



ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



Εφαρμογή

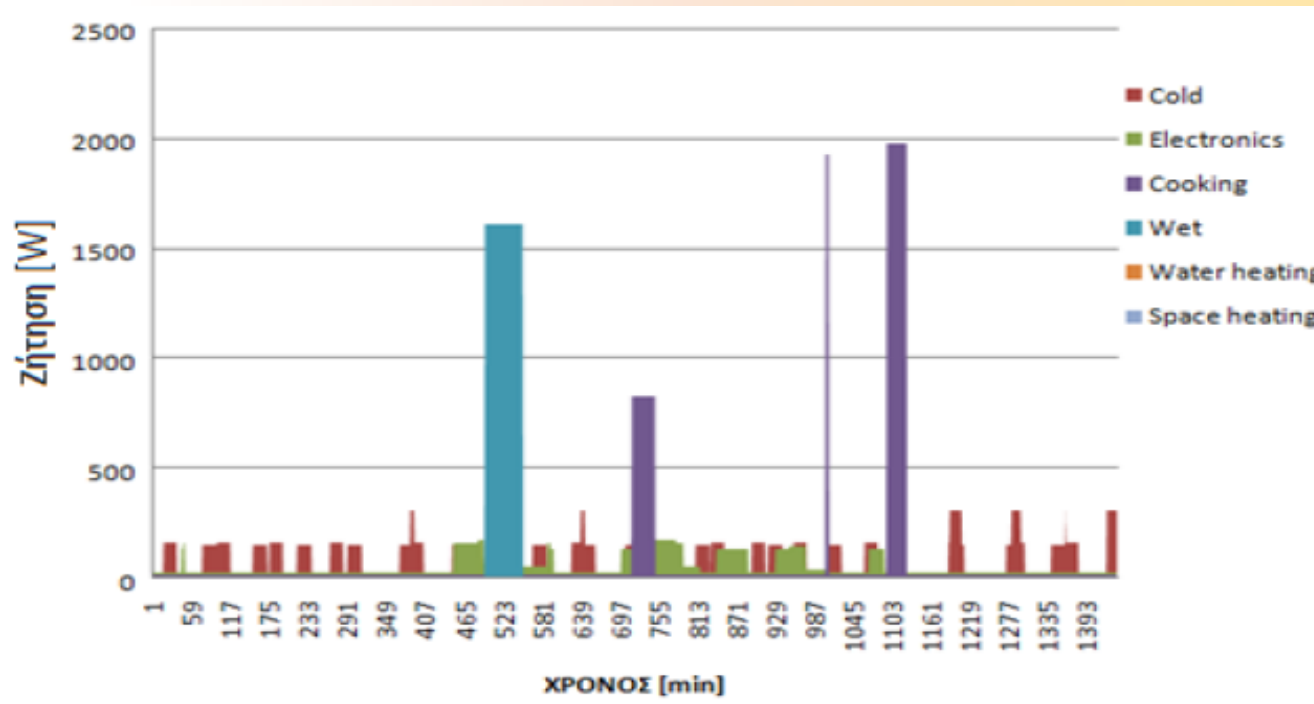
Κάθε σπίτι χαρακτηρίζεται από ένα δικό του σύνολο φορτίων (appliances), σε υποσύνολο του οποίου είναι δυνατόν να ασκηθεί αυτοματοποιημένος έλεγχος. Τέτοια φορτία είναι ο θερμοσίφωνας, ο κλιματισμός, το ψυγείο, το πλυντήριο πιάτων, το πλυντήριο ρούχων, το στεγνωτήριο ρούχων ή ακόμα και το ηλεκτρικό αυτοκίνητο και οι συσσωρευτές.

Ο έλεγχος της λειτουργίας φορτίων από μεγάλο αριθμό οικιών θα συνεισφέρει τελικά στην βελτιστοποίηση της συνολικής ζήτησης του δικτύου. Οι πελάτες μπορούν να επιλέγουν τον αρχικό τρόπο λειτουργίας των φορτίων τους και να επιτρέπουν στο σύστημα την τροποποίηση του τρόπου λειτουργίας τους, ως απόκριση σε μηνύματα DR (Demand Response) από τον πάροχο ή τον τοπικό διαχειριστή.

Τα οικιακά φορτία μπορούν να ομαδοποιηθούν με κριτήριο τη δραστηριότητα με την οποία σχετίζονται. Στην παρούσα εφαρμογή θα αποδεχθούμε την ομαδοποίηση που προτείνεται από το μοντέλο του CREST (Centre for Renewable Energy System Technology).



Εφαρμογή



Όταν η δραστηριότητα «Wet» μαζί με τη δραστηριότητα «Cooking» ενεργοποιούνται για ένα μικρό χρονικό διάστημα δημιουργούν μια απότομη αύξηση της ζήτησης.

Σχήμα 1. Παράδειγμα εικοσιτετράωρης ζήτησης από ένα τυχαίο νοικοκυριό ομαδοποιημένο κατά δραστηριότητα



Εφαρμογή

- Η δραστηριότητα «Wet» συμπεριλαμβάνει το στεγνωτήριο, τα πλυντήρια πιάτων και ρούχων.
- Η δραστηριότητα «Cooking» συμπεριλαμβάνει όλες τις συσκευές μαγειρέματος και προετοιμασίας φαγητού.

-Τι είναι Άνεση ή Θερμική άνεση?

Είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή.

Αντίθετα με τη δραστηριότητα «Cooking» η δραστηριότητα «Wet» βασίζεται σε μετατιθέμενα φορτία. Η αυτόματη τροποποίηση της λειτουργίας τους σε διαφορετική ώρα από την αρχική δεν δημιουργεί σχεδόν κανένα πρόβλημα στην άνεση των χρηστών.



Εφαρμογή

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θα εστιάσουμε σε τέσσερις κατηγορίες συσκευών:

- Τα πλυντήρια πιάτων (DW)
 - Τα πλυντήρια ρούχων (WM)
 - Τα στεγνωτήρια ρούχων (TD), που και τα τρία ανήκουν στη δραστηριότητα «Wet»
 - Τους ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες (EWH), οποίοι ανήκουν στη δραστηριότητα «Water heating».
-
- Οι θερμοσίφωνες είναι σημαντική κατηγορία φορτίων για έλεγχο της ζήτησης λόγω της μεγάλης κατανάλωσης.
 - Τα πλυντήρια και τα στεγνωτήρια θεωρούμε ότι έχουν τη δυνατότητα επιλογής ώρας έναρξης του κύκλου (μετατόπιση του κύκλου). Επιπλέον μερικές συσκευές επιτρέπουν τη δυνατότητα αυτόματης τροποποίησης του κύκλου, δηλαδή τη μετατόπιση της ώρας έναρξης του κύκλου και τη δυνατότητα διακοπής του (π.χ. στεγνωτήρια και θερμοσίφωνες).
 - Τόσο τα πλυντήρια πιάτων, τα πλυντήρια ρούχων, τα στεγνωτήρια όσο και οι θερμοσίφωνες είναι από τα εύκολα προσαρμόσιμα φορτία για τη μείωση της αιχμής της ζήτησης σε σύγκριση με κάποια άλλα οικιακά φορτία και συνεπώς γι αυτό επιλέχθηκαν για μελέτη της συνεισφοράς τους στην τροποποίηση της ζήτησης.



Εφαρμογή

- Τα προγράμματα βασισμένα σε τιμή είναι τα πλέον κατάλληλα για οικιακούς καταναλωτές σε σχέση με τα προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα. Ως δεδομένα εισόδου για τον τρόπο χρέωσης επιλέχθηκε το τιμολόγιο RTP που είναι αποτελεσματικότερο σε σχέση με το μέχρι σήμερα περισσότερο διαδεδομένο τιμολόγιο ΤΟΥ.
- Οι τιμές του RTP, επειδή μεταβάλλονται συνεχώς, είναι δύσκολο να παρακολουθούνται σε καθημερινή βάση από τους χρήστες. Ωστόσο, αν δοθεί μεγαλύτερη ελαστικότητα για αυτοματοποιημένο έλεγχο στο σύστημα διαχείρισης φορτίων, το RTP μπορεί να γίνει περισσότερο ωφέλιμο πρόγραμμα για τους οικιακούς πελάτες.



RTP

-Τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο – Real Time Pricing (RTP)

Είναι περισσότερο δυναμική μέθοδος τιμολόγησης. Οι ωριαίες χρεωστικές τιμές χονδρικής πώλησης αντανακλούν αναλογικά χρεώσεις στους πελάτες σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές εφαρμογές της RTP. Στην πρώτη οι ωριαίες τιμές της επόμενης ημέρας καθορίζονται και ανακοινώνονται στους πελάτες μια μέρα νωρίτερα (day before). Στη ενδοημερήσια RTP, οι τιμές είναι διαθέσιμες μόνο μερικές ώρες πριν (hour before). Στον τελευταίο τύπο, καθορίζεται ένα χρονολογικό προφίλ αναφοράς κατανάλωσης για τους πελάτες. Οι αποκλίσεις από τον αρχικό στόχο είτε αυτές αφορούν της αύξηση είτε αφορούν τη μείωση χρεώνονται επιπλέον. Για τη βασική κατανάλωση RTP λειτουργεί στα πρότυπα της TOU, αλλά όταν ο πελάτης ξεπεράσει το όριο της βασικής κατανάλωσης πληρώνει το επιπλέον κόστος σε τιμές της RTP. Σε αντίθετη περίπτωση αν ο χρήστης καταναλώσει λιγότερο θα ανταμειφθεί με επιστροφή χρημάτων ή κάποια έκπτωση στο λογαριασμό του. Λόγω των δυναμικών τιμών των ωριαίων διακυμάνσεων, τα τιμολόγια RTP απαιτούν την ανάπτυξη προηγμένων υποδομών επικοινωνίας και αυτοματισμών. Βάσει αυτού του τύπου τιμολόγησης είναι δυνατόν να πετύχει ο πελάτης την καλύτερη τιμή, αλλά και ταυτόχρονα, επειδή το ρίσκο μεταβιβάζεται από τον προμηθευτή στον πελάτη υπάρχει κίνδυνος για πολύ μεγάλες χρεώσεις. Η RTP απευθύνεται σε πελάτες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν την κατανάλωση τους ή αγοράζουν περιστασιακά μικρές ποσότητες ενέργειας με οικονομικό κόστος.



RTP

-Παράδειγμα τιμολόγησης RTP με τρία κλιμάκια:

Για μηνιαία κατανάλωση μέχρι έως 1600 κιλοβατώρες η τιμή είναι 0,17588€/kWh, για κατανάλωση μεγαλύτερη από τα 1600 και λιγότερη από 2000 κιλοβατώρες η τιμή διαμορφώνεται στις 0,18518€/kWh, ενώ για κατανάλωση μεγαλύτερη των 2000 κιλοβατώραν η τιμή ανεβαίνει στα 0,21985€.



Εφαρμογή

-Προφίλ Ζήτησης

Στο σύνολο της ζήτησης σε μια οικία συμβάλουν τόσο ελεγχόμενα όσο και μη ελεγχόμενα φορτία. Ανάμεσα στους παράγοντες που διαμορφώνουν το προφίλ της ζήτησης οι μελέτες αναφέρουν κυρίως τα παρακάτω:

- Τον όγκο της κατοικίας
- Τον αριθμό των ενοίκων
- Τις ημερήσιες ανάγκες και τις συνήθειες των ενοίκων
- Τις κλιματικές συνθήκες
- Το ενεργειακό προφίλ της κατοικίας και των συσκευών



Εφαρμογή

- Για τη μελέτη των μηχανισμών διαχείρισης DR της παρούσας εφαρμογής θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα της οικιακής ζήτησης που κατασκευάζει μια γεννήτρια οικιακής ζήτησης, η οποία σχεδιάστηκε βάσει των δεδομένων της ζήτησης, προερχόμενης από οικιακή κατανάλωση κατά τη διάρκεια ενός έτους σε μια περιοχή στο Ηνωμένο Βασίλειο από το CREST.
- Το μοντέλο του CREST, κατασκευάζει ένα ημερήσιο προφίλ της ζήτησης για κάθε οικία ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας, την εποχή του χρόνου και τον αριθμό των ενοίκων που δραστηριοποιούνται εντός της κατοικίας (active_occupancy). Το μοντέλο περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό από τις βασικές οικιακές συσκευές. Συγκεκριμένα, κατασκευάζει ψευδοτυχαία τα δεδομένα που αφορούν τους συνήθεις κύκλους συσκευών και τις πιθανότητες με το πότε αυτές οι συσκευές θα είναι ανοιχτές.
- Το πλήθος των μεμονωμένων προφίλ της ζήτησης που κατασκευάζει το μοντέλο επιλέχθηκε ως δεδομένο για τη μελέτη της επίδρασης των μηχανισμών DR λόγω της έλλειψης πραγματικών δεδομένων στη χώρα μας. Η αλληλουχία της κατασκευής ημερήσιου προφίλ της ζήτησης για κάθε συσκευή περιλαμβάνει τέσσερα βήματα.



Εφαρμογή

Βήμα 1ο: Σχηματισμός προφίλ δραστηριότητας με βάση τα εξής στοιχεία: Είδος συσκευής, αριθμός ενεργών κατοίκων, μέρα της εβδομάδας. Στόχος είναι να κατασκευαστεί ένας ημερήσιος πίνακας πιθανότητας δραστηριοτήτων (ActivityStatistics) με χρονικά βήματα 10 λεπτών, όπως για παράδειγμα το απόσπασμα των πιθανοτήτων για τη χρήση οικιακών δραστηριοτήτων για την ώρα από 00:00 έως 1:00 που δίνεται στον Πίνακα 1.

Βήμα 2ο: Από το πίνακα δραστηριοτήτων δίνεται η πιθανότητα τη δεδομένη στιγμή να εκτελείται η δραστηριότητα για δεδομένο αριθμό κατοίκων. Π.χ. η πιθανότητα Pr_{act} να εκτελείται η δραστηριότητα Act_Cooking με ένα άτομο στο διάστημα από 00:00 έως 00:10 είναι: $Pr_{act}=0.02$.

Βήμα 3ο: Η πιθανότητα να είναι ενεργοποιημένη η συγκριμένη συσκευή για κάθε χρονικό διάστημα προκύπτει ως αποτέλεσμα πολλαπλασιασμού ενός παράγοντα $CalibrationScalar$, ο οποίος συσχετίζεται με την πιθανότητα της δραστηριότητας μαγειρέματος (Act_Cooking) με την επιλεγμένη συσκευή (φούρνο μικροκυμάτων): $Pr_a=Pr_{act}\cdot CalibrationScalar$

π.χ. για Act_Cooking με ένα άτομο στο διάστημα από 00:00 έως 00:10 η πιθανότητα η συσκευή Microwave να χρησιμοποιείται είναι:

$$Pr_a=0.02* 0,003=0,00006$$



Εφαρμογή

Βήμα 4ο: Γίνεται σύγκριση της πιθανότητας να βρίσκεται η συγκεκριμένη συσκευή σε λειτουργία με τυχαίο αριθμό z (μεταξύ 0 και 1), ο οποίος παράγεται από γεννήτρια τυχαίων αριθμών.

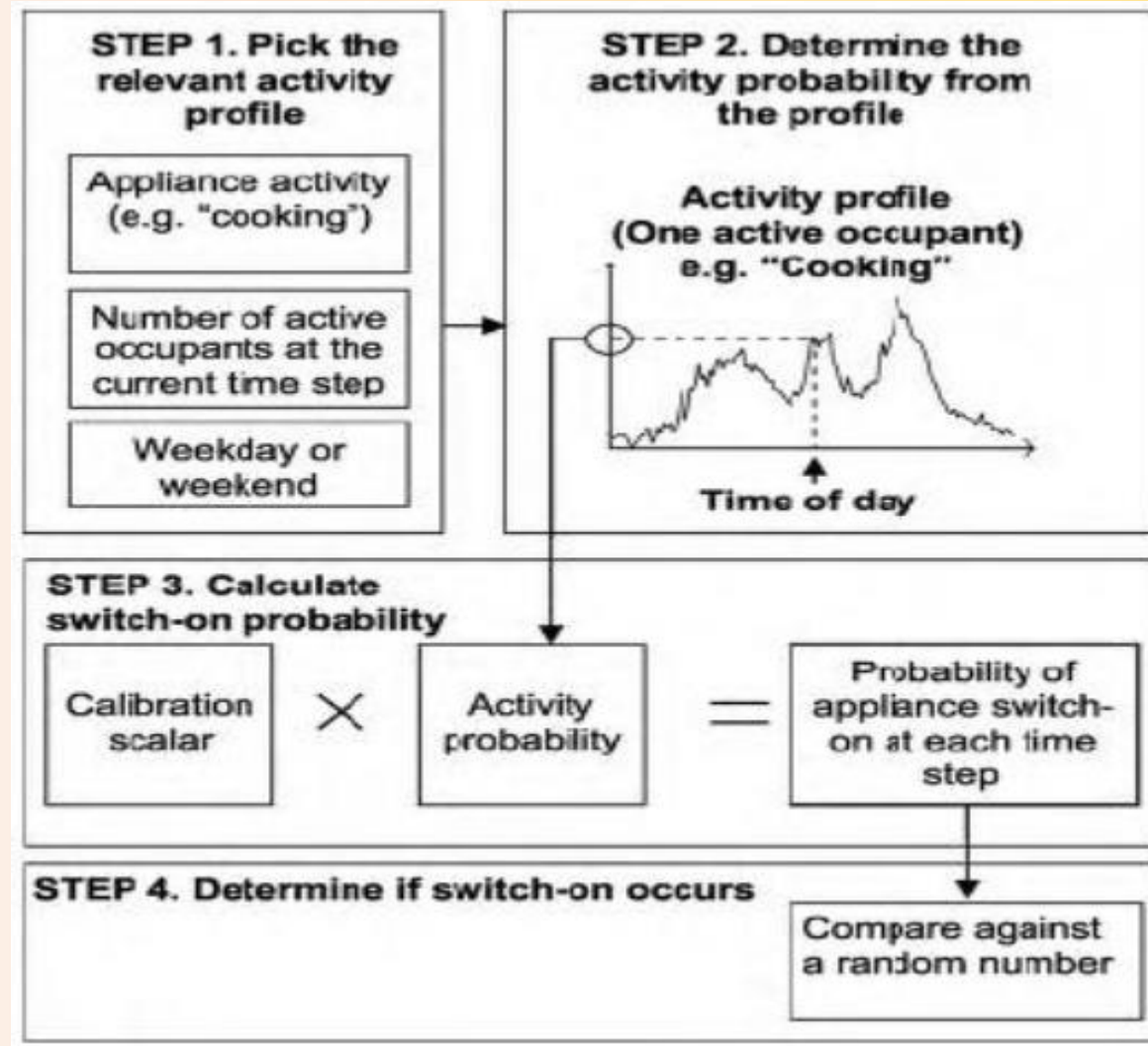
$$Pr_{appliance,on} > z = \begin{cases} True & - \text{Συσκευή ανοιχτή} \\ False & - \text{Συσκευή κλειστή} \end{cases}$$

Ως αποτέλεσμα κατασκευάζεται ένας τελικός πίνακας ημερήσιας κατάστασης λειτουργίας συσκευής (0/1) με βήμα ενός λεπτού.

Το μοντέλο επαναλαμβάνει τα βήματα για όλες τις συσκευές και ως αποτέλεσμα δημιουργείται πίνακας πιθανών καταστάσεων λειτουργίας X για όλες τις συσκευές σε μια οικία.



Εφαρμογή



Σχήμα 2. Υπολογισμός πιθανότητας ενεργοποίησης συσκευών



Εφαρμογή

Πίνακας 1 Πιθανότητες ενεργοποίησης συσκευών [Πηγή: CREST]

Αρ. Ατόμων	Δραστηριότητα	Πιθανότητες χρήσης					
		00:00 - 00:10	00:10 - 00:20	00:20 - 00:30	00:30 - 00:40	00:40 - 00:50	00:50 - 01:00
0	Act_TV	0	0	0	0	0	0
0	Act_Cooking	0	0	0	0	0	0
0	Act_Laundry	0	0	0	0	0	0
0	Act_WashDress	0	0	0	0	0	0
0	Act_Iron	0	0	0	0	0	0
0	Act_HouseClean	0	0	0	0	0	0
1	Act_TV	0.32	0.33	0.34	0.32	0.34	0.30
1	Act_Cooking	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
1	Act_Laundry	0	0.00	0	0	0	0.00
1	Act_WashDress	0.12	0.09	0.07	0.10	0.09	0.08
1	Act_Iron	0	0	0	0	0	0
1	Act_HouseClean	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
2	Act_TV	0.52	0.55	0.55	0.60	0.61	0.56
2	Act_Cooking	0.05	0.06	0.07	0.051	0.05	0.06
2	Act_Laundry	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02
2	Act_WashDress	0.22	0.18	0.22	0.26	0.16	0.18
2	Act_Iron	0.01	0.01	0	0	0	0
2	Act_HouseClean	0.03	0.01	0.01	0.02	0	0
3	Act_TV	0.90	0.82	0.69	0.7	0.83	0.71
3	Act_Cooking	0.05	0.06	0	0	0.17	0.14
3	Act_Laundry	0	0	0	0	0	0
3	Act_WashDress	0.24	0.18	0.08	0.1	0	0.29
3	Act_Iron	0	0	0	0	0	0



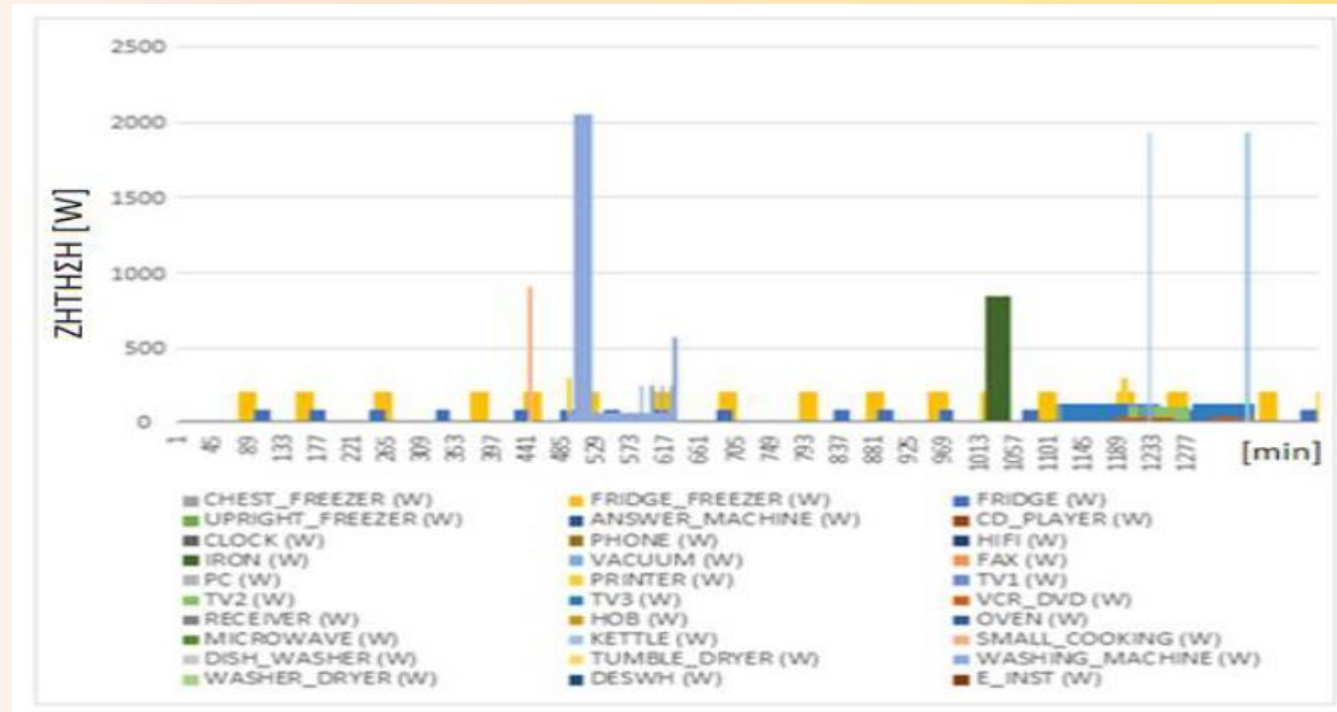
Εφαρμογή

2	Act_HouseClean	0.03	0.01	0.01	0.02	0	0
3	Act_TV	0.90	0.82	0.69	0.7	0.83	0.71
3	Act_Cooking	0.05	0.06	0	0	0.17	0.14
3	Act_Laundry	0	0	0	0	0	0
3	Act_WashDress	0.24	0.18	0.08	0.1	0	0.29
3	Act_Iron	0	0	0	0	0	0
3	Act_HouseClean	0	0	0	0	0	0
4	Act_TV	1	0.5	1	1	1	1
4	Act_Cooking	0	0	0	0	0	0
4	Act_Laundry	0	0	0	0	0	0
4	Act_WashDress	0.5	0.5	0	0	0	0
4	Act_Iron	0	0	0	0	0	0
4	Act_HouseClean	0	0	0	0	0	0
5	Act_TV	1	1	1	1	1	0
5	Act_Cooking	0.33	1	1	1	1	0
5	Act_Laundry	0	0	0	0	0	0
5	Act_WashDress	0.33	0	0	0	1	0
5	Act_Iron	0	0	0	0	0	0
5	Act_HouseClean	0	0	0	0	0	0



Εφαρμογή

Όταν ληφθεί υπόψη η κατανάλωση κάθε συσκευής, κατασκευάζεται ο πίνακας με την αναλυτική ζήτηση κάθε συσκευής. Το παράδειγμα του παραγομένου από το μοντέλο τυχαίου ημερήσιου προφίλ της ζήτησης για μια καθημερινή μέρα για μια κατοικία με δυο ενοίκους παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Στο σχήμα βλέπουμε την αναμενόμενη ζήτηση για κάθε τύπο συσκευής κατά την διάρκεια ολόκληρου του εικοσιτετράωρου.



Σχήμα 3. Ημερήσιο προφίλ της ζήτησης



Εφαρμογή

Στην εφαρμογή, για να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της ζήτησης, τα φορτία ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας με την οποία σχετίζονται, ως εξής:

- Ψυγεία, καταψύκτες (Cold)
- Θέρμανσης νερού (Water heating)
- Μαγειρέματος (Cooking)
- Πλυντήρια, στεγνωτήρια (Wet)
- Συνθηκών χώρου (Θέρμανση-Κλιματισμός (HVAC), lighting)
- Ψυχαγωγίας (House Electronics, Τεχνολογία Πληροφοριών και Επικοινωνίας (ICT))

Για να ερευνήσουμε την επίδραση της DR εξετάζουμε τα φορτία από την πλευρά της εκλεξιμότητας. Αρχικά αναγνωρίζουμε ότι κάθε σπίτι διαθέτει φορτία που ανήκουν σε μια από τις δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Ελεγχόμενα φορτία (controllable): τέτοια είναι το πλυντήριο, ο θερμοσίφωνας, ή το κλιματιστικό.
- Μη ελεγχόμενα φορτία (non-controllable): τέτοια είναι οι συσκευές επικοινωνιών (fax, router), πολυμέσων (TV, PC).



Εφαρμογή

- Τα ηλεκτρικά φορτία των καταναλωτών κατά την καταγραφή των χαρακτηριστικών τους στα συστήματα διαχείρισης εντάσσονται σε μια από τις ανωτέρω ομάδες φορτίων. Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των φορτίων συμπεριλαμβάνεται ο βαθμός της ελαστικότητας ελέγχου της κάθε συσκευής, τον οποίο μπορεί να καθορίζει ο πελάτης.
- Σημειώνεται ότι τα λεγόμενα βασικά φορτία (Base Loads) που δεν είναι ελεγχόμενα (non-controllable), αν και δεν συμμετέχουν στο DR, καταναλώνουν ρεύμα, όπως και κάθε φορτίο που δεν διατίθεται από το χρήστη για DR έλεγχο.
- Κατά συνέπεια υπάρχει ένα κατώτατο όριο κατανάλωσης ενέργειας για κάθε πελάτη, το οποίο δεν μπορεί να τροποποιηθεί με κανένα από τους προτεινόμενους μηχανισμούς.
- Η συνολική κατανάλωση του πελάτη υπολογίζεται ως το άθροισμα κατανάλωσης όλων των τύπων φορτίων.
- Επιπλέον μερικές κατηγορίες ηλεκτρικών φορτίων έχουν ελάχιστο κύκλο λειτουργίας και δεν μπορούν να απενεργοποιηθούν πριν ολοκληρωθεί, παράδειγμα είναι τα πλυντήρια και στεγνωτήρια.



Εφαρμογή

Συνολικά για διαχείριση της ζήτησης ξεχωρίζουμε τρεις μεγάλες ομάδες φορτίων:

- Μετατιθέμενα φορτία (Shiftable): η λειτουργία αυτού του είδους φορτίων μπορεί να γίνει σε διαφορετική ώρα της ημέρας (π.χ. τα πλυντήρια), αλλά δεν γίνεται να τροποποιηθεί ο κύκλος λειτουργίας τους.
- Διακοπτόμενα (Interruptible): τα φορτία αυτής της ομάδας μπορούν να απενεργοποιηθούν αν χρειαστεί (Θερμοσίφωνα)
- Μετατιθέμενα με αναβολή μέρους του κύκλου (προσωρινή διακοπή): τέτοια είναι τα φορτία όποια μπορούν να τροποποιήσουν τον κύκλο λειτουργίας τους αν χρειαστεί (π.χ. στεγνωτήρια)



Εφαρμογή

Τα δεδομένα που αφορούν τα οικιακά φορτία χρησιμοποιούν στατιστικά στοιχεία, τα οποία συγκεντρώθηκαν από το έργο SMART-A (Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy System). Οι προτεινόμενοι τύποι συσκευών και η ομαδοποίησή τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Κατηγορίες συσκευών [Πηγή: CREST]

Χρήση συσκευής	Τύπος Συσκευής	Μέση ετήσια κατανάλωση Standby (kWh/y)	Μέση ωριαία κατανάλωση On (Wh)	Κατανάλωση σε σχέση με τη χρήση	DR Κατηγορία συσκευής
Συντήρηση τροφής	Chestfreezer	0	44.3	σταθερή	BaseInterruptible/ Curtailable
	Fridgefreezer	0	69.7	σταθερή	BaseInterruptible/ Curtailable
	Refrigerator	0	33.0	σταθερή	BaseInterruptible/ Curtailable
	Uprightfreezer	0	51.7	σταθερή	BaseInterruptible/ Curtailable



Εφαρμογή

Ηλεκτρονικές συσκευές	Answer machine	9	0	active_occ	Base non-controllable
	Cassette / CD Player	15	15.0	active_occ	Base non-controllable
	Clock	18	0	σταθερή	Base non-controllable
	Cordless telephone	9	0	active_occ	Base non-controllable
	Hi-Fi	78	100.0	active_occ	Basenon-controllable
	Iron	0	500.0	act_iron	Base non-controllable
	Vacuum	0	666.7	act_houseclean	Base non-controllable
	Fax	26	019.1	active_occ	Base non-controllable
	Personal computer	33	703.5	active_occ	Base non-controllable
	Printer	35	022.3	active_occ	Base non-controllable
	TV 1	21	150.9	act_tv	Base non-controllable
	TV 2	21	150.9	act_tv	Base non-controllable
	TV 3	14	150.9	act_tv	Base non-controllable



Εφαρμογή

	VCR / DVD	14	040.8	act_tv	Base non-controllable
	TV Receiver box	105	032.6	act_tv	Base non-controllable
Μαγείρεμα	Hob	9	640.0	act_cooking	FlexibleLoads
	Oven	26	956.3	act_cooking	FlexibleLoads
	Microwave	17	625.0	act_cooking	FlexibleLoads
	Kettle	9	100.0	active_occ	FlexibleLoads
	Small cooking (group)	17	50.0	act_cooking	FlexibleLoads
Πλυντήρια	Dish washer	0	1130.6	act_cooking	Shiftable
	Tumble dryer	9	2500.0	act_laundry	Shiftable
	Washing machine	8	932.8	act_laundry	Shiftable
	Washer dryer	8	2613.7	act_laundry	Shiftable
Θέρμανσης νερού	DESWH	0	000.0	active_occ	Shiftable
	E-INST	0	250.0	active_occ	Shiftable
	Electric shower	0	450.0	act_washdress	Shiftable
Συνοθηκών χώρου	Storage heaters	0	612000	custom	Interruptible/ Curtable
	Other electric space Appliances	0	8000	active_occ	Interruptible/ Curtable



Εφαρμογή

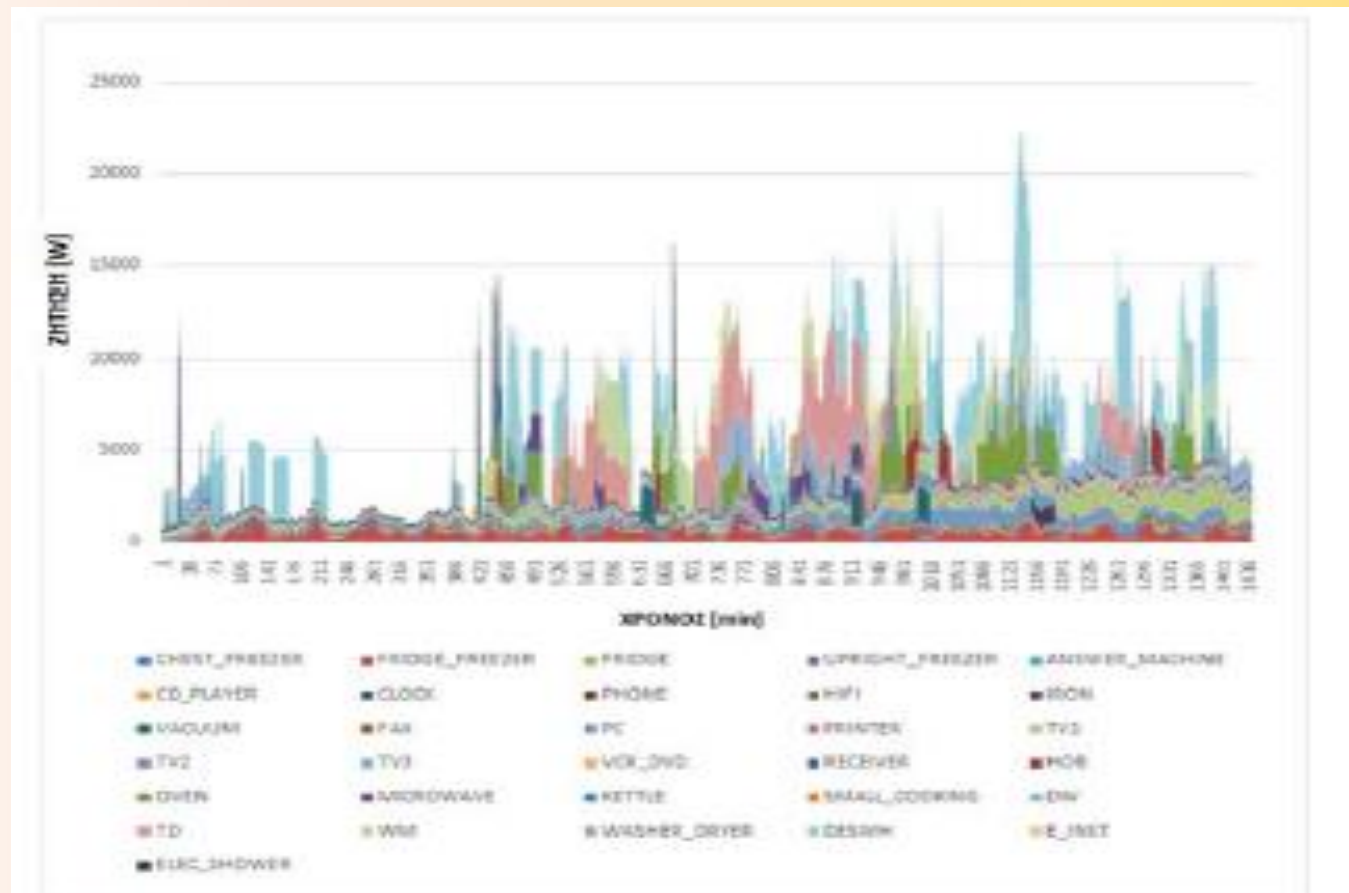
- Το μοντέλο που προτείνεται από την παρούσα εφαρμογή, βασίζεται στη μετατόπιση (shifting) οικιακών φορτίων σε διαφορετική ώρα. Κατά τη μετατόπιση η συνολική ημερήσια κατανάλωση πριν και μετά την τροποποίηση παραμένει ίδια. Τη συνολική ζήτηση μπορούν να μειώσουν τα φορτία που επιτρέπουν τη μεταβολή του κύκλου. Η τροποποίηση της ζήτησης έχει επίδραση στις αιχμές της καμπύλης ζήτησης αλλά και στη μείωση του κόστους για τα νοικοκυριά.
- Τα προφίλ των τυπικών συσκευών που προτείνονται παρακάτω κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τα στοιχεία της έρευνας SMART-A για τα μέσα προφίλ της ζήτησης οικιακών συσκευών.



Εφαρμογή

-Σχήμα Β1 Αναλυτικό προφίλ της ημερήσιας ζήτησης ανά συσκευή, για επιλεγμένο δείγμα νοικοκυριών.

Συγκεκριμένα για τη μελέτη των μηχανισμών διαχείρισης της ζήτησης επιλέχθηκε ημερήσιο προφίλ ζήτησης με βάση το μοντέλο CREST για δεκαπέντε κατοικίες.





Εφαρμογή

-Πίνακας Β1 Συνολική οικιακή ζήτηση μοντέλου

Ο πίνακας απεικονίζει το ποσοστό της συνολικής ζήτησης προερχόμενης από τα επιλεγμένα νοικοκυριά που αντιστοιχεί στα πλυντήρια πιάτων (DW), στα πλυντήρια ρούχων (WM), στα στεγνωτήρια ρούχων (TD) και τα υπόλοιπα φορτία.

ΩΡΑ	DW, TD, WM [W]	ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΦΟΡΤΙΑ [W]
0:00	390	33131
0:15	390	68795
0:30	390	54283
0:45	390	74664
1:00	390	89824
1:15	390	75617
1:30	390	34838
1:45	390	65624
2:00	390	88021
2:15	390	41467
2:30	390	76471
2:45	390	30011
3:00	390	31125



Εφαρμογή

3:15	390	73278
3:30	390	60039
3:45	390	21255
4:00	390	17766
4:15	390	24530
4:30	390	29619
4:45	390	23542
5:00	390	21252
5:15	390	17588
5:30	390	16986
5:45	390	24868
6:00	390	27045
6:15	390	53185
6:30	390	88709
6:45	894	110370
7:00	29232	122382
7:15	15351	308256
7:30	1470	246682



Εφαρμογή

7:45	1470	211485
8:00	1470	224110
8:15	1824	184352
8:30	20272	78041
8:45	36414	111696
9:00	38601	49737
9:15	66904	43280
9:30	74195	71459
9:45	96882	44898
10:00	75357	74226
10:15	11849	55985
10:30	3630	56323
10:45	3990	125796
11:00	29928	103399
11:15	48495	62984
11:30	34491	34447



Εφαρμογή

11:45	47016	30136
12:00	89629	31032
12:15	106839	73493
12:30	69636	107380
12:45	38388	100743
13:00	8939	75209
13:15	5235	178700
13:30	1824	172871
13:45	25061	161580
14:00	82949	186510
14:15	84990	175021
14:30	93970	171945
14:45	81850	251321
15:00	59663	203652
15:15	84420	221779
15:30	75299	153206
15:45	36957	108162
16:00	54698	229931
16:15	88788	183442
16:30	57348	142478
16:45	12093	193351



Εφαρμογή

17:00	6144	249038
17:15	6498	243077
17:30	9006	283905
17:45	37659	266515
18:00	20766	228367
18:15	10782	197858
18:30	7434	226710
18:45	32295	352061
19:00	12819	258024
19:15	2904	205219
19:30	2904	230577
19:45	5019	187472
20:00	1824	161711
20:15	1824	207406
20:30	21760	197155
20:45	41247	189321
21:00	37770	296502
21:15	37770	204171
21:30	17834	178468
21:45	390	215926



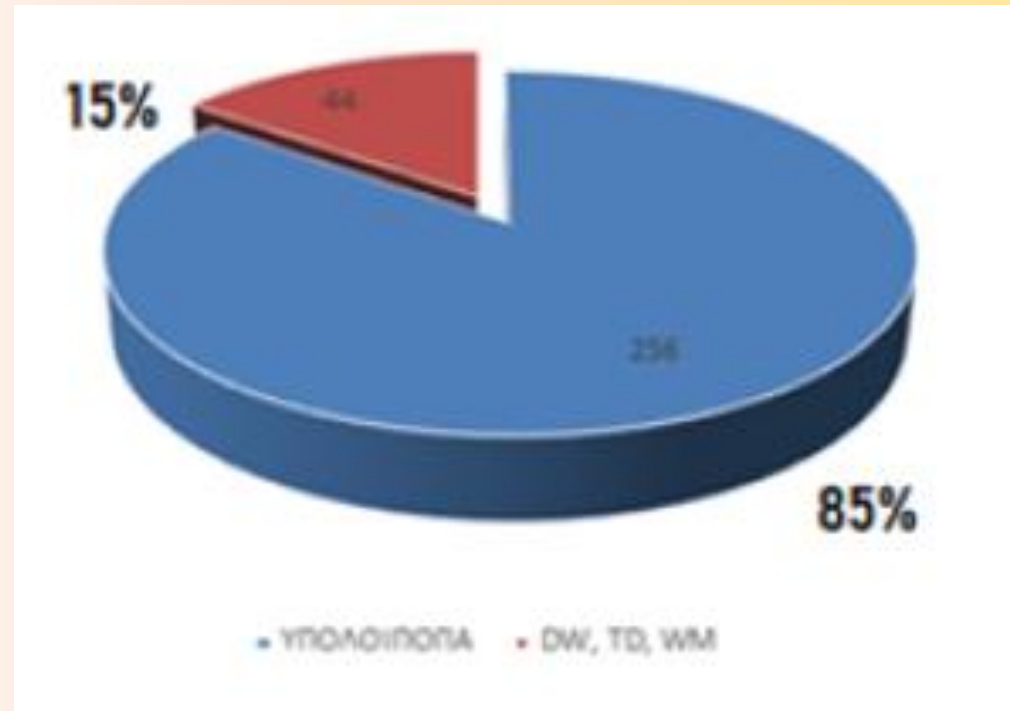
Εφαρμογή

22:00	390	186752
22:15	15351	246481
22:30	29376	198605
22:45	20397	214161
23:00	26346	269550
23:15	2550	144195
23:30	2550	110671
23:45	2904	116032



Εφαρμογή

Στο Σχήμα 4 φαίνεται η ποσότητα της ημερήσιας κατανάλωσης προερχόμενης από τα φορτία που θα υποβληθούν στους μηχανισμούς (πλυντήρια πιάτων (DW), πλυντήρια ρούχων (WM), στεγνωτήρια ρούχων (TD)), η οποία αποτελεί μόνο ένα μέρος από την οικιακή ζήτηση. Στην περίπτωση του δικού μας δείγματος σπιτιών αποτελεί το 15% της συνολικής ζήτησης.



Σχήμα 4. Ημερήσια ζήτηση WM, TD, DW



Εφαρμογή

-Προφίλ Πλυντηρίου Ρούχων

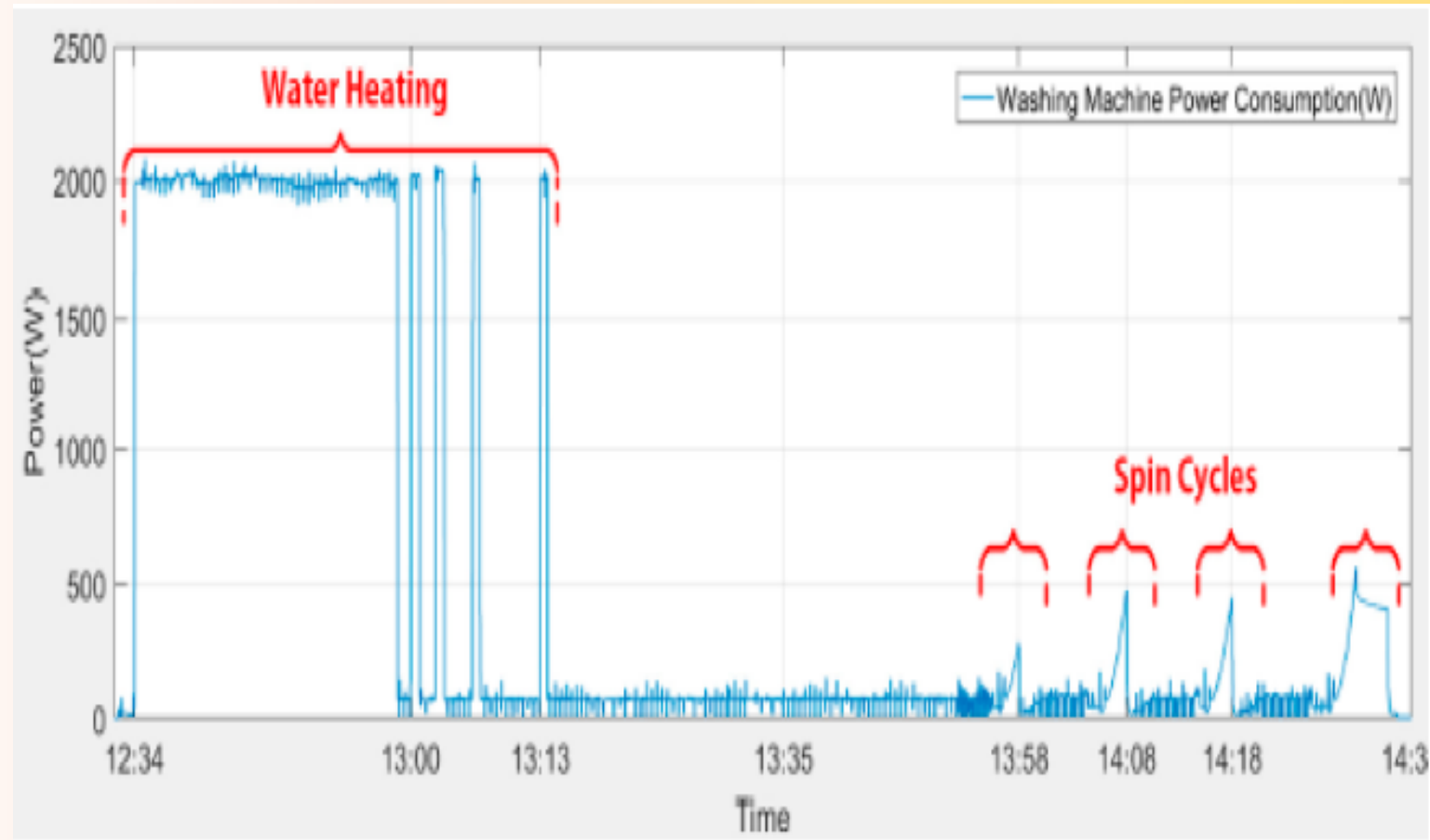
Το προφίλ της κατανάλωσης κάθε μεμονωμένου πλυντηρίου ρούχων (washing machine ή WM) διαφοροποιείται ανάλογα με:

- το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί
 - το μοντέλο του
 - το βάρος των ρούχων
 - τη θερμοκρασία του νερού
-
- ✓ Μεγαλύτερη χρήση ισχύος σε ένα πλυντήριο ρούχων κάνουν η ηλεκτρική αντίσταση και ο κινητήρας. Κατά τη λειτουργία αυτών των δύο γίνεται η μεγαλύτερη κατανάλωση.
 - ✓ Η μεγάλη ζήτηση σε φορτία στην αρχή της λειτουργίας οφείλεται κατά το κύριο λόγο στη θέρμανση (εξαρτάται από τη θερμοκρασία), ενώ στη συνέχεια για τη μεγάλη ζήτηση ευθύνεται κυρίως ο κινητήρας που παρέχει την κίνηση στο τύμπανο, η οποία ζήτηση εξαρτάται από την ταχύτητα της περιστροφής και τη διάρκειά της.

Ένα παράδειγμα κύκλου πλύσης στους 40 βαθμούς για βαμβακερά και συνθετικά ρούχα δίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.



Εφαρμογή



Σχήμα 5. Κύκλος λειτουργίας πλυντηρίου ρούχων [Πηγή: Issi]

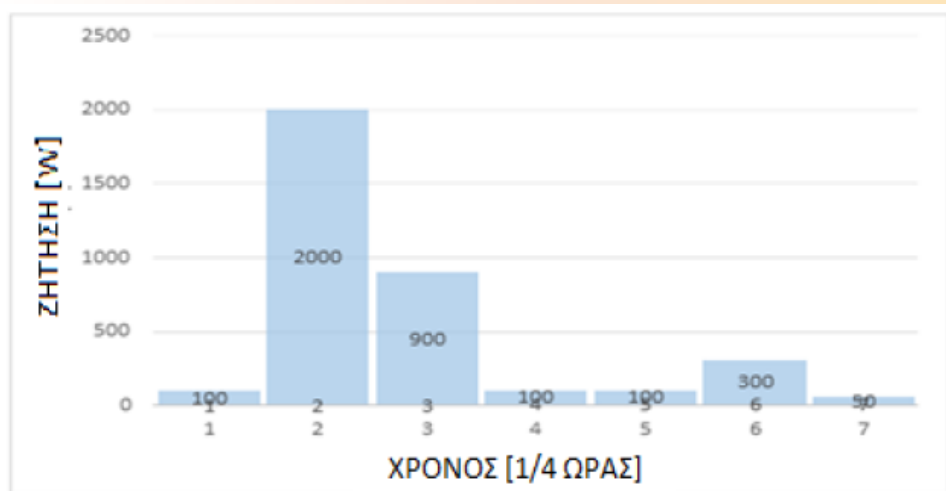


Εφαρμογή

Για τα πλυντήρια ρούχων γενικά δεν προτείνεται να γίνεται διακοπή του προγραμματισμένου κύκλου, επειδή αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ποιότητα της πλύσης, ενώ η καθυστέρηση της έναρξης του κύκλου διατηρεί τις ίδιες ιδιότητες της πλύσης με τη λειτουργία χωρίς καθυστέρηση.

Σε διαφορές μελέτες έχουν κατασκευαστεί μια σειρά από μοντέλα λειτουργίας των πλυντηρίων ρούχων.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται μοντέλο «μέσου» πλυντηρίου, που προτείνεται από την έρευνα SMART-A. Το μοντέλο προτείνει ανάλυση σε επτά φάσεις ισχύος με χρονική διάρκεια εκάστοτε φάσης $\frac{1}{4}$ της ώρας.



Η κατανάλωση του μέσου πλυντηρίου ρούχων διαδέχεται τις εξής δεκαπεντάλεπτες φάσεις ισχύος: 100, 2000, 900, 100, 100, 300 και 50 W.

Σχήμα 6. Προφίλ πλυντηρίου ρούχων



Εφαρμογή

- Σύμφωνα με τα παραπάνω, στα πλαίσια της μελέτης μας θα δεχθούμε ότι οι φάσεις στο προφίλ του πλυντηρίου ρούχων θα είναι πάντα διαδοχικές, δηλαδή χωρίς τη διακοπή.
- Η συνολική κατανάλωση μέσου πλυντηρίου ρούχων κατά τη διάρκεια ενός τυπικού κύκλου είναι 0.89 κιλοβατώρες.
- Τα πλυντήρια έχουν ενσωματωμένη τη δυνατότητα αναβολής έναρξης και περιμένουν το κατάλληλο σήμα για να ξεκινήσουν τη λειτουργία τους. Η προτιμώμενη ώρα έναρξης λειτουργίας *Tact* καθορίζεται από το χρήστη. Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει πόση ευελιξία δίνεται στο πλυντήριο, δηλαδή το μέγιστο παράθυρο αναβολής εκκίνησης D_{max} .

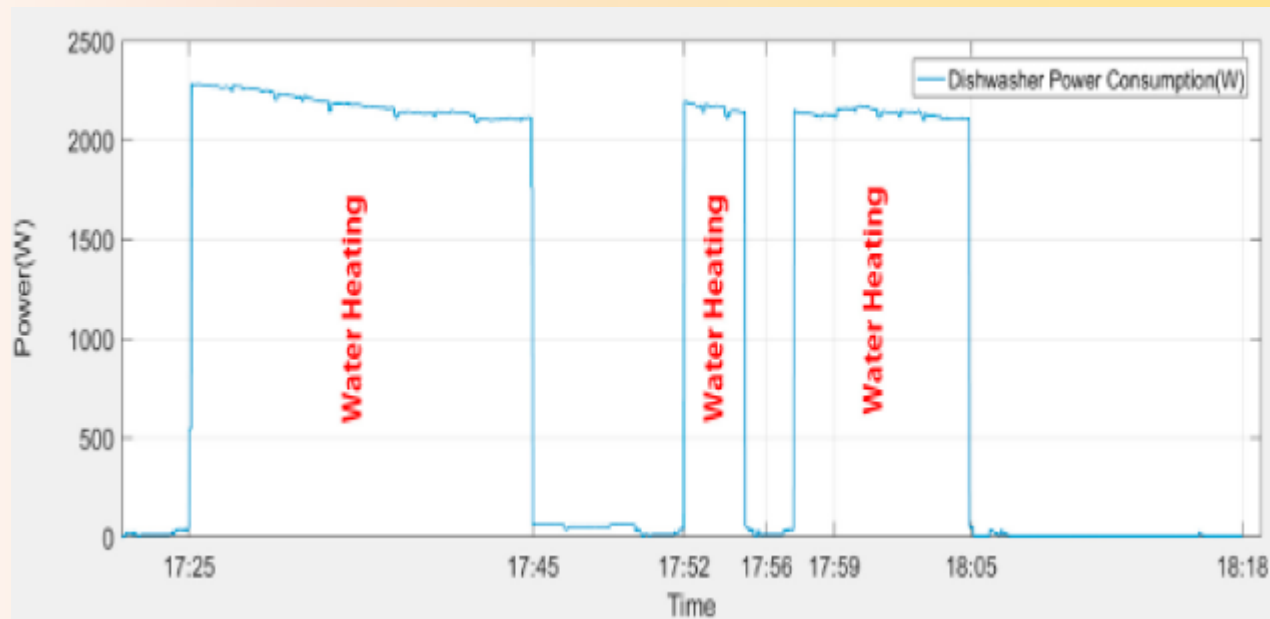


Εφαρμογή

-Προφίλ Πλυντηρίου Πιάτων

Η μεγάλη κατανάλωση του πλυντηρίου πιάτων (DW) παρατηρείται στη φάση θέρμανσης του νερού και εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την επιλεγμένη θερμοκρασία.

Παράδειγμα κατανάλωσης πλυντηρίου πιάτων σε ένα πρόγραμμα πλύσης στους 65 °C δίνεται στο Σχήμα 7.

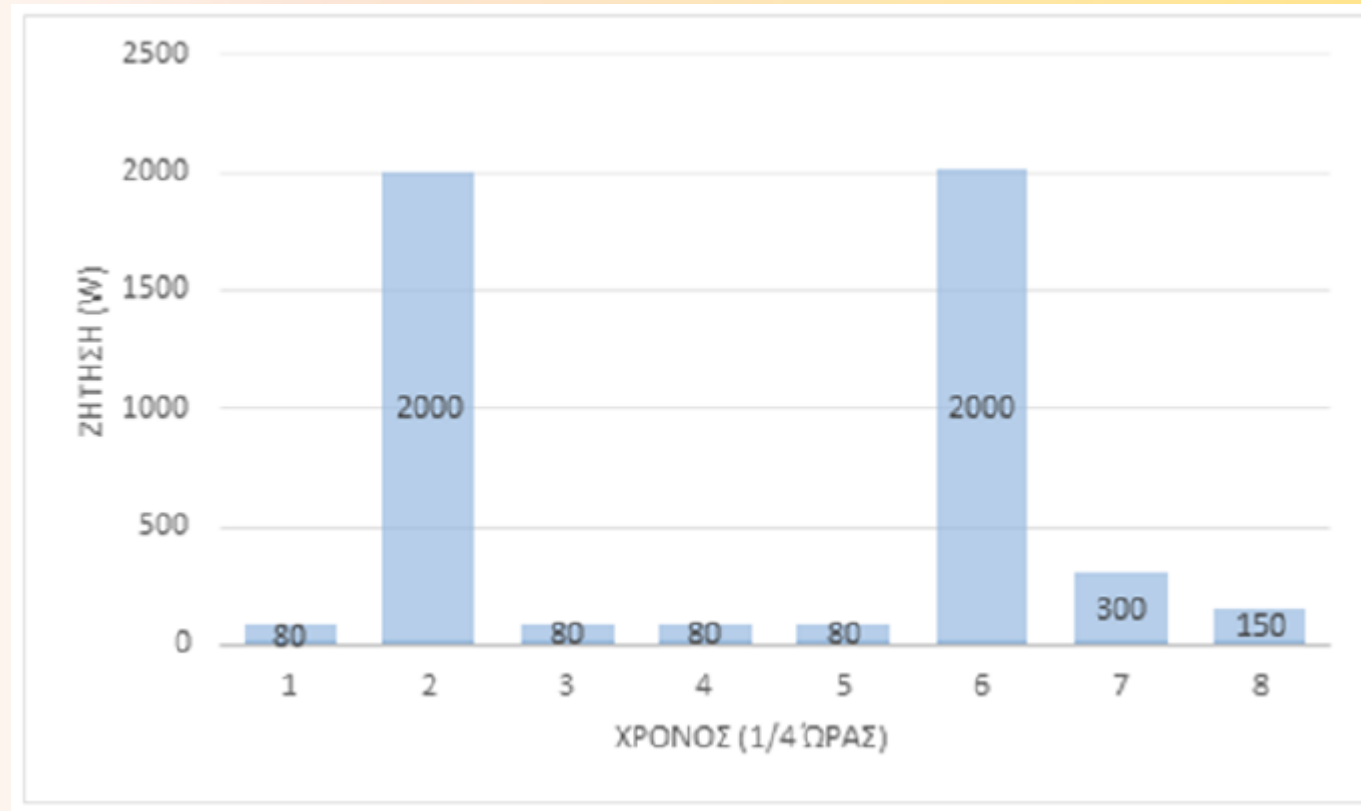


Σχήμα 7. Κύκλος πλυντηρίου πιάτων [Πηγή: Issi]



Εφαρμογή

Με τρόπο αντίστοιχο με το πλυντήριο ρούχων για ένα μέσο πλυντήριο πιάτων προτείνεται ανάλυση σε οκτώ δεκαπεντάλεπτες φάσεις ισχύος. Ένα πλυντήριο πιάτων έχει τις εξής φάσεις ισχύος: 80, 2000, 80, 80, 80, 2000, 300, 150 W. Η συνολική ζήτηση του πλυντηρίου πιάτων κατά τη διάρκεια ενός τυπικού κύκλου είναι 1.19 κιλοβατώρες.



Σχήμα 8. Προφίλ ζήτησης πλυντηρίου πιάτων



Εφαρμογή

Η διακοπή του κύκλου πλύσης δεν ενδείκνυται για όλα τα μοντέλα, επειδή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, οπότε δεχόμαστε την παραδοχή ότι οι φάσεις διαδέχονται η μία την άλλη με βήμα δεκαπέντε λεπτών και η μοναδική δυνατότητα ελέγχου που προσφέρεται στα DW είναι η καθυστέρηση έναρξης.

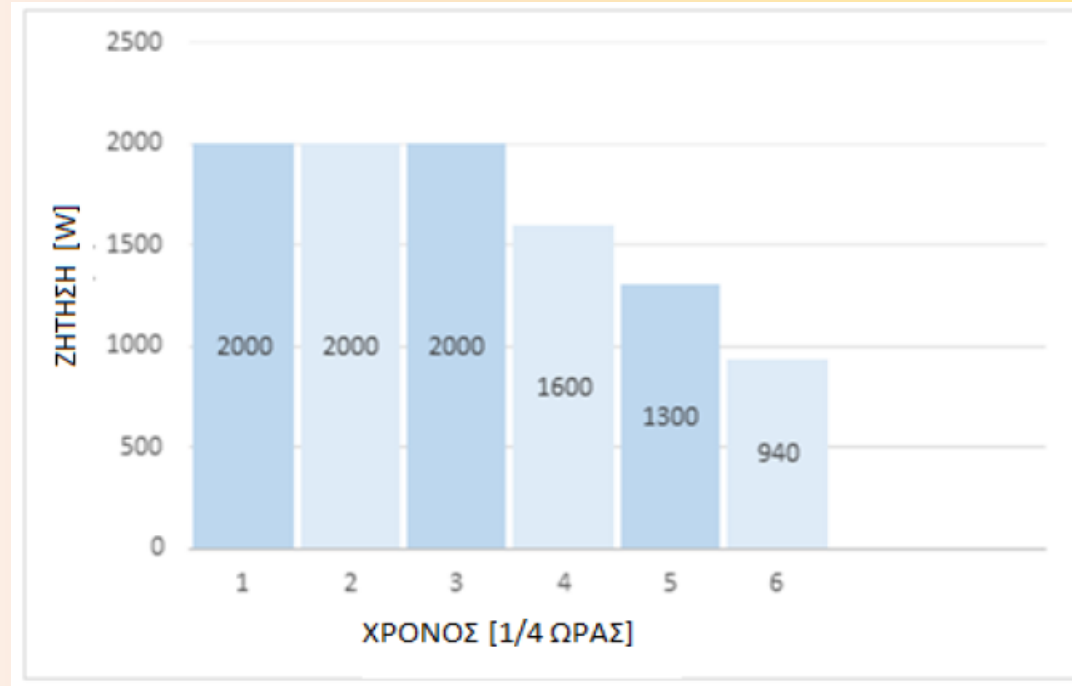
Η έναρξης λειτουργίας T_{act} προγραμματίζεται από το χρήστη, όπως και η μέγιστη δυνατή καθυστέρηση εκκίνησης D_{max} .

-Προφίλ στεγνωτηρίου

- ✓ Η μεγαλύτερη ζήτηση των στεγνωτήριων (TD) είναι στη φάση λειτουργίας των πηνίων θέρμανσης, που ελαττώνεται στη φάση λειτουργίας του κινητήρα περιστροφής τυμπάνου και είναι ελάχιστη όταν γίνονται παύσεις.
- ✓ Στην αρχή η κατανάλωση των στεγνωτηρίων είναι μεγαλύτερη και στη συνέχεια ελαττώνεται.
- ✓ Η φύση της λειτουργίας των στεγνωτηρίων είναι τέτοια που επιτρέπει τις προσωρινές διακοπές του κύκλου στις φάσεις της θέρμανσης.
- ✓ Τα νέα μοντέλα έχουν ενσωματωμένη τη δυνατότητα της διακοπής του κύκλου.



Εφαρμογή

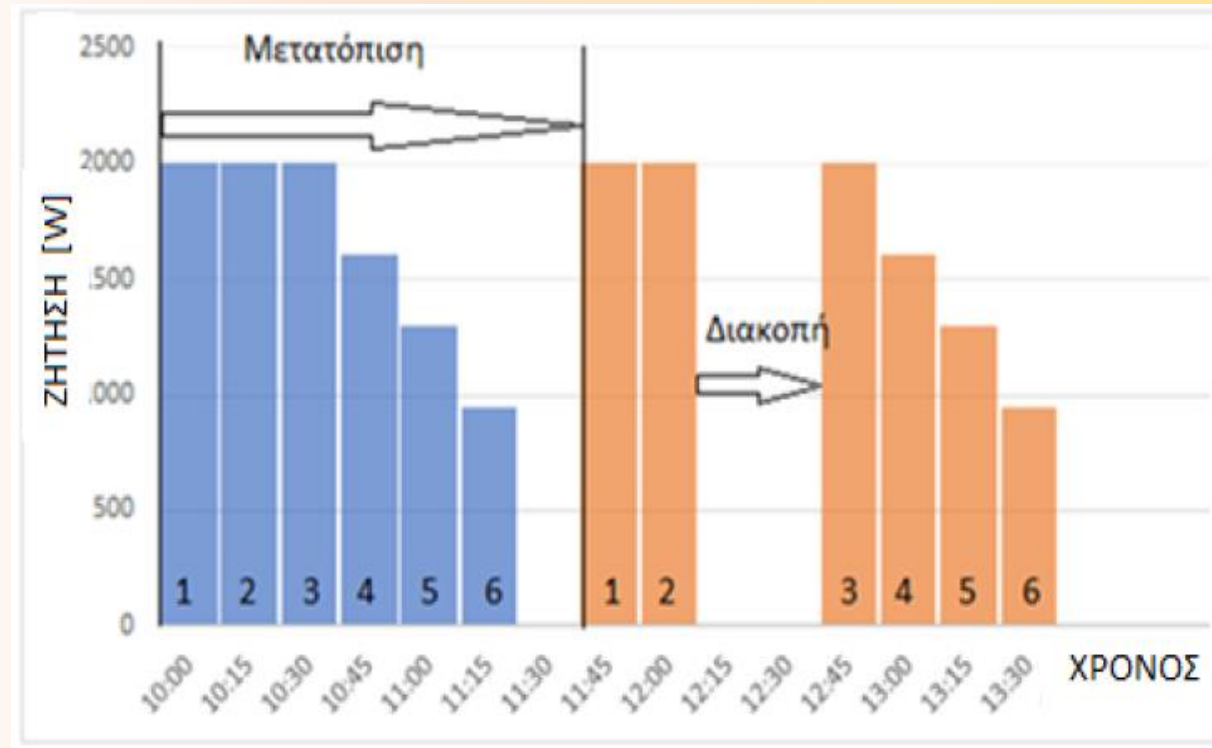


Σχήμα 9. Προφίλ ζήτησης στεγνωτηρίου

- Σε ένα στεγνωτήριο διακρίνονται έξι φάσεις ισχύος: 2000, 2000, 2000, 1600, 1300, 940 W.
- Σε αντιδιαστολή με τα πλυντήρια, στο στεγνωτήριο μπορεί να γίνει προσθήκη φάσης διακοπής σε συγκεκριμένα σημεία του κύκλου, όπως δείχνει το Σχήμα 10.



Εφαρμογή



Σχήμα 10. Τροποποίηση κύκλου στεγνωτήριου

Οι παράμετροι που επιλέγει ο χρήστης είναι ο χρόνος έναρξης λειτουργίας T_{act} , η μέγιστη καθυστέρηση εκκίνησης D_{max} , αλλά υπάρχει και δυνατότητα διακοπής κύκλου, μέσω της ρύθμισης του παραμέτρου T_{off} .



Εφαρμογή

-Προφίλ Θερμοσίφωνα

Ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνα (water heater, EWH) θερμαίνει νερό σε μια δεξαμενή μέσω μιας αντίστασης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω ενός θερμοστάτη. Η ισχύς παρέχεται μέχρι το νερό να φθάσει στο προκαθορισμένο κατώτατο όριο της θερμοκρασίας και μετά η παροχή ισχύος διακόπτεται. Στη συνέχεια το νερό αποθηκεύεται και διατηρείται ζεστό μέχρι να χρησιμοποιηθεί.

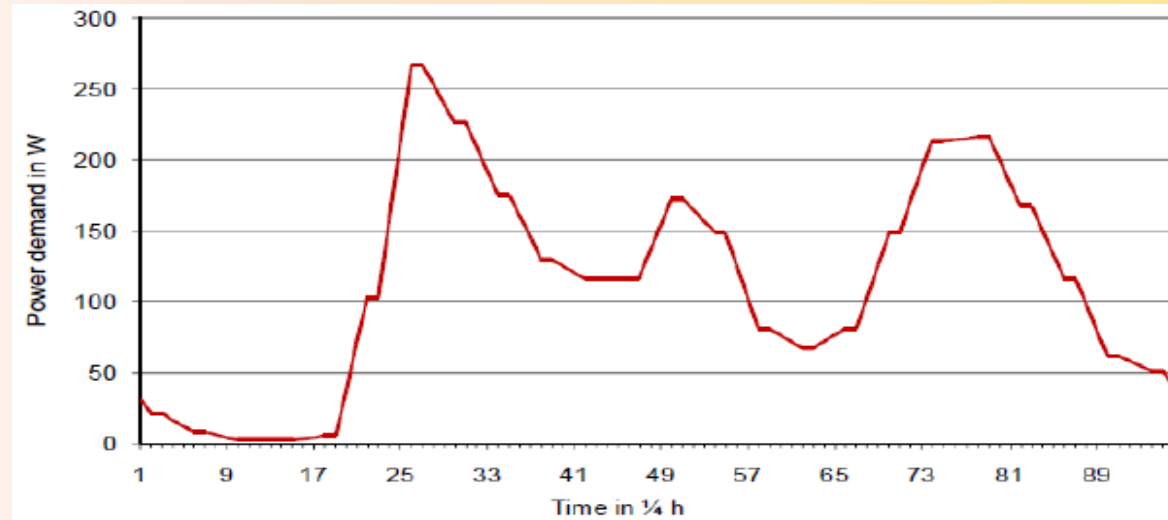
Τα χαρακτηριστικά του θερμοσίφωνα είναι:

- η ισχύς του
- η χωρητικότητα του νερού
- η μέγιστη θερμοκρασία νερού
- ο βαθμός απόδοσης
- οι θερμικές απώλειες (μόνωση)
- η αρχική θερμοκρασία νερού
- η χρήση νερού που γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας



Εφαρμογή

- Παράδειγμα κατανάλωσης ηλεκτρικού θερμοσίφωνα με ονομαστική ισχύ 2.7 kW δίνεται στο Σχήμα 11.
- Για το θερμοσίφωνα, όπως και για τα πλυντήρια, το μέσο προφίλ συσκευής χωρίζει την κατανάλωση σε διακριτές φάσεις ισχύος.
- Η λειτουργία κάθε θερμοσίφωνα περιλαμβάνει δυο βασικές καταστάσεις κατανάλωσης, τη μια με μεγάλη κατανάλωση για τη θέρμανση του νερού και την άλλη για τη διατήρηση της θερμοκρασίας. Η ισχύς της διατήρησης είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με την ισχύ της θέρμανσης. Οι φάσεις θέρμανσης παρατηρούνται κατά την πρώτη φάση προθέρμανσης (πρωινή ώρα στο Σχήμα 11) και στη συνέχεια ανάλογα με τη χρήση του νερού (HWU).



Σχήμα 11. Ημερήσια κατανάλωση θερμοσίφωνα [Πηγή: Stamminger]



Εφαρμογή

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι θερμοσίφωνα, τους οποίους ανάλογα με τη χωρητικότητά τους διαχωρίζουμε σε δυο βασικές κατηγορίες.

- ❖ Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μικροί θερμοσίφωνες, με χωρητικότητα μικρότερη των 50 λίτρων, με κατανάλωση λειτουργίας που χωρίζεται σε 5 φάσεις των 15 λεπτών σύμφωνα με τον Πίνακα 3.
- ❖ Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι θερμοσίφωνες με συνεχόμενη θέρμανση, με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 50 λίτρων. Η εν λόγω κατηγορία θερμοσίφωνα έχει ειδικό ενδιαφέρον για τη μείωση των αιχμών της ζήτησης, αφενός γιατί χαρακτηρίζεται από μεγάλη κατανάλωση ισχύος και αφετέρου γιατί η καμπύλη της ζήτησης του θερμοσίφωνα μπορεί να τροποποιηθεί χωρίς μεγάλες επιπτώσεις στην άνεση των χρηστών.

Πίνακας 3 Προφίλ ζήτησης EWH < 50 λίτρων

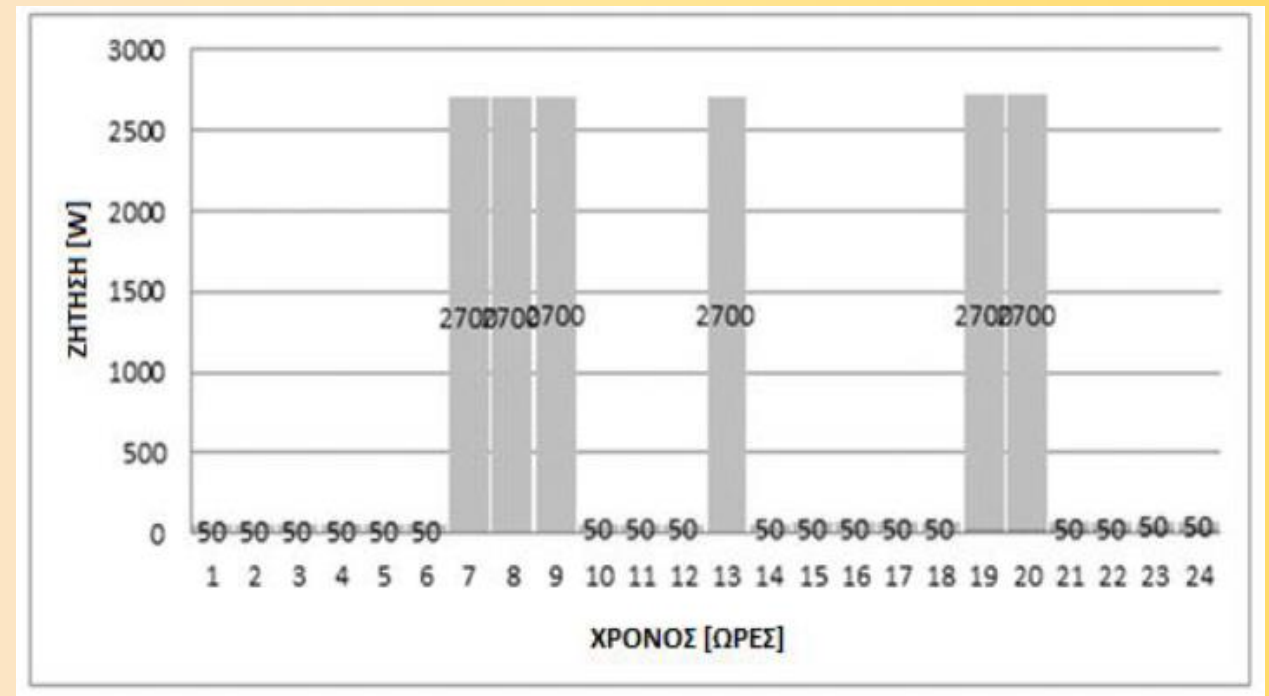
Αρ. Φάσης	Κατανάλωση Ισχύος (W)
1	50
2	2000
3	2000
4	50
5	50



Εφαρμογή

Θα χρησιμοποιήσουμε το κοινό προφίλ της διατήρησης θερμοκρασίας νερού, όπου το νερό αρχικά θερμαίνεται ώσπου να φθάσει στη ζητούμενη τιμή και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου κατά τακτά χρονικά διαστήματα το νερό αναθερμαίνεται για να διατηρείται σε επιθυμητά επίπεδα. Το ημερήσιο προφίλ του μέσου θερμοσίφωνα συνεχόμενης θέρμανσης διαμορφώνεται σε διακριτές φάσεις ισχύος, όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 12. Η συνολική ζήτηση ενός τέτοιου θερμοσίφωνα κατά τη διάρκεια ενός τυπικού κύκλου είναι 5.4 κιλοβατώρες.

Η αναθέρμανση είναι απαραίτητη μετά από τη μεγαλύτερη χρήση, όταν καταναλώνεται μεγάλη ποσότητα νερού, όπως για παράδειγμα οι αιχμές τις πρωινές ώρες στο μέσο προφίλ της ζήτησης.

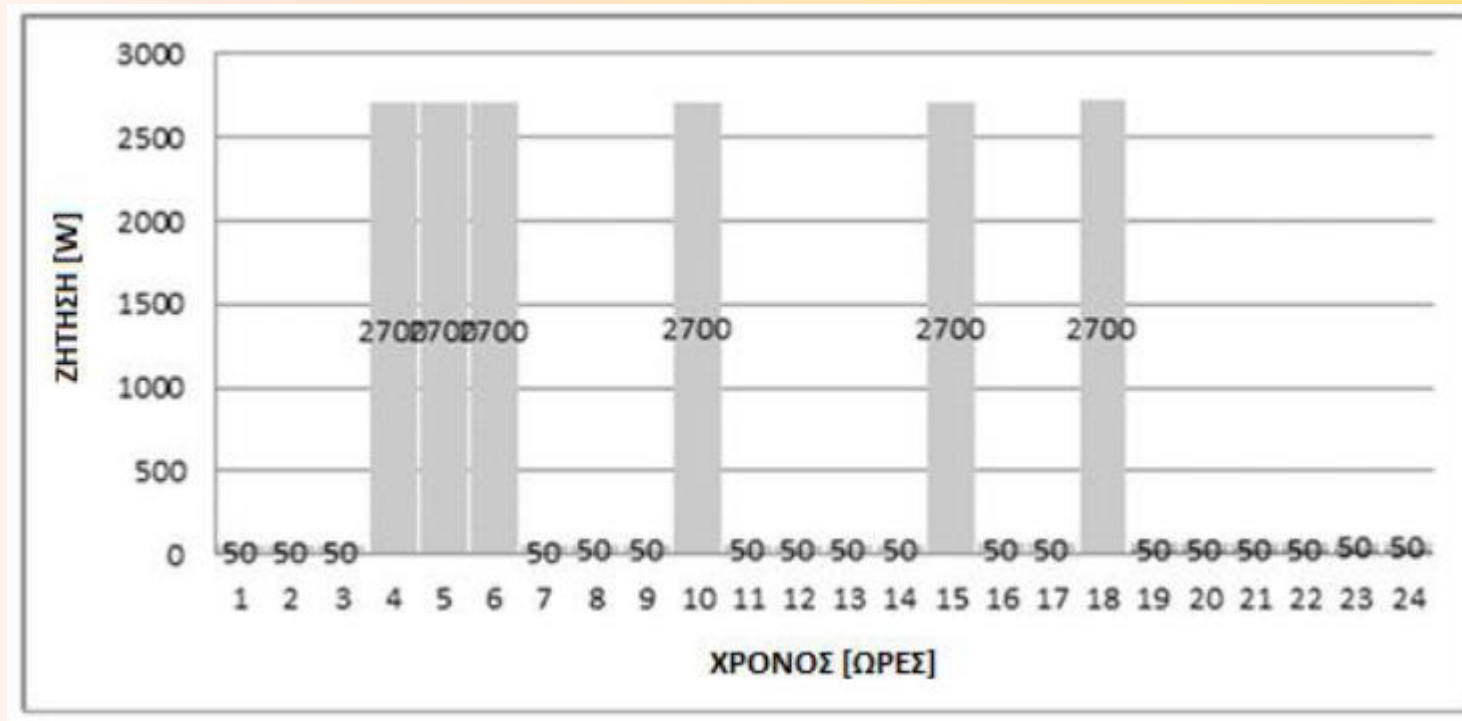


Σχήμα 12. Προφίλ ζήτησης θερμοσίφωνα συνεχόμενης θέρμανσης



Εφαρμογή

Στα πλαίσια της διαχείρισής της ζήτησης οι κύκλοι με μεγάλη ζήτηση πρέπει να μετατίθενται από ώρες αιχμής, σε ώρες μη αιχμής. Οι χρόνοι έναρξης της θέρμανσης της αντίστασης σε ένα θερμοσίφωνα με συνεχόμενη θέρμανση νερού μπορούν να μεταφερθούν σε προγενέστερες ώρες. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 13, όπου ο χρόνος έναρξης της κάθε φάσης θέρμανσης/αναθέρμανσης έχει μετατεθεί σε προηγούμενη ώρα με καλύτερη χρέωση.



Σχήμα 13. Κατανάλωση θερμοσίφωνα με DR



Εφαρμογή

- Ο θερμοσίφωνα αποτελεί συσκευή που συγκριτικά με τα πλυντήρια μπορεί να δώσει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα λόγω μεγάλης κατανάλωσης, γιατί επιτρέπει μαζί με τη μετατόπιση, τη διακοπή του κύκλου και τη μείωση της συνολικής ζήτησης μέσω της ρύθμισης της θερμοκρασίας σε χαμηλότερα επίπεδα.
- Τα θερμικά δεδομένα συλλέγονται μέσω αισθητηρίων και της μηχανικής μάθησης (machine learning). Υπάρχουν τεχνολογίες και διάφοροι αλγόριθμοι συλλογής θερμικών πληροφοριών από τα οικιακά συστήματα διαχείρισης.
- Οι θερμοσίφωνές διαχειρίζονται με βάσει τα δυναμικά δεδομένα, όπως είναι θερμικοί και υδραυλικοί παράμετροι (χρήσης ζεστού νερού). Ωστόσο μπορούμε να μελετήσουμε την επίδραση της μεταβολής του κύκλου στην καμπύλη της ζήτησης με το παράδειγμα του «μέσου» προφίλ.
- Στην παρούσα εφαρμογή θα χρησιμοποιήσουμε το προφίλ του θερμοσίφωνα του Σχήματος 12, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα θερμικά δεδομένα εισόδου ούτε τα θερμικά αποτελέσματα του μηχανισμού DR.



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

-Συμβολισμοί

w Δείκτης χρονικού διαστήματος

α Δείκτης αριθμού συσκευής

ϕ Δείκτης αριθμού ενεργειακής φάσης

x_{ϕ}^t Δυαδική μεταβλητή, αναπαριστά την κατάσταση λειτουργίας της κάθε φάσης ισχύος κατά το χρονικό διάστημα t

C^{t+w} Κόστος στο χρονικό διάστημα $(t - (t+w))$

Δt Χρονικό βήμα

N^t Μέγιστος αριθμός των συσκευών

Φ_{α} Μέγιστος αριθμός των φάσεων ισχύος της συσκευής α

P_{α} Ζήτηση της συσκευής α

P_{ϕ} Μέση ισχύς της μιας φάσης

D_{max} Μέγιστη δυνατή καθυστέρηση έναρξης

d_{α} Καθυστέρηση έναρξης της συσκευής α

$S_{t\alpha}$ Χρονική στιγμή έναρξης της συσκευής α



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

-Συμβολισμοί

T_{act} Προβλεπόμενη ώρα ενεργοποίησης

T_{off} Μέγιστος χρόνος διακοπής

T_c Συνολική διάρκεια του κύκλου

W Παράθυρο βελτιστοποίησης

Σκοπός του αλγορίθμου ελαχιστοποίησης κόστους οικιακών φορτίων είναι να βρει τις χρονοθυρίδες με το μικρότερο κόστος μέσα σε επιτρεπτά για την κάθε συσκευή χρονικά πλαίσια. Με άλλα λόγια η βελτιστοποίηση αποφασίζει σε ποια χρονικά διαστήματα θα ενεργοποιήσει την κάθε συσκευή, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές και τους περιορισμούς.

Στην προτεινόμενη μελέτη για μεγαλύτερη απόδοση των μηχανισμών διαχείρισης η ημέρα χωρίζεται σε 96 δεκαπεντάλεπτα διαστήματα (συνολικά λεπτά ημέρας $1440 \text{ min} = 96 \cdot 15$), ανάμεσα στα οποία (εντός του παραθύρου βελτιστοποίησης) γίνεται επιλογή των βέλτιστων.

Έστω ότι σε κάθε οικία υπάρχουν μέχρι N^t ηλεκτρικές συσκευές. Ανεξαρτήτως από τον τύπο της συσκευής, ο κύκλος λειτουργίας κάθε μιας από αυτές μπορεί να χωριστεί σε έναν αριθμό από n διακριτές φάσεις και να αναλυθεί σε έναν αριθμό χρονικών διαστημάτων λειτουργίας με χρονική διάρκεια Δt .



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

Το διάνυσμα καταστάσεων λειτουργίας της κάθε συσκευής X_α λαμβάνει δυαδικές τιμές, όπου η μεταβλητή $x_\varphi^t=1$, όταν η συσκευή είναι σε λειτουργία (ON) και η μεταβλητή $x_\varphi^t=0$, όταν η συσκευή είναι κλειστή (OFF). Η κάθε μια φάση χαρακτηρίζεται από μέση καταναλισκόμενη ισχύ λειτουργίας. Οι φάσεις αρχίζουν τη χρονική στιγμή t , και ανάλογα από την κατάσταση ισχύος κάθε φάσης στα διακριτά χρονικά διαστήματα Δt σχηματίζουν ένα μονοδιάστατο πίνακα κατανάλωσης ισχύος.

Διάνυσμα ενός κύκλου λειτουργίας κάθε συσκευής:

$$[P_1 \quad \dots \quad P_\varphi] \cdot \begin{bmatrix} x_1^t & \dots & x_1^{t+k \cdot \Delta t} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_\varphi^t & \dots & x_\varphi^{t+k \cdot \Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_\varphi \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Η συνολική ζήτηση της συσκευής P_α κατά τη διάρκεια ενός κύκλου προκύπτει ως άθροισμα του διανύσματος διακριτών φάσεων της ζήτησης:

$$P_\alpha = \sum P_{\varphi, \alpha} \quad (4.2)$$



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

Εννοείται ότι η συνολική κατανάλωση της οικίας προκύπτει ως το άθροισμα καταναλώσεων όλων των φορτίων που διαθέτει η κάθε οικία.

Για παράδειγμα σε ένα προφίλ στεγνωτηρίου όπου διακρίνονται οι φάσεις ισχύος 2000, 2000, 2000, 1600, 1300, 940 [W] με βήμα $\frac{1}{4}$ της ώρας, η (4.1) στην περίπτωση μας συνεχόμενης λειτουργίας παίρνει τη μορφή:

$$[2000 \quad 2000 \quad 2000 \quad 1600 \quad 1300 \quad 940] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2000 \\ 2000 \\ 2000 \\ 1600 \\ 1300 \\ 940 \end{bmatrix}$$

Το προφίλ της ζήτησης ενός μέσου πλυντηρίου πιάτων (συνεχόμενη λειτουργία) είναι το παρακάτω:

$$[80 \quad 2000 \quad 80 \quad 80 \quad 80 \quad 2000 \quad 300 \quad 150] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80 \\ 2000 \\ 80 \\ 80 \\ 80 \\ 2000 \\ 300 \\ 150 \end{bmatrix}$$



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

Αναλόγως η εξίσωση (4.1) για το πλυντήριο ρούχων λαμβάνει την παρακάτω μορφή:

$$[100 \quad 2000 \quad 900 \quad 100 \quad 100 \quad 300 \quad 50] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \\ 2000 \\ 900 \\ 100 \\ 100 \\ 300 \\ 50 \end{bmatrix}$$

Τα μετατιθέμενα φορτία χαρακτηρίζονται από:

- Το χρόνο έναρξης του κύκλου T_{act} , και τη μέγιστη δυνατή περίοδο καθυστέρησης έναρξης, D_{max} , τα οποία επιλέγονται από το χρήστη

και

- Τη μέγιστη διάρκεια του κύκλου T_c και τη μέση ισχύ P_n στο χρονικό διάστημα που είναι χαρακτηριστικό του μαθηματικού μοντέλου του τύπου της συσκευής.



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

Στην παρούσα μελέτη ως δεδομένα εισόδου του μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιούνται τα παραγόμενα δεδομένα από τη γεννήτρια οικιακής ζήτησης με τις εξής παραδοχές:

- Οι ώρες ενεργοποίησης συσκευών από τους χρήστες T_{act} είναι οι χρόνοι έναρξης του μοντέλου
- Η κατανάλωση της υπό εξέταση συσκευής θα γίνεται σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο της

Λόγω του μεγάλου αριθμού των συσκευών που ελέγχονται θα χρησιμοποιηθεί ο γραμμικός προγραμματισμός (LP) για τη βελτιστοποίηση του ημερήσιου κόστους.

Η αντικειμενική συνάρτηση έχει σκοπό να προσδιορίσει το ελάχιστο κόστος της οικιακής κατανάλωσης ενέργειας μέσω της βελτιστοποίησης του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των φορτίων. Η συνάρτηση βέλτιστου κόστους διατυπώνεται ως εξής:

$$\min_{x_{\varphi,\alpha}^w \in (0,1)} \left\{ \sum_{a=1}^{N^t} \sum_{\varphi=1}^{\Phi_\alpha} \sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} c^{t+w} \cdot x_{\varphi,\alpha}^w \cdot P_{\varphi,\alpha} \cdot \Delta t \right\} \quad (4.3)$$



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

Όπου:

w Δείκτης χρόνου που αντιστοιχεί στη θέση του στοιχείου $x_{\varphi,a}^w$

x_{φ}^t Κατάσταση λειτουργίας της φ φάσης κατά το χρόνο t , $x_{\varphi,a}^w \in (0,1)$

c^{t+w} Κόστος στο διάστημα $t+w$

$P_{\varphi,a}$ Μέση ισχύς της φάσης φ συσκευής a

Ο αλγόριθμος επιλέγει για κάθε συσκευή a τη χρονική στιγμή της έναρξης λειτουργίας St_a (έξυπνος χρονισμός), όπου η συνάρτηση κόστους δίνει βέλτιστη τιμή σύμφωνα με το εξωτερικό σήμα RTP.

Η εκκίνηση της συσκευής θα γίνεται αυτόματα τη χρονική στιγμή St_a , όπου

$$T_{act,a} \leq St_a \leq (T_{act,a} + D_{max}) \quad (4.4)$$

Οι ζητούμενες μεταβλητές απόφασης (Εξίσωση 4.5) δείχνουν τους χρόνους εκκίνησης κάθε συσκευής St_a , οι οποίοι θα ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση.

$$x_{\varphi,a} = (x_{\varphi,a}^w \in \{0,1\}, \forall w \in \{0, \dots, W\}) \quad (4.5)$$



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

όπου:

$\varphi \in (1, \dots, \Phi_a)$ δείκτης φάσεων και $\alpha \in (1, \dots, N^t)$ δείκτης συσκευής.

Κάθε συσκευή α σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες Φ_a φάσεις ισχύος. Κάθε μια από αυτές έχει ένα (μονοδιάστατο) πίνακα κατάστασης λειτουργίας με το μέγεθος του παράθυρου βελτιστοποίησης W .

Η αναζήτηση και επιλογή θα γίνει ανάμεσα σε μεταβλητές απόφασης συνολικού αριθμού $M = N^t \cdot \Phi_a \cdot W$. Δηλαδή για παράδειγμα, για να μοντελοποιηθεί η λειτουργία δυο πλυντηρίων ρούχων με έξι φάσεις ισχύος σύμφωνα με το επιλεγμένο προφίλ, για χρονικό διάστημα με παράθυρο βελτιστοποίησης τρεις ώρες $W = 3 \cdot 4 = 12$ ($\Delta t = 15$ min, συνεπώς κάθε ώρα αποτελείται από τέσσερα Δt), ο αριθμός μεταβλητών απόφασης που χρειάζονται είναι: $2 \cdot 6 \cdot 12 = 144$.



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

-Περιορισμοί

Οι περιορισμοί που θα χρησιμοποιήσουμε δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\left(\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_c} x_{(\varphi+1),a}^w \cdot w - \sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_c} x_{\varphi,a}^w \cdot w \right) \geq 1 \quad (4.6)$$

$$\left(\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_c} x_{(\varphi+1),a}^w \cdot w - \sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_c} x_{\varphi,a}^w \cdot w \right) \leq T_{OFF} \quad (4.7)$$

$$\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_c} x_{\varphi,a}^w = 1 \quad (4.8)$$

$$x_{\varphi,a}^w \in \{0,1\} \quad w \in (1,2, \dots, D_{max} + T_c)$$

- Ο περιορισμός (4.6) ελέγχει αν γίνεται σωστά η διαδοχή των φάσεων. Η επόμενη φάση λειτουργίας πρέπει να έπεται της προηγούμενης. Το αποτέλεσμα της ανισότητας δεν μπορεί να γίνει μικρότερο του ενός, επειδή η επόμενη φάση έχει αριθμό μεγαλύτερο από την προηγούμενη. Ο πολλαπλασιασμός της με το ένα πάντα δίνει αποτέλεσμα μεγαλύτερο από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού της προηγούμενης φάσης με το ένα.
- Ο περιορισμός (4.7) ελέγχει πόσα χρονικά βήματα απέχει η επόμενη φάση από την προηγούμενη, θέτοντας ένα χρονικό όριο στην ενδεχόμενη παύση (διακοπή). Στην περίπτωση των διαδοχικών φάσεων ορίζεται $T_{OFF}=1$.



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

- Οι προηγούμενοι δυο περιορισμοί ελέγχουν τη διαδοχή των φάσεων, ενώ ο τελευταίος περιορισμός (4.8) ελέγχει αν γίνεται η ενεργοποίηση της συσκευής εντός των προκαθορισμένων ορίων μεταξύ του χρόνου w και $D_{max,\alpha} + T_c$.

Η βελτιστοποίηση μπορεί να γίνει με διάφορα εργαλεία επίλυσης όπως τα CPLEX, GLPK, CBC, LPSOLVE, MATLAB, CPLEX, LINDO και ο Επιλυτής (SOLVER) του EXCEL.

Για της ανάγκες της παρούσας μελέτης προτιμήθηκε το EXCELSOLVER, ως ένα ευρείας χρήσης λογισμικό, ικανό να λύσει γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης.

Ο τρόπος της επιλογής του βέλτιστου χρόνου λειτουργίας των συσκευών περιγράφεται με ψευδοκώδικα.



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

-Ψευδοκώδικας

Shifting algorithm

Begin

Inputs:

Δt //βήμα προσομοίωσης (15 min)
 Φ_a //αριθμός φάσεων για κάθε τύπο συσκευής [5,7,...]
 N^t //μέγιστος αριθμός συσκευών
 P_a //διάνυσμα ισχύος κάθε συσκευή [W]
 X_a //Πίνακας κατάστασης (ON/OFF)
 $C = \{c_1 \dots c_{96}\}$, //τιμές στα χρονικά διαστήματα [cents]
 $D_{max,a}$ //Μέγιστη δυνατή καθυστέρηση έναρξης

Συμβολισμοί του κώδικα:

t	Δείκτης χρόνου
a	Δείκτης αριθμού συσκευής
φ	Δείκτης αριθμού φάσης
x_φ^t	Κατάσταση λειτουργίας (on, off)
C^t	Κόστος στο χρονικό διάστημα t
Δt	Βήμα
N^t	Αριθμός των συσκευών
Φ_a	Αριθμός των φάσεων
P_a	Ισχύς
D_{max}	Μέγιστη δυνατή καθυστέρηση έναρξης
T_{off}	Μέγιστος χρόνος διακοπής



Μαθηματική περιγραφή του αλγορίθμου

```
for t=0 to t=tend //Όλα τα χρονικά διαστήματα
  for a=1 to Nt //Για κάθε συσκευή
    if xφt = 1 //Η συσκευή είναι ανοιχτή; Αν όχι πήγαινε στο επόμενο
    βήμα
      set Dmax,a //Καταχώρισε τη μέγιστη δυνατή καθυστέρηση έναρξης
      for φ = 1 to Φa //Για κάθε φάση
        set Toff //Toff=1 για συνεχόμενες φάσεις ή Toff>1 για διακοπή
        for topt=t to Dmax //Εντός του επιτρεπτού παραθύρου
          Copt=ctopt · xφ,atopt · Pφ,a //Μοντέλο βελτιστοποίησης
          do Έλεγε τους περιορισμούς για xφ,atopt
          topt=t + Δt //πήγαινε στο επόμενο χρονικό διάστημα
        end for
      end for
    end for
  end for
Output: xφt //Πίνακας βέλτιστης κατάστασης
End
```



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Σενάριο 1

Αρχικά θα εφαρμόσουμε το μηχανισμό της καθυστέρησης εκκίνησης για τα πλυντήρια (DW, WM) και το στεγνωτήριο (TD) για να εξετάσουμε την επίδραση του μεγέθους παραθύρου βελτιστοποίησης.

Ως δεδομένα εισόδου για το κόστος επιλέγονται οι ωριαίες τιμές για τις 20 Μαΐου 2019 (εποχή που ταιριάζει με το επιλεγμένο προφίλ της ζήτησης) από τον Πίνακα Β2.

Για το σενάριο 1 επιλέχθηκε ένα κοινό προφίλ της ζήτησης μιας κατοικίας με τρεις ενοίκους που κάνουν χρήση και των τριών παραπάνω συσκευών. Οι ώρες εκκίνησης των συσκευών είναι αυτές που ενεργοποιούνται οι συσκευές σύμφωνα με το προφίλ της ζήτησης (ώρες Tact του Πίνακα 5.3).

Στην αρχή ορίζεται η δυνατότητα καθυστέρησης έναρξης D_{max} ίση με μία ώρα, δηλαδή το μέγεθος του παράθυρου βελτιστοποίησης θα είναι $W=4$, ή τέσσερα πιθανά χρονικά διαστήματα για εκκίνηση της κάθε φάσης.

Η κατάσταση λειτουργίας με το ελάχιστο κόστος αναζητείται σύμφωνα με τη συνάρτηση (4.3) υπό τους περιορισμούς (4.6), (4.7) και (4.8).



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Πίνακας B2 Τιμές RTP

Οι χρεώσεις της προσομοίωσης έχουν γίνει σύμφωνα με τον Πίνακα B2, όπου δίνονται πραγματικές τιμές ενέργειας σε cents/kWh από το AmerenIllinois.

Time of Day (CT)	25- Απ ρ	26- Απ ρ	27- Απρ	28- Απρ	29- Απρ	30- Απρ	1- Μαϊ	2- Μαϊ	3- Μαϊ	4- Μαϊ
12:00 AM - 1:00AM	2.0	2.0	2.2	2.4	2.1	2.3	2.2	2.4	2.2	2.2
1:00 AM - 2:00 AM	1.8	2.0	2.1	2.3	2.1	2.2	2.2	2.3	2.1	2.1
2:00 AM - 3:00 AM	1.7	1.9	2.0	2.3	2.1	2.2	2.1	2.3	2.1	2.1
3:00 AM - 4:00 AM	1.7	1.9	2.0	2.3	2.2	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2
4:00 AM - 5:00 AM	1.7	2.0	2.0	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.1
5:00 AM - 6:00 AM	2.1	2.5	2.1	2.3	3.1	2.9	2.7	2.9	2.7	2.3
6:00 AM - 7:00 AM	2.4	2.6	2.1	2.3	3.6	3.0	3.0	3.3	3.0	2.3
7:00 AM - 8:00 AM	2.4	2.6	2.3	2.6	3.5	3.1	3.3	3.4	3.1	2.5
8:00 AM - 9:00 AM	2.5	2.8	2.4	2.7	3.4	3.0	3.3	3.4	3.2	2.7
9:00 AM - 10:00AM	2.6	2.8	2.4	2.8	3.4	3.0	3.3	3.4	3.2	2.7
10:00AM - 11:00AM	2.7	2.8	2.4	2.6	3.4	3.0	3.3	3.5	3.2	2.8
11:00 AM - 12:00PM	3.0	2.7	2.3	2.6	3.4	3.1	3.4	3.8	3.3	2.8
12:00 PM - 1:00 PM	3.1	2.8	2.4	2.5	3.4	3.3	3.6	3.9	3.3	2.7
1:00 PM - 2:00 PM	3.4	2.8	2.3	2.4	3.4	3.1	3.7	4.0	3.3	2.7



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

2:00 PM - 3:00 PM	3.5	2.7	2.3	2.4	3.4	3.1	3.7	3.7	3.1	2.6
3:00 PM - 4:00 PM	3.6	2.7	2.3	2.5	3.5	3.0	3.7	3.6	3.1	2.6
4:00 PM - 5:00 PM	3.7	2.8	2.4	2.5	3.5	3.0	3.8	3.5	3.0	2.7
5:00 PM - 6:00 PM	3.3	2.7	2.5	2.5	3.4	3.2	3.7	3.4	3.0	2.7
6:00 PM - 7:00 PM	3.1	2.7	2.5	2.6	3.4	3.1	3.7	3.4	2.8	2.7
7:00 PM - 8:00 PM	2.9	2.9	2.7	2.9	3.7	3.2	3.9	3.6	3.0	2.7
8:00 PM - 9:00 PM	2.8	3.0	2.8	2.9	3.6	3.2	3.8	3.5	3.0	2.7
9:00 PM - 10:00 PM	2.5	2.5	2.5	2.4	2.9	2.7	3.2	3.0	2.7	2.5
10:00 PM - 11:00 PM	2.3	2.4	2.3	2.3	2.6	2.4	2.8	2.6	2.5	2.3
11:00PM - 12:00 AM	2.1	2.2	2.3	2.2	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.2
Time of Day (CT)	5- Μα ϊ	6- Μα ϊ	7- Μαϊ	8- Μαϊ	9- Μαϊ	10- Μαϊ	11- Μαϊ	12- Μαϊ	13- Μαϊ	14- Μαϊ
12:00 AM - 1:00 AM	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.1	2.1	2.0
1:00 AM - 2:00 AM	2.1	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.1	2.1	2.0
2:00 AM - 3:00 AM	2.1	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

3:00 AM - 4:00 AM	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0
4:00 AM - 5:00 AM	2.1	2.1	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2	2.0	2.1	2.1
5:00 AM - 6:00 AM	2.1	2.5	2.3	2.3	2.4	2.4	2.3	2.2	2.6	2.5
6:00 AM - 7:00 AM	2.1	2.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.4	2.2	2.9	2.7
7:00 AM - 8:00 AM	2.2	2.8	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.3	3.1	2.7
8:00 AM - 9:00 AM	2.4	2.9	2.5	2.5	2.6	2.9	2.7	2.4	3.1	2.7
9:00 AM - 10:00 AM	2.4	2.9	2.6	2.5	2.6	2.9	2.7	2.4	3.1	2.7
10:00AM - 11:00AM	2.5	3.0	2.6	2.6	2.7	2.8	2.6	2.5	3.0	2.6
11:00AM - 12:00PM	2.5	3.0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	3.0	2.7
12:00 PM - 1:00 PM	2.5	3.1	2.8	2.7	2.7	2.7	2.5	2.4	3.0	2.7
1:00 PM - 2:00 PM	2.5	3.3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.5	2.4	3.0	2.8
2:00 PM - 3:00 PM	2.5	3.3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.9	2.7
3:00 PM - 4:00 PM	2.6	3.3	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.5	3.0	2.7
4:00 PM - 5:00 PM	2.7	3.4	2.9	2.9	2.6	2.5	2.4	2.5	3.0	2.8
5:00 PM - 6:00 PM	2.8	3.3	2.8	2.9	2.7	2.5	2.4	2.6	3.0	2.8
6:00 PM - 7:00 PM	2.8	3.2	2.7	2.7	2.7	2.4	2.4	2.7	3.0	2.8
7:00 PM - 8:00 PM	2.9	3.2	2.8	2.7	2.8	2.5	2.5	2.8	3.0	2.8



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

8:00 PM - 9:00 PM	2.8	3.1	2.8	2.7	2.8	2.5	2.5	2.8	3.0	2.9
9:00 PM - 10:00 PM	2.4	2.6	2.4	2.3	2.5	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5
10:00 PM - 11:00 PM	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3
11:00PM - 12:00AM	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1
Time of Day (CT)	15- Μα ϊ	16- Μα ϊ	17- Μαϊ	18- Μαϊ	19- Μαϊ	20- Μαϊ	21- Μαϊ	22- Μαϊ	23- Μαϊ	24- Μαϊ
12:00 AM - 1:00 AM	2.0	2.0	2.1	2.1	1.9	2.1	1.8	1.6	1.8	2.0
1:00 AM - 2:00 AM	2.0	1.9	2.0	2.0	1.9	2.0	1.8	1.5	1.7	1.8
2:00 AM - 3:00 AM	2.0	1.9	1.9	2.0	1.8	1.9	1.8	1.5	1.7	1.7
3:00 AM - 4:00 AM	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.7	1.6	1.7	1.7
4:00 AM - 5:00 AM	2.1	2.0	2.0	1.9	1.7	1.9	1.9	1.7	1.8	1.7
5:00 AM - 6:00 AM	2.4	2.3	2.3	2.0	1.7	2.1	2.1	1.9	2.1	2.1
6:00 AM - 7:00 AM	2.5	2.5	2.6	2.2	1.8	2.3	2.3	2.1	2.3	2.4
7:00 AM - 8:00 AM	2.6	2.5	2.6	2.3	1.9	2.4	2.4	2.2	2.5	2.4
8:00 AM - 9:00 AM	2.6	2.5	2.6	2.4	2.1	2.8	2.3	2.2	2.6	2.5
9:00 AM - 10:00 AM	2.7	2.8	3.0	2.6	2.2	3.1	2.4	2.2	2.7	2.6
10:00AM - 11:00AM	2.9	3.0	3.1	2.7	2.2	3.3	2.5	2.3	2.9	2.7
11:00AM - 12:00PM	2.9	3.1	3.3	2.9	2.3	3.5	2.5	2.4	3.0	3.0
12:00 PM - 1:00 PM	2.9	3.2	3.6	3.0	2.3	4.0	2.6	2.6	3.1	3.1
1:00 PM - 2:00 PM	3.2	3.4	3.8	3.0	2.3	4.3	2.7	2.9	3.4	3.4



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

2:00 PM - 3:00 PM	3.2	3.4	3.9	3.1	2.4	4.6	2.8	3.0	3.5	3.5
3:00 PM - 4:00 PM	3.2	3.4	3.8	3.3	2.4	5.1	2.8	3.2	3.8	3.6
4:00 PM - 5:00 PM	3.2	3.5	3.9	3.5	2.5	5.0	2.7	3.3	3.7	3.7
5:00 PM - 6:00 PM	3.1	3.3	3.5	3.3	2.5	4.4	2.7	3.1	3.4	3.3
6:00 PM - 7:00 PM	3.0	3.2	3.3	3.1	2.4	3.9	2.5	3.0	3.2	3.1
7:00 PM - 8:00 PM	2.9	3.2	3.1	2.9	2.4	3.5	2.5	2.9	3.1	2.9
8:00 PM - 9:00 PM	2.8	3.1	3.0	3.0	2.5	3.4	2.5	3.0	3.0	2.8
9:00 PM - 10:00 PM	2.5	2.6	2.5	2.6	2.2	3.0	2.2	2.6	2.5	2.5
10:00 PM - 11:00 PM	2.3	2.3	2.4	2.4	2.1	2.6	2.1	2.3	2.3	2.3
11:00PM - 12:00 AM	2.2	2.1	2.2	2.3	2.0	2.4	1.9	2.1	2.1	2.1



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στο σενάριο αυτό δεν επιθυμούμε διακοπή κύκλου, για αυτό το $T_{off}=1$. Εισάγονται οι αρχικές προτιμήσεις των χρηστών (οι ώρες εκκίνησης των συσκευών) και το αποτέλεσμα μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου είναι ο πίνακας με τις βέλτιστες ώρες έναρξης της κάθε φάσης και για κάθε συσκευή.

Ο ίδιος αλγόριθμος, όταν ορίζεται με μεγαλύτερη καθυστέρηση $D_{max}=4$ ώρες ($W=16$), παράγει διαφορετικά αποτελέσματα. Ο συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων λειτουργίας των επιλεγμένων συσκευών πριν και μετά την εφαρμογή του μηχανισμού μετατόπισης δίνεται παρακάτω:



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Πίνακας 3 Η ενεργοποίηση των φάσεων

ΩΡΑ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ		W=4		W=16	
	Προτίμηση ώρας ενεργοποίησης του χρήστη Tact	Ζήτηση [W]	Ωρα εκκίνησης κάθε φάσης	Ζήτηση [W]	Ωρα εκκίνησης κάθε φάσης	Ζήτηση [W]
.....		0		0		0
13:30		0		0		0
13:45		0		0		0
14:00		0		0		0
14:15		0		0		0
14:30	TD	2000	TD_v1	2000		0
14:45		2000	TD_v2	2000		0
15:00		2000	TD_v3	2000		0
15:15		1600	TD_v4	1600		0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

15:30		1300	TD_v5	1300		0
15:45		940	TD_v6	940		0
16:00		0		0		0
16:15		0		0		0
16:30	DW	80	DW_v1	80		0
16:45		2000	DW_v2	2000		0
17:00		80	DW_v3	80		0
17:15		80	DW_v4	80		0
17:30		80	DW_v5	80		0
17:45		2000	DW_v6	2000		0
18:00		300	DW_v7	300		0
18:15		150	DW_v8	150		0
18:30		0		0	TD_v1	2000
18:45		0		0	TD_v2	2000
19:00		0		0	TD_v3	2000
19:15		0		0	TD_v4	1600



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

19:30		0		0	TD_v5	1300
19:45		0		0	TD_v6	940
20:00	WM	100		0		0
20:15		2000		0		0
20:30		900		0	DW_v1	80
20:45		100		0	DW_v2	2000
21:00		100	WM_v1	100	DW_v3	80
21:15		300	WM_v2	2000	DW_v4	80
21:30		50	WM_v3	900	DW_v5	80
21:45		0	WM_v4	100	DW_v6	2000
22:00		0	WM_v5	100	DW_v7	300
22:15		0	WM_v6	300	DW_v8	150
22:30		0	WM_v7	50		0
22:45		0		0		0
23:00		0		0		0
23:15		0		0		0
23:30		0		0		0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

23:45		0		0		0
0:00		0		0	WM_v1	100
0:15		0		0	WM_v2	2000
0:30		0		0	WM_v3	900
0:45		0		0	WM_v4	100
1:00		0		0	WM_v5	100
1:15		0		0	WM_v6	300
1:30		0		0	WM_v7	50

Το ενεργειακό κόστος για κάθε περίπτωση υπολογίζεται από τις χρεώσεις RTP (Πίνακας B2) σύμφωνα με την εξίσωση:

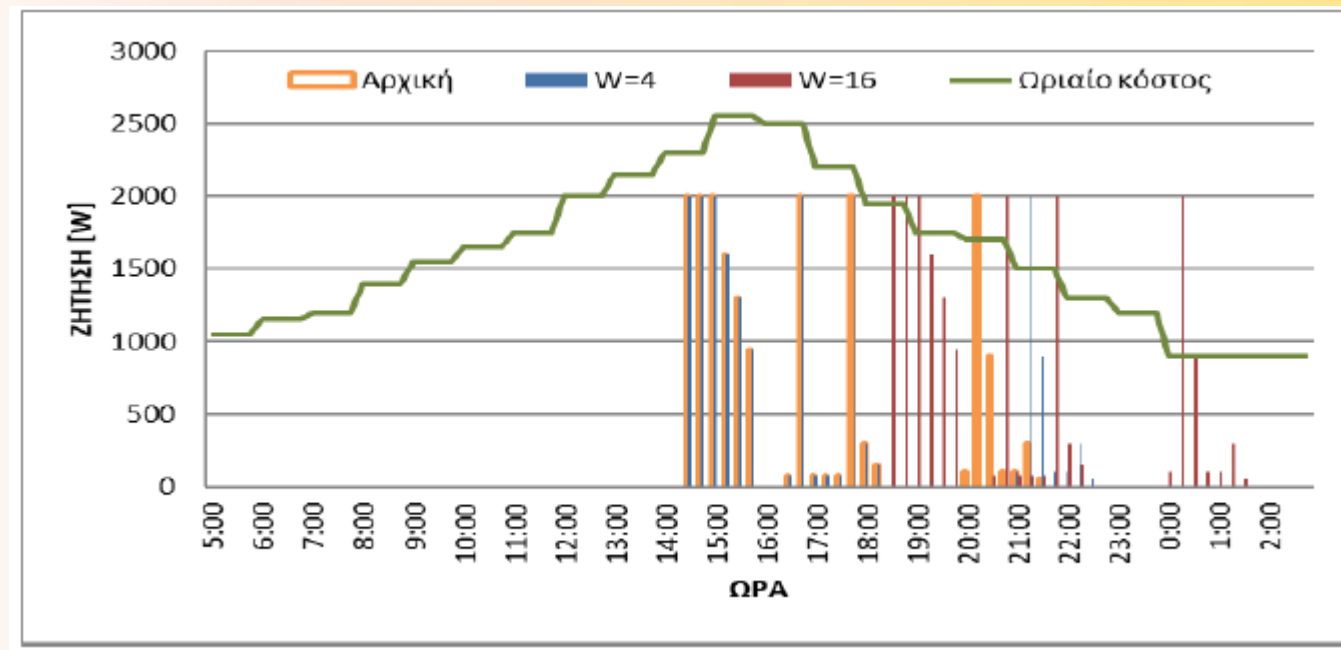
$$C = \sum_{\varphi=1}^{\Phi_a} \sum_{w=1}^{D_{max}+T_c} \sum_{a=1}^{N_t} c^{t+w} \cdot x_{\varphi,a}^w \cdot P_{\varphi,a} \cdot \Delta t \quad (5.1)$$



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Το συνολικό ημερήσιο κόστος από τη λειτουργία των τριών συσκευών υπολογίζεται:

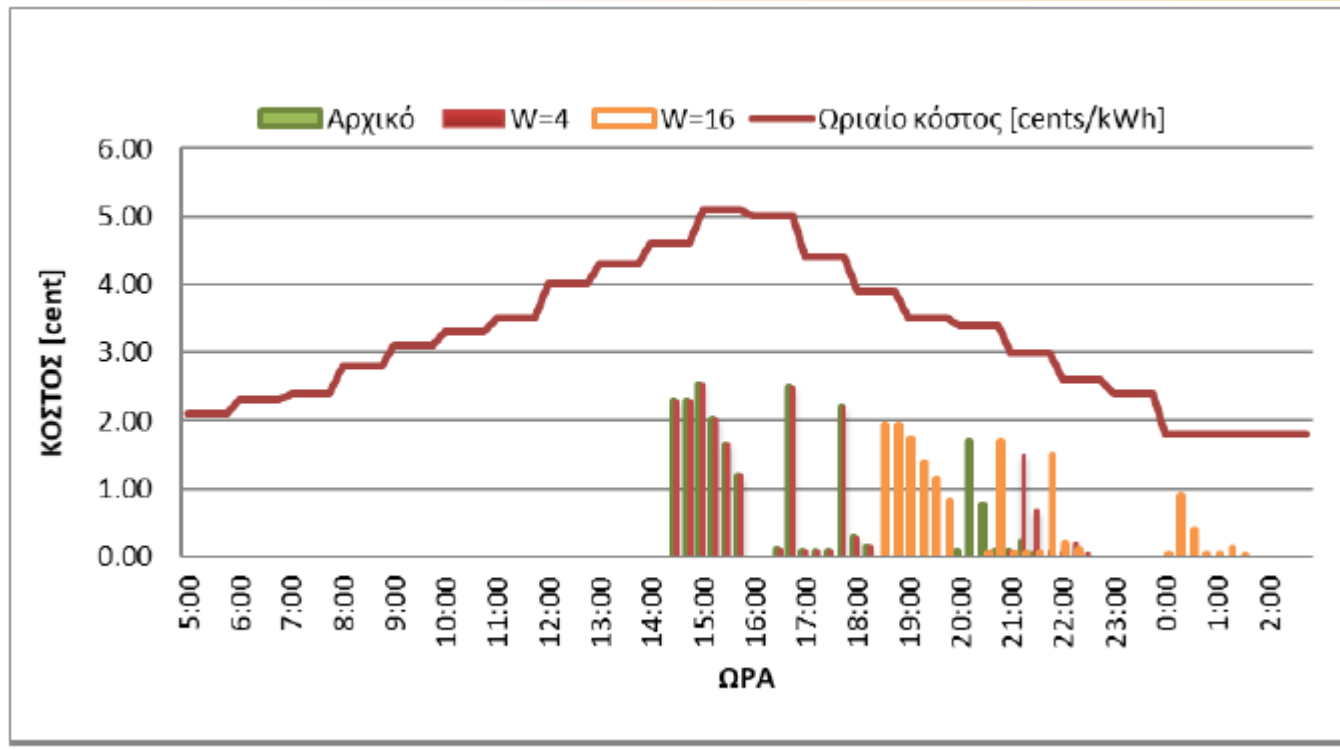
- Για την αρχική περίπτωση $C=20.5$ [cents/kWh]
- Στην περίπτωση του παραθύρου $W=4$, $C=20.1$ [cents/kWh]
- Στην περίπτωση του $W=16$, $C=14.3$ [cents/kWh]



(α) Μεταβολή της ζήτησης



Αποτελέσματα Προσομοίωσης



(β) Μεταβολή του κόστους

Σχήμα 14. Επίδραση του παραθύρου βελτιστοποίησης

- Οι διαφορές στο συνολικό κόστος δείχνουν πως το μέγεθος του παραθύρου βελτιστοποίησης επηρεάζει το κόστος. Στην περίπτωση του μεγαλύτερου μεγέθους παραθύρου, η ζήτηση μετατοπίζεται περισσότερο (Σχήμα 14α) με αποτέλεσμα μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές (Σχήμα 14β).
- Τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου έδειξαν τη σχέση του παραθύρου βελτιστοποίησης με την αποτελεσματικότητα των μηχανισμών σε περίπτωση μιας μόνο κατοικίας. Στο επόμενο σενάριο θα εξετάσουμε την επίδραση των μηχανισμών σε μεγαλύτερο αριθμό νοικοκυριών.



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Σενάριο 2

Το σενάριο 2 μελετά την επίδραση της μετατόπισης των φορτίων σε μεταγενέστερη ώρα. Οι συσκευές που μπορούν να καθυστερήσουν την έναρξη του κύκλου τους είναι οι TD, WM και DW.

Για ένα σύνολο δεκαπέντε νοικοκυριών με διαφορετικό αριθμό κατοίκων και ημερομηνία 20 Μαΐου (καθημερινή) δημιουργήθηκαν δεκαπέντε διαφορετικά προφίλ της ζήτησης. Από αυτό το προφίλ ξεχωρίζουμε τις επιλεγμένες συσκευές, το σύνολό τους και τις ώρες έναρξης όπως καταγράφονται στον Πίνακα 4.

Αρχικά θα εφαρμόσουμε το μηχανισμό της καθυστέρησης εκκίνησης για τα πλυντήρια και το στεγνωτήριο χωρίς διακοπή φάσεων μεταξύ τους, όπως και στο σενάριο 1 ή με όριο δυνατής καθυστέρησης D_{max} τέσσερις ώρες.

Το αποτέλεσμα μεταβολής του χρόνου της εκκίνησης της πρώτης φάσης φαίνεται στον Πίνακα 4. Ο αριθμός των συσκευών στα εκάστοτε χρονικά διαστήματα δείχνει τις διαφορές αρχικής και της τελικής κατάστασης. Οι ώρες αρχικής προτίμησης και οι βέλτιστες ώρες έναρξης είναι διαφορετικές για τις περισσότερες συσκευές.



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Πίνακας 4 Η εκκίνηση των συσκευών

ΩΡΑ	Χρέωση [cents/ kWh]	Είσοδος			Έξοδος		
		DW	TD	WM	DW	TD	WM
0:00	2.1	0	0	0	0	0	1
0:15	2.1	0	0	0	0	0	0
0:30	2.1	0	0	0	0	1	0
0:45	2.1	0	0	0	0	0	0
1:00	2	0	0	0	0	0	0
1:15	2	0	0	0	0	0	0
1:30	2	0	0	0	0	0	0
1:45	2	0	0	0	0	0	0
2:00	1.9	0	0	0	0	0	0
2:15	1.9	0	0	0	0	0	0
2:30	1.9	0	0	0	0	0	0
2:45	1.9	0	0	0	0	0	0
3:00	1.9	0	0	0	0	0	0
3:15	1.9	0	0	0	0	0	0
3:30	1.9	0	0	0	0	0	0
3:45	1.9	0	0	0	0	0	0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

4:00	1.9	0	0	0	0	0	0
4:15	1.9	0	0	0	0	0	0
4:30	1.9	0	0	0	0	0	0
4:45	1.9	0	0	0	0	0	0
5:00	2.1	0	0	0	0	0	0
5:15	2.1	0	0	0	0	0	0
5:30	2.1	0	0	0	0	0	0
5:45	2.1	0	0	0	0	0	0
6:00	2.3	0	0	0	0	0	0
6:15	2.3	0	0	0	0	0	0
6:30	2.3	0	0	0	0	0	0
6:45	2.3	0	0	1	0	0	1
7:00	2.4	0	0	0	0	0	0
7:15	2.4	0	0	0	0	0	0
7:30	2.4	0	0	0	0	0	0
7:45	2.4	0	0	0	0	0	0
8:00	2.8	0	0	0	0	0	0
8:15	2.8	0	0	0	0	0	0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

8:30	2.8	0	1	0	0	1	0
8:45	2.8	0	0	0	0	0	0
9:00	3.1	0	0	0	0	0	0
9:15	3.1	0	0	0	0	0	0
9:30	3.1	0	0	0	0	0	0
9:45	3.1	0	0	0	0	0	0
10:00	3.3	0	0	1	0	0	1
10:15	3.3	0	0	0	0	0	0
10:30	3.3	0	0	0	0	0	0
10:45	3.3	0	0	1	0	0	1
11:00	3.5	0	0	0	0	0	0
11:15	3.5	0	0	0	0	0	0
11:30	3.5	0	0	0	0	0	0
11:45	3.5	0	0	0	0	0	0
12:00	4	0	0	1	0	0	1
12:15	4	2	0	0	2	0	0
12:30	4	0	0	0	0	0	0
12:45	4	1	0	0	0	0	0
13:00	4.3	1	0	0	0	0	0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

13:15	4.3	0	0	0	0	0	0
13:30	4.3	0	0	0	0	0	0
13:45	4.3	0	1	0	0	0	0
14:00	4.6	0	1	1	0	0	0
14:15	4.6	0	0	0	0	0	0
14:30	4.6	0	2	0	0	0	0
14:45	4.6	0	0	0	0	0	0
15:00	5.1	1	1	0	0	0	0
15:15	5.1	0	0	0	0	0	0
15:30	5.1	0	0	0	0	0	0
15:45	5.1	0	0	0	0	0	0
16:00	5	0	0	1	0	0	0
16:15	5	0	0	1	0	0	0
16:30	5	1	0	0	0	0	0
16:45	5	0	0	0	1	0	0
17:00	4.4	1	0	0	1	0	0
17:15	4.4	0	0	1	0	0	0
17:30	4.4	0	0	1	0	0	0
17:45	4.4	0	0	1	0	1	0



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

18:00	3.9	0	0	0	0	1	1
18:15	3.9	0	0	0	0	0	0
18:30	3.9	0	0	0	0	2	0
18:45	3.9	0	0	0	0	0	0
19:00	3.5	0	0	0	1	1	0
19:15	3.5	0	0	0	0	0	0
19:30	3.5	0	0	0	0	0	0
19:45	3.5	0	0	0	0	0	0
20:00	3.4	0	0	1	0	0	1
20:15	3.4	0	0	0	0	0	1
20:30	3.4	0	1	0	1	0	0
20:45	3.4	0	0	0	0	0	0
21:00	3	0	0	0	1	0	0
21:15	3	0	0	0	0	0	1
21:30	3	0	0	0	0	0	1
21:45	3	0	0	0	0	0	1



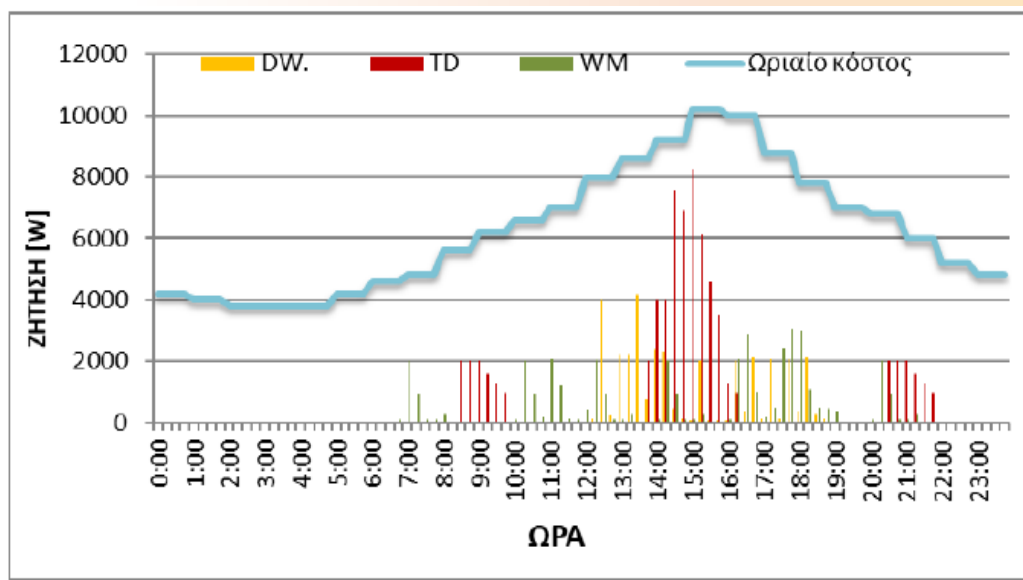
Αποτελέσματα Προσομοίωσης

22:00	2.6	0	0	0	0	0	0
22:15	2.6	0	0	0	0	0	0
22:30	2.6	0	0	0	0	0	0
22:45	2.6	0	0	0	0	0	0
23:00	2.4	0	0	0	0	0	0
23:15	2.4	0	0	0	0	0	0
23:30	2.4	0	0	0	0	0	0
23:45	2.4	0	0	0	0	0	0

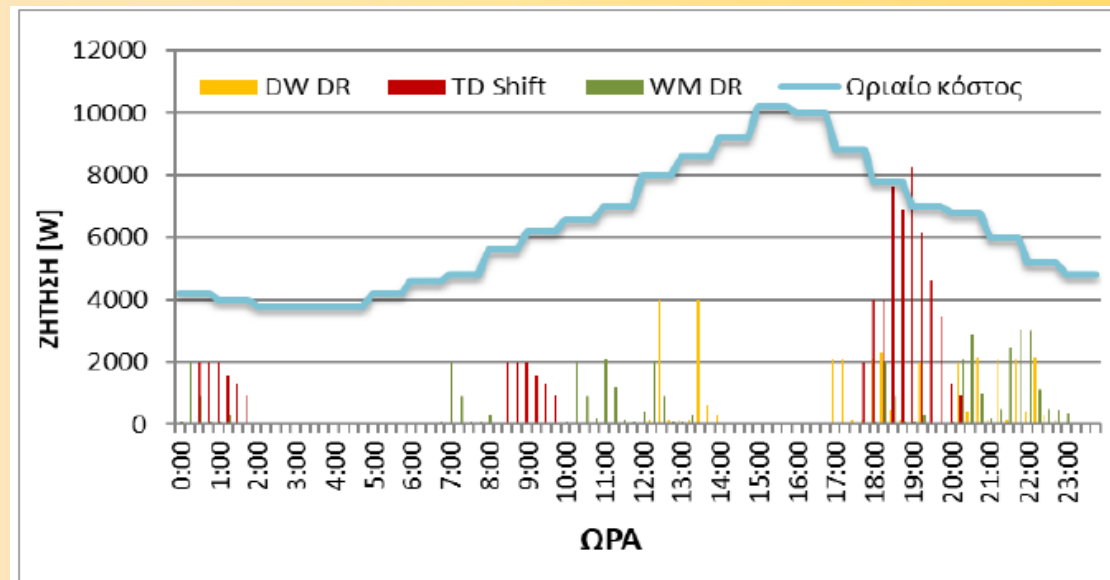


Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Σύμφωνα με το ενεργειακό προφίλ της κάθε συσκευής η προβλεπόμενη (αρχική) ζήτηση από το σύνολο του δείγματος των νοικοκυριών με δεκαπεντάλεπτη ανάλυση δίνεται στο Σχήμα 15(α). Το αποτέλεσμα της καθυστέρησης του χρόνου έναρξης λειτουργίας της επιλεγμένης ομάδας φορτίων δείχνει μείωση της αιχμής φορτίου στις ώρες με μεγαλύτερη χρέωση και τη μετατόπιση της ζήτησης σε μεταγενέστερη ώρα Σχήμα 15(β).



(α) Αρχική ζήτηση

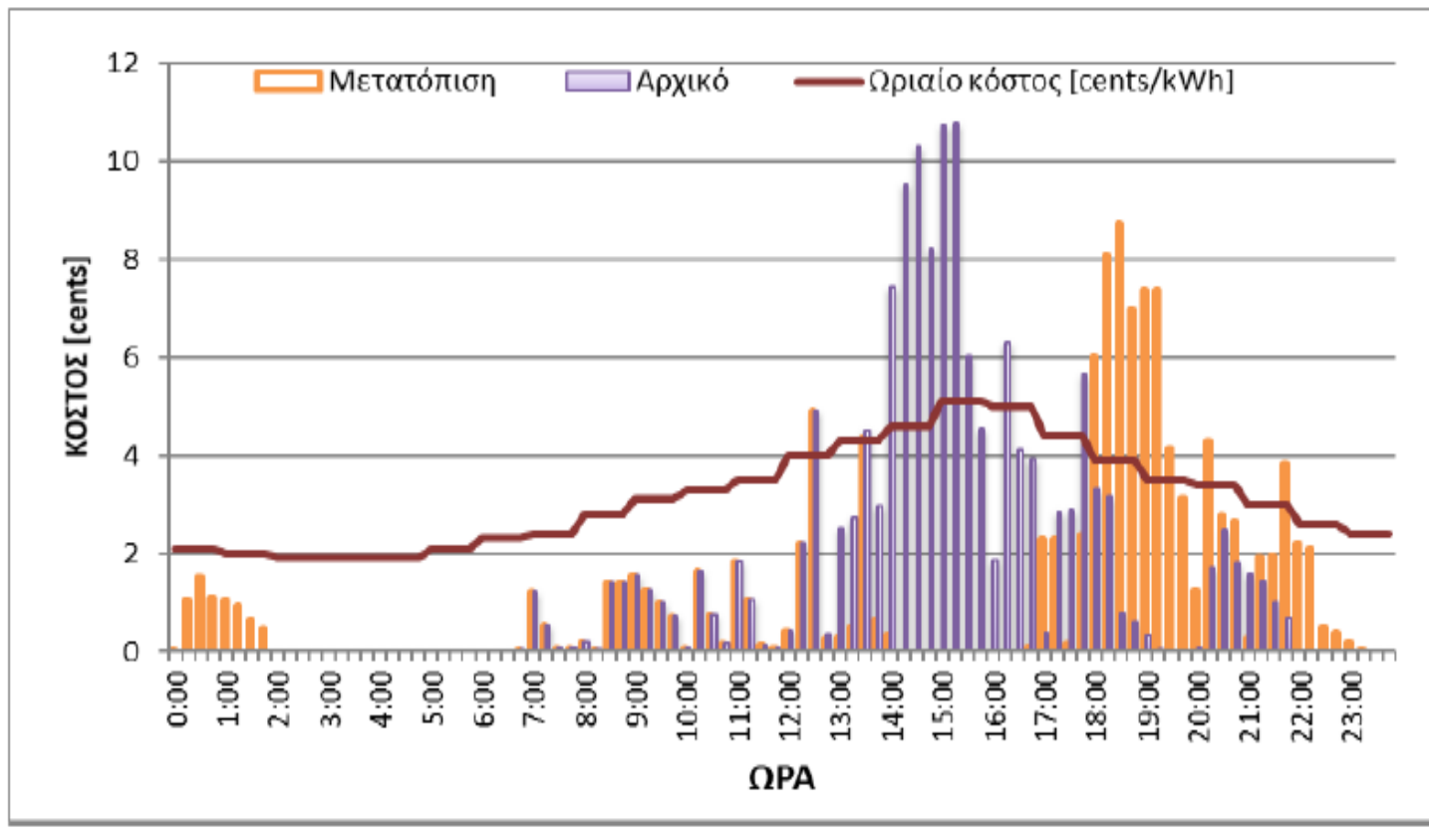


(β) Μετατόπιση της ζήτησης

Σχήμα 15. Μεταβολή της ζήτησης



Αποτελέσματα Προσομοίωσης



- Οι διαφορές που προκύπτουν από την εφαρμογή του σεναρίου 2 στο κόστος απεικονίζονται στο Σχήμα 16.
- Το αρχικό συνολικό ημερήσιο κόστος σύμφωνα με τη εξίσωση (5.1) είναι $C=162.3$ cents/kWh, ενώ μετά τη μετατόπιση η χρέωση θα είναι $C_{DR}=127.7$ cents/kWh, μικρότερη σε σχέση με την αρχική.

Σχήμα 16. Μεταβολή του κόστους μετά τη μετατόπιση



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Το κέρδος επί τοις εκατό % για τους καταναλωτές σε σχέση με το αρχικό κόστος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C[\%] = \frac{(C - C_{DR})}{C} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

όπου:

C - αρχικό κόστος χωρίς DR

C_{DR} - κόστος μετά τη διαχείριση συσκευών

Στη δεδομένη περίπτωση το κέρδος (5.2) είναι $C[\%] = ((162.3 - 127.7) / 162.3) * 100\% = 21\%$



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Σενάριο 3

- Αυτό το Σενάριο εξετάζει την επίδραση της διακοπής του κύκλου. Από τα δεδομένα του προηγούμενου σεναρίου θα δεχτούμε επιπλέον ότι επιτρέπεται μια διακοπή μετά την 1η φάση για το στεγνωτήριο (TD).
- Θα εφαρμόσουμε το μηχανισμό της καθυστέρησης εκκίνησης για τα πλυντήρια χωρίς διακοπή φάσεων, δηλαδή ο περιορισμός (4.7) θα υπολογίζεται με $T_{off}=1$.
- Για τα στεγνωτήρια θα εφαρμόζεται η καθυστέρηση με τη δυνατότητα διακοπής του κύκλου. Στην περίπτωση που επιτρέπουμε μισάωρο παύση ανάμεσα στην 1η και την 2η φάση, ο περιορισμός (4.7) τροποποιείται ως εξής:

Για $\phi=1$:

$$\left(\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} x_{(\phi+1),a}^w \cdot w - \sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} x_{\phi,a}^w \cdot w \right) \leq 3 \quad (5.3)$$



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Για $\phi > 1$, παραμένει η διαδοχή των φάσεων:

$$\left(\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} x_{(\phi+1),a}^w \cdot w - \sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} x_{\phi,a}^w \cdot w \right) \leq 1 \quad (5.4)$$

Ειδικά για την πρώτη φάση πρέπει να τηρείται ο περιορισμός του χρόνου έναρξής της, ώστε να μην ξεφύγει πέρα από τα όρια του μέγιστου χρόνου επιτρεπτής καθυστέρησης εκκίνησης $D_{max,a}$.

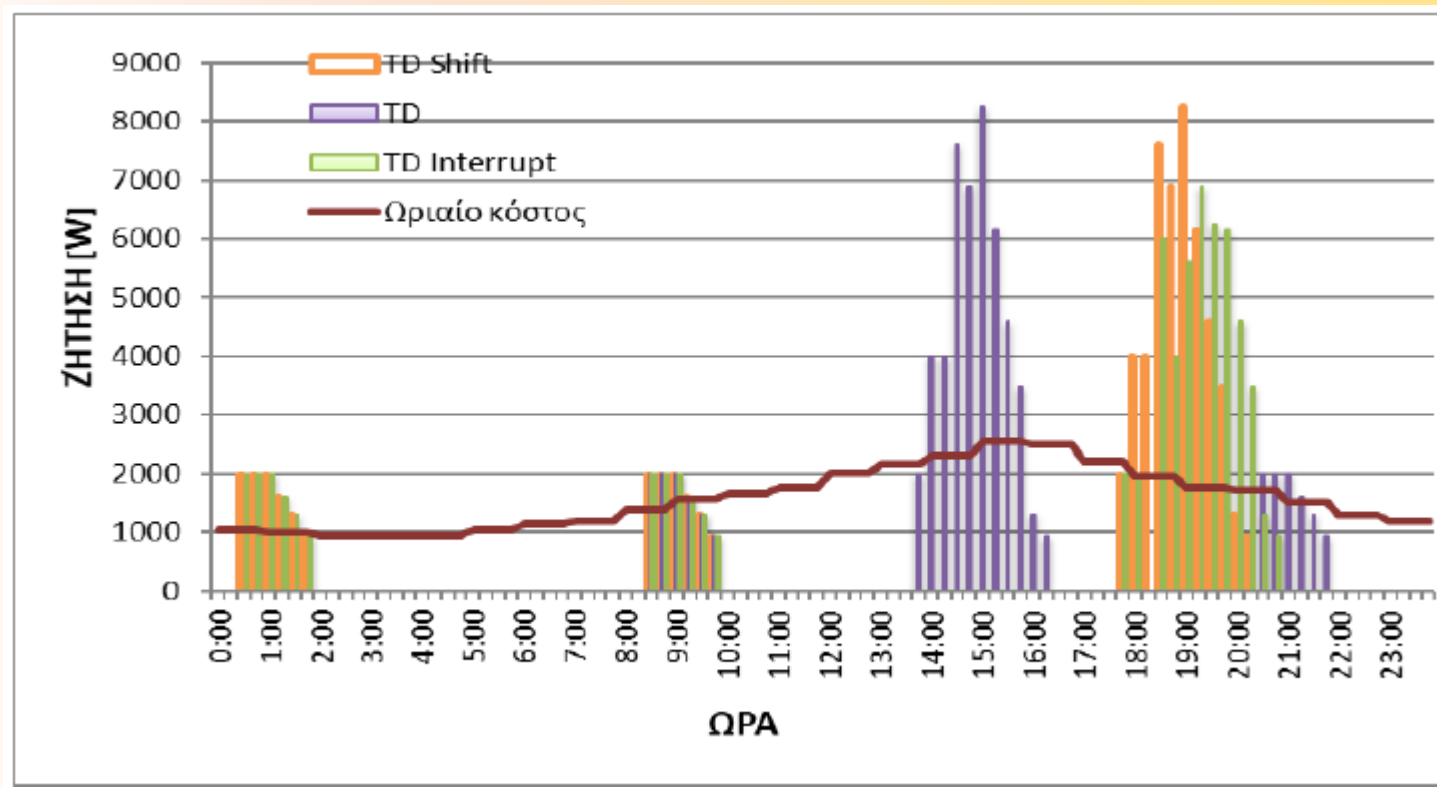
$$\left(\sum_{w=1}^{D_{max,a}+T_C} x_{1,a}^w \cdot w \right) \leq D_{max,a} + 1 \quad (5.5)$$

Η μέγιστη δυνατή καθυστέρηση έναρξης D_{max} ορίζεται όπως και πριν σε τέσσερις ώρες.



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Το αποτέλεσμα της μεταβολής της ημερήσιας ζήτησης από την προσθήκη της δυνατότητας τροποποίησης του κύκλου των στεγνωτηρίων κατά μισή ώρα παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 17.

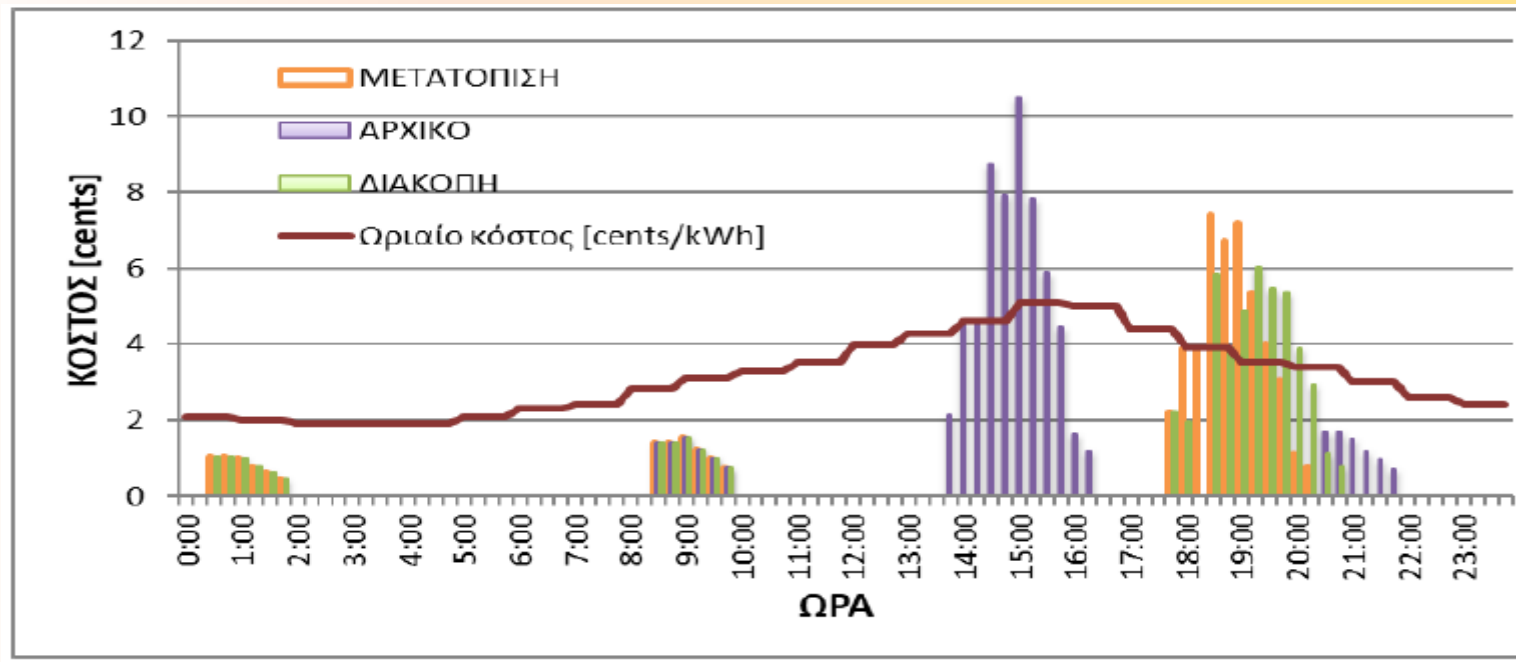


Σχήμα 17. Τροποποίησης ζήτησης με την προσθήκη της διακοπής κύκλου



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Η δυνατότητα μερικής αναβολής (διακοπής) του κύκλου έχει ως αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων σε σχέση με την περίπτωση μόνο μετατόπισης. Οι διαφορές στο κόστος φαίνονται στο Σχήμα 18. Το αρχικό συνολικό κόστος για όλα τα στεγνωτήρια είναι $C=74.6$ cents/kWh, μετά τη μετατόπιση η χρέωση από τη λειτουργία των στεγνωτηρίων γίνεται $C_{\text{shift}}= 58.0$ cents/kWh, ενώ μετά την τροποποίηση του κύκλου το κόστος με διακοπή μειώνεται μέχρι το ποσό των $C_{\text{interrupt}}= 56.7$ cents/kWh.



Σχήμα 18. Μεταβολή κόστους TD με τροποποίηση του κύκλου



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Σενάριο 4

Θερμοσίφωνα καταναλώνει μεγάλες ποσότητες ισχύος κατά τη λειτουργία του και αποτελεί συσκευή μεγάλου ενδιαφέροντος για τη διαχείριση της ζήτησης. Στην περίπτωση των προηγούμενων σεναρίων η μεταβολή της ζήτησης συσκευών οφείλεται στη λειτουργία τους σε χρόνους μεταγενέστερους από τους προγραμματισμένους, για λόγους πρακτικούς. Ο θερμοσίφωνα αντίθετα πρέπει να έχει την επιθυμητή θερμοκρασία από πριν. Για να εξετάσουμε αυτό το σενάριο θα γίνει πρωτύτερα η εκκίνηση του κύκλου της θέρμανσης. Θα εφαρμόσουμε δηλαδή τον αλγόριθμο της μετατόπισης σε προγενέστερη ώρα.

$$(T_{act,\alpha} - D_{max}) \leq St_a \leq T_{act,\alpha} \quad (5.6)$$

Σε αυτή την περίπτωση η βέλτιστη χρονοθυρίδα κάθε φάσης βρίσκεται ή στην αρχική θέση ή στη θέση πριν (ανάλογα με το D_{max}) και η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει τη μορφή:

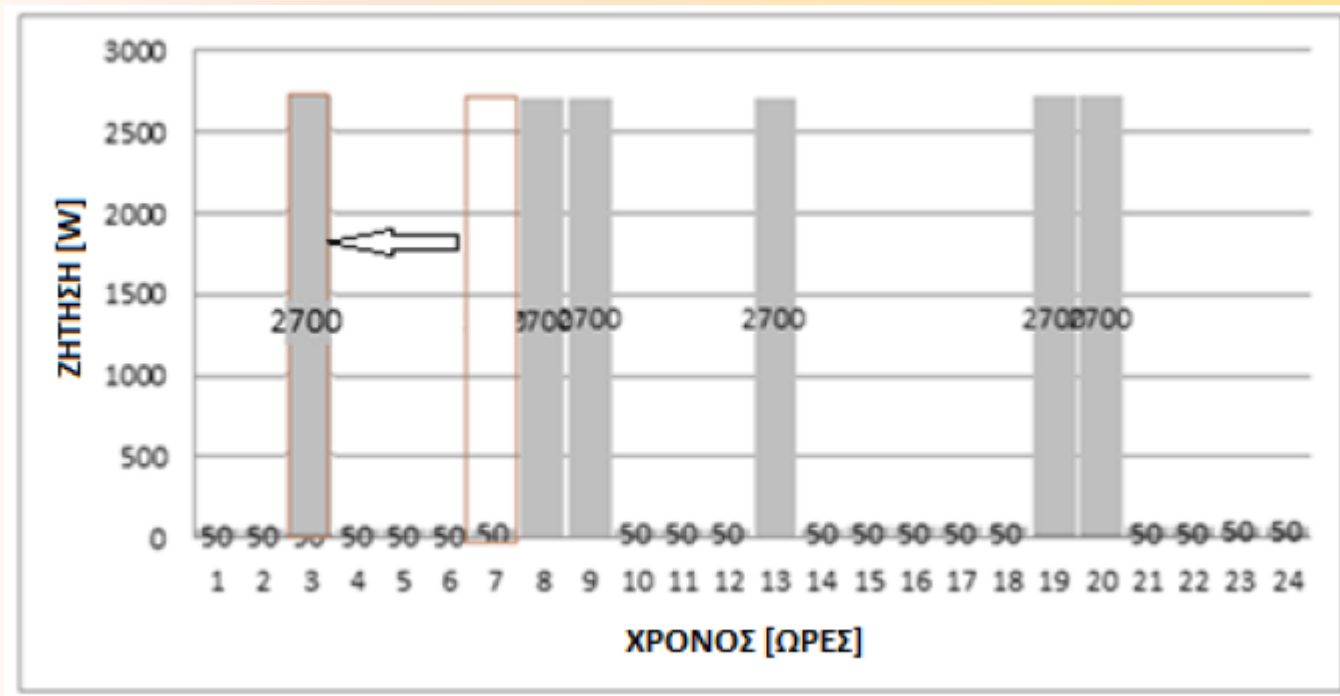
$$\min_{x_{\varphi,\alpha}^w \in (0,1)} \left\{ \sum_{a=1}^{N^t} \sum_{\varphi=1}^{\Phi_a} \sum_{w+T_C-D_{max,a}}^w c^{t+w} \cdot x_{\varphi,\alpha}^w \cdot P_{\varphi,\alpha} \cdot \Delta t \right\} \quad (5.7)$$

όπου D_{max} είναι το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό διάστημα πρωτύτερης έναρξης.



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στο προτεινόμενο σενάριο θα εξετάσουμε την επίδραση από τη μετατόπιση κατά τέσσερις ώρες της έναρξης των πρώτων κύκλων ενός θερμοσίφωνα, όπου σύμφωνα με το προφίλ η κατανάλωση είναι 2700W (Βλέπε Σχήμα 12).



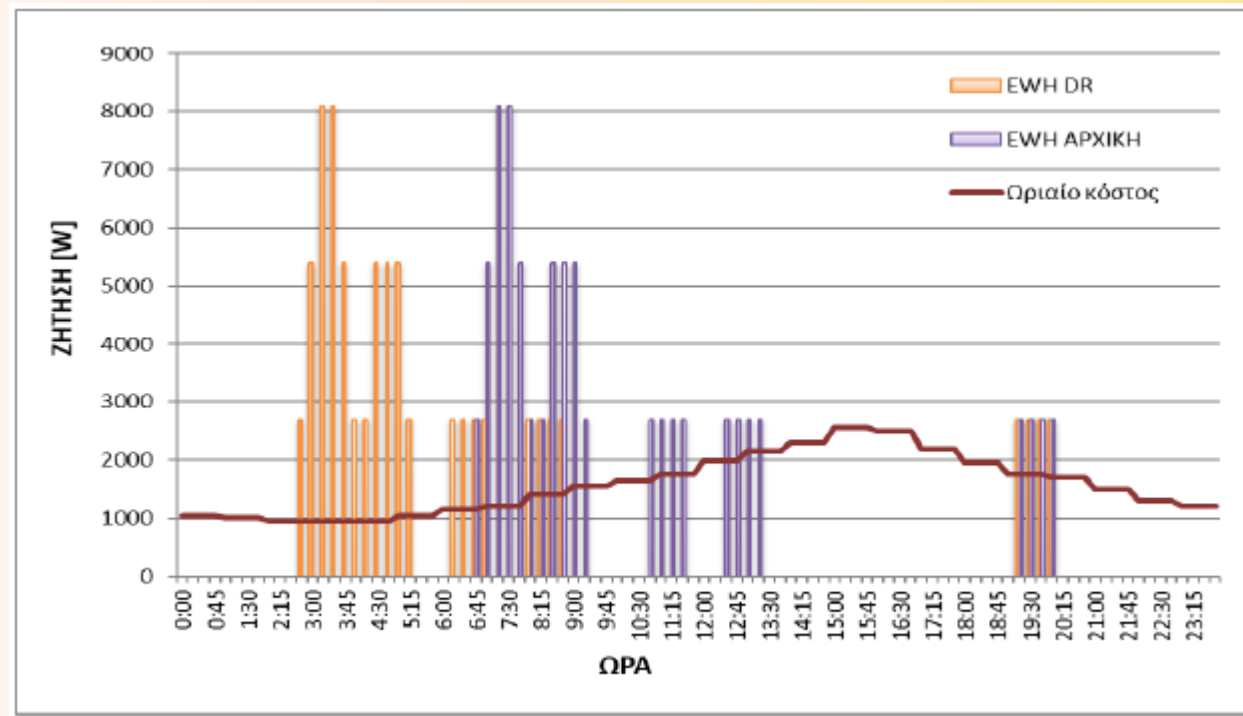
Σχήμα 19. Τροποποίηση κύκλου θερμοσίφωνα



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αλγόριθμος μετατόπισης με τροποποιημένη αντικειμενική συνάρτηση, αλλά με την ίδια λογική με τη μετακίνηση των χρόνων λειτουργίας των φορτίων σε προγενέστερο χρόνο.

Η συνολική ζήτηση μετατοπίζεται σε ώρες με φθηνότερη χρέωση (νωρίς το πρωί).

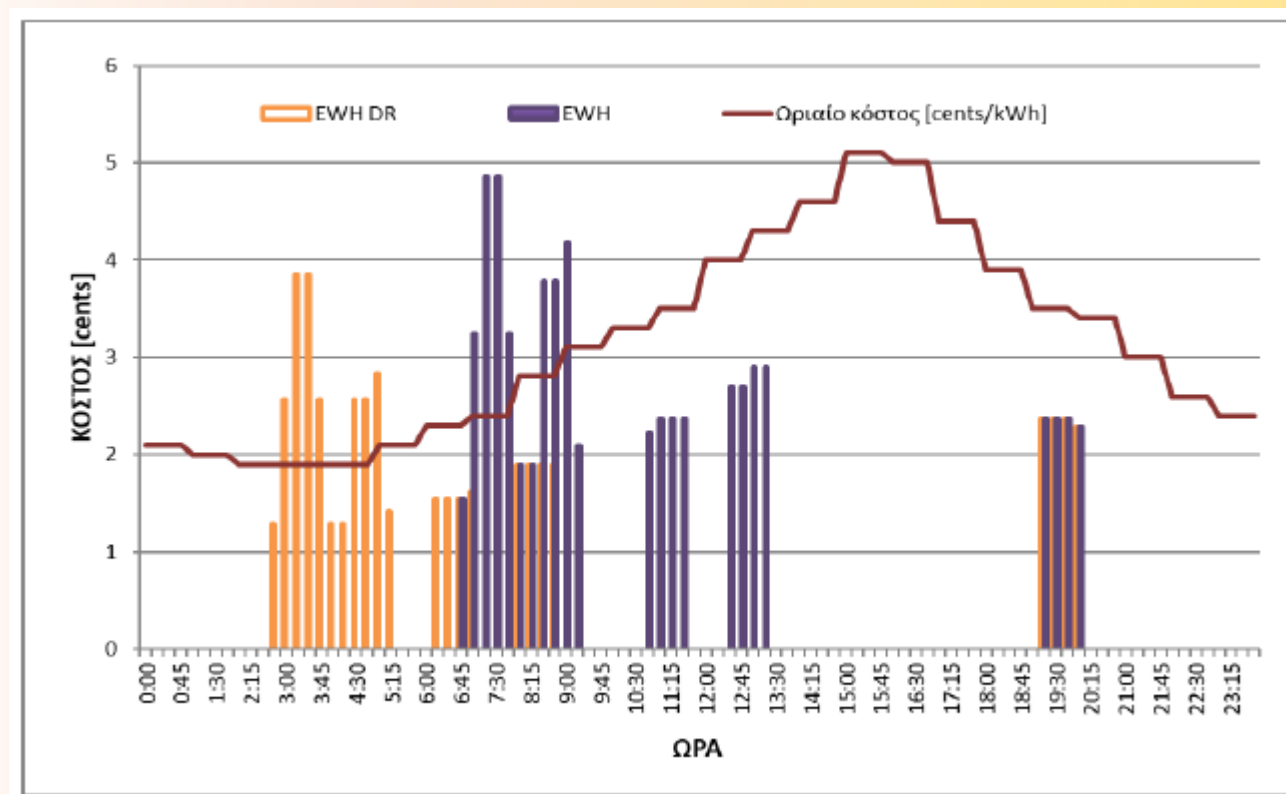


Σχήμα 20. Μεταβολή της ζήτησης EWH



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Το κόστος για τα νοικοκυριά μειώνεται (Σχήμα 21) και γίνεται περικοπή των αιχμών.



Σχήμα 21. Κόστος για τη μετατόπιση



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

-Συνολική επίδραση από τους μηχανισμούς διαχείρισης

Όλα τα προτεινόμενα σενάρια δεν μειώνουν τη συνολική ημερήσια κατανάλωση αλλά τη μεταφέρουν από ώρες με μεγαλύτερη χρέωση σε ώρες με χαμηλότερη. Στον Πίνακα 5 δίνεται η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας όλων των νοικοκυριών.

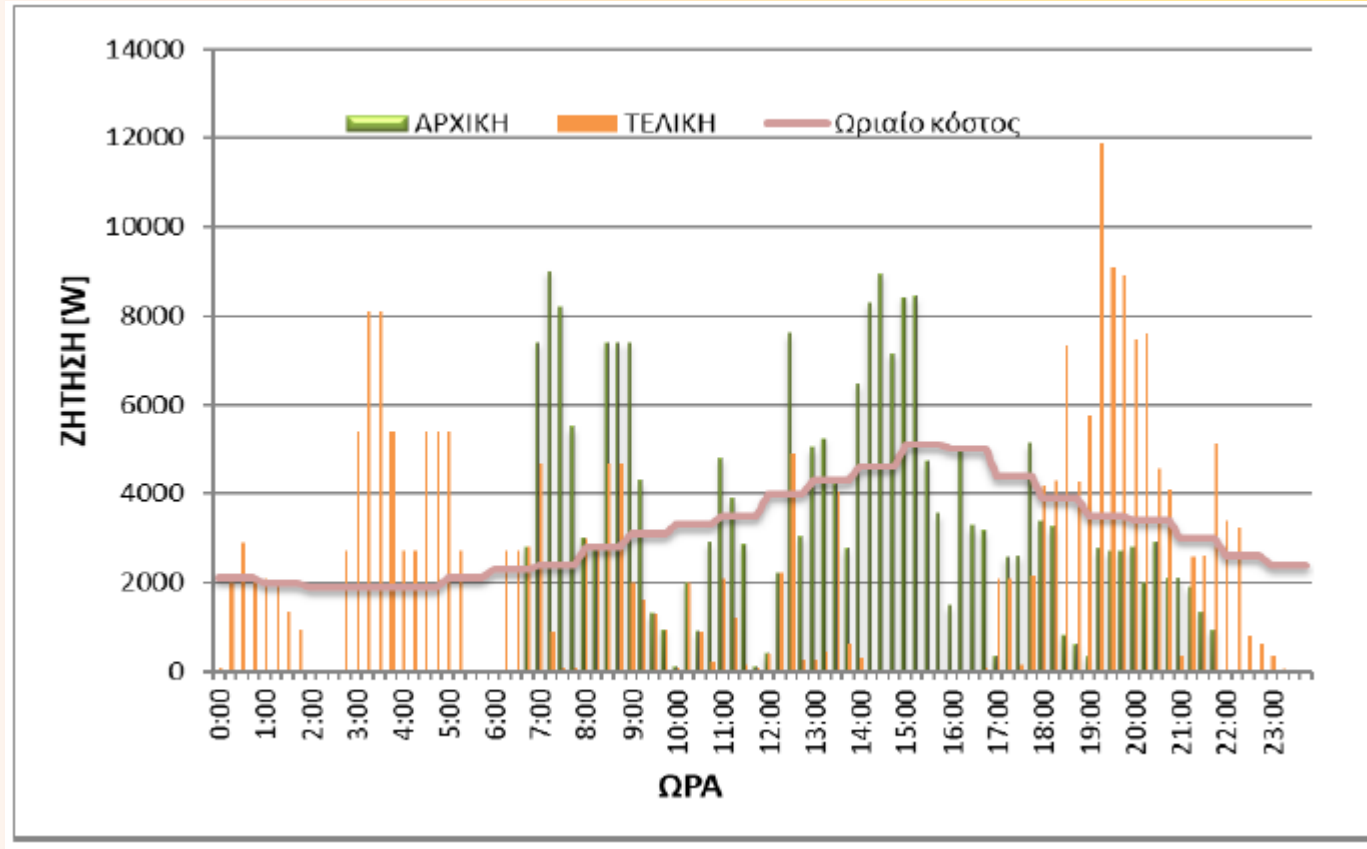
Πίνακας 5 Ημερήσια Κατανάλωση

	DW	TD	WM	EWH	ΣΥΝΟΛΟ
Κατανάλωση [kWh]	8,35	17.22	9,76	21.6	56,93

Με τον έλεγχο των χρόνων έναρξης των φάσεων συσκευών, κατορθώνουμε τη μείωση των αιχμών του φορτίου στο σύνολο του ενεργειακού δικτύου.



Αποτελέσματα Προσομοίωσης



Σχήμα 22. Συνολική μεταβολή της ζήτησης



Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Το κόστος για τους καταναλωτές μειώνεται με όλα τα σενάρια, όπως δείχνει ο Πίνακας 6. Το κόστος από την αυτόματη τροποποίηση λειτουργίας των συσκευών πλύσης με συνδυασμό τεχνικών όλων των σεναρίων, δηλαδή με τη μετατόπιση της ώρας έναρξης των πλυντηρίων και με την τροποποίηση του κύκλου του στεγνωτηρίου, είναι μειωμένο κατά 21% σε σχέση με το αρχικό.

Με τη συμμετοχή του θερμοσίφωνα σε σχέση με το αρχικό κόστος για τις επιλεγμένες συσκευές, θα υπάρχει συνολική μείωση του κόστους κατά 22%.

Το ποσοστό της μείωσης στην περίπτωση του θερμοσίφωνα μπορεί να αυξηθεί, στην περίπτωση που θα ελέγχεται μεγαλύτερο ποσοστό του ημερησίου κύκλου του.

Πίνακας 6 Συνολικό Κόστος

ΚΟΣΤΟΣ	DW	TD	WM	DW+TD+WM	EWH	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΡΧΙΚΟ	37.0	74.6	38.7	150.3	65.3	215.6
ΤΕΛΙΚΟ	31.1	56.7	30.4	118,2	49.3	167.5
% Μείωσης κόστους	16	23	21	21	24	22



Συμπεράσματα

Η διαχείριση της ζήτησης συνεισφέρει στην αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη λειτουργία του ενεργειακού δικτύου. Οι μηχανισμοί που αναπτύχθηκαν στην παρούσα εφαρμογή παρέχουν τη δυνατότητα τροποποίησης της λειτουργίας επιλεγμένων οικιακών συσκευών με επίδραση στη συνολική ζήτηση της ενέργειας από την πλευρά των καταναλωτών. Τα φορτία των χρηστών έχουν ενεργό συμμετοχή στη μείωση των αιχμών της καμπύλης ζήτησης.

Η λογική των μηχανισμών μπορεί να είναι ενσωματωμένη μέσα στο σύστημα διαχείρισης οικίας. Ως αποτέλεσμα του ελέγχου οι συσκευές θα ενεργοποιούνται αυτόματα τη βέλτιστη ώρα, σύμφωνα με το προγραμματισμένο από τους χρήστες χρονοδιάγραμμα στα πλαίσια της ελευθερίας που παρέχουν οι χρήστες στο σύστημα.

Οι τέσσερις αντιπροσωπευτικοί τύποι οικιακών φορτίων που επιλέχθηκαν για την εξέταση της επίδρασης των μηχανισμών αυτοματοποιημένης διαχείρισης είναι τα:

- Πλυντήρια πιάτων (DW)
- Πλυντήρια ρούχων (WM)
- Στεγνωτήρια (TD)
- Θερμοσίφωνες (EWH)



Συμπεράσματα

Η βελτιστοποίηση της ζήτησης μπορεί να γίνει είτε με τον καθορισμό των χρόνων έναρξης του κύκλου (smart timing) για παράδειγμα οι DW, WM, TD, EWH, είτε με τροποποίηση του κύκλου (interruption) για παράδειγμα οι TD, EWH.

Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο για κάθε τύπο φορτίου και αλγόριθμος για την εύρεση της βέλτιστης λύσης με κριτήριο το κόστος.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έγιναν πάνω στα δεδομένα των οικιακών χρηστών, αποδεικνύουν πως τα προγράμματα δυναμικής τιμολόγησης μπορούν να:

- Μειώσουν το κόστος για κάθε νοικοκυριό
- Συμβάλουν στην εξισορρόπηση αιχμών της ζήτησης για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου

Η ευελιξία της λειτουργίας των συσκευών μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητά τους. Το ποσοστό της μείωσης είναι μεγαλύτερο, όταν από τους χρήστες ρυθμίζεται μεγαλύτερος βαθμός της ελευθερίας, που στη δική μας περίπτωση είναι το χρονικό παράθυρο επιτρεπτής μέγιστης μετατόπισης.

Οι καταναλωτές που διαθέτουν περισσότερο ευέλικτες συσκευές έχουν τα μεγαλύτερα οφέλη.



Βιβλιογραφία

Όλο το υλικό προέρχεται από τη διπλωματική εργασία της κ. Έννας Σαββαντίδου: «Μηχανισμοί Αυτοματοποιημένης Διαχείρισης της Ενεργειακής Ζήτησης»