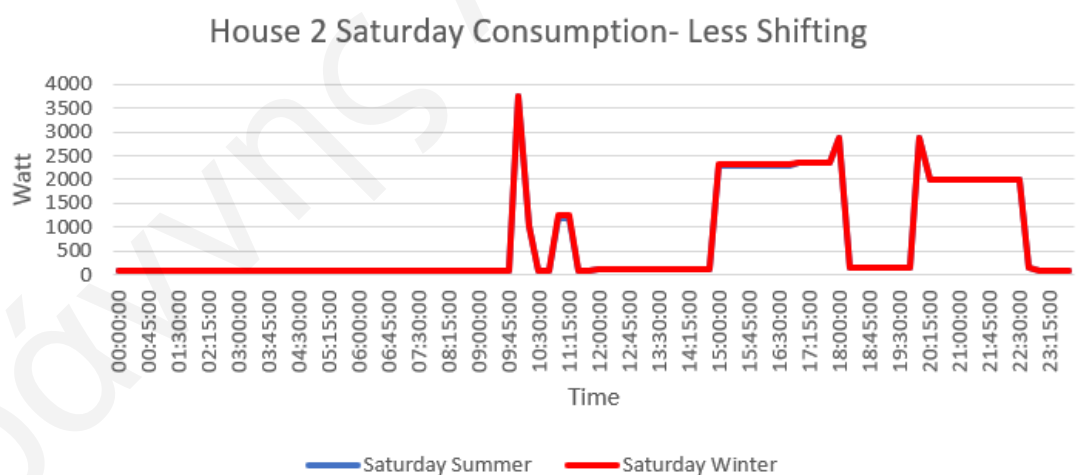
Πίνακας 95: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Σάββατο - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

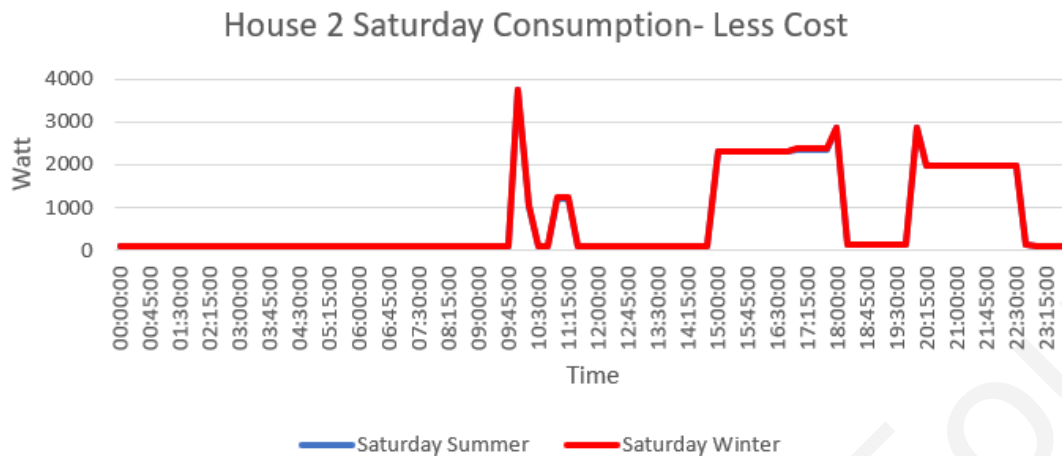
Πίνακας 96: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Σάββατο - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Πλυντήριο Πιάτων	15:00	18:00
Βραστήρας	18:00	18:15
Βραστήρας	20:00	20:15
Πλυντήριο Ρούχων	20:15	22:45
Τηλεόραση	21:00	23:00

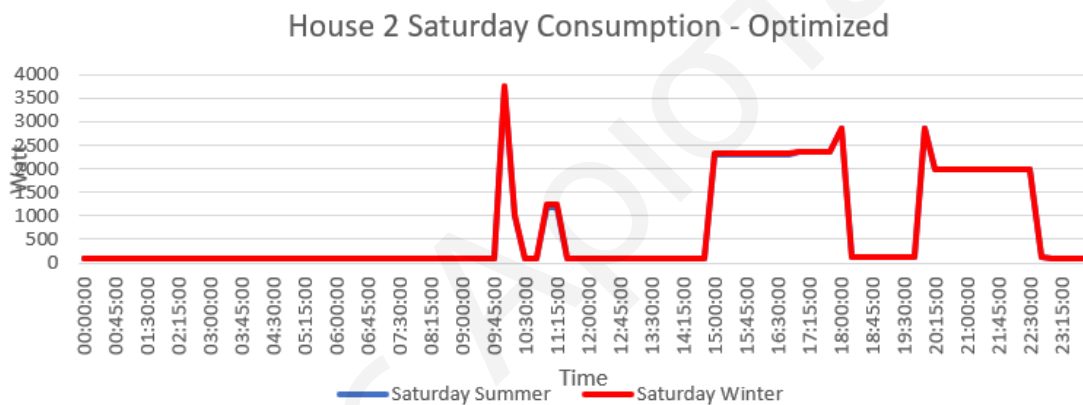
Πίνακας 97: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Σάββατο - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2



Εικόνα 61: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Σάββατο του σπιτιού 2 με κριτήριο *less shifting*



Εικόνα 62: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Σάββατο του σπιτιού 2 με κριτήριο less cost



Εικόνα 63: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Σάββατο του σπιτιού 2 με κριτήριο optimized

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Διάρκεια(σε λεπτά)	Προτεραιότητα
Πλυντήριο Πιάτων	08:00	17:00	150	2
Βραστήρας	10:00	10:15	15	1
Τοστιέρα	10:00	10:30	30	1
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	14:00	30	2
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	14:00	60	1
Στερεοφωνικό	14:00	20:00	360	1
Βραστήρας	17:00	17:15	15	1
Πλυντήριο Πιάτων	17:00	00:00	120	2
Τηλεόραση	17:00	23:00	360	1
Βραστήρας	19:00	19:15	15	1

Πίνακας 98: Πλάνο σπιτιού 2 για Κυριακή

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

Πίνακας 99: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Κυριακή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2



Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

Πίνακας 100: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less shifting* για Κυριακή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

Πίνακας 101: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Κυριακή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

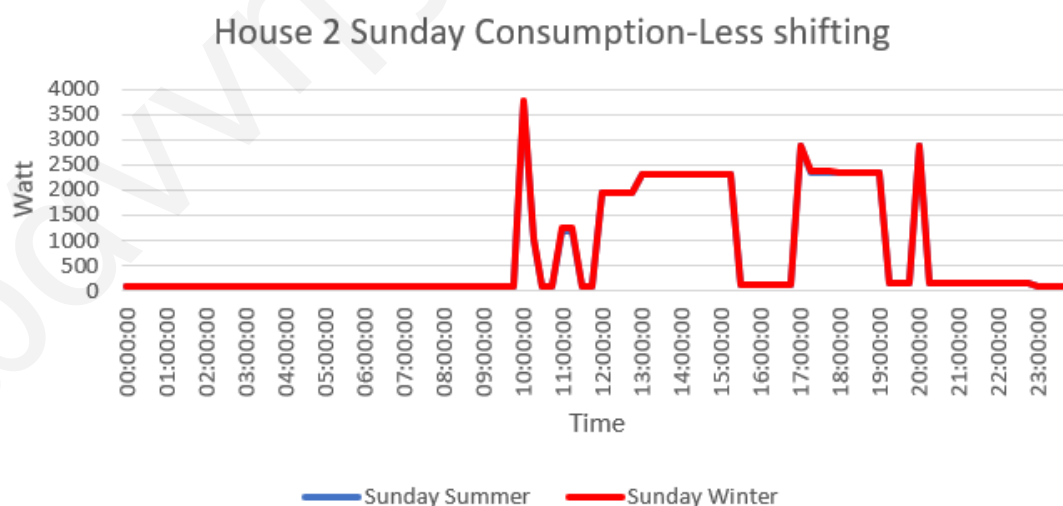
Πίνακας 102: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *less cost* για Κυριακή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Στερεοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

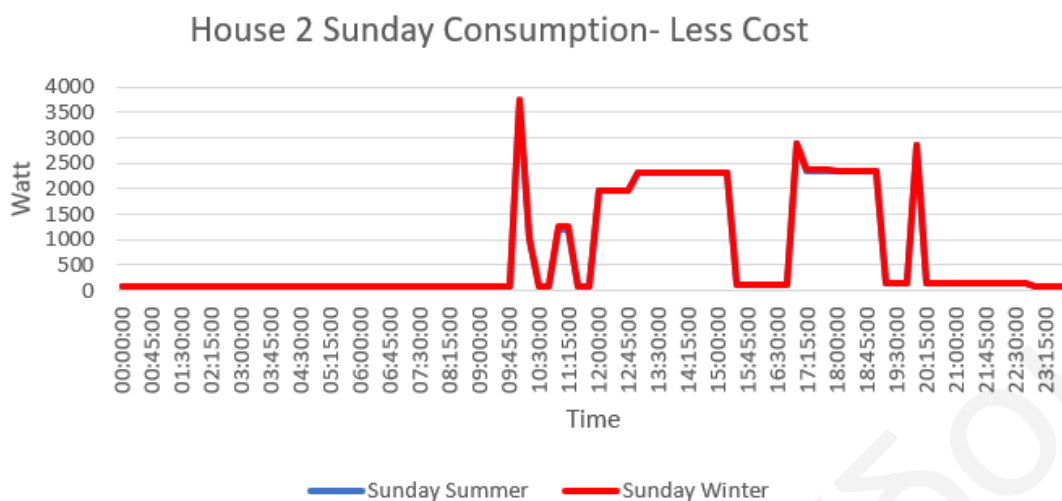
Πίνακας 103: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο *optimized* για Κυριακή - Καλοκαιρινή Περίοδος- Σπίτι 2

Όνομα Συσκευής	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης
Βραστήρας	10:00	10:15
Τοστιέρα	10:00	10:30
Φούρνος Μικροκυμάτων	11:00	11:30
Πλυντήριο Ρούχων	12:00	13:00
Πλυντήριο Πιάτων	13:00	15:30
Σtereοφωνικό	14:00	20:00
Βραστήρας	17:00	17:15
Τηλεόραση	17:00	23:00
Βραστήρας	19:00	19:15
Πλυντήριο Πιάτων	19:15	21:15

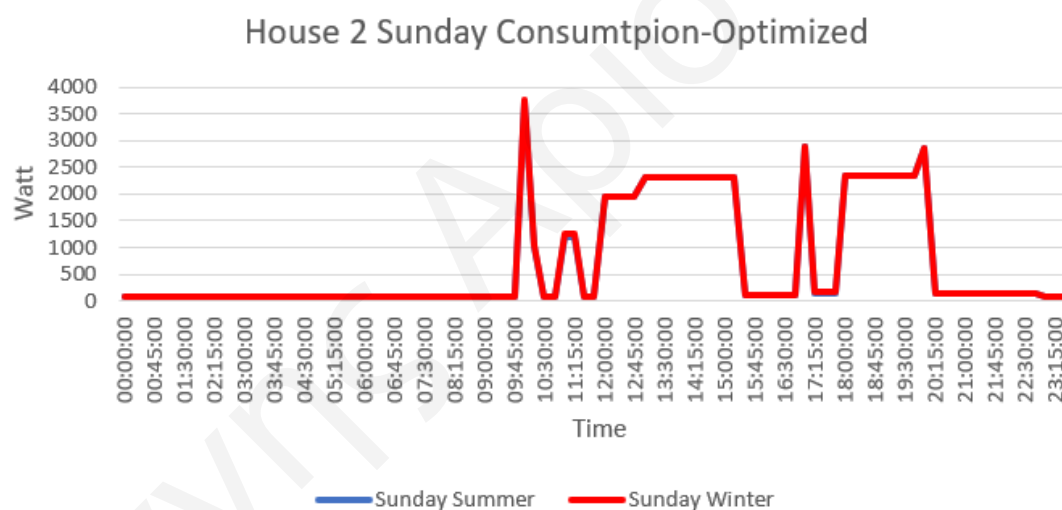
Πίνακας 104: Πρόγραμμα αλγορίθμου με το κριτήριο optimized για Κυριακή - Χειμερινή Περίοδος- Σπίτι 2



Εικόνα 64: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 2 με κριτήριο less shifting



Εικόνα 65: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 2 με κριτήριο *less cost*



Εικόνα 66: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το πρόγραμμα της Κυριακής του σπιτιού 2 με κριτήριο *optimized*

Όπως και στο σενάριο του σαββατοκυριακού του σπιτιού 1 έτσι και στο αντίστοιχο σενάριο του σπιτιού 2 ο μοναδικός παράγοντας που θα επηρεάσει την μετακίνηση της λειτουργίας κάποιας συσκευής είναι για αποφυγή παραβίασης του ορίου ασφαλείας του υποστατικού.

Στα προγράμματα του Σαββάτου παρατηρούμε ότι μετακινείται η ώρα λειτουργίας του βραστήρα από τις 17:00 στις 18:00. Ο βραστήρας στο σενάριο αυτό ορίστηκε να δουλέψει για

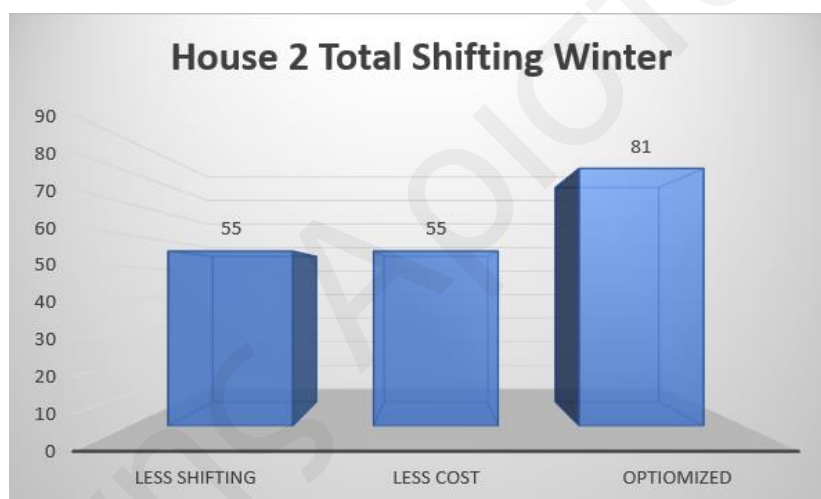
ένα τέταρτο μεταξύ 17:00 και 18:30. Το πλυντήριο πιάτων ορίστηκε να δουλέψει μεταξύ 15:00 – 18:00 με προτεραιότητα 1 θα χρονοπρογραμματιστεί πρώτο. Κατά συνέπεια ο βραστήρας μπαίνει στο πρόγραμμα να δουλέψει μεταξύ 18:00 και 18:15. Επιπλέον, μετακίνηση για τους ίδιους λόγους παρατηρείται και στην έναρξη λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων που έχει προτεραιότητα 2. Από τις 17:00 πάει στις 20:00 για να δουλέψει μέχρι τις 22:30. Το χρονικό διάστημα για τη λειτουργία του πλυντηρίου σε όλες τις περιπτώσεις επιλέγεται γιατί έχει τη λιγότερη μετακίνηση. Θα μπορούσε ο αλγόριθμος να επιλέξει άλλο χρονικό διάστημα όπως 20:15 – 22:45 ή 20:30 – 23:00.

Σε ότι αφορά τα προγράμματα της Κυριακής για λόγους ασφαλείας μετακινείται το πλυντήριο πιάτων του πρωινού, Από τις 08:00 πάει στις 13:00 για να δουλέψει μέχρι τις 14:45 . Σε όλες τις περιπτώσεις επιλέγεται το χρονικό διάστημα αυτό γιατί έχει τη λιγότερη μετακίνηση. Για το 2<sup>ο</sup> πλυντήριο πιάτων που ξεκινά στις 17:00, μετακινείται η ώρα έναρξης του στις 17:15 μόνο για τα προγράμματα που αφορούν τα κριτήρια less cost και less shifting. Στο optimized κριτήριο το 2<sup>ο</sup> πλυντήριο πιάτων ωρίζεται να δουλέψει μεταξύ 18:00 – 20:00. Αυτό συμβαίνει διότι μέχρι τις 18:00 λειτουργεί η τηλεόραση. Τα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα μετά τις 18:00 έχουν συνολική κατανάλωση ,σε κάθε τέταρτο τους, μικρότερη καθώς δουλεύει μόνο το ψυγείο ενώ στα διαθέσιμα χρονικά διαστήματα πριν τις 18:00 δουλεύει και η τηλεόραση. Οπότε από τα χρονικά διαστήματα μετά τις 18:00 επιλέγει το 18:00 – 20:00 που έχει τη λιγότερη μετακίνηση συσκευής.

### 5.2.2 Σύγκριση συνολικού εβδομαδιαίου κόστους κατανάλωσης και συνολικής μετακίνησης λειτουργίας των συσκευών σπιτιού 2



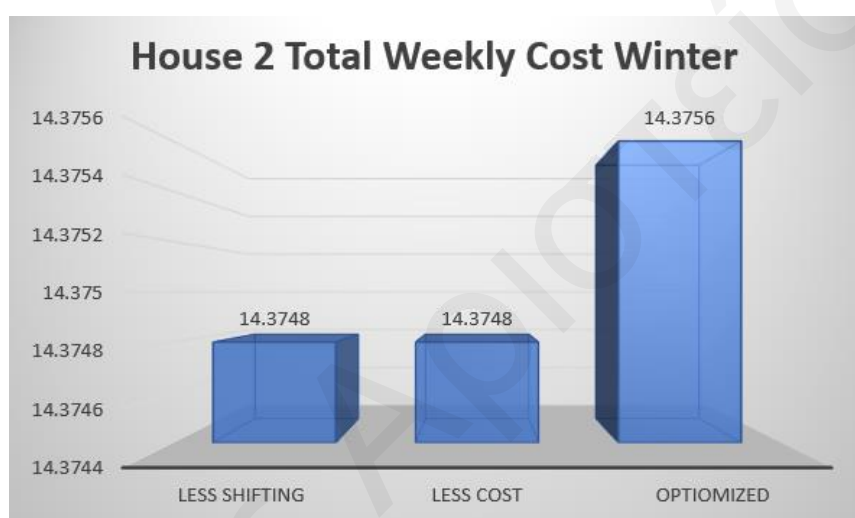
Εικόνα 67: Συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών σπιτιού 2 – Χειμερινή Περίοδος



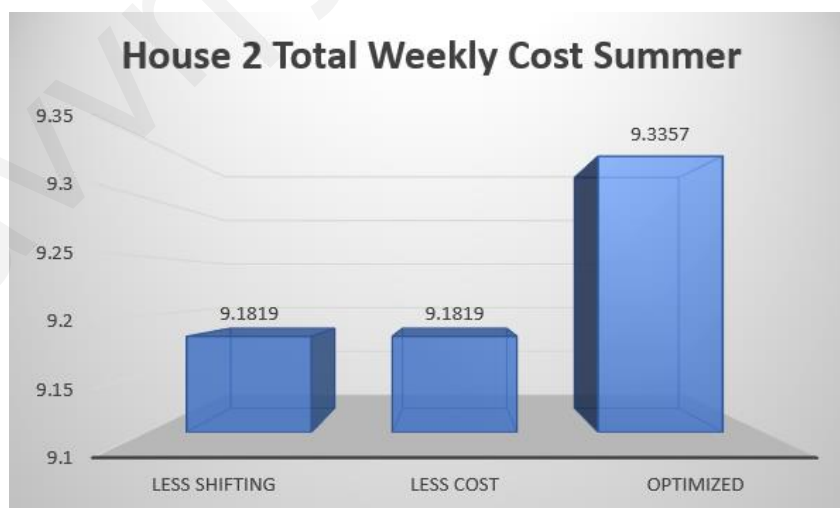
Εικόνα 68: Συνολικό κόστος μετακίνησης συσκευών σπιτιού 2 – Καλοκαιρινή Περίοδος

Από τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις διαπιστώνουμε ότι το κόστος μετακίνησης των συσκευών σε τέταρτα είναι το ίδιο για κάθε κριτήριο και στις 2 περιόδους. . Στα κριτήρια less cost και less shifting το κόστος μετακίνησης στο 2<sup>ο</sup> σπίτι είναι το ίδιο σε αντίθεση με το πρώτο που υπήρχε κόστος μετακίνησης μόνο στο κριτήριο less cost. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Οι πλείστες μετακινήσεις γίνονταν για αποφυγή παραβίασης του ορίου ασφαλείας του υποστατικού. Λόγω του χαμηλού ορίου ασφαλείας υποστατικού που τέθηκε υπήρχε περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων χρονικών διαστημάτων για να μπορέσει ο αλγόριθμος να επιλέξει το ιδανικότερο βάση κάποιου κριτηρίου. Ο δεύτερος λόγος, που καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα, είναι πως στις πλείστες συσκευές δόθηκε μικρό διάστημα μεταξύ ώρας έναρξης

και ώρας λήξης. Έτσι, αν μια συσκευή είχε μεγάλη χρονική διάρκεια λειτουργίας τότε πάλι ο αλγόριθμος θα είχε περιορισμένες επιλογές. Στο κριτήριο optimized βλέπουμε ότι υπάρχει, όπως και στο πρώτο σπίτι το μεγαλύτερο κόστος μετακίνησης. Αυτό οφείλεται στο ότι κάποιες συσκευές στα πλάνα της εβδομάδας, είχαν μεγάλα χρονικά διαστήματα μεταξύ ώρας έναρξης και ώρας λήξης, πράγμα που έδινε τη δυνατότητα στον αλγόριθμο να έχει περισσότερες επιλογές. Οπότε, επέλεγε χρονικά διαστήματα μετά τις 19:00 που βρίσκονται εντός της off peak περιόδου βάση του μοντέλου τιμολόγησης του Ontario.



Εικόνα 69: Συνολικό κόστος κατανάλωσης σπιτιού 2 – Χειμερινή Περίοδος



Εικόνα 70: Συνολικό κόστος κατανάλωσης σπιτιού 2 – Καλοκαιρινή Περίοδος

Σχετικά με το εβδομαδιαίο κόστος κατανάλωσης του 2<sup>ου</sup> σπιτιού, παρατηρούμε ότι όπως και στο πρώτο σπίτι το εβδομαδιαίο κόστος κατανάλωσης το χειμώνα είναι αυξημένο σε σχέση με το καλοκαίρι λόγω του ότι η τιμή της κιλοβατώρας είναι μεγαλύτερη κατά τη χειμερινή περίοδο. Σύμφωνα με τα ενεργειακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν η μέση κατανάλωση των συσκευών του 2<sup>ου</sup> σπιτιού ήταν περίπου ίδια και για τις δύο περιόδους. Βλέπουμε ότι το εβδομαδιαίο κόστος κατανάλωσης στα κριτήρια less shifting και less cost είναι το ίδιο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι διαθέσιμες επιλογές του αλγορίθμου στα δύο κριτήρια ήταν περιορισμένες και σε όλες τις περιπτώσεις η τελική επιλογή ήταν η ίδια σε όλες τις ημέρες. Στο κριτήριο less cost μπορεί να υπάρχει στις επιλογές άλλο χρονικό διάστημα με το μικρότερο κόστος κατανάλωσης, όμως θα προτιμηθεί το χρονικό διάστημα με τη λιγότερη μετακίνηση που συμπίπτει με την επιλογή του αλγορίθμου στο κριτήριο less shifting.

Η πιο σημαντική όμως παρατήρηση, είναι το αυξημένο κόστος κατανάλωσης με το κριτήριο optimized. Αντίθετα με την περίπτωση του πρώτου σπιτιού που το κόστος κατανάλωσης του ήταν ίδιο με το κριτήριο less cost. Αυτό φανερώνει που υπερτερεί και που μειονεκτεί το κριτήριο αυτό. Αν μια συσκευή που δηλώνεται να δουλέψει μέσα σε χρονικό διάστημα που ξεκινά από το πρωί και πάει μέχρι το βράδυ ο αλγόριθμος ενδέχεται να επιλέξει ένα χρονικό διάστημα μεταξύ των ωρών 19:00 – 00:00 που η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή εάν έχουν ήδη τοποθετηθεί στο πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της μέρας συσκευές που είχαν ψηλή προτεραιότητα. Όμως αν έχουν ήδη χρονοπρογραμματιστεί άλλες συσκευές, με ψηλότερη προτεραιότητα στο χρονικό διάστημα 19:00 – 00:00 ο αλγόριθμος εντοπίζει διαθέσιμα χρονικά διαστήματα σε περιόδους αυξημένης ή μέσης ζήτησης όπου η συνολική κατανάλωση θα είναι λιγότερη αθροιστικά. Έτσι θα προτιμήσει μια επιλογή που ίσως να είναι και η χειρίστη από πλευράς κόστους.



## Κεφάλαιο 6

### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πειραματική αξιολόγηση του αλγορίθμου. Για κάθε σενάριο που εξετάστηκε παρουσιάζονται τα θετικά και τα αρνητικά του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε με βάση το χρονοπρογραμματισμό των συσκευών στα τρία διαφορετικά κριτήρια.

Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στην μελλοντική εργασία που μπορεί να προκύψει από τη συγκεκριμένη μελέτη. Γίνεται αναφορά κυρίως σε βελτιστοποίηση του αλγορίθμου ώστε να λαμβάνει υπόψη και άλλους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη χρήση συσκευών από κάποιο καταναλωτή οι οποίοι δεν λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη αυτή. Επιπλέον γίνεται αναφορά στο πως ένας τέτοιος αλγόριθμος μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα πραγματικό σενάριο.

#### 6.1 Σχόλια και Συμπεράσματα

Ξεκινώντας από τα αποτελέσματα του σεναρίου για το πρώτο σπίτι είδαμε ότι σε κάθε περίπτωση ο αλγόριθμος, για κάθε κριτήριο, είχε τη δυνατότητα να επιλέξει το βέλτιστο δυνατό χρονικό διάστημα για την κάθε συσκευή που χρονοπρογραμματούσε. Σε αυτό βοήθησε το γεγονός ότι το όριο ασφαλείας υποστατικού τέθηκε στα 6000 Watt και σε καμιά περίπτωση δεν τέθηκε θέμα παραβίασης του. Ενδεικτικό είναι το ότι στο κριτήριο του less shifting το συνολικό κόστος μετακίνησης της εβδομάδας ήταν 0 και το εβδομαδιαίο κόστος κατανάλωσης ήταν το ψηλότερο από τα τρία κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν. Από την άλλη η μετακίνηση στα κριτήρια less cost και optimized ήταν αυξημένη καθώς πρόκειται για κριτήρια που

λαμβάνουν υπόψη το κόστος κατανάλωσης για να επιλέξουν το χρονικό διάστημα που θα τοποθετήσουν τη συσκευή να δουλέψει. Βέβαια σε ότι αφορά το κόστος κατανάλωσης των δύο κριτηρίων ήταν αισθητά μειωμένο σε αντίθεση με το κόστος κατανάλωσης του κριτηρίου less shifting. Επίσης στο Σαββατοκύριακο επειδή η τιμή της κιλοβατώρας ήταν σταθερή η περισσότερη μετακίνηση συσκευών παρατηρήθηκε στο κριτήριο optimized.

Στο δεύτερο σπίτι, όπου το όριο ασφαλείας του υποστατικού τέθηκε στις 4000 Watt, είδαμε ότι οι περισσότερες επιλογές του αλγορίθμου προκίπταν κυρίως για αποφυγή παραβίασης του ορίου ασφαλείας παρά για την μείωση το συνολικού κόστους κατανάλωσης. Στο σενάριο αυτό είδαμε ότι το κριτήριο less shifting και less cost είχαν το ίδιο κόστος σε μετακίνηση και κόστος κατανάλωσης λόγω της μεθόδου που ακολουθούν στην επιλογή του χρονικού διαστήματος για την κάθε συσκευή. Επειδή οι πλείστες συσκευές στα πλάνα που ετοιμάστηκαν ήταν προγραμματισμένες να χρησιμοποιηθούν κυρίως πρωινές και απογευματινές ώρες, αυτό περιόριζε τη δυνατότητα στο less cost κριτήριο να εντοπίσει ένα χρονικό διάστημα με χαμηλό κόστος κατανάλωσης. Σε συνδυασμό με το χαμηλό όριο ασφαλείας του υποστατικού η συμπεριφορά του αλγορίθμου με το less cost κριτήριο ήταν ίδια με το less shifting κριτήριο. Από την άλλη οι περιορισμοί αυτοί έκαναν το optimized κριτήριο να μειονεκτεί. Ως γνωστό το κριτήριο αυτό πρώτα κοιτάζει τη συνολική κατανάλωση σε κάθε τέταρτο του χρονικού διαστήματος που ελέγχει συμπεριλαμβανομένου της συσκευής που χρονοπρογραμματίζει εκείνη την ώρα. Από τα χρονικά διαστήματα που έχουν τη λιγότερη μέγιστη συνολική κατανάλωση σε κάποιο τέταρτο τους θα επιλέξει εκείνο με τη λιγότερη κατανάλωση και τη λιγότερη μετακίνηση. Για να υπήρχε δυνατότητα τοποθέτησης μιας συσκευής να λειτουργήσει σε χρονικό διάστημα που ανήκει σε περίοδο χαμηλής ζήτησης θα έπρεπε να δηλωθεί στο πλάνο ώρα λήξης μετά τις 19:00 με την προϋπόθεση ότι υπήρχαν διαθέσιμα χρονικά διαστήματα από τις 19:00 μέχρι και τις 00:00. Αν δεν υπήρχαν ενδεχομένως ο αλγόριθμος να έστελνε μήνυμα πως δεν μπορούσε να βάλει τη συσκευή στο πρόγραμμα. Διαφορετικά αν η συσκευή είχε ώρα έναρξης δηλωμένη από το πρωί ή το μεσημέρι πιθανόν ο αλγόριθμος να επέλεγε χρονικό διάστημα που στη χειρίστη περίπτωση θα έδινε το μεγαλύτερο κόστος κατανάλωσης.

Σε ότι αφορά την πληροφορία που υπήρχε από τα δεδομένα REFIT, για τις συσκευές του πρώτου σπιτιού πιθανόν να υπήρχαν σφάλματα στις μετρήσεις που πάρθηκαν. Αυτό διαπιστώθηκε από το ότι η μέση κατανάλωση στις συσκευές του πρώτου σπιτιού ήταν ψηλή το χειμώνα και χαμηλή το καλοκαίρι. Αντίθετα στο 2<sup>ο</sup> σενάριο οι αντίστοιχες συσκευές του είχαν παρόμοια κατανάλωση και για τις 2 περιόδους. Επιπλέον το γεγονός ότι η εργαλειοθήκη NILMTK υλοποιήθηκε βάση των δεδομένων REDD ίσως να υπήρχε θέμα συμβατότητας των δεδομένων REFIT και αυτό να επηρέασε στο να παρθεί η σωστή πληροφορία για την κατανάλωση της κάθε συσκευής. Μέσα στα μεταδεδομένα των ενεργειακών δεδομένων REFIT υπήρχαν πληροφορίες για τον κατασκευαστή της κάθε συσκευής. Όμως, τα μοντέλα που υπήρχαν στο κάθε σπίτι είτε ήταν παλιά και αποσυρθηκαν από την αγορά είτε ήταν από τοπικό κατασκευαστή στη Μεγάλη Βρετανία και δεν υπήρχαν διαθέσιμες πληροφορίες στο διαδίκτυο. Έτσι δεν κατέστη δυνατό να εξαχθούν περισσότερες πληροφορίες για την ακριβή κατανάλωση των συσκευών.

## 6.2 Μελλοντική Εργασία

Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε έχει σαν σκοπό να βοηθήσει κάποιο χρήστη να δημιουργήσει ένα πρόγραμμα λειτουργίας συσκευών που προτίθεται να χρησιμοποιήσει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για τον σκοπό αυτό λαμβάνονται υπόψη πληροφορίες όπως η προτεραιότητα χρήσης, οι ώρες που επιθυμεί ο χρήστης να δουλέψει η συσκευή του, η διάρκεια λειτουργίας και η μέση κατανάλωση της συσκευής. Μολονότι με τα σενάρια που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία αποδεικνύεται τόσο η ορθότητα αλλά και το κέρδος χρήσης του αλγόριθμου, υπάρχουν ακόμα κάποιοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να μπορεί ο αλγόριθμος να μας δώσει ορθά αποτελέσματα σε ποιο σύνθετα περιβάλλοντα.

Τέτοιοι παράγοντες είναι οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Για παράδειγμα αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλή τότε είναι πολύ πιθανό ο χρήστης να θέλει να ξεκινήσει την συσκευή κλιματισμού του σε κάποιες χρονικές περιόδους. Για να μελετηθεί το ακόλουθο σενάριο και να προστεθεί στην μελέτη προγραμματισμού θα πρέπει να υπάρχει ένας

μηχανισμός ο οποίος θα προσθέτει ή θα αφαιρεί γεγονότα από την λίστα επιμερισμού με βάση τους διάφορους εξωγενείς παράγοντες.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να μελετηθεί είναι το πρότυπο λειτουργίας μιας συσκευής. Στην παρούσα μελέτη επειδή δεν κατέστη δυνατό να έχουμε ξεκάθαρη εικόνα για την ακριβή λειτουργία κάθε συσκευής, λήφθηκε υπόψη η μέση κατανάλωση ενέργειας για καλοκαίρι και χειμώνα. Σίγουρα, κάθε συσκευή όσο δουλεύει περνά μέσα από διαφορετικές καταστάσεις. Αυτό φέρνει αυξομειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα πλυντήριο ρούχων έχει διαφορετική κατανάλωση όταν θα ζεσταίνει το νερό και διαφορετική κατανάλωση όταν γυρίζει ο κάδος. Το ίδιο και ένα ψυγείο το οποίο ως γνωστό είναι μια συσκευή που δουλεύει συνέχεια. Αντίστοιχο θέμα παρουσιάστηκε στη μελέτη με τα ενεργειακά δεδομένα REDD

Τέλος επειδή καταναλωτής από καταναλωτή διαφέρει, τα τρία κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν δεν καλύπτουν όλο το φάσμα των καταναλωτών. Μια επέκταση του αλγορίθμου θα ήταν να αναπτυχθεί μια βάση δεδομένων η οποία θα είχε καταχωρημένα μέσα τα δεδομένα κατανάλωσης της του κάθε σπιτιού ως ιστορικά δεδομένα. Με τη βοήθεια αλγορίθμων μηχανικής μάθησης θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα μοντέλο βασικής κατανάλωσης κάθε χρήστη. Με βάση το πλάνο ημέρας που ο χρήστης θα δίνει σαν δεδομένο εισόδου και το μοντέλο τιμολόγησης που ακολουθείται ο αλγόριθμος θα του έδινε ένα πρόγραμμα όσο πιο κοντά γίνεται στις προτιμήσεις του.

Επιπλέον ανακαλώντας τη θεωρία του Έξυπνου Δικτύου που εξηγήθηκε στο Κεφάλαιο 2, μια τέτοια υλοποίηση θα ήταν χρήσιμη για έναν aggregator. Ο aggregator θα είχε εις γνώση του τη βασική κατανάλωση των καταναλωτών του, λαμβάνοντας τις πληροφορίες από το κάθε σπίτι. Έτσι σε περίπτωση που ερχόταν ένα Demand Response σήμα όπου θα έπρεπε να ζητήσει από κάποιο καταναλωτή να μειώσει την κατανάλωση του σε κάποιο χρονικό διάστημα θα γνωρίζει από ποιο καταναλωτή να ζητήσει και πόσα. Αυτό θα επιφέρει ένα πλεονέκτημα στο ότι θα ξέρει σίγουρα ποιους καταναλωτές θα εμπιστευτεί ώστε να τους ζητήσει να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας τους παρά να τη ζητήσει εξ ολοκλήρου από ένα συγκεκριμένο ο οποίος πιθανότατα να μην μπορεί να ικανοποιήσει το αίτημα ή να το ικανοποιήσει εν μέρει.

## Βιβλιογραφία

- [1] IEA, World Energy Outlook 2020, Paris, 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- [2] Economic Co-operation and Development – OECD, “OECD Homepage”, [Online]. Available: <https://www.oecd.org/>.
- [3] O. A. Sianaki, O. Hussain and A. R. Tabesh, "A Knapsack problem approach for achieving efficient energy consumption in smart grid for endusers' life style," 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, Waltham, MA, 2010
- [4] Centre for Research and Technology Hellas - CERTH, 2020, “Delta H2020 Homepage,” *DELTA Project*. [Online]. Available: <https://www.delta-h2020.eu/>.
- [5] Vikas Chandan, Tanuja Ganu, Tri Kurniawan Wijaya, Marilena Minou, George Stamoulis, George Thanos, and Deva P. Seetharam, “IDR: consumer and grid friendly demand response system”. In Proceedings of the 5th international conference on Future energy systems, 2014.
- [6] Ιωάννης Δημητρίου, “Αλγόριθμος Διαχείρισης Ενέργειας Για Μοντέλα Τιμολόγησης Αυξημένης Ζήτησης, M.S. thesis, University of Cyprus, Nicosia, CY, 2015.
- [7] S. Makonin, B. Ellert, I. V. Bajic, and F. Popowich, “Electricity, water, and natural gas consumption of a residential house in Canada from 2012 to 2014,” , 2016.
- [8] Kolter, J & Johnson, Matthew. “REDD: A Public Data Set for Energy Disaggregation Research”, 2011
- [9] U. Pferschy, "Dynamic Programming Revisited: Improving Knapsack Algorithms " Computing, 1999.
- [10] Lingo, "Integer Programming, Linear Programming, Nonlinear Programming, Global Optimization," 2010.

- [11] M.Bonvini, “Energy Analysis with Pandas”, 2016, [Online]. Available: <https://github.com/mbonvini/EnergyAnalysisWithPandas>
- [12] AspenCore, “RMS Voltage Tutorial”, 2020. [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/rms-voltage.html>
- [13] AHK, “Διατιμήσεις Οικιακής Χρήσης”, 2020 [Online]. Available: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Supply/tariffs/Documents/%ce%94%ce%b9%ce%b1%cf%84%ce%b9%ce%bc%ce%ae%cf%83%ce%b7%20%ce%9f%ce%b9%ce%ba%ce%b9%ce%b1%ce%ba%ce%ae.pdf>
- [14] «ComEd Real Time Pricing Programm,» [Online]. Available: <https://hourlypricing.comed.com/live-prices/>
- [15] “ Ontario Energy Board” [Online]. Available: <https://www.oeb.ca/>
- [16] Yoshihiro Yamamoto and et al, «Decision - making in electrical appliance use in the home,» Energy Policy, 2008.
- [17] C. Fischer, «Feedback on household electricity consumption a tool for saving energy?,» Energy Efficiency, 2008.
- [18] “ Zigbee Alliance” [Online]. Available: <https://zigbeealliance.org/>
- [19] “ ecobee” [Online]. Available: <https://www.ecobee.com/en-us/>
- [20] Η. Κ. Σάββα, «Άπληστοι Αλγόριθμοι,» σε Αλγόριθμοι και Πολυπλοκότητα, 2005.
- [21] Google Developers, “The Knapsack Problem” [Online]. Available: <https://developers.google.com/optimization/bin/knapsack>
- [22] Α.Philippou “Άπληστοι Αλγόριθμοι” class notes for ECE 544, Department of Computer Science, University of Cyprus, 2005.
- [23] Batra Nipun et al. “NILMTK: An open-source toolkit for non-intrusive load monitoring”, e-Energy 2014, Proceedings of the 5th ACM International Conference on Future Energy Systems, 2014

- [24] J Zico Kolter, Matthew J. Johnson, «REDD: A Public Data Set for Energy Dissagregation Research » τόμ. 1, pp. 1-6, 2011.
- [25] G. Hart. Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE, 80(12), 1992.
- [26] Stephen Makonin. et al. «AMPds: A public Dataset for Load Disaggregation and Eco-Feedback Research » Annual Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pp. 1-6, 2013.
- [27] Murray, D. et al. An electrical load measurements dataset of United Kingdom households from a two-year longitudinal study. Sci. Data 4:160122 doi: 10.1038/sdata.2016.122 (2017)