



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης μη  
διασυνδεδεμένου νησιού**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΔΗΜΗΤΡΗ ΣΑΜΟΥΗΛ**

**Επιβλέπων :** Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης μη διασυνδεδεμένου νησιού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΔΗΜΗΤΡΗ ΣΑΜΟΥΗΛ**

**Επιβλέπων :** Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις: .....

.....  
Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Στ. Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Γεωργιάκης  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

.....

**Δημήτρης Σαμουήλ**

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

Copyright © Σαμουήλ Δημήτρης, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσης εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Χατζηαργυρίου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Ρεβέκκα Γκόγκου για την προθυμία της να βοηθήσει καθώς και την καθοδήγηση της κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος, η οικογένεια μου και οι φίλοι μου, που με στηρίζουν πάντα, αξίζουν το πιο ιδιαίτερο ευχαριστώ.



## Περίληψη

Η ενεργειακή απόδοση και η εξοικονόμηση ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) αποτελεί προτεραιότητα, εδώ και χρόνια, του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), δεδομένου ότι το κόστος διατήρησης των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με πετρέλαιο ντίζελ στα ΜΔΝ είναι σημαντικό σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Η ακριβής και άμεση καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων καθώς και η δυνατότητα πρόβλεψης των ενεργειακών αναγκών μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην επίτευξη σημαντικών ποσοστών εξοικονόμησης ενέργειας και στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων. Επίσης, η πρόβλεψη της ζήτησης αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις της νέας γενιάς δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστή ως Έξυπνα Δίκτυα (ΕΔ). Μία μέθοδος για τον υπολογισμό της συμμετοχής των κτιρίων στη συνολική ζήτηση ενέργειας, είναι μέσω της μοντελοποίησης.

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας προτείνεται μια εναλλακτική μεθοδολογία για τη αποτύπωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων της νήσου Λέσβου. Αρχικά, γίνεται καταγραφή του κτιριακού αποθέματος του νησιού. Στη συνέχεια ακολουθεί προσομοίωση των κτιρίων στο πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus και επέκταση των αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του νησιού και σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας προτείνεται μια τεχνική διαχείρισης της ζήτησης που στοχεύει στη μείωση των αιχμών της καμπύλης φορτίου της Λέσβου. Συγκεκριμένα, εξετάζονται δύο σενάρια μετατόπισης των ευέλικτων οικιακών συσκευών, τα οποία δύναται να εφαρμοστούν στα πλαίσια της μελλοντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των καταναλωτών και του έξυπνου ελεγκτή του δικτύου. Τα δύο σενάρια ανάγονται σε προβλήματα βελτιστοποίησης και οι αλγόριθμοι υλοποιούνται στο λογισμικό Matlab.

**Λέξεις Κλειδιά:** <<ενεργειακή κατανάλωση, κτιριακός τομέας, μοντελοποίηση, EnergyPlus, Λέσβος, μη-διασυνδεδεμένα νησιά, έξυπνα δίκτυα, οικιακές συσκευές, διαχείριση της ζήτησης, μετατόπιση φορτίου, μαθηματική βελτιστοποίηση>>





## Abstract

The energy efficiency and energy savings in the non-interconnected islands (NIIs) has been a priority of Hellenic Electricity Distribution Network Operator (HEDNO), for many years, as the cost of sustaining diesel-fueled power plants in NIIs is significant in financial, social and environmental terms. The accurate and immediate recording of energy consumption as well as the ability to predict consumer's needs can contribute essentially to achieving significant energy savings rates and optimizing the operation of energy systems. Demand forecasting is also one of the most important challenges of the new generation of power grids, known as Smart Grids (SG). One method for determining the contribution of buildings in total energy demand is through simulations.

In the first part, an alternative methodology of simulation is proposed and put to use in order to study the energy consumption of Lesvos' buildings. Initially, information about the island's buildings is collected. Then, each kind of building is simulated using a building energy simulation program (EnergyPlus). The results are expanded to calculate the energy consumption of the whole area of Lesvos. Finally, these results are compared with actual measurements.

In the second part, a demand side management technique is proposed which aims at reducing peak demands of the total load curve of Lesvos. In particular, this study focuses on two scenarios of load shifting techniques for flexible household appliances. These scenarios will be implemented after developing an interaction between consumers and smart network controller. The techniques are modeled as optimization problems whose algorithms are developed in Matlab software.

**Keywords:** <<energy consumption, building sector, simulation, EnergyPlus, Lesvos, non-interconnected islands, smart grids, household appliances, demand side management, load shifting, mathematical optimization>>



## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>5</b>
1.1	Επισκόπηση ενεργειακού τομέα στην Ελλάδα .....	5
1.1.1	Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας.....	6
1.1.2	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.....	9
1.2	Μη διασυνδεδεμένα νησιά.....	11
1.2.1	Διείσδυση ΑΠΕ.....	12
1.2.2	Διαχειριστής των ΜΔΝ.....	13
1.2.3	Εξυπνα δίκτυα και ΜΔΝ .....	14
1.3	Σύνοψη.....	17
<b>2</b>	<b>Χαρακτηριστικά νήσου Λέσβου .....</b>	<b>19</b>
2.1	Βασικά Γεωγραφικά και Πληθυσμιακά στοιχεία.....	19
2.2	Το ενεργειακό σύστημα της Λέσβου .....	20
2.2.1	Μονάδες παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	20
2.2.2	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	21
2.2.3	Υφιστάμενη Κατάσταση Υποδομών.....	23
<b>3</b>	<b>Προσομοίωση ενεργειακής κατανάλωσης .....</b>	<b>25</b>
3.1	Εισαγωγή.....	25
3.2	Μεθοδολογία μοντελοποίησης.....	27
3.3	Κτιριακό απόθεμα.....	29
3.3.1	Χαρακτηριστικά κτιρίων.....	30
3.4	EnergyPlus .....	31
3.5	Προσομοίωση κατοικίας.....	33
3.5.1	Παράμετροι προσομοίωσης (Simulation Parameters) .....	34
3.5.2	Τοποθεσία και Κλίμα (Location and Climate) .....	34
3.5.3	Χρονοδιαγράμματα (Schedules) .....	35
3.5.4	Κατασκευαστικά στοιχεία επιφανειών (Surface Construction Elements).....	37
3.5.5	Θερμικές ζώνες και επιφάνειες (Thermal Zones and Surfaces) .....	39
3.5.6	Εσωτερικά κέρδη (Internal Gains).....	40

3.5.7	<i>Ροή του αέρα στους χώρους του κτιρίου (Zone Airflow)</i> .....	42
3.5.8	<i>Χαρακτηριστικά συστήματος ψύξης-θέρμανσης (HVAC Templates)</i> .....	43
3.5.9	<i>Ζήτηση Αποτελεσμάτων (Output Reporting)</i> .....	45
3.5.10	<i>Αποτελέσματα προσομοίωσης</i> .....	45
3.6	Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου .....	50
3.6.1	<i>Λεπτομέρειες μοντελοποίησης</i> .....	50
3.6.2	<i>Αποτελέσματα μοντελοποίησης</i> .....	53
3.7	Συμπεράσματα .....	57
<b>4</b>	<b>Διαχείριση ζήτησης φορτίου (Demand side management)</b> .....	<b>59</b>
4.1	Εισαγωγή.....	59
4.2	Πλεονεκτήματα μείωσης αιχμών φορτίου .....	61
4.2.1	<i>Οφέλη για το διαχειριστή του δικτύου</i> .....	61
4.2.2	<i>Οφέλη για τον τελικό χρήστη</i> .....	62
4.2.3	<i>Μείωση εκπομπών άνθρακα</i> .....	62
4.3	Τεχνικές DSM.....	63
4.4	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό τομέα.....	66
4.4.1	<i>Ηλεκτρικές οικιακές συσκευές</i> .....	67
4.5	Μετατόπιση φορτίου (load shifting).....	69
4.5.1	<i>Προτεινόμενη Μεθοδολογία</i> .....	71
4.5.2	<i>Ορισμός μαθηματικού προγράμματος</i> .....	72
4.6	1 <sup>ο</sup> Σενάριο εφαρμογής.....	73
4.6.1	<i>Μαθηματική περιγραφή του προβλήματος</i> .....	77
4.6.2	<i>Συνάρτηση ελαχιστοποίησης</i> .....	77
4.6.3	<i>Αντικειμενικές καμπύλες</i> .....	79
4.6.4	<i>Περιορισμοί προβλήματος βελτιστοποίησης</i> .....	80
4.6.5	<i>Δείκτες αξιολόγησης της τεχνικής</i> .....	81
4.6.6	<i>Αποτελέσματα μετατόπισης φορτίου για το 1<sup>ο</sup> Σενάριο</i> .....	84
4.7	2 <sup>ο</sup> Σενάριο εφαρμογής.....	91
4.7.1	<i>Μαθηματική περιγραφή του προβλήματος</i> .....	93
4.7.2	<i>Αποτελέσματα μετατόπισης φορτίου για το 2<sup>ο</sup> Σενάριο</i> .....	95
<b>5</b>	<b>Επίλογος</b> .....	<b>99</b>

5.1	Σύνοψη και συμπεράσματα.....	99
5.2	Μελλοντικές επεκτάσεις.....	101
<b>6</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>103</b>



# 1

## *Εισαγωγή*

### *1.1 Επισκόπηση ενεργειακού τομέα στην Ελλάδα*

Τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα σημείωσε αξιοσημείωτη πρόοδο στις μεταρρυθμίσεις στον ενεργειακό τομέα, με την αναδιάρθρωση των κρατικών επιχειρήσεων και με την εφαρμογή της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι ανταγωνιστικές και οι οικονομικά βιώσιμες αγορές ενέργειας, οι οποίες προσφέρουν επιλογές και χαμηλές τιμές στους καταναλωτές, είναι κρίσιμες για την ανάκτηση της οικονομικής ανάπτυξης και τη διασφάλιση μακροπρόθεσμων οικονομικών προοπτικών. Οι μεταρρυθμίσεις θα δώσουν ευκαιρίες για τους επενδυτές οι οποίοι θα συνεισφέρουν στο μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας έτσι βιώσιμα αποτελέσματα για το περιβάλλον και την ελληνική κοινωνία.

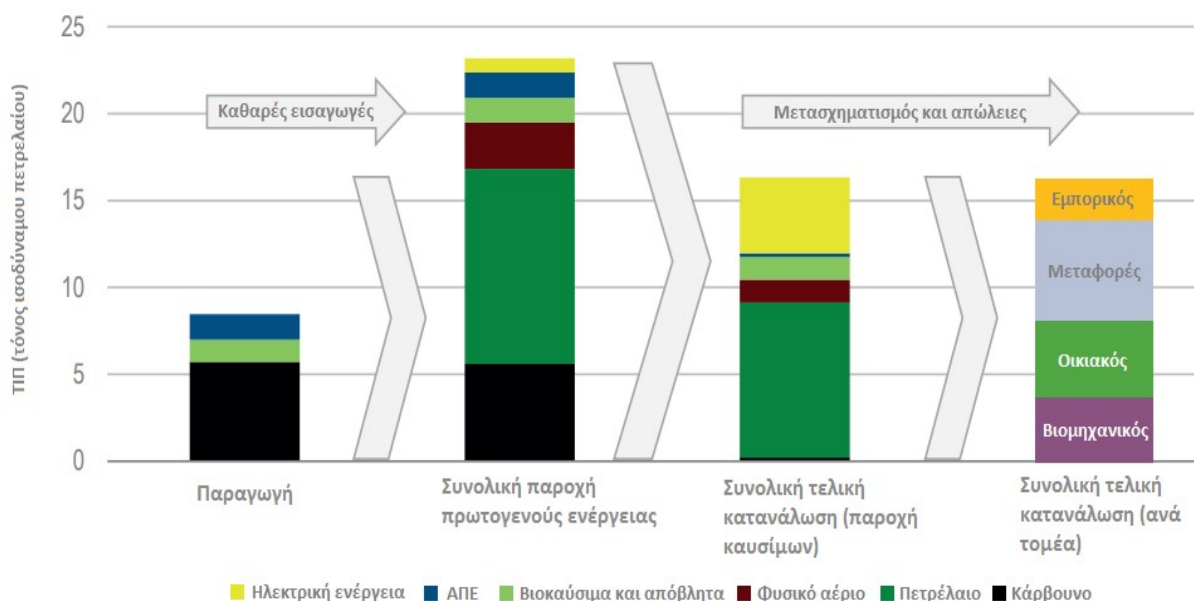
Επιπλέον, η Ελλάδα αναμένεται να επιτύχει τους στόχους της το 2020 για τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων και την ενεργειακή απόδοση που συμφωνήθηκαν με την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη χαμηλότερη συνολική τελική ζήτηση ενέργειας λόγω της οικονομικής κρίσης από το 2008. Οι πολιτικές για τη στήριξη της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνέβαλαν επίσης στην επίτευξη αυτών των στόχων. Η Ελλάδα είχε το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλιακής ενέργειας στη συνολική παραγωγή όλων των χωρών μελών του διεθνή οργανισμού ενέργειας (ΔΟΕ) για το 2016 σύμφωνα με το ΔΟΕ (IEA)[1].

Το ελληνικό ενεργειακό μείγμα χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη χρήση πετρελαίου στους τομείς της θέρμανσης και των μεταφορών και, μέχρι και σήμερα, τη μεγάλη χρήση λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η Ελλάδα παρουσίασε εντυπωσιακή αύξηση στην παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας από το 2010 έως το 2016, που ανέρχεται σχεδόν στο 300%. Συγκεκριμένα, το ποσοστό παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας έφτασε, το 2016, σχεδόν το 30% της συνολικής παραγωγής.

Η εξέλιξη του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος τις επόμενες δεκαετίες, θα έχει ως βασικούς άξονες κατεύθυνσης την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, τη βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, την προώθηση των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, την ταχεία υιοθέτηση τεχνολογικών εφαρμογών που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη διαχείριση της ζήτησής της, καθώς και την επίτευξη δραστικής μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων, από την κατανάλωση ενέργειας λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

### 1.1.1 Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας

Η Ελλάδα διαθέτει μεγάλη ποσότητα λιγνίτη που καλύπτει την εγχώρια ζήτηση άνθρακα και χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της ενέργειας. Ο λιγνίτης εξακολουθεί να είναι το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής, ωστόσο η χρήση του, τα τελευταία χρόνια, ακολουθεί μια καθοδική πορεία. Από την άλλη, το πιο σημαντικό καύσιμο είναι το πετρέλαιο και η χώρα εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις εισαγωγές πετρελαίου. Ο τομέας των μεταφορών, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος τομέας κατανάλωσης ενέργειας, κυριαρχείται από πετρελαϊκά προϊόντα. Επιπλέον, μεγάλες ποσότητες πετρελαίου χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα (βλ. Εικόνα 1).



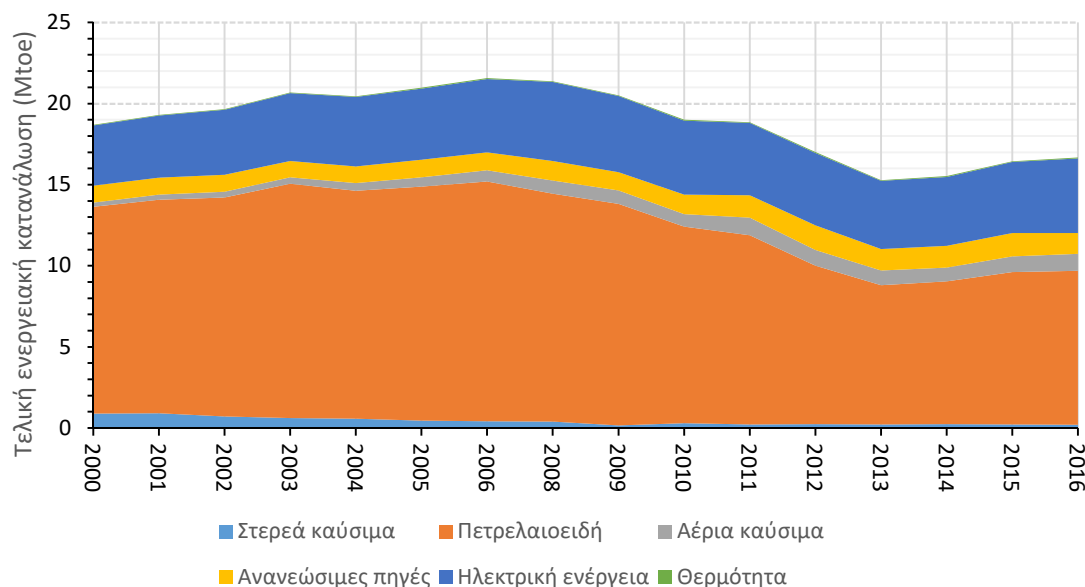
**Εικόνα 1:** Επισκόπηση της παραγωγής ενέργειας, της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας και συνολική κατανάλωση καυσίμου[1].

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση (ΤΕΚ) στην Ελλάδα παρουσίασε διακυμάνσεις κατά την περίοδο 2000-2016 . Από το 2000 μέχρι το 2007, ο ετήσιος μέσος όρος αύξησης κατά 3% της



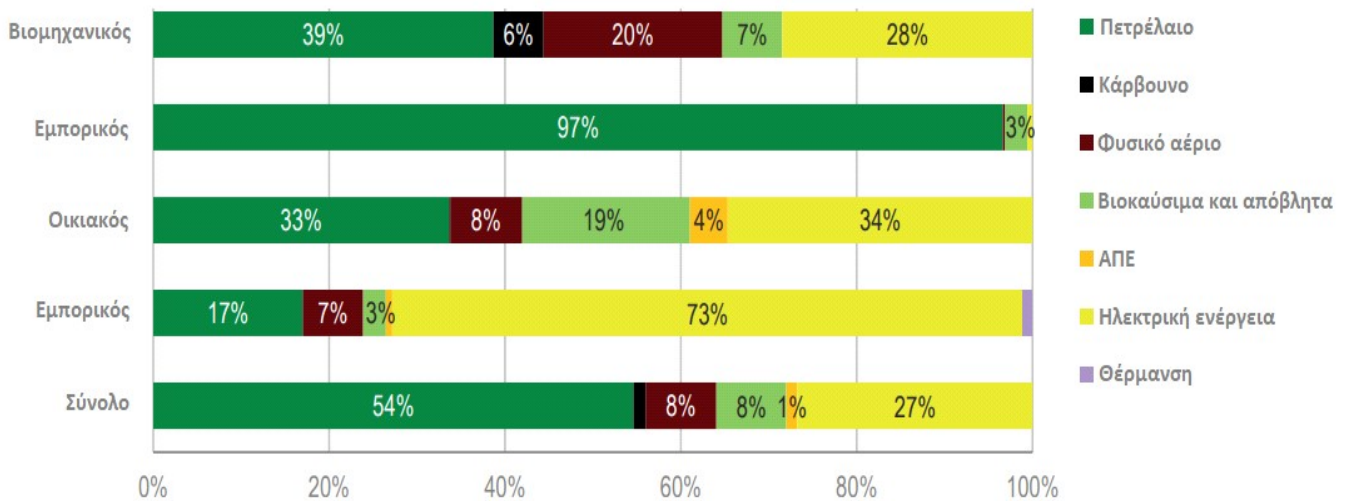
ΤΕΚ οδήγησε σε συνολική αύξηση της ΤΕΚ κατά 18% από 18,7 Mtoe (tonnes of Oil equivalent- Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) το 2000 σε 22,1 Mtoe το 2007. Αυτή η αυξητική τάση προήλθε κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου κατά 15% (10,7 Mtoe το 2000 σε 14,7 Mtoe το 2007) και τη σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 28% (3,7 Mtoe το 2000 σε 4,7 Mtoe το 2007).

Ωστόσο, κατά την περίοδο 2007-2013 σημειώθηκε σημαντική μείωση της ΤΕΚ. Τόσο η εφαρμογή μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση όσο και η οικονομική κρίση οδήγησαν σε σημαντική μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο 2008-2013. Η συνολική ΤΕΚ κατά τη διάρκεια της περιόδου 2007-2013 ακολουθεί μια μέση πτωτική τάση 6% ετησίως, η οποία στη συνέχεια οδήγησε σε σημαντική μείωση κατά 24,5% κατά την περίοδο αυτή, από 22,1 Mtoe το 2007 σε 15,3 Mtoe το 2013[2][3]. Τα επόμενα χρόνια η ΤΕΚ αυξήθηκε ελαφρά. Η εξέλιξη της συνολικής ΤΕΚ από το 2000 έως το 2016 στην Ελλάδα φαίνεται στο διάγραμμα 1.



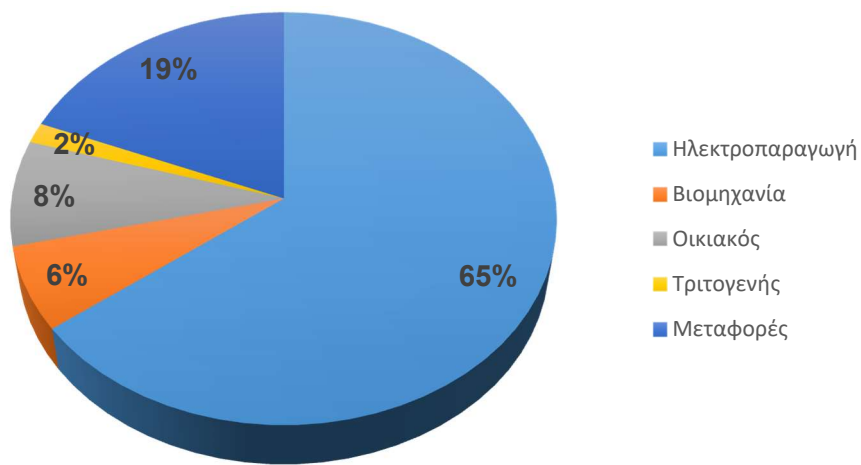
**Διάγραμμα 1:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία, 2000-2016

Ο τομέας των μεταφορών είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας και αντιπροσωπεύει το 35% της ΤΕΚ, ακολουθούμενος από τους τομείς των κατοικιών (27%), της βιομηχανίας (23%) και του εμπορίου (15%). Η ΤΕΚ όλων των τομέων μειώθηκε κατά παρόμοιο τρόπο την τελευταία δεκαετία, ενώ η βιομηχανία παρουσίασε τη μεγαλύτερη πτώση κατά 29% από την αιχμή του 2007. Το πετρέλαιο αντιπροσωπεύει πάνω από το ήμισυ της ενέργειας στην ΤΕΚ, κυρίως λόγω της κυριαρχίας του στις μεταφορές και της μεγάλης χρήσης του στον τομέα της βιομηχανίας και των κατοικιών. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η δεύτερη ψηλότερη πηγή ενέργειας, ειδικά στον εμπορικό τομέα. Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται το ποσοστό κατανάλωσης κάθε μορφής ενέργειας από τον κάθε τομέα για το έτος 2015.



**Διάγραμμα 2:** Ποσοστό κατανάλωσης κάθε μορφής ενέργειας ανά τομέα, 2015

Στο Πίνακα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των ποσοστών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά ενεργειακό τομέα. Φαίνεται ότι η συμμετοχή του οικιακού και του τριτογενούς τομέα αντιστοιχεί στο 10% για το έτος 2014, ενώ στην ηλεκτροπαραγωγή οφείλεται το 65% των εκπομπών.

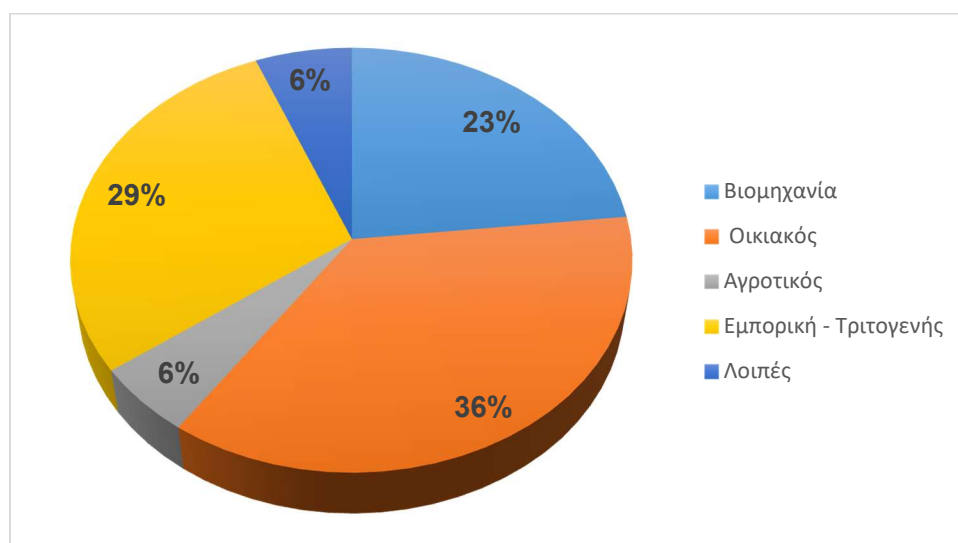


Τομείς	Ηλεκτροπαραγωγή	Βιομηχανία	Οικιακός	Τριτογενής	Μεταφορές	Σύνολο
CO <sub>2</sub> (Mt)	54.51	5.5	6.95	1.34	15.84	84.14

**Πίνακας 1:** Κατανομή των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά ενεργειακό τομέα και ποσοστιαία κατανομή στο σύνολο των 84,14 Mt CO<sub>2</sub>, 2014

Επίσης, πολύ υψηλό είναι και το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στα κτίρια της χώρας. Από το Πίνακα 2, φαίνεται ότι το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας που

καταναλώθηκε στην Ελλάδα το 2014 αφορά τον οικιακό (36%) και τον τριτογενή τομέα (29%), σύμφωνα με τις διαθέσιμες καταγραφές της ΔΕΗ.

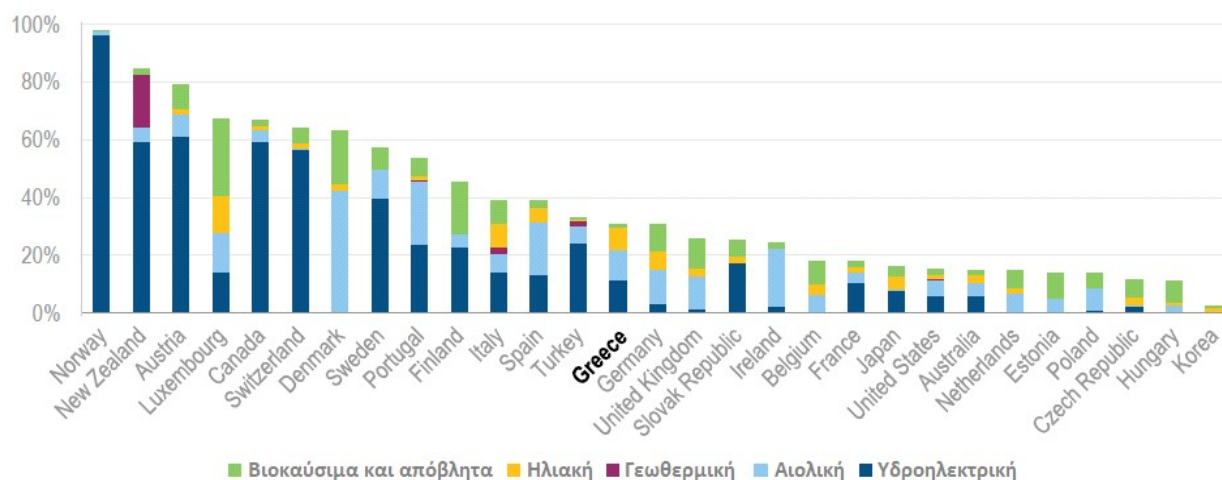


Τομέας Χρήσης	Βιομηχανία	Οικιακός	Αγροτικός	Εμπορική - Τριτογενής	Λοιπές	Σύνολο
Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας (GWh)	12.095	18.878	2.781	15.016	3.176	51.946

Πίνακας 2: Ποσοστιαία κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα, 2014

### 1.1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Η Ελλάδα εμφανίζει υψηλό δυναμικό ΑΠΕ σε όλους τους τομείς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια και κυρίως μετά το 2006, γίνεται προσπάθεια να αξιοποιηθεί το δυναμικό της ηλεκτροπαραγωγής, με τον βέλτιστο τρόπο, υιοθετώντας μια σειρά από αλλαγές στο θεσμικό πλαίσιο αδειοδότησης και χρήσης συστημάτων ΑΠΕ.

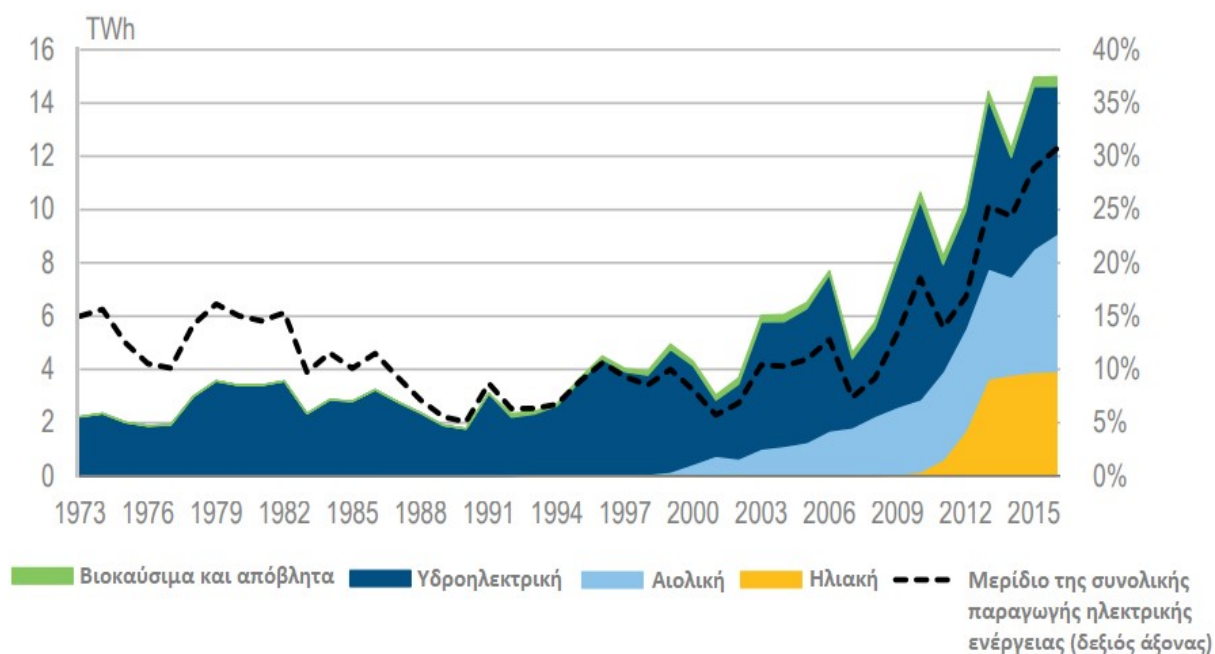


Διάγραμμα 3: Παραγωγή ηλ. ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα και χώρες μέλη του IEA, 2016[4]

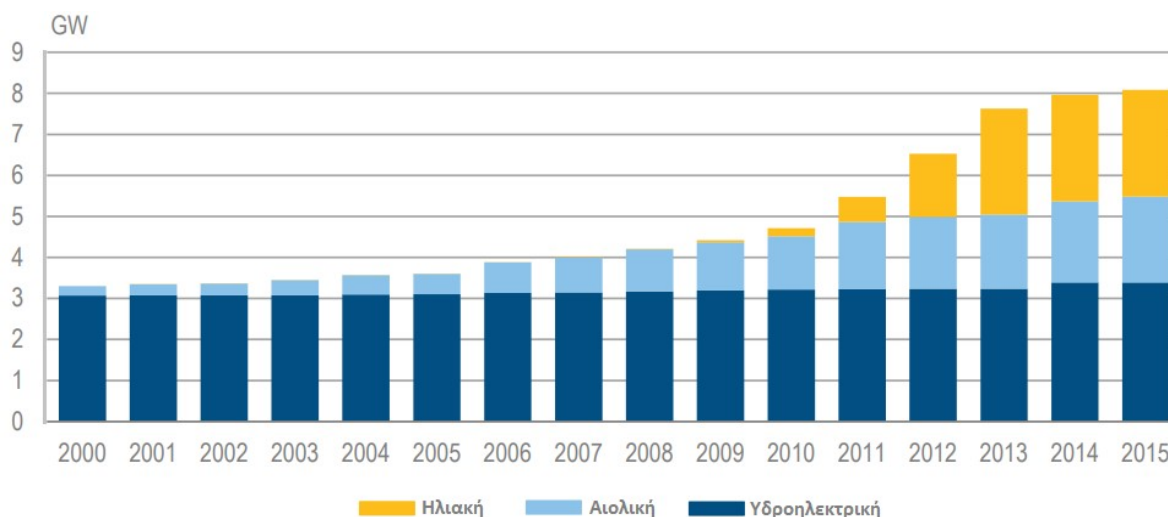
Οι ΑΠΕ έφθασαν το 31% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2016 (βλ. Διάγραμμα 4). Αυτό οφείλεται στην ταχεία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής και ηλιακής ενέργειας και στη μείωση της συνολικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία. Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε σε 62,9 τεραβατώρες (TWh) το 2008 και από τότε μειώθηκε κατά 22%.

Η παραγωγή αιολικής ενέργειας αυξήθηκε από αμελητέα επίπεδα στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σε 5,1 TWh το 2016, που αντιστοιχεί στο 10,5% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια παρουσίασε ακόμη εντυπωσιακότερη ανάπτυξη, σημειώνοντας σχεδόν είκοσι πέντε φορές αύξηση από 0,16 TWh το 2010 σε 3,9 TWh το 2016. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει σταθερά το μεγαλύτερο μερίδιο της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά με σημαντικές ετήσιες διακυμάνσεις. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε σε 5,5 TWh το 2016, που αντιστοιχεί στο 11,4% της συνολικής παραγωγής. Η Ελλάδα έχει επίσης ένα μικρό μερίδιο ηλεκτρικής ενέργειας από βιοκαύσιμα, που αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ποσοστό των μεταβλητών ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε σε 19% το 2016. Ενώ η αιολική ενέργεια έχει αυξηθεί, η αύξηση της ηλιακής ενέργειας έχει επιβραδυνθεί τα τελευταία χρόνια σε πιο μέτρια επίπεδα, με 8% αύξηση της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας μεταξύ 2013 και 2016 (Διαγράμματα 4 και 5)[4].



**Διάγραμμα 4:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, 1973-2016



**Διάγραμμα 5:** Εγκατεστημένη ισχύς ηλιακών, αιολικών και υδροηλεκτρικών μονάδων, 2000-2016

Για να επιτευχθούν οι στόχοι του 2020 για την διείσδυση των ΑΠΕ στην ελληνική αγορά ενέργειας, η χώρα στοχεύει να εκμεταλλευτεί περαιτέρω το αιολικό της δυναμικό, να μειώσει το κόστος ηλεκτρισμού στα νησιά και να ελαχιστοποιήσει τους κινδύνους και τα προβλήματα των υφιστάμενων σταθμών.

## 1.2 Μη διασυνδεδεμένα νησιά

Η Ελλάδα περιλαμβάνει περίπου 130 κατοικημένα νησιά, 60 από τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο, σχηματίζοντας 32 απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα, το καθένα με ένα ή περισσότερα νησιά διασυνδεδεμένα αλλά όχι στην ηπειρωτική χώρα[5]. Τα περισσότερα από αυτά τα νησιά βρίσκονται στο Αιγαίο και ηλεκτροδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν θερμικούς σταθμούς παραγωγής που λειτουργούν με καύσιμο πετρελαίου, βαρύ (μαζούτ) ή ελαφρύ (πετρέλαιο ντίζελ) και σταθμούς ΑΠΕ (ηλιακή και αιολική ενέργεια).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με το μέγεθος του νησιού, τον πληθυσμό και το είδος του φορτίου, το δυναμικό των ΑΠΕ θα μπορούσε να καλύψει πλήρως τη ζήτηση όσο αφορά το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο, ωστόσο οι απαραίτητες συνθήκες της αγοράς, τα συστήματα χρηματοδότησης, η τεχνολογία, η υποδομή και το κανονιστικό πλαίσιο δεν το επιτρέπουν στην παρούσα χρονική στιγμή. Την τελευταία δεκαετία, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την βελτίωση της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στα νησιά, μολονότι το νομοθετικό και το επενδυτικό πλαίσιο βρίσκεται υπό συνεχή μεταρρύθμιση κυρίως λόγω των παραγόντων που σχετίζονται με τη γενική οικονομική κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Επί του παρόντος, η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ καλύπτει περίπου το 20% της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ΜΔΝ.

Η ζήτηση αιχμής σε kW των 32 ανεξάρτητων ηλεκτρικών νησιωτικών συστημάτων της χώρας ποικίλλει και αποτελείται από[2]:

- 19 μικρά αυτόνομα συστήματα με μέγιστη ζήτηση 10 MW
- 11 μεσαίου μεγέθους αυτόνομα συστήματα με μέγιστη ζήτηση μεταξύ 10 MW και 100 MW
- 2 μεγάλα αυτόνομα συστήματα με μέγιστη ζήτηση άνω των 100 MW, η Κρήτη και η Ρόδος

Ομοίως, η ζήτηση (κατανάλωση σε MWh) ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, ποικίλλει από αρκετές εκατοντάδες MWh στα μικρότερα νησιά (π.χ. Αντικύθηρα, Αγαθονήσι κλπ.), μέχρι και αρκετές TWh στο μεγαλύτερο μη διασυνδεδεμένο νησί (Κρήτη). Τα δεδομένα σχετικά με την εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών ΑΠΕ σε μη διασυνδεδεμένα νησιά δημοσιεύονται μηνιαίως από το ΔΕΔΗΕ [6].

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά των ΜΔΝ είναι[7]:

- Υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω της χρήσης μονάδων καύσης πετρελαίου ντίζελ.
- Υψηλό δυναμικό ΑΠΕ, κυρίως αιολική και ηλιακή ενέργεια.
- Η ρύπανση του περιβάλλοντος (εκπομπές καυσαερίων, θόρυβος κ.λπ.) από τους τοπικούς αυτόνομους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι είναι συνήθως εγκατεστημένοι κοντά ή μέσα σε πόλεις.
- Μη αξιόπιστη τροφοδοσία, καθώς οποιαδήποτε ζημιά στον κεντρικό θερμικό σταθμό ή ακόμη και μικρές βλάβες στο δίκτυο διανομής μπορεί να οδηγήσει σε αποσυνδέσεις, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο.
- Χαμηλός συντελεστής φορτίου: Αυτό οφείλεται στις εποχιακές διακυμάνσεις της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με το καλοκαιρινό τουριστικό προφίλ του φορτίου στα περισσότερα ΜΔΝ. Ο χαμηλός συντελεστής φορτίου θέτει αρκετά προβλήματα στον αποτελεσματικό σχεδιασμό των θερμικών μονάδων και συχνά απαιτεί αυξημένα αποθέματα ενέργειας, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν σε υψηλό επενδυτικό κόστος. Κατά τους χειμερινούς μήνες, οι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί πρέπει να λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα ισχύος, με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση.

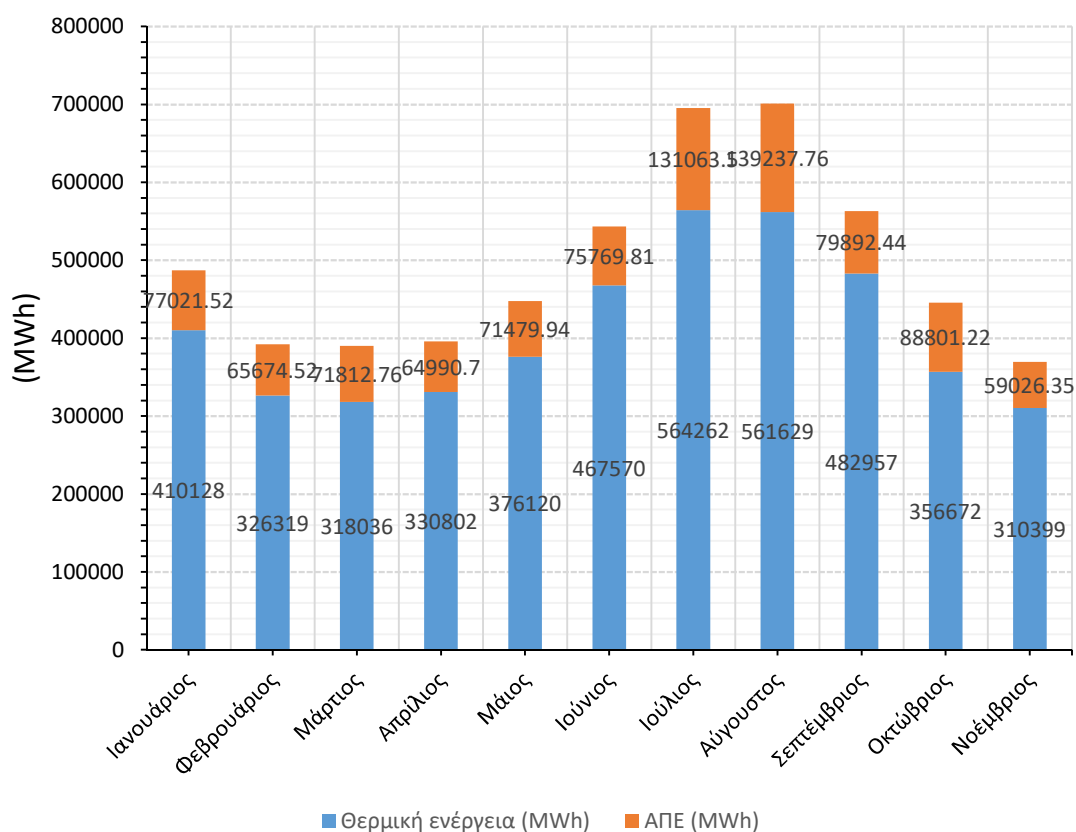
### ***1.2.1 Διείσδυση ΑΠΕ***

Τα νησιά του Αιγαίου χαρακτηρίζονται από υψηλό δυναμικό αιολικής και ηλιακής ενέργειας, το οποίο έχει ήδη οδηγήσει σε σημαντική ανάπτυξη της παραγωγής από ΑΠΕ. Επί

του παρόντος υπάρχουν 5.098 σταθμοί ΑΠΕ σε όλα τα ΜΔΝ, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 483 MW που περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- 97 αιολικά πάρκα (323 MW)
- 1.758 φωτοβολταϊκούς σταθμούς (136 MW)
- 3,242 φωτοβολταϊκά συστήματα στέγης (24 MW)
- 1 μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό (0,3 MW)

Το έτος 2017 η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ ανήλθε στις 5 429.66 GWh, με 20.5% συμμετοχή των ΑΠΕ. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους θερμικούς σταθμούς και τις ΑΠΕ για το 2017[6]. Παρατηρείται ότι κατά τους θερινούς μήνες υπάρχει σημαντικά μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό οφείλεται κυρίως στην έντονη δραστηριότητα των νησιών λόγω του τουρισμού.



Διάγραμμα 6: Ηλεκτροπαραγωγή στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για το 2017

### 1.2.2 Διαχειριστής των ΜΔΝ

Η λειτουργία και η διαχείριση των ΜΔΝ διέπεται από το ισχύον ρυθμιστικό και νομοθετικό πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένου των σχετικών κατευθυντήριων γραμμών της ΕΕ, οι οποίες

προβλέπουν το άνοιγμα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας των ΜΔΝ, τόσο στον τομέα της παραγωγής όσο και της διανομής, και ισχύει μεταξύ του 2016 και 2020. Η λειτουργία και η διαχείριση των ΜΔΝ στην Ελλάδα έχει ανατεθεί στο Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), ο οποίος ενεργεί ως διαχειριστής του συστήματος παραγωγής των νησιών, της αγοράς και του δικτύου διανομής. Για να υλοποιήσει τις σχετικές με την αγορά διατάξεις, καθώς και για να επιτελέσει αποτελεσματικά το ρόλο του ως διαχειριστής των ΜΔΝ, διασφαλίζοντας την ασφάλεια του εφοδιασμού, την ποιότητα των υπηρεσιών, την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και τη μέγιστη διείσδυση των ΑΠΕ, ο ΔΕΔΔΗΕ ξεκίνησε πρόσφατα αρκετά στρατηγικά έργα για να εκσυγχρονίσει τις υποδομές των ΜΔΝ, να ενισχύσει τις ικανότητες διαχείρισης και να δοκιμάσει νέες έννοιες και τεχνολογίες. Τα έργα αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Ανάπτυξη αυτοματοποιημένης υποδομής μετρήσεων τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παραγωγούς, συμπεριλαμβανομένου των έξυπνων μετρητών και των εγκαταστάσεων κεντρικής διαχείρισης δεδομένων μετρήσεων.
- Δημιουργία Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας (ΚΕΕ) ανά νησιώτικο σύστημα (τοπικά ΚΕΕ) αλλά και στις εγκαταστάσεις του ΔΕΔΔΗΕ για την διευκόλυνση της παραγωγής.
- Ανάπτυξη πληροφοριακών και αυτοματοποιημένων υπολογιστικών συστημάτων.
- Προώθηση του έργου Smart Island που θα χρησιμεύσει ως δοκιμαστική εφαρμογή για καινοτόμες τεχνολογίες και λύσεις διαχείρισης για την επίτευξη μεγαλύτερης διείσδυσης των ΑΠΕ.

### **1.2.3 Έξυπνα δίκτυα και ΜΔΝ**

Μια λύση για την ενεργειακή ασφάλεια των νησιών και την επάρκεια σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι σίγουρα οι διασυνδέσεις με την ηπειρωτική χώρα. Η λύση βέβαια αυτή έχει μεγάλο κόστος, μεγάλη περίοδο ωρίμανσης και μικρή ευελιξία. Μια άλλη δυνατότητα είναι η επιστράτευση συστημάτων αποθήκευσης της ενέργειας, όπως είναι τα υδροαιολικά, το υδρογόνο κτλ. και τέλος οι υποδομές των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Τα έξυπνα δίκτυα είναι συστήματα στα οποία μικροεπεξεργαστές και αισθητήρες μεταφέρουν πληροφορίες από πραγματικούς ή εικονικούς καταναλωτές σε υπολογιστικές μονάδες και από εκεί δίνουν εντολές στα διασυνδεδεμένα υποσυστήματα που λειτουργούν μέσω κατάλληλων αλγορίθμων. Έτσι, μεγάλες μονάδες ισχύος, εγκαταστάσεις ΑΠΕ, κυψέλες καυσίμων, μονάδες αφαλάτωσης, οικιακές συσκευές και εφεδρικές γεννήτριες, μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τις απώλειες, αυξάνοντας τις αποδόσεις και προσκομίζοντας σημαντικά κέρδη για το περιβάλλον.



Τα νησιωτικά συστήματα προσφέρονται για την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων για πολλούς και διαφόρους λόγους: Τα συμβατικά δίκτυα είναι πεπαλαιωμένα, έχουν προβλήματα συντήρησης και συχνά δεν επαρκούν για τα φορτία των νησιών, ιδιαίτερα τις περιόδους αιχμής. Επιπλέον, η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή και παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, ημερήσιες και εποχιακές με αποτέλεσμα την υπερδιαστασιολόγηση των μονάδων, ενώ το κόστος της παραγόμενης ενέργειας είναι ψηλό. Τέλος, οι δυνατότητες διείσδυσης των ΑΠΕ περιορίζονται από το φράγμα του 30% και η υπάρχουσα δομή δεν ευνοεί τις συνδυασμένες/πολλαπλών πηγών εφαρμογές.

Τα έξυπνα δίκτυα αποτελούν καταλύτη για την επίτευξη μιας παγκοσμίως ανταγωνιστικής οικονομίας, χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η απόκριση και η ευελιξία τους καθώς και οι δυνατότητες που προσφέρουν για ενεργειακή αποδοτικότητα και για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εγκαταστάσεων αποθήκευσης στα ηλεκτρικά συστήματα, συμβάλλουν στην αύξηση της ασφάλειας εφοδιασμού και διασφαλίζουν ότι τα οφέλη θα φτάσουν σε όλους τους τελικούς χρήστες. Συνεπώς, τα μέτρα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής επιδιώκουν να δημιουργήσουν καταστάσεις win-win για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών της Ε.Ε., των συντελεστών της αγοράς ενέργειας, καθώς και για τους στόχους της βιωσιμότητας και της ανταγωνιστικότητας του ενεργειακού συστήματος της Ε.Ε. που βασίζεται στην αγορά. Αυτό θα μετατρέψει τους παθητικούς καταναλωτές που απλά πληρώνουν το λογαριασμό, σε ενεργούς καταναλωτές που ελέγχουν και βελτιστοποιούν την κατανάλωσή τους. Μια τέτοιου είδους έξυπνη μετάβαση των δικτύων μας, απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια μεταξύ των ευρωπαίων πολιτών, της βιομηχανίας, των ρυθμιστικών και κυβερνητικών αρχών σε τοπικό, εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ο ΔΕΔΔΗΕ έχει ενεργή συμμετοχή στις ευρωπαϊκές εξελίξεις ως προς τα έξυπνα δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές έξυπνων δικτύων που προωθεί σε ευρεία κλίμακα είναι οι ακόλουθες:

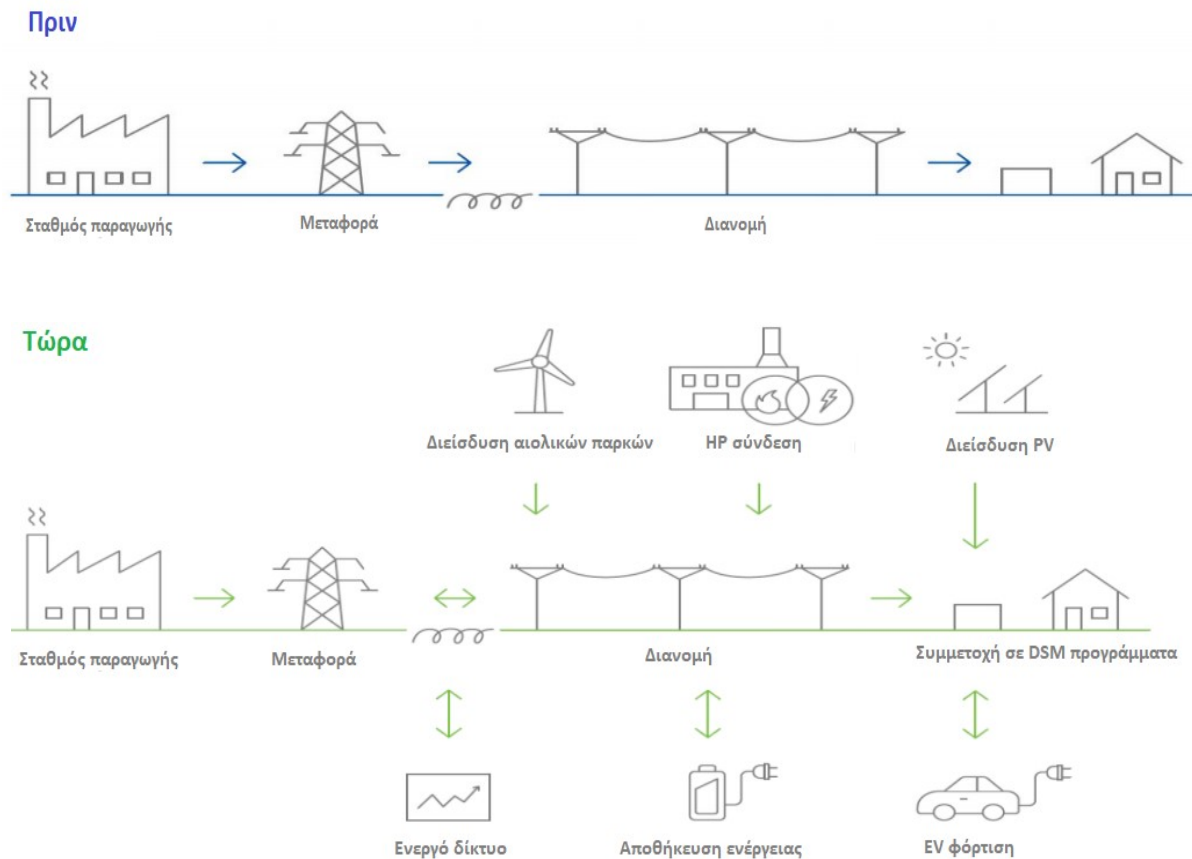
- Αποτύπωση του δικτύου Διανομής σε κεντρικό μηχανογραφικό σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Οι μηχανογραφικοί χάρτες θα αποτελέσουν αναγκαία υποδομή για την ανάπτυξη πλήθους άλλων εφαρμογών, όπως παρακολούθηση, υποστήριξη των μελετών και κατασκευών του δικτύου, υποστήριξη των βλαβοληπτικών κέντρων, υποστήριξη των συστημάτων τηλελέγχου κλπ. και θα συμβάλουν στην βελτίωση της ποιότητας ενέργειας και της ποιότητας εξυπηρέτησης των χρηστών.
- Εγκατάσταση τηλεχειριζόμενων διακοπτικών στοιχείων του δικτύου Μέσης Τάσης και τηλεέλεγχός τους από κέντρα ελέγχου ενέργειας, μέσω ανάπτυξης και βελτιστοποίησης συστημάτων SCADA.

- Αυτοματοποίηση του δικτύου με χρήση κατάλληλων συστημάτων (DMS) στην Αττική και τα νησιά.
- Τηλεμέτρηση, για την οποία θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στη συνέχεια.

Η αντικατάσταση των μετρητών των καταναλωτών με τους λεγόμενους «έξυπνους μετρητές», που ήδη ξεκινάει πιλοτικά ο ΔΕΔΔΗΕ, ανοίγει νέες δυνατότητες για αμφίδρομη επικοινωνία του διαχειριστή με τους καταναλωτές και για αποδοτικότερη οικονομικά διαχείριση της ενέργειας στην τελική χρήση. Στα άμεσα πλεονεκτήματα περιλαμβάνεται η ελαχιστοποίηση των επισκέψεων υπαλλήλων – καταμετρητών στις ιδιοκτησίες των πελατών, η ακριβής τιμολόγηση, η άμεση πληροφόρηση των πελατών με στοιχεία της κατανάλωσής τους, η δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της άμεσης πληροφόρησης των καταναλωτών, η βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας στο δίκτυο διανομής, η δυνατότητα άμεσης επιλογής και αλλαγής προμηθευτή καθώς και η δυνατότητα άμεσης διαδοχής και επανασύνδεσης καταναλωτή. Μελλοντικά θα υπάρχει η δυνατότητα παροχής εναλλακτικών τιμολογίων μεταβαλλόμενου κόστους καθώς και η δυνατότητα της αντιμετώπισης των αιχμών ζήτησης, μέσω της άμεσης ενημέρωσης και προτροπής των καταναλωτών για μείωση της κατανάλωσης τους, προσφέροντας μειωμένο τιμολόγιο σε περίπτωση μείωσης της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής. Αυτό θα επιτρέψει επιπλέον:

- την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας
- την επίτευξη καλύτερης ποιότητας ρεύματος στους καταναλωτές
- την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>
- την μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ
- την ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο
- την ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών στα κτίρια

Μεταξύ των πιλοτικών εφαρμογών έξυπνου δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο ΔΕΔΔΗΕ είναι η ανάπτυξη πιλοτικού δικτύου BPL (ευρυζωνικής μετάδοσης πληροφοριών σε γραμμές ΜΤ για υποστήριξη εφαρμογών τηλεμέτρησης, τηλεχειρισμών κλπ.) και οι εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων[8].



**Εικόνα 2:** Απεικόνιση του υφιστάμενου δικτύου και ενός έξυπνου δικτύου[9]

### 1.3 Σύνοψη

Ο ενεργειακός τομέας καλείται να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις που συνδέονται με τη διαδικασία απελευθέρωσης και ενοποίησης της ενεργειακής αγοράς και τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για Βιώσιμη Ανάπτυξη. Ταυτόχρονα, η ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας προβάλλεται ως στόχος υψηλής προτεραιότητας για τη χώρα μας, καθώς οι επιδόσεις της σε δείκτες ενεργειακής απόδοσης υστερούν σε σχέση με τα δεδομένα άλλων χωρών[10].

Τα περασμένα χρόνια η εθνική αδράνεια στο ζήτημα της ενεργειακής αποδοτικότητας κρύφτηκε επιδέξια κάτω από το χαλί της οικονομικής ύφεσης, που επέφερε την αναγκαστική μείωση της κατανάλωσης. Η ενεργειακή ένταση (μονάδες ενέργειας/μονάδες ΑΕΠ), δείκτης που αποτυπώνει την συνολική αποδοτικότητα της οικονομίας, δεν άφησε όμως ποτέ περιθώρια αμφιβολίας. Μέσα στην κρίση (από το 2010) αυξήθηκε κατά 4,2%, τη στιγμή που ο αντίστοιχος δείκτης για την Ε.Ε. μειώθηκε κατά 12,5%, και ο εθνικός στόχος για το 2020 είναι η μείωση του κατά περίπου 15%.

Ο ελληνικός ενεργειακός τομέας εξακολουθεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, τα περισσότερα από τα οποία εισάγονται. Περίπου το 54% των ενεργειακών αναγκών καλύπτονται μόνο από τα προϊόντα πετρελαίου, σε σύγκριση με 33,4% κατά μέσο όρο σε επίπεδο ΕΕ. Αυτά τα πετρελαϊκά προϊόντα δεν χρησιμοποιούνται μόνο στον τομέα των μεταφορών, αλλά μετατρέπονται επίσης σε σχετικές ποσότητες σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, τα μη διασυνδεδεμένα Ελληνικά νησιά αποκτούν την ηλεκτρική τους ενέργεια κυρίως από αναποτελεσματικές και ακριβές γεννήτριες ντίζελ. Συνολικά, το επιπλέον κόστος που έπρεπε να ανακτηθεί το 2016 μέσω υποχρέωσης παροχής δημόσιας υπηρεσίας εκτιμάται σε 720 εκατ. ευρώ για την επιδότηση των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές αυτές. Το φυσικό αέριο, το οποίο επίσης πρέπει να εισαχθεί με σημαντικό κόστος, διαδραματίζει αυξανόμενο ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Συνεπώς, η αναπτυξιακή δυναμική του ενεργειακού τομέα και η συμβολή του στο νέο αναπτυξιακό πρότυπο τα επόμενα χρόνια προσδιορίζεται, από:

- (1) Την απόσταση που χωρίζει την Ελλάδα από την εκπλήρωση των στόχων της ενεργειακής πολιτικής μέχρι και πέρα από το 2020 και τις αναγκαίες επενδύσεις στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα (τεχνολογίες χαμηλού άνθρακα, ευέλικτες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, δίκτυο μεταφοράς και διανομής ενέργειας, εξοικονόμηση ενέργειας κ.ά.) στην προσπάθεια επίτευξης των στόχων αυτών (π.χ. μείωση εκπομπών, βελτίωση ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού, διείσδυση ΑΠΕ), λαμβανομένων υπόψη των παραμέτρων κόστους/οφέλους από τα μέτρα πολιτικής που εφαρμόζονται.
- (2) Την αξιοποίηση των φυσικών πόρων και της γεωγραφικής θέσης της χώρας που συνεπάγονται γεωπολιτικά και οικονομικά οφέλη π.χ. από την ένταξη σε διεθνή ενεργειακά δίκτυα (αγωγοί και τερματικοί σταθμοί φυσικού αερίου, έρευνες υδρογονανθράκων, ανάπτυξη περιφερειακών ενεργειακών αγορών).
- (3) Τη δυνατότητα βελτίωσης των ανταγωνιστικών συνθηκών στην εγχώρια ενεργειακή αγορά (διεύρυνση επιλογών καταναλωτών, ποιοτικές υπηρεσίες, τιμές που αντανακλούν το κόστος, βελτίωση παραγωγικότητας τομέα, υπηρεσίες εξοικονόμησης ενέργειας, κ.ά.) με απώτερο στόχο τη μείωση της ενεργειακής έντασης και του ενεργειακού κόστους στην οικονομία.

Η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος για τη διαχείριση της παραγωγής και της ζήτησης ενέργειας, θα μπορούσε να συμβάλει τελικά στην υλοποίηση ενός καταναλωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα επιτρέψει την υψηλή διείσδυση και τη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου δυναμικού τόσο για την παραγωγή από ΑΠΕ όσο και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

# 2

## *Χαρακτηριστικά νήσου Λέσβου*

### *2.1 Βασικά Γεωγραφικά και Πληθυσμιακά στοιχεία*

Η Λέσβος είναι το τρίτο μεγαλύτερο ελληνικό νησί μετά την Κρήτη και την Εύβοια, με έκταση 1.636 τ.χλμ. και ακτογραμμή 371 χλμ. Βρίσκεται στο βόρειο-ανατολικό τμήμα του Αιγαίου, πολύ κοντά στις Τουρκικές ακτές. Συγκεκριμένα βρίσκεται στα νότιο-δυτικά του κόλπου του Αδραμυτίου, απέναντι από το Αϊβαλί, σε μια εσοχή που παρουσιάζει η Τουρκική ακτογραμμή.[11]

Βάσει των επίσημων στοιχείων της απογραφής της ΕΛΣΤΑΤ[12] του 2011, ο μόνιμος πληθυσμός της νήσου Λέσβου είναι 86.436 άτομα, εκ των οποίων το 50,72% (43.839) γυναίκες και το 49,28% (42.597) άνδρες. Η Μυτιλήνη είναι πόλη κτισμένη στο νοτιοανατολικό άκρο της Λέσβου. Είναι πρωτεύουσα του νησιού, έδρα του νομού Λέσβου και της περιφέρειας Βορείου Αιγαίου, διοικητικό, εμπορικό και πνευματικό κέντρο με πληθυσμό 27.545 κατοίκους.

Οι ακτές της, με πολλούς ορμίσκους και ακρωτήρια, σχηματίζουν δύο μεγάλους και πλούσιους σε αλιεύματα κόλπους, της Καλλονής και της Γέρας. Σημαντικό μέρος του νησιού καλύπτουν οι πεδιάδες, από τις οποίες σημαντικότερες είναι της Καλλονής, του Ίππειους και της Γέρας, ενώ τα ποτάμια της Λέσβου συχνά δεν είναι παρά μόνο χείμαρροι που διαρρέουν τις πεδινές εκτάσεις, όπως ο Τσικνιάς, ο Τσιχλιώτας, ο Μυλοπόταμος ο Σεδούντας και ο Αλμυροπόταμος. Οι υψηλότερες κορυφές είναι του Ολύμπου (967μ.), του Λεπέτυμνου (968μ.) και του Ψηλοκούδουνου. Το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού καλύπτεται από έντεκα εκατομμύρια ελαιόδενδρα, ενώ το υπόλοιπο είναι διάσπαρτο με οπωροφόρα δένδρα, αμπελώνες, αγροκτήματα, κηπευτικά και βοσκότοπους[13].



ισχύος 4,58MW. Στη Λέσβο έχει εκδοθεί άδεια για την κατασκευή υβριδικού σταθμού εγγυημένης ισχύος 15MW.

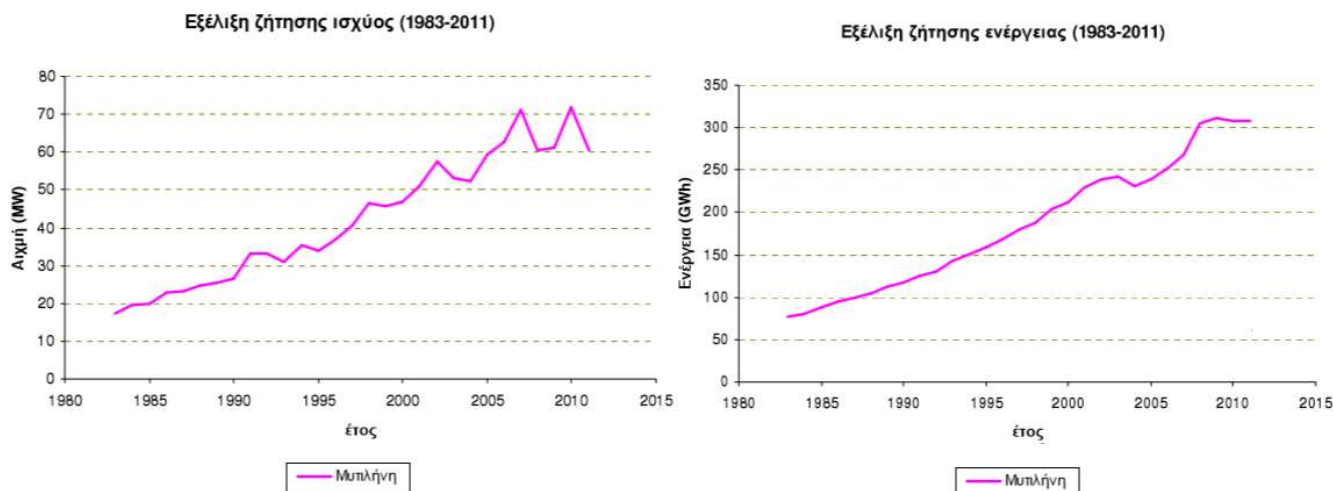
Σύστημα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών	Αιολικοί Σταθμοί			Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί			Υβριδικοί Σταθμοί		
	Συνολική Ισχύς Αδειών (kW)	Συνολική Ισχύς Αδειών με Άδεια Εγκατάστασης (kW)	Συνολική Ισχύς Αδειών σε Λειτουργία (kW)	Περιθώριο Ανακοίνωσης 703/2008 (kWp)	Συνολική Αδειοδοτημένη Ισχύς (kWp)	Ισχύς Φ/Β σε Λειτουργία (πλην στεγών Φεβρουάριος 2012) (kWp)	Ισχύς Αδειών Παραγωγής		
							Ισχύς Μονάδας ΑΠΕ (kW)	Ισχύς μονάδας Αποθ/σης (kW)	Εγγυημένη Ισχύς (kW)
Λέσβος	17.050	2.700	11.850	10.482	15.808	4.580	18.000	15.000	15.000

Πίνακας 3: Αδειοδοτημένοι σταθμοί ΑΠΕ στο Δήμο Λέσβου

## 2.2.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

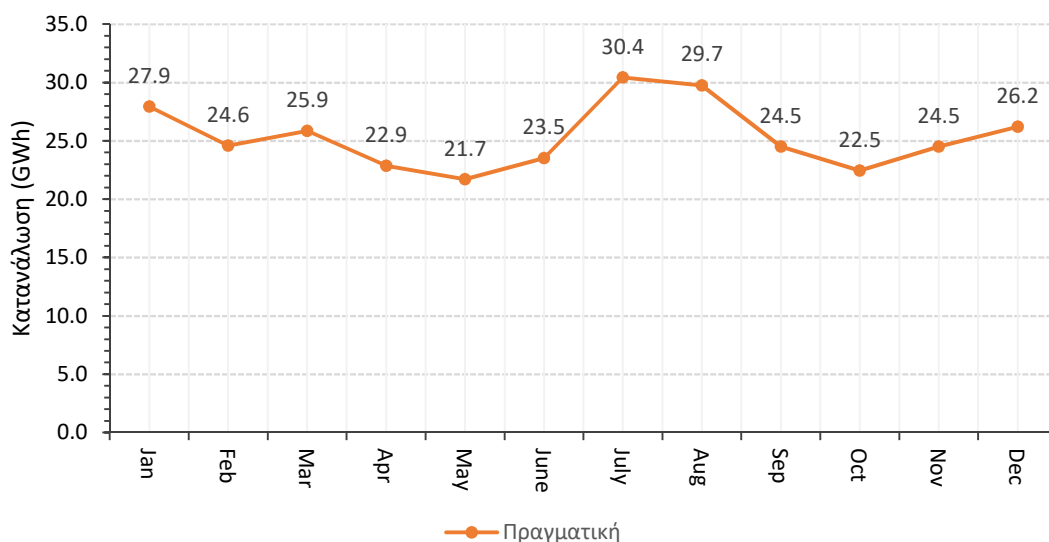
Το νησί της Λέσβου κατατάσσεται στην κατηγορία μεσαίων νησιών από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ για το 2011, η κατανάλωση ενέργειας στο νησί παρουσίασε αύξηση 57% κατά την δεκαετία 2001-2011. Συγκεκριμένα, σημειώθηκε αύξηση κατά 100% σε δημόσιες και δημοτικές υπηρεσίες και 55% στην οικιακή χρήση. Η αύξηση συνεχίστηκε μέχρι το 2010-2011, όπου λόγω της οικονομικής κρίσης η κατανάλωση παρέμεινε σταθερή ή μειώθηκε ελαφρώς σε όλους τους τομείς με αξιοσημείωτη μείωση να παρουσιάζεται στην κατανάλωση ενέργειας για βιομηχανική χρήση (μείωση 33% σε ένα χρόνο).

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται η διακύμανση της ζήτησης της αιχμής και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά έτος της Λέσβου.



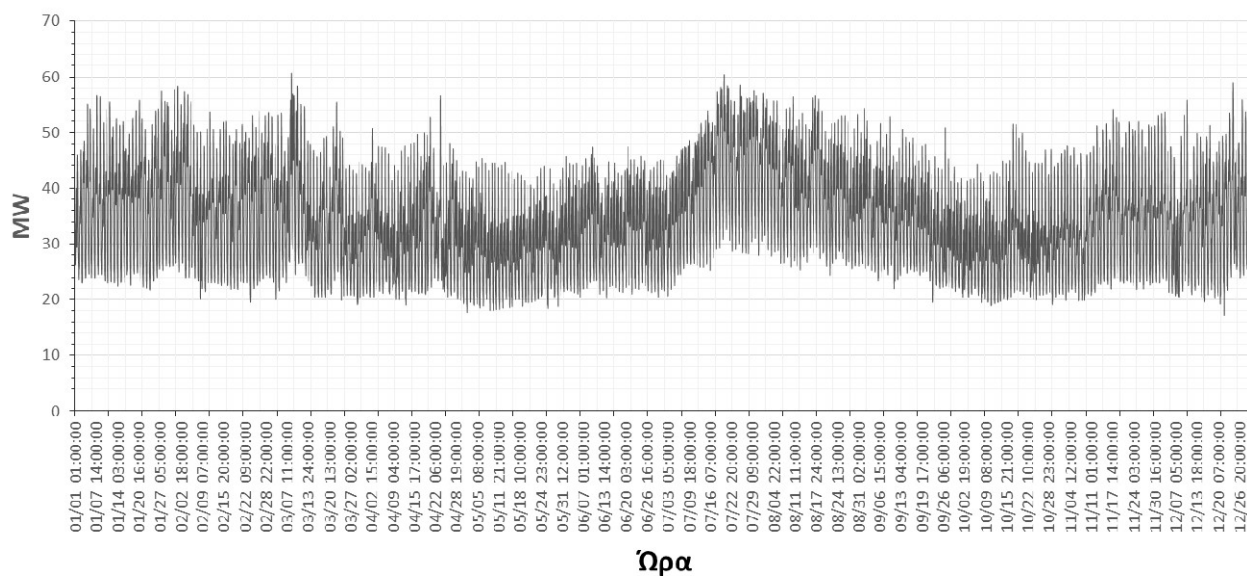
Διάγραμμα 7: Εξέλιξη ζήτηση ισχύος και ζήτησης ενέργειας στη Λέσβο για το διάστημα 1983-2011

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η διακύμανση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια του έτους 2017. Όπως φαίνεται υπάρχει εποχιακή διακύμανση με τους καλοκαιρινούς μήνες να απαιτείται περισσότερη ενέργεια ως αποτέλεσμα της υψηλής εξάρτησης του νησιού από τον τουρισμό. Επίσης παρουσιάζεται αύξηση κατά τους χειμερινούς μήνες που εν μέρει αποδίδεται σε γεωργικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη συγκομιδή της ελιάς και τη λειτουργία των ελαιοτριβείων.



**Διάγραμμα 8:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους 2017

Επίσης, στο διάγραμμα 9 φαίνεται η καμπύλη διακύμανσης της συνολικής ωριαίας ζήτησης ισχύος του 2017. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε στις 303,98GWh.



**Διάγραμμα 9:** Ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής Ενέργειας στη Λέσβο για το 2017



### 2.2.3 Υφιστάμενη Κατάσταση Υποδομών

Όσον αφορά την ενεργειακή υποδομή, η κατάσταση στο νησί θα μπορούσε να χαρακτηριστεί από δύσκολη έως προβληματική. Η θέση του σταθμού της ΔΕΗ στην περιοχή «Επάνω Σκάλα» της Μυτιλήνης είναι εντελώς ακατάλληλη, τόσο γιατί προκαλεί πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον όσο και γιατί η συγκεκριμένη περιοχή δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες επέκτασης του χώρου και του εξοπλισμού του εργοστασίου.

Οι μέχρι τώρα επεμβάσεις για τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης κρίνονται αναποτελεσματικές. Βέβαια έχει προταθεί η μετεγκατάσταση του εργοστασίου αλλά υπάρχουν σοβαρές αντιδράσεις ως προς την χωροθέτηση και το πρόβλημα έχει καταστεί χρόνιο.

Οι συνθήκες υπό τις οποίες λειτουργεί το εργοστάσιο, οι αποτυχημένες προσπάθειες και εξαγγελίες για μετεγκατάστασή του, καθώς επίσης και η ανυπαρξία επενδύσεων και έργων εκσυγχρονισμού του, καθιστούν τη λειτουργία του οριακή. Το γεγονός αυτό συχνά προκαλεί διαδοχικές διακοπές ρεύματος, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά και κατά τη διάρκεια έντονων καιρικών φαινομένων τη χειμερινή περίοδο. Από πλευράς συντονισμού έχει ιδρυθεί από την Περιφέρεια Β. Αιγαίου το Ενεργειακό Κέντρο του Β. Αιγαίου (Ε.ΚΕ.Β.Α.) με έδρα την πόλη της Μυτιλήνης.

Η λειτουργία του εργοστασίου της ΔΕΗ στα όρια της πόλης της Μυτιλήνης δημιούργησε φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι μετρήσεις της οποίας (ερευνητικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Αιγαίου) οδήγησαν στην κατασκευή και λειτουργία δύο καμινάδων ύψους 70 m. Το εργοστάσιο της ΔΕΗ τροφοδοτείται με καύσιμα που μεταφέρονται με πλοία από την ηπειρωτική Ελλάδα, επιβαρύνοντας το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού και δημιουργώντας κινδύνους μόλυνσης του θαλασσίου περιβάλλοντος. Τα καύσιμα που μεταφέρονται στη Λέσβο αποθηκεύονται σε ειδικούς χώρους, γεγονός που δημιουργεί πολλές φορές περιβαλλοντικές πιέσεις και κοινωνικές αντιδράσεις. Το πρόσθετο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιβαρύνει τις υπηρεσίες κοινωνικής ωφελείας.

Η έλλειψη διασύνδεσης με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και η περιορισμένη χρήση τοπικών ενεργειακών πηγών προσδίδουν στο τοπικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα παρακάτω χαρακτηριστικά[13]:

- εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα
- επισφαλή ενεργειακό εφοδιασμό (λόγω καιρικών συνθηκών και κινδύνων ρύπανσης)
- υψηλό κόστος παραγόμενης κιλοβατώρας, γεγονός που επιβαρύνει με πρόσθετα τέλη τους καταναλωτές
- υψηλές εποχιακές διακυμάνσεις της απαιτούμενης ηλεκτροπαραγωγής



# 3

## *Προσομοίωση ενεργειακής κατανάλωσης*

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας γίνεται η προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus, με μια εναλλακτική μεθοδολογία η οποία επεξηγείται σε αυτό το κεφάλαιο. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και γίνεται σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα προκειμένου να εξετάσουμε την αξιοπιστία της μεθόδου.

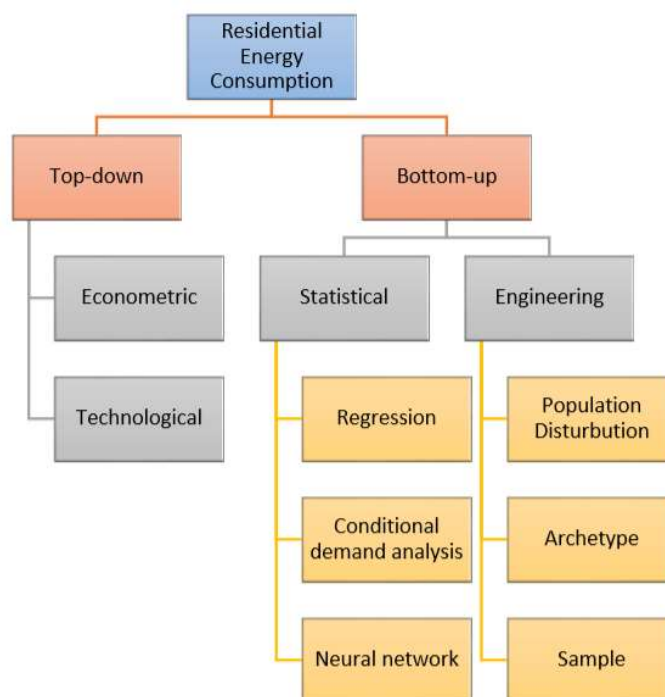
Πρόκειται για μεθοδολογία, που έχει προταθεί και εφαρμοστεί για το νησί της Κύθνου και δεν είναι πρωτότυπη δουλειά της παρούσας διπλωματικής. Ωστόσο, σε αυτή την εργασία γίνεται επέκταση της μεθόδου σε μεγαλύτερο νησί και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για εφαρμογή τεχνικών διαχείρισης φορτίου που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

### *3.1 Εισαγωγή*

Η έννοια των έξυπνων δικτύων (ΕΔ) προέκυψε κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων και στοχεύει να αντιμετωπίσει τα πιο σημαντικά προβλήματα στο τομέα της ισχύος και της ενέργειας. Πολλές σχετικές μελέτες έχουν γίνει στη διαχείριση των ενεργειακών πόρων, αλλά υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν. Μία από αυτές τις προκλήσεις είναι η αποτελεσματικότητα στην πρόβλεψη της κατανάλωσης και της παραγωγής, προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη απόδοση του ΕΔ.

Καθώς εμφανίζονται οι νέες τεχνολογίες των ΕΔ, η σημασία της κατανόησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές θα συνεχίσει να αυξάνεται. Μία μέθοδος για τον προσδιορισμό της συμμετοχής των κτιρίων στη συνολική ζήτηση ενέργειας, είναι μέσω της μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση θα μας δώσει εκτιμήσεις για τη μελλοντική ζήτηση θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας με χρονική και χωρική ανάλυση, δεδομένα τα οποία θα αξιοποιηθούν για το σχεδιασμό ενεργειακού συστήματος, το σχεδιασμό του δικτύου και την αξιολόγηση και εφαρμογή τεχνικών διαχείρισης της ζήτησης[7].

Η πολυπλοκότητα των μοντέλων κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και η εξάρτηση από το επίπεδο εισαγωγής δεδομένων, καθιστούν τη μοντελοποίηση του κτιριακού τομέα πρακτικά δύσκολη. Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση του κτιριακού τομέα μπορεί να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, "από πάνω προς τα κάτω" και "από κάτω προς τα πάνω" όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα 1[14].



**Σχήμα 1:** Τεχνικές μοντελοποίησης για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας στο κτιριακό τομέα

### Top-down

Η προσέγγιση αυτή αξιολογεί την ενεργειακή κατανάλωση στο κτιριακό τομέα με ιδιαίτερη έμφαση στα αποτελέσματα των μακροπρόθεσμων αλλαγών, δηλαδή, αντί να επικεντρώνεται στις επιπτώσεις της μεμονωμένης κατανάλωσης ενέργειας υποδεικνύει ότι ο οικιακός τομέας θεωρείται ως γενική δεξαμενή ενέργειας και χρησιμοποιεί εκτιμήσεις για το σύνολο των κατοικιών καθώς και μακρο-μεταβλητές, όπως οι μακροοικονομικοί δείκτες, οι κλιματικές συνθήκες και ο ρυθμός κατεδάφισης στον οικιακό τομέα, προκειμένου να αποδοθεί χαρακτηριστικά σε ολόκληρο τον οικιακό τομέα.

### Bottom-up

Σε αντίθεση με την προσέγγιση Top-down, η προσέγγιση Bottom-up περιλαμβάνει μοντέλα, που χρησιμοποιούν δεδομένα εισόδου τελικών χρηστών και υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας από μεμονωμένη τελική χρήση. Αντί να χρησιμοποιούνται οι μακροοικονομικοί δείκτες, για την πρόβλεψη ή την εκτίμηση του κτιριακού τομέα, τα μοντέλα Bottom-up

προεκτείνουν τις εκτιμήσεις της μεμονωμένης κατανάλωσης ενέργειας για να αντιπροσωπεύσουν μια συγκεκριμένη περιοχή ή ακόμα και ολόκληρη χώρα.

Συγκεκριμένα, η προσέγγιση Bottom-up μπορεί να ταξινομηθεί περαιτέρω σε δύο κατηγορίες, το στατιστικό μοντέλο και το μηχανικό μοντέλο. Το μηχανικό μοντέλο μπορεί να υπολογίσει την κατανάλωση ενέργειας για διάφορες τελικές χρήσεις μέσω της χρήσης του εξοπλισμού και της αξιολόγησης της ενέργειας, ενώ το στατιστικό μοντέλο μπορεί να δημιουργήσει μια σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών του νοικοκυριού (π.χ. εισόδημα, ηλικία ιδιοκτήτη) και διαφορετικές τελικές χρήσεις, με βάση το μοντέλο αναδρομής και τον έλεγχο για εξωγενείς μεταβλητές (π.χ. κλιματολογικές συνθήκες, συνήθειες κατοίκων).

### **3.2 Μεθοδολογία μοντελοποίησης**

Η μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου ακολουθεί την τεχνική Bottom-up και η προσομοίωση των κτιρίων γίνεται στο πρόγραμμα EnergyPlus (version 8.8.0) το οποίο αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (U.S. DOE). Μια βασική παραδοχή που έγινε για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι ότι τα κτίρια ίδιου τύπου ή παρόμοιων μεγεθών και χρήσεων (π.χ. γραφεία, νοσοκομεία, σχολεία, σούπερ μάρκετ κ.λπ.) έχουν το ίδιο προφίλ ενεργειακής κατανάλωσης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε χωρίστηκε σε τρία βασικά στάδια τα οποία εξηγούνται στη συνέχεια.

#### Στάδιο 1: Συλλογή δεδομένων

Σε πρώτη φάση έγινε καταγραφή του κτιριακού αποθέματος της Λέσβου και διαχωρισμός των κτιρίων σε κατηγορίες, ανάλογα με την ενεργειακή τους κατανάλωση. Η κάθε κατηγορία αντιπροσωπεύει το σύνολο των κτιρίων ίδιου τύπου της περιοχής. Στη συνέχεια έγινε αναζήτηση για τα χαρακτηριστικά των κτιρίων όπως η γεωμετρία των δομικών στοιχείων, τα υλικά κατασκευής, ο εξοπλισμός και οι συσκευές (θέρμανση χώρου, ψύξη χώρου, φωτισμός κλπ) και τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Επίσης έγινε μια αρχική εκτίμηση για τα χρονοδιαγράμματα της δραστηριότητας των ατόμων στο κτίριο, της λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών και των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης.

#### Στάδιο 2: Προσομοίωση στο EnergyPlus

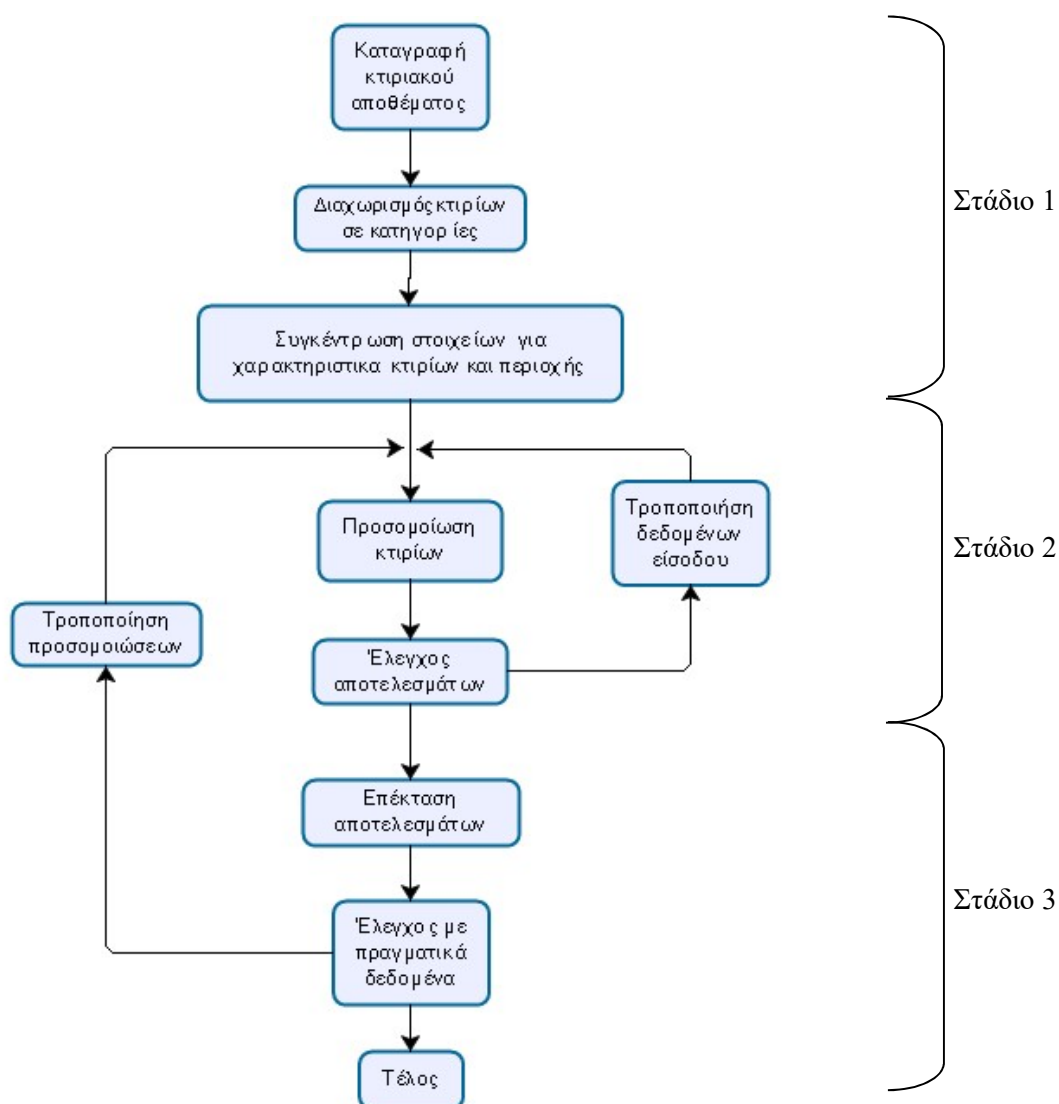
Στο στάδιο αυτό έγινε προσομοίωση της κάθε κατηγορίας κτιρίου ξεχωριστά στο πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus, εισάγοντας τα δεδομένα όπως καθορίστηκαν στο στάδιο 1 και λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές και τις τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (TOTEE 20701-1)[15]. Στη συνέχεια εξήχθησαν τα αποτελέσματα,

που περιγράφουν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, ελέγχθηκε η εγκυρότητα τους και έγιναν οι απαραίτητες αλλαγές.

### Στάδιο 3: Επέξεργασία των αποτελεσμάτων

Στο τελευταίο στάδιο έγινε επεξεργασία των διαθέσιμων αρχείων excel που δημιουργούνται από το EnergyPlus, για την κάθε κατηγορία κτιρίου και επεκτάθηκαν τα δεδομένα για να μοντελοποιήσουμε την ενεργειακή κατανάλωση του νησιού. Αφού έγινε η μοντελοποίηση του νησιού, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα πραγματικά δεδομένα και ανάλογα, είτε έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στις προσομοιώσεις των κτιρίων, είτε τα αποτελέσματα ήταν έγκυρα.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής αναπαρίσταται συνοπτικά η διαδικασία της μοντελοποίησης.



**Σχήμα 2:** Στάδια μοντελοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης

### 3.3 Κτιριακό απόθεμα

Η ποσοτική καταμέτρηση του κτιριακού αποθέματος μιας περιοχής αποτελεί μια δύσκολη και πολύπλοκη διαδικασία καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένη υπηρεσία που να παρέχει συγκεντρωτικά αυτές τις πληροφορίες. Από την άλλη, η ακριβής καταγραφή των κτιρίων είναι ο βασικότερος παράγοντας για την εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων και ως εκ τούτου η συλλογή πληροφοριών πρέπει να γίνει από αξιόπιστες πηγές. Στην παρούσα διπλωματική τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν κυρίως από το διαδίκτυο, το επιχειρησιακό σχέδιο της Λέσβου[13], την ΕΛΣΤΑΤ και από το αρχείο αδειών που περιέχει όλες τις άδειες που εκδόθηκαν για τα κτίρια της Λέσβου από το 1950 μέχρι το 2017. Για κάθε κατηγορία κτιρίων, καθορίστηκε ένα τυπικό κτίριο με συγκεκριμένες διαστάσεις που αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία των κτιρίων. Τα κτίρια που επιλέχθηκαν ώστε να γίνει η προσομοίωσή τους στο EnergyPlus, οι όροφοι καθώς και η επιφάνεια τους φαίνονται στο πίνακα 4.

<b>Είδος κτιρίου</b>	<b>Όροφοι</b>	<b>Εμβαδόν</b>	<b>Σύνολο</b>
Κατοικία	2	60 m <sup>2</sup>	<b>46035</b>
Πολυκατοικία	4	300 m <sup>2</sup>	<b>2712</b>
Καταστήματα ετήσιας λειτουργίας	1	150 m <sup>2</sup>	<b>2041</b>
Γραφεία-Ιατρεία	1	60 m <sup>2</sup>	<b>1073</b>
Μοναστήρια-Εκκλησίες	1	150 m <sup>2</sup>	<b>605</b>
Εστιατόρια	1	150 m <sup>2</sup>	<b>410</b>
Βιομηχανία-Εργοστάσια	1	400 m <sup>2</sup>	<b>390</b>
Ξενοδοχείο-Θερινής λειτουργίας	3	400 m <sup>2</sup>	<b>237</b>
Ξενοδοχείο-Ετήσιας λειτουργίας	3	400 m <sup>2</sup>	<b>163</b>
Ξενώνας-Θερινής λειτουργίας	2	80 m <sup>2</sup>	<b>131</b>
Σχολεία	2	600 m <sup>2</sup>	<b>179</b>
Μουσεία	1	150 m <sup>2</sup>	<b>66</b>
Αθλητικές Εγκαταστάσεις	1	200 m <sup>2</sup>	<b>63</b>
Αίθουσες πολλαπλών χρήσεων	1	250 m <sup>2</sup>	<b>37</b>
Σταθμός μεταμόρφωσης αποβλήτων	1	200 m <sup>2</sup>	<b>5</b>
Νοσοκομείο-Κέντρα υγείας	3	300 m <sup>2</sup>	<b>5</b>
Στρατόπεδα	1	450 m <sup>2</sup>	<b>5</b>
Λατομεία	1	-	<b>4</b>
Πανεπιστήμιο	3	1800 m <sup>2</sup>	<b>1</b>
Αεροδρόμιο	1	1600 m <sup>2</sup>	<b>1</b>

**Πίνακας 4:** Κτιριακό απόθεμα της νήσου Λέσβου

### 3.3.1 Χαρακτηριστικά κτιρίων

Προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα προσομοίωσης πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν οι συνθήκες λειτουργίας και ο εξοπλισμός του υπό μελέτη κτιρίου. Οι βασικές παραδοχές που έγιναν είναι οι εξής:

- Η Λέσβος ανήκει στη Β κλιματική ζώνη οπότε η περίοδος θέρμανσης είναι από την 1η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου για όλα τα κτίρια.
- Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων ψύξης και θέρμανσης, ο κάθε όροφος του κτιρίου μελετάται ως μια ενιαία θερμική ζώνη. Για το εργοστάσιο, τις αθλητικές εγκαταστάσεις και το σταθμό μεταμόρφωσης αποβλήτων θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα ψύξης και θέρμανσης.
- Η ισχύς των συστημάτων ψύξης και η απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου, για το σύστημα θέρμανσης καθορίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα, έτσι ώστε οι θερμοκρασίες εντός των κτιρίων να παραμένουν εντός των ορίων που ορίζει ο χρήστης.
- Οι υπάρχουσες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες είναι μικρού μεγέθους, διασκορπισμένες σε διάφορα σημεία και ασχολούνται κυρίως με την μεταποίηση της αγροτικής παραγωγής (βιομηχανίες τροφίμων, ελαιουργεία, οινοποιεία, τυροκομεία, κλπ) γι' αυτό προσομοιώθηκε ένα τυπικό κτίριο, που αντιπροσωπεύει όλα τα κτίρια της βιομηχανίας.
- Το ωράριο λειτουργίας του κάθε κτιρίου εξαρτάται από τα εξής χαρακτηριστικά:
  - i. Από την χρήση του κτιρίου
  - ii. Από τον ανθρώπινο παράγοντα, δηλαδή από τις ιδιαιτερότητες που προσδίδουν σε κάθε γενική χρήση του κτιρίου, οι επιλογές και οι συνήθειες των χρηστών του
  - iii. Από τις τοπικές συνθήκες, κλιματικές, λειτουργικές (ωράρια λειτουργίας) κ.α.

Πρόκειται για ένα χρονοδιάγραμμα που είναι δύσκολο να εκτιμηθεί εκ των προτέρων και κατά την διαδικασία της μοντελοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου, οι περισσότερες τροποποιήσεις έγιναν σε αυτή την παράμετρο.

- Οι θερμοκρασίες εσωτερικών χώρων, ο αριθμός ατόμων, η εγκατεστημένη ισχύς του φωτισμού και του εξοπλισμού καθορίστηκαν όπως προβλέπετε από την τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (TOTEE 20701-1).
- Για το λατομείο προσομοιώθηκε μόνο ο εγκατεστημένος ηλεκτρικός εξοπλισμός και ορίστηκε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του.

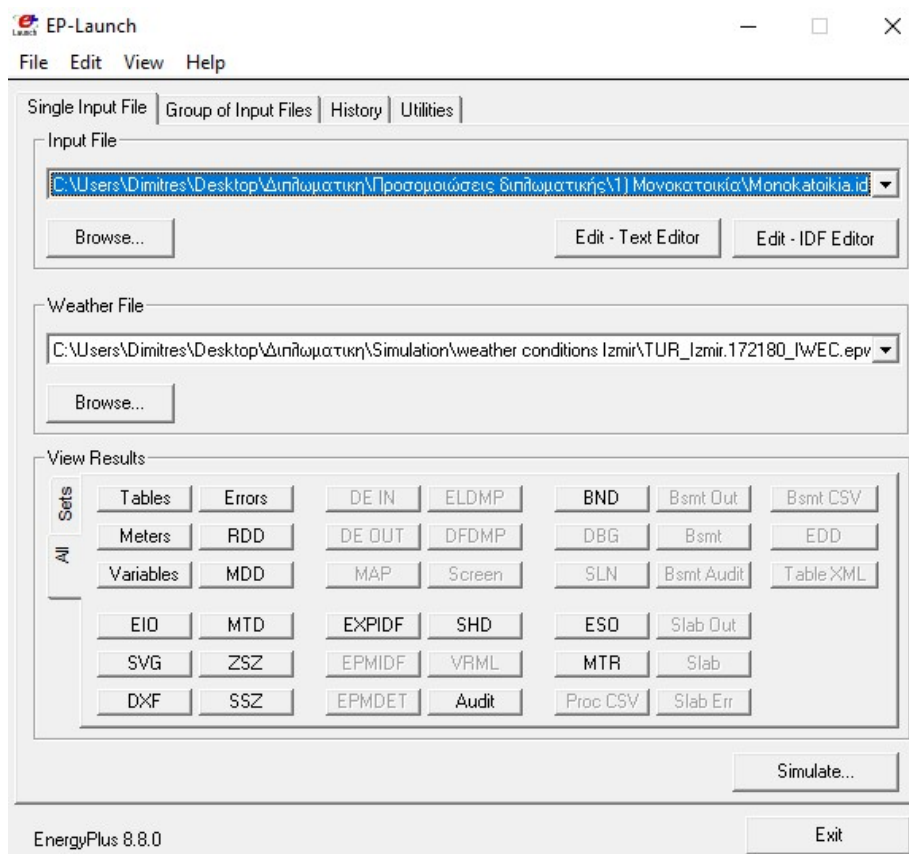


### 3.4 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης, σχεδιασμένο για τη μοντελοποίηση κτιρίων. Λειτουργεί παίρνοντας ένα αρχείο εισόδου, δηλαδή κείμενο, το επεξεργάζεται και στη συνέχεια εξάγει τα δεδομένα σε μορφή κειμένου. Για παράδειγμα, ένας χρήστης εισάγει τα βασικά στοιχεία του κτιρίου και το EnergyPlus εξάγει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας, τους λογαριασμούς ενέργειας, καθώς και εκατοντάδες άλλες παραμέτρους, όπως θερμοκρασίες ζώνης και υγρασία. Δεδομένου ότι το EnergyPlus χρησιμοποιεί αυτή την προσέγγιση εισαγωγής κειμένου και εξόδου, ουσιαστικά κάθε προγραμματιστής υπολογιστών μπορεί εύκολα να δημιουργήσει εφαρμογές για διασύνδεση με το EnergyPlus. Υπάρχουν πολλές διεπαφές χρήστη για το EnergyPlus, που έχουν κατασκευαστεί με κύρια πρόθεση να διευκολύνουν τη χρήση τους.

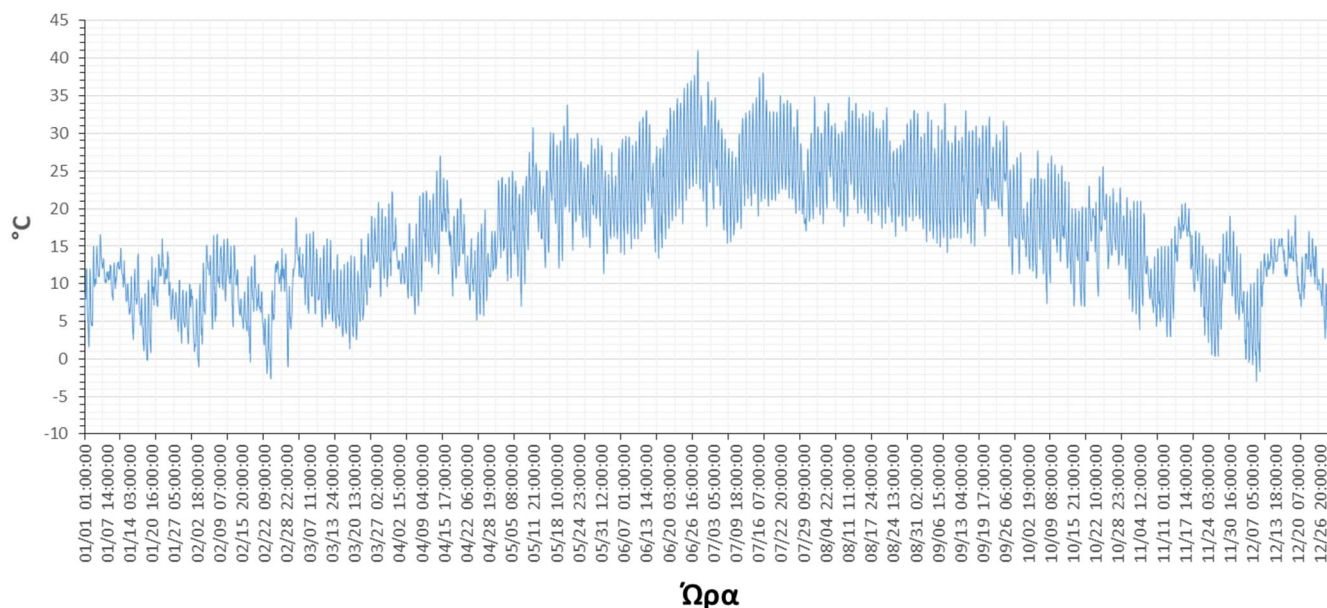
Για την υλοποίηση της κτιριακής προσομοίωσης το Energy Plus παρέχει, μεταξύ άλλων, τα υποπρογράμματα IDF Editor και EP-Launch, τα οποία αντίστοιχα εξυπηρετούν στη δημιουργία/επεξεργασία αρχείων εισόδου και την εκτέλεση προσομοιώσεων.

Από το κεντρικό παράθυρο EP-Launch μπορούμε να εισάγουμε το αρχείο κτιρίου, που έχουμε δημιουργήσει και το αρχείο καιρού που αντιστοιχεί στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο.



Εικόνα 4: EP-Launch Screen

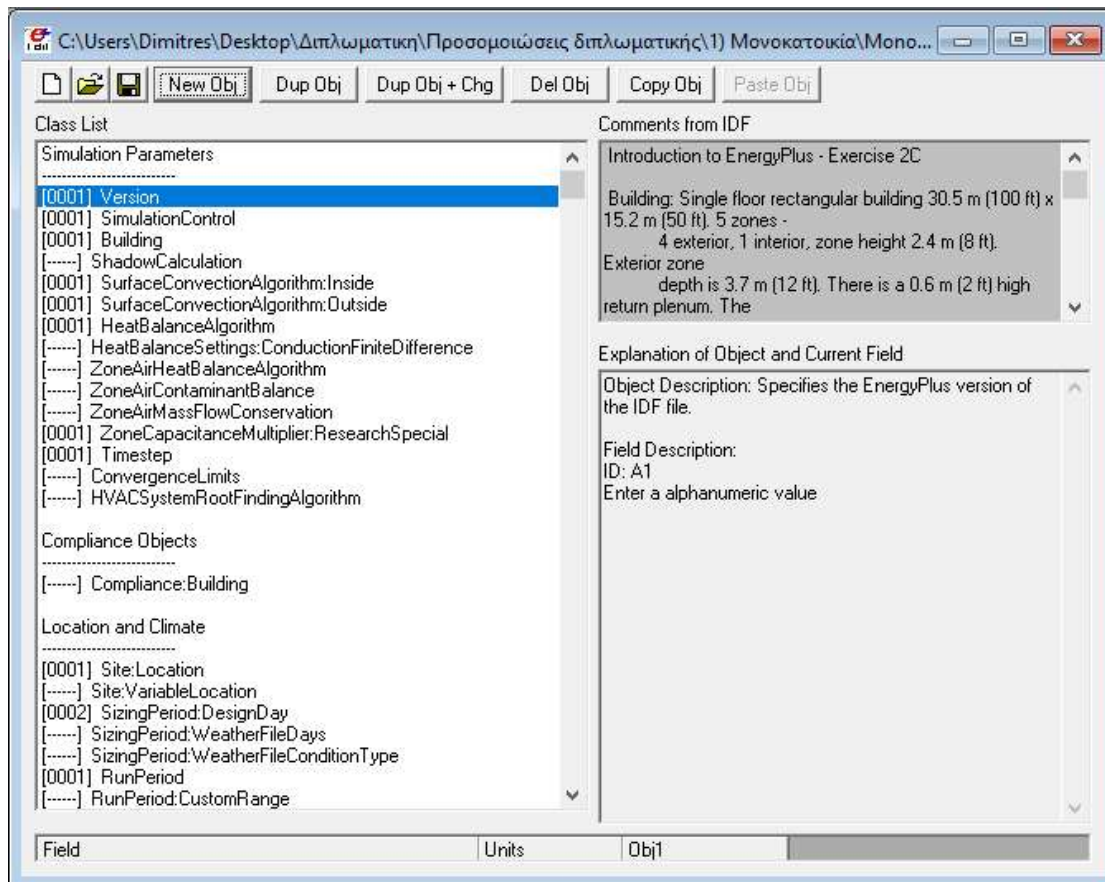
Με την επιλογή Weather File→«Browse», επιλέχθηκε το αρχείο καιρού “TUR\_Izmir.172180\_IWEC.erw”, το οποίο περιέχει τις καιρικές συνθήκες της Σμύρνης και είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα του EnergyPlus. Στο διάγραμμα 10 φαίνεται η διακύμανση των θερμοκρασιών στην περιοχή της Σμύρνης, για ένα ολόκληρο έτος. Η Λέσβος απέχει περίπου 100km από την πόλη της Σμύρνης, οπότε οι καιρικές συνθήκες είναι παρόμοιες και δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις που να επηρεάζουν τους υπολογισμούς.



**Διάγραμμα 10:** Προφίλ εξωτερικής θερμοκρασίας στη Σμύρνη

Το αρχείο εισόδου, που ονομάζεται αρχείο IDF μπορεί να μορφοποιηθεί επιλέγοντας μια από τις δύο επιλογές στην περιοχή "Input file". Το κουμπί "Edit-Text Editor" θα ξεκινήσει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου και το "Edit-IDF Editor" θα ξεκινήσει το ξεχωριστό πρόγραμμα που ονομάζεται IDF Editor.

Το IDF Editor, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα, παρέχει μια λίστα στοιχείων που δείχνει πως ταξινομούνται οι διάφορες παράμετροι/υποκατηγορίες (classes) σε ευρύτερες κατηγορίες (group). Κατ' αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει οποιαδήποτε παράμετρο από τη λίστα και να εισάγει τις αντίστοιχες πληροφορίες για το κτίριο που μελετάει.



Εικόνα 5: Υποπρόγραμμα IDF Editor του Energy Plus

### 3.5 Προσομοίωση κατοικίας

Η κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά της Λέσβου αντιπροσωπεύει περίπου το μισό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και έχει το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Επομένως πολλοί ερευνητές έχουν αρχίσει να επικεντρώνονται σε μεθόδους ελαχιστοποίησης της οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης. Οι μελέτες αυτές στοχεύουν στη διαχείριση της θέρμανσης, του κλιματισμού και των ηλεκτρικών συσκευών.

Με την ανάπτυξη ενός λεπτομερούς μοντέλου οικιακής ζήτησης ισχύος, που προσομοιώνει με ακρίβεια σημαντικά οικιακά φορτία, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι ερευνητές θα είναι σε θέση να προβλέψουν, με μεγαλύτερη ακρίβεια, τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει ο οικιακός τομέας στο σύστημα ισχύος. Μαζί με τα χαρακτηριστικά των νοικοκυριών και τα φορτία τους, η συμπεριφορά των κατοίκων έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε κατοικίες. Ως εκ τούτου, σε μια προσπάθεια διαμόρφωσης δυναμικών στρατηγικών, για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και του ενεργειακού συστήματος του νησιού, είναι απαραίτητο να έχουμε λεπτομερείς πληροφορίες για την κατανομή της οικιακής χρήσης ενέργειας. Οι στρατηγικές αυτές παρουσιάζονται λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι παράμετροι που εισήχθησαν στο IDF Editor για την

προσομοίωση μιας τυπικής κατοικίας στη Λέσβο, που αντιπροσωπεύει στο σύνολο όλες τις κατοικίες του νησιού. Λόγω του πλήθους των παραμέτρων που πρέπει να καθοριστούν σε μια προσομοίωση, επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν μόνο αυτές που σχετίζονται με την κατοικία αυτή καθ' αυτή. Περισσότερες πληροφορίες για τις προσομοιώσεις μπορούν να αναζητηθούν στο βοηθητικό αρχείο input/output που παρέχεται από το EnergyPlus.

### **3.5.1 Παράμετροι προσομοίωσης (Simulation Parameters)**

Στην κατηγορία αυτή ο χρήστης καθορίζει κάποιες γενικές προϋποθέσεις, με τις οποίες θα εκτελεστεί η προσομοίωση του κτιρίου.

#### Building

Ορίστηκαν γενικά στοιχεία του κτιρίου, όπως το όνομα, το είδος της περιοχής στην οποία ανήκει, η τιμή ανοχής της σύγκλισης των φορτίων (0.04), η τιμή ανοχής της σύγκλισης της θερμοκρασίας (0.4), ο μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας και ο μέγιστος αριθμός των θερμών ημερών, όπου ορίστηκαν οι 25 ημέρες του μήνα ως θερμές.

#### Timestep

Στην επιλογή Timestep ορίστηκε το βήμα της εκτέλεσης του προγράμματος. Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιείται στο μοντέλο υπολογισμού του θερμικού ισοζυγίου της κάθε θερμικής ζώνης, ως το βασικό βήμα για τη μεταφορά θερμότητας και τον υπολογισμό των όγκων. Στην παρούσα προσομοίωση τέθηκε, ως βήμα εκτέλεσης του προγράμματος το τέταρτο της ώρας, δηλαδή τέσσερις φορές την ώρα.

### **3.5.2 Τοποθεσία και Κλίμα (Location and Climate)**

#### Site:Location

Στην υποκατηγορία αυτή ορίστηκε η ακριβής τοποθεσία του κτιρίου, δηλαδή το όνομα της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο, το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, η διαφορά ώρας σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Ωρολογιακό Χάρτη, που για την Ελλάδα είναι οι 2 ώρες, και το υψόμετρο της περιοχής που τέθηκε στα 5 μέτρα.

#### Sizing Period: Design Day

Σε αυτή την υποκατηγορία εισάγουμε δεδομένα που αφορούν τις καιρικές συνθήκες μίας ημέρας που θέλουμε να γίνει η προσομοίωση (Winter Design Day, Summer Design Day). Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτών των πεδίων, το EnergyPlus "δημιουργεί" πλήρη δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες (θερμοκρασίες του αέρα, ηλιακή ακτινοβολία κ.λπ.). Επιλέχθηκαν έτοιμα αντικείμενα (objects) που συμπεριλαμβάνονται στο αρχείο καιρού και είναι διαθέσιμα στο φάκελο Weather Data. Τα δεδομένα φαίνονται στην εικόνα 6.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		IZMIR Ann Htg 99%	IZMIR Ann Clg .4%
Month		1	7
Day of Month		21	21
Day Type		WinterDesignDay	SummerDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	-0.2	36.2
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	0	13.1
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule N.			
Humidity Condition Type		Wetbulb	Wetbulb
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	-0.2	21.9
Humidity Condition Day Schedule Name			
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryA		
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg		
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC		
Barometric Pressure	Pa	101265	101265
Wind Speed	m/s	2.6	6.1
Wind Direction	deg	0	330
Rain Indicator		No	No
Snow Indicator		No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No
Solar Model Indicator		ASHRAEClearSky	ASHRAETau
Beam Solar Day Schedule Name			
Diffuse Solar Day Schedule Name			

Εικόνα 6: Υποκατηγορία Sizing Period: Design Day

### RunPeriod

Στην επιλογή RunPeriod ορίστηκε η περίοδος για την οποία μας ενδιαφέρει να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Ορίστηκε για όλη τη διάρκεια της χρονίας 2017. Μήνας έναρξης της προσομοίωσης τέθηκε ο Ιανουάριος. Ημέρα έναρξης τέθηκε η 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Μήνας λήξης της προσομοίωσης τέθηκε ο Δεκέμβριος και ημέρα λήξης τέθηκε η 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου.

### 3.5.3 Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

#### SchedulesTypeLimits

Στην επιλογή SchedulesTypeLimits ορίζεται το εύρος των τιμών των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στα χρονοδιαγράμματα του κτιρίου και ο τύπος της μεταβλητής του κάθε χρονοδιαγράμματος, δηλαδή συνεχής (Continuous) ή διακριτή (Discrete).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Any Number	Fraction	Temperature	On/Off
Lower Limit Value	varies		0	-60	0
Upper Limit Value	varies		1	200	1
Numeric Type			Continuous	Continuous	Discrete
Unit Type					

Εικόνα 7: Υποκατηγορία Schedule Type Limits

### Schedule: Compact

Σε αυτή την υποκατηγορία ο χρήστης ρυθμίζει τον προγραμματισμό πολλών παραμέτρων, με τη βοήθεια χρονοδιαγραμμάτων, όπως η πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης, η ανθρώπινη δραστηριότητα, ο φωτισμός και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Συγκεκριμένα, στην υποκατηγορία «Schedule: Compact» που χρησιμοποιήθηκε, ο προγραμματισμός της εκάστοτε παραμέτρου περιγράφηκε σε χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Είναι από τις πιο σημαντικές κατηγορίες αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την λειτουργία του κτιρίου. Ορίστηκαν τα εξής χρονοδιαγράμματα:

- Activity level schedule (Χρονοδιάγραμμα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης)

Στο χρονοδιάγραμμα αυτό καθορίστηκε η μέση τιμή έκλυσης θερμότητας ανά άτομο λαμβάνοντας υπόψη τη μέση δραστηριότητα των χρηστών εντός της κατοικίας, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2000 και ΕΛΟΤ EN 13779:2008. Η τιμή τέθηκε στο 80 κατά την διάρκεια της ημέρας για όλο το έτος.

- Occupancy Schedule (Χρονοδιάγραμμα παρουσίας ατόμων)

Στο χρονοδιάγραμμα αυτό καθορίστηκε ο αριθμός των ατόμων, που βρίσκονται εντός της κατοικίας, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Υπάρχει παρουσία ατόμων για όλο το έτος και ο αριθμός αυτός καθορίστηκε ανάλογα με την ώρα της μέρας.

- Lighting schedule / ElecEquip schedule

Στα χρονοδιαγράμματα αυτά καθορίστηκε το ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς φωτισμού και εξοπλισμού αντίστοιχα, που είναι σε λειτουργία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στα χρονοδιαγράμματα αυτά έγιναν οι περισσότερες τροποποιήσεις, μέχρι να πετύχουμε τις σωστές ώρες λειτουργίας του ηλεκτρικού εξοπλισμού. Γενικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των συσκευών είναι σε λειτουργία κατά τις μεσημεριανές και τις βραδινές ώρες, ενώ τις υπόλοιπες ώρες είναι σε λειτουργία οι stand-by συσκευές.

- Cooling schedule/ Heating schedule

Τα χρονοδιαγράμματα αυτά καθορίζουν τις ώρες που είναι σε λειτουργία τα συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης αντίστοιχα. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 3.3.1 η περίοδος θέρμανσης είναι από την 1η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου για όλα τα κτίρια.

- Air Schedule (Χρονοδιάγραμμα ροής αέρα)

Εδώ καθορίζεται ότι υπάρχει σταθερή διαφυγή αέρα από το χώρο, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας για όλο το έτος.

Οι ακριβείς ώρες των χρονοδιαγραμμάτων και ο τρόπος που δηλώνονται αυτές στο IDF Editor φαίνονται στην εικόνα 8.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Lighting schedule	ElecEquip schedule	Cooling schedule	Air schedule	Occupancy schedu	Activity Level sched	Heating schedule
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	On/Off	On/Off	Fraction	Any Number	On/Off
Field 1	varies	Through: 03/31	Through: 03/31	Through: 6/1	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 4/15
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays	For: AllDays	For: AllDays	For: Weekdays Sum	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 08:00	Until: 07:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 07:00	Until: 24:00	Until: 08:00
Field 4	varies	0.1	0.08	0	1	0	80	0
Field 5	varies	Until: 17:00	Until: 08:00	Through: 07/05		Until: 08:00		Until: 24:00
Field 6	varies	0.08	0.082	For: AllDays		0.2		1
Field 7	varies	Until: 18:00	Until: 09:00	Until: 09:00		Until: 12:00		Through: 11/1
Field 8	varies	0.1	0.085	0		0.95		For: AllDays
Field 9	varies	Until: 20:00	Until: 10:00	Until: 16:00		Until: 13:00		Until: 24:00
Field 10	varies	0.13	0.087	1		0.5		0
Field 11	varies	Until: 22:00	Until: 14:00	Until: 19:00		Until: 17:00		Through: 12/31
Field 12	varies	0.15	0.095	0		0.95		For: AllDays
Field 13	varies	Until: 23:00	Until: 17:00	Until: 22:00		Until: 18:00		Until: 08:00
Field 14	varies	0.14	0.09	1		0.3		0
Field 15	varies	Until: 24:00	Until: 20:00	Until: 24:00		Until: 22:00		Until: 24:00
Field 16	varies	0.11	0.1	0		0.1		1
Field 17	varies	For: Saturday	Until: 21:00	Through: 08/28		Until: 24:00		
Field 18	varies	Until: 08:00	0.095	For: AllDays		0		
Field 19	varies	0.1	Until: 22:00	Until: 11:00		For: Saturday		
Field 20	varies	Until: 12:00	0.085	0		Until: 07:00		
Field 21	varies	0.12	Until: 23:00	Until: 15:00		0		

Εικόνα 8: Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας της κατοικίας

### 3.5.4 Κατασκευαστικά στοιχεία επιφανειών (Surface Construction Elements)

Σε αυτή την κατηγορία γίνεται η περιγραφή των δομικών υλικών (Material, Window Material: Glazing, κτλ.), που είναι κατασκευασμένες οι επιφάνειες (τοιχοποιίες) και τα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα) του κελύφους των κτιρίων. Επίσης γίνεται η κατασκευή αυτών των επιφανειών (Construction).

#### Material

Σ' αυτήν την υποκατηγορία δηλώθηκαν όλα τα επιμέρους δομικά υλικά, που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή κάθε επιφάνειας του κτιρίου. Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 9, το κάθε υλικό που προστέθηκε, συνοδεύεται από τις τέσσερις βασικές θερμικές του ιδιότητες (πάχος, αγωγιμότητα, πυκνότητα, ειδική θερμότητα) στα αντίστοιχα πεδία που ζητούνται. Οι τιμές για τις ιδιότητες αυτές λήφθηκαν από τους πίνακες, που δίνονται στην Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010, βλ Παράρτημα Α). Επίσης απαραίτητο είναι να συμπληρωθεί και η τραχύτητα του κάθε υλικού.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Gypsum or plaster b	M01 100mm brick	G05 25mm wood	G06 50mm wood	WD10	RG01	BR01	IN46	WD01	PW03
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth	MediumSmooth	Rough	VeryRough	VeryRough	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0.0095	0.1016	0.0254	0.0508	0.667	0.0127	0.0094399997	0.076200001	0.0190999999	0.0127
Conductivity	W/m-K	0.58	0.89	0.15	0.15	0.115	1.442	0.162	0.023	0.115	0.115
Density	kg/m3	800	1920	608	608	513	881	1121	24	513	545
Specific Heat	J/kg-K	1090	790	1630	1630	1381	1674	1464	1590	1381	1213
Thermal Absorptance						0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance						0.78	0.65	0.7	0.5	0.78	0.78
Visible Absorptance						0.78	0.65	0.7	0.5	0.78	0.78

Εικόνα 9: Παράμετροι υποκατηγορίας Material

### Material:AirGap

Στην επιλογή Material:AirGap ορίστηκε η θερμική αντίσταση του αέρα, που βρίσκεται μεταξύ των επιφανειών.

### WindowMaterial:Glazing

Στην επιλογή WindowMaterial:Glazing ορίζεται το είδος του υαλοπίνακα, που φέρουν τα παράθυρα και οι ιδιότητες του.

### WindowMaterial:Gas

Στην υποκατηγορία αυτή καθορίστηκαν οι ιδιότητες του φυσικού αέρα, που εισάγεται μεταξύ υαλοπινάκων σε ένα παράθυρο.

### Construction

Στην επιλογή Construction συνθέτουμε τις εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες της κατοικίας, ορίζοντας τις στρώσεις των υλικών και ξεκινώντας από την εξωτερική στρώση προς την εσωτερική. Τα υλικά, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι αυτά που ορίστηκαν στις προηγούμενες επιλογές και οι επιφάνειες που δημιουργήθηκαν είναι εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι, πόρτα, οροφή, πάτωμα, παράθυρα και έπιπλα όπως φαίνονται στην εικόνα 10.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Interior Wall Construction	Furnishings Construction	Exterior Door Construction	ROOF-1	WALL-1	CLNG-1	FLOOR-SLAB-1	INT-WALL-1	Double LoE Clear A
Outside Layer		Gypsum or plaster board	G05 25mm wood	G06 50mm wood	RG01	WD01	MAT-CLM	CC03	GP02	LoE CLEAR 6MM
Layer 2		M01 100mm brick			BR01	PW03			AL21	ARGON 13MM
Layer 3		Gypsum or plaster board			IN46	IN02			GP02	CLEAR 6MM
Layer 4					WD01	GP01				
Layer 5										
Layer 6										
Layer 7										
Layer 8										
Layer 9										
Layer 10										

Εικόνα 10: Παράμετροι υποκατηγορίας Construction



### 3.5.5 Θερμικές ζώνες και επιφάνειες (Thermal Zones and Surfaces)

Στην κατηγορία αυτή περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των θερμικών ζωνών στις οποίες χωρίζεται το κτίριο, δηλαδή των χώρων που έχουν παρόμοια λειτουργία και θερμική συμπεριφορά.

#### Zone (Θερμική Ζώνη)

Για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών και μείωσης του χρόνου προσομοίωσης θεωρήθηκε ότι κάθε όροφος της κατοικίας αποτελεί μια ενιαία θερμική ζώνη. Κατά την επέκταση των αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση ολόκληρου του νησιού το τελικό αποτέλεσμα δεν αλλοιώνεται σημαντικά. Επομένως για την κατοικία ορίστηκαν δύο θερμικές ζώνες.

#### Building Surface: Detailed / Window / Door

Οι υποκατηγορίες αυτές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα στοιχεία της κατασκευής του κτιρίου (τοίχους, οροφές, δάπεδα, παράθυρα, πόρτες), που έχουν οριστεί στην υποκατηγορία «Construction», και να καθορίσουν τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων αυτών με το εξωτερικό περιβάλλον και τις απαιτήσεις του εσωτερικού χώρου. Οι επιφάνειες σχηματίζονται δίνοντας αναλυτικά τις συντεταγμένες σε xyz σύστημα, ξεκινώντας από ένα σημείο αναφοράς και συνεχίζοντας δεξιόστροφα. Κατά τον προσδιορισμό των προδιαγραφών της εκάστοτε επιφάνειας διατίθενται επιλογές όπως: Ground (Έδαφος) - όταν μία επιφάνεια έρχεται σε επαφή με το έδαφος, Outdoors (Εξωτερική) – όταν μία επιφάνεια είναι άμεσα εκτεθειμένη στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, Surface (Επιφάνεια) – όταν μία επιφάνεια αποτελεί τη διεπιφάνεια μεταξύ δύο θερμικών ζωνών, και άλλες οι οποίες στην εν λόγω προσομοίωση δεν ορίστηκαν. Παρουσιάζονται οι παράμετροι των υποκατηγοριών αυτών στις επόμενες εικόνες.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		FRONT-2	RIGHT-2	BACK-2	LEFT-2	F5-2	TOP-1	F5-1	FRONT-1	RIGHT-1	BACK-1	LEFT-1
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Floor	Roof	Floor	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		WALL-1	WALL-1	WALL-1	WALL-1	FLOOR-SLAB-1	ROOF-1	FLOOR-SLAB-1	WALL-1	WALL-1	WALL-1	WALL-1
Zone Name		Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 1
Outside Boundary C		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Zone	Outdoors	Ground	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary C						Zone 1						
Sun Exposure		SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed
View Factor to Grou		0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordina	m	0	5	5	0	0	0	0	0	5	5	0
Vertex 1 Y-coordina	m	0	0	12	12	0	0	0	0	0	12	12
Vertex 1 Z-coordina	m	3	3	3	3	3	6	0	0	0	0	0
Vertex 2 X-coordina	m	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0
Vertex 2 Y-coordina	m	0	12	12	0	0	0	0	0	12	12	0
Vertex 2 Z-coordina	m	3	3	3	3	3	6	0	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordina	m	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0
Vertex 3 Y-coordina	m	0	12	12	0	12	12	12	0	12	12	0
Vertex 3 Z-coordina	m	6	6	6	6	3	6	0	3	3	3	3
Vertex 4 X-coordina	m	0	5	5	0	0	0	0	0	5	5	0
Vertex 4 Y-coordina	m	0	0	12	12	12	12	12	0	0	12	12
Vertex 4 Z-coordina	m	6	6	6	6	3	6	0	3	3	3	3

Εικόνα 11: Υποκατηγορία Building Surface: Detailed

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Window 1	Window 2	Window 3	Window 4	Window 5	Window 6	Window 7	Window 8	Window 9
Construction Name		Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A	Double LoE Clear A
Building Surface Name		FRONT-1	FRONT-2	FRONT-2	BACK-1	BACK-2	LEFT-1	LEFT-1	LEFT-2	LEFT-2
Shading Control Name										
Frame and Divider Name										
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Starting X Coordinate	m	0.8	1.05	3.5	3	3	4	7.5	4	7.5
Starting Z Coordinate	m	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1
Length	m	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1
Height	m	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Εικόνα 12: Υποκατηγορία Window

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Door1	Door2
Construction Name		Exterior Door Constr	Exterior Door Constr
Building Surface Name		FRONT-1	BACK-1
Multiplier		1	1
Starting X Coordinate	m	3.5	0.8
Starting Z Coordinate	m	0	0
Length	m	1	1
Height	m	2	2

Εικόνα 13: Υποκατηγορία Door

### Internal mass

Στην κατηγορία αυτή περιγράφονται όλες οι εσωτερικές τοιχοποιίες, τα έπιπλα και τα μεγάλα αντικείμενα, που βρίσκονται εντός μιας θερμικής ζώνης. Οι εσωτερικές ζώνες δεν ανταλλάσσουν ενέργεια με διαφορετικές θερμικές ζώνες παρά μόνο με τη ζώνη μέσα στην οποία βρίσκονται. Στα πλαίσια της προσομοίωσης, επιλέξαμε να θεωρήσουμε μία ενιαία εσωτερική μάζα που περιλαμβάνει όλα τα ξύλινα έπιπλα του σπιτιού με τις προκαθορισμένες τιμές του προγράμματος.

### 3.5.6 Εσωτερικά κέρδη (Internal Gains)

Η λειτουργία του φωτισμού, του ηλεκτρικού εξοπλισμού και η δραστηριότητα των ατόμων καθορίζει την ενεργειακή συμπεριφορά και τη θερμική κατανάλωση της κατοικίας. Στην κατηγορία Internal Gains περιγράφονται οι υποκατηγορίες «People», «Lights» και «Electric Equipment».

### People

Στην υποκατηγορία «People», που παρουσιάζεται στην Εικόνα 14, προσδιορίζονται οι παράμετροι υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών κάθε θερμικής ζώνης της κατοικίας, τα οποία προκύπτουν ως συνάρτηση τη ανθρώπινης δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι σε κάθε όροφο αντιστοιχούν δύο άτομα. Επίσης, δόθηκε η θερμική ζώνη στην οποία βρίσκονται τα άτομα, το χρονοδιάγραμμα της ανθρώπινης παρουσίας

(Number of people schedule name) και το χρονοδιάγραμμα ανθρώπινης δραστηριότητας (Activity level schedule name), τα οποία έχουν ήδη οριστεί στην καρτέλα Schedules. Τα υπόλοιπα στοιχεία είτε αφήνονται κενά είτε παίρνουν τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		People 2	People 1
Zone or ZoneList Name		Zone 2	Zone 1
Number of People Schedule Name		Occupancy schedu	Occupancy schedu
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		2	2
People per Zone Floor Area	person		
Zone Floor Area per Person	m <sup>2</sup> /person		
Fraction Radiant		0.3	0.3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activity Level sched	Activity Level sched
Carbon Dioxide Generation Rate	m <sup>3</sup> /s	0.0000000382	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Wa		No	No
Mean Radiant Temperature Calcula		ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List			
Work Efficiency Schedule Name			
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc
Clothing Insulation Calculation Method			

**Εικόνα 14:** Παράμετροι υποκατηγορίας People

### Lights (Τεχνητός Φωτισμός)

Η υποκατηγορία «Lights» παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού όλων των πληροφοριών σχετικά με το σύστημα ηλεκτρικού φωτισμού μιας ζώνης, την ισχύ του και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του (Schedule Name). Για το πρώτο όροφο η εγκατεστημένη ισχύς του φωτισμού τέθηκε 500W ενώ για το δεύτερο όροφο στα 300W. (Εικόνα 15)

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Lights 1	Lights 2
Zone or ZoneList Name		Zone 1	Zone 2
Schedule Name		Lighting schedule	Lighting schedule
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	500	300
Watts per Zone Floor Area	W/m <sup>2</sup>		
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction		0.2	0.2
Fraction Radiant		0.59	0.59
Fraction Visible		0.2	0.2
Fraction Replaceable		0	0
End-Use Subcategory		GeneralLights	GeneralLights
Return Air Fraction Calculated from			
Return Air Fraction Function of Pl			
Return Air Fraction Function of Pl	1/K		
Return Air Heat Gain Node Name			

**Εικόνα 15:** Παράμετροι υποκατηγορίας Lights

### Electric Equipment

Στην υποκατηγορία Electric Equipment καθορίζονται στοιχεία σχετικά με τον ηλεκτρικό εξοπλισμό της κάθε ζώνης, όπως είναι η εγκατεστημένη ισχύς του και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του. Για κάθε ζώνη ή ομάδα θερμικών ζωνών ορίστηκε το όνομα και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικού εξοπλισμού.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		CORE ElecEq 2	CORE ElecEq 1
Zone or ZoneList Name		Zone 2	Zone 1
Schedule Name		ElecEquip schedule	ElecEquip schedule
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	3000	1000
Watts per Zone Floor Area	W/m2		
Watts per Person	W/perso		
Fraction Latent		0	0
Fraction Radiant		0.3	0.3
Fraction Lost		0	0
End-Use Subcategory		General	General

Εικόνα 16: Παράμετροι υποκατηγορίας ElectricEquipment

### **3.5.7 Ροή του αέρα στους χώρους του κτιρίου (Zone Airflow)**

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου είναι η ροή του αέρα μέσα σε αυτό. Ο αερισμός ενός κτιρίου χωρίζεται σε δύο είδη, το φυσικό και τον τεχνικό. Ο φυσικός αερισμός στηρίζεται είτε στην ακούσια ροή του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη, χωρίς αυτό να είναι σκόπιμο (διήθηση - infiltration), είτε στην σκόπιμη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη (άμεσος αερισμός - ventilation).

#### ZoneInfiltration:DesignFlowRate

Οι διαφυγές, από τα κουφώματα (θέσεις συναρμογής με τα περιμετρικά δομικά στοιχεία και θέσεις επαφής των σταθερών πλαισίων με τα κινητά φύλλα) και από άλλες διόδους του κελύφους (αρμούς κ.τ.λ), περιγράφονται σε αυτή την κατηγορία. Θεωρήθηκε ότι πραγματοποιείται διείσδυση του αέρα όλες τις ώρες σε όλη τη διάρκεια του έτους, γι'αυτό επιλέχθηκε το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα με όνομα Air schedule. Επιπλέον ορίστηκε μια σταθερή τιμή εισχώρησης αέρα ανά κυβικό μέτρο το δευτερόλεπτο ( $0,001527 \text{ m}^3 / \text{s}$ ) όπως προδιαγράφεται από τους σχετικούς κανονισμούς και οδηγίες του TOTEE 20701-1/2010. Οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν τιμές προεπιλεγμένες από το EnergyPlus.

### ZoneVentilation:DesignFlowRate

Ο αερισμός, που προκαλείται λόγω των ανοικτών παραθύρων και άλλων σχεδιασμένων σημείων εισόδου και εξόδου που έχουν σκοπό την εισαγωγή φρέσκου αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου, περιγράφεται στις παραμέτρους αυτής της υποκατηγορίας. Συγκεκριμένα τα πεδία που συμπληρώθηκαν είναι το όνομα, η θερμική ζώνη ή η ομάδα θερμικών ζωνών στην οποία γίνεται ο αερισμός, το χρονοδιάγραμμα αερισμού της εκάστοτε θερμικής ζώνης ή ομάδας θερμικών ζωνών, οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour), ο τύπος του αερισμού (Ventilation Type), καθώς και οι προτεινόμενες από το πρόγραμμα τιμές της ελάχιστης και μέγιστης εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου (Maximum/Minimum Indoor Temperature, Maximum/Minimum Outdoor Temperature, Wind Speed).

### **3.5.8 Χαρακτηριστικά συστήματος ψύξης-θέρμανσης (HVAC Templates)**

Η κατοικία, όπως και τα υπόλοιπα κτίρια, θεωρήθηκε ότι έχουν εγκατεστημένα διαιρούμενα κλιματιστικά (split air-conditioner) για την ψύξη των χώρων και θερμαντικά σώματα με καύση πετρελαίου (καλοριφέρ) για την θέρμανση των χώρων. Στην κατηγορία αυτή γίνεται ο προσδιορισμός των συστημάτων αυτών. Ωστόσο, το EnergyPlus σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα πρότυπα της Αμερικής καθιστώντας δύσκολη την προσομοίωση των συστημάτων αυτών. Το πρόγραμμα δεν δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει ως κεντρικό σύστημα θέρμανσης τα κλασσικά καλοριφέρ νερού που λειτουργούν με πετρέλαιο και συναντώνται στα περισσότερα ελληνικά σπίτια αλλά όχι στα αμερικάνικα. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει μόνο ένα σύστημα HVAC ανά ζώνη. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα μονάδων αερισμού μεταβλητού όγκου αέρα (Variable Air Volume – VAV), που λειτουργεί με ζεστό νερό (μέσω καυστήρα diesel) ως σύστημα θέρμανσης και με κρύο νερό (μέσω ψύκτη) ως σύστημα ψύξης. Τα μέρη του συστήματος που καθορίστηκαν στο πρόγραμμα παρατίθενται στη συνέχεια.

### HVAC Template: Thermostat

Στην υποκατηγορία αυτή ορίστηκαν τα όρια, τα οποία αν ξεπεραστούν τίθενται σε λειτουργία τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης. Συγκεκριμένα το heating setpoint ορίστηκε στους 23°C και το cooling setpoint στους 26°C.

### HVAC Template: Zone VAV

Στην καρτέλα αυτή ορίζουμε απλά ότι το σύστημα ψύξης – θέρμανσης, που χρησιμοποιήσαμε είναι τύπου VAV. Τα υπόλοιπα δεδομένα είναι προκαθορισμένα από το πρόγραμμα.

### HVAC Template: System: VAV

Στην κατηγορία αυτή ορίζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του συστήματος ψύξης – Θέρμανσης που θα χρησιμοποιήσουμε. Καταρχάς δηλώσαμε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του συστήματος (Office HVAC), όπως το περιγράψαμε στην κατηγορία Schedule: Compact. Δεύτερον, προσδιορίσαμε ότι η ψύξη γίνεται με χρήση κρύου νερού και η θέρμανση με χρήση ζεστού νερού. Τα υπόλοιπα δεδομένα είναι προκαθορισμένα από το πρόγραμμα.

Field	Units	Obj1
Name		VAV with Reheat
System Availability Schedule Name		Office HVAC
Supply Fan Maximum Flow Rate	m <sup>3</sup> /s	autosize
Supply Fan Minimum Flow Rate	m <sup>3</sup> /s	autosize
Supply Fan Total Efficiency		0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	1000
Supply Fan Motor Efficiency		0.9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1
Cooling Coil Type		ChilledWater
Cooling Coil Availability Schedule Name		Cooling schedul...
Cooling Coil Setpoint Schedule Name		
Cooling Coil Design Setpoint	C	13
Heating Coil Type		HotWater
Heating Coil Availability Schedule Name		
Heating Coil Setpoint Schedule Name		
Heating Coil Design Setpoint	C	10
Gas Heating Coil Efficiency		0.8
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W	
Preheat Coil Type		None
Preheat Coil Availability Schedule Name		
Preheat Coil Setpoint Schedule Name		

**Εικόνα 17:** Υποκατηγορία HVAC Template: Zone VAV

### HVAC Template: Plant: Chilled Water Loop, HVAC Template: Plant: Chiller, HVAC Template: Plant: Tower, HVAC Template: Plant: Hot Water Loop, HVAC Template: Plant: Boiler

Στις υπόλοιπες υποκατηγορίες γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων, που αφορούν μέρη των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης. Οι επιλογές είναι οι προκαθορισμένες από το πρόγραμμα. Οι μόνες αλλαγές που γίνανε, είναι ότι για το σύστημα θέρμανσης ορίστηκε ως καύσιμο το πετρέλαιο (Fuel Type: Diesel, στην υποκατηγορία HVAC Template: Plant: Boiler) και η συνολική ικανότητα ψύξης των κλιματιστικών (Capacity, στην υποκατηγορία HVAC Template: Plant: Chiller), ορίστηκε να καθορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

### **3.5.9 Ζήτηση Αποτελεσμάτων (Output Reporting)**

Το EnergyPlus παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας παραμέτρων, η επιλογή των οποίων γίνεται ανάλογα με το είδος και το σκοπό της εκάστοτε μελέτης. Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων, ακολουθεί ο ορισμός των μεταβλητών, που θα ζητηθούν ως αποτελέσματα.

#### Output:Variable

Τα αποτελέσματα ζητούνται μέσω της ρύθμισης Output:Variable, στην οποία εισάγονται τα ονόματα των ζητούμενων μεταβλητών και η συχνότητα υποβολής των αποτελεσμάτων.

Οι παράμετροι που ζητήθηκαν στην προσομοίωση της κατοικίας είναι οι εξής:

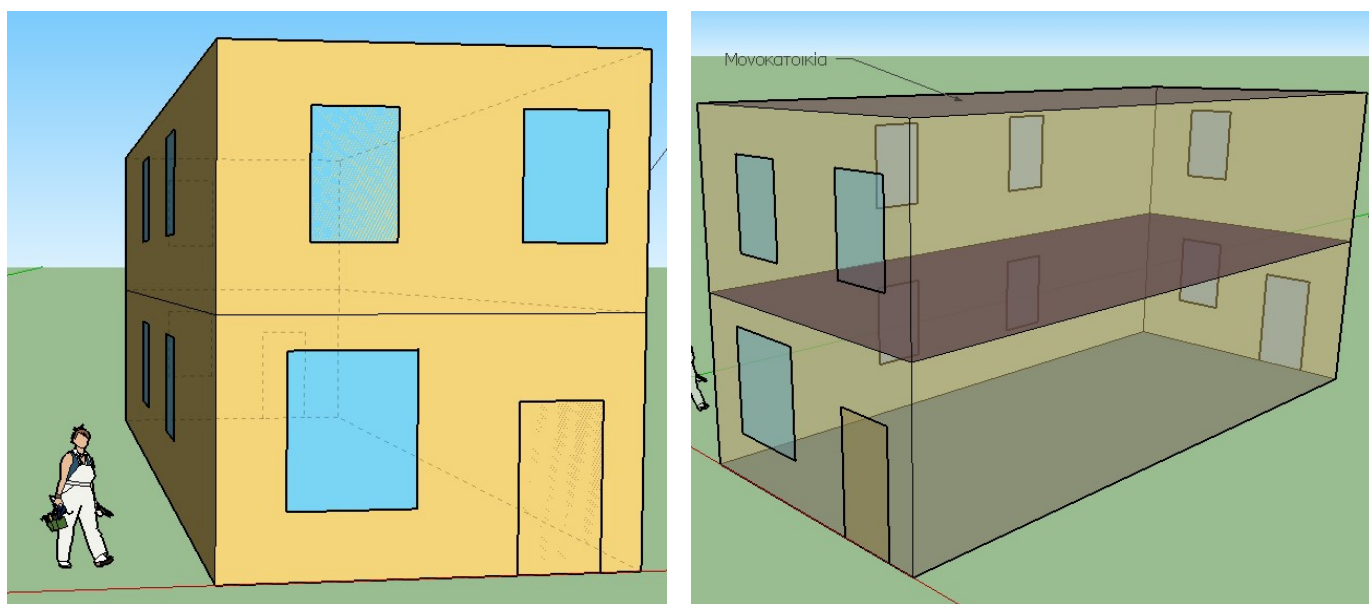
- Εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος (Site Outdoor Air Dry bulb Temperature, σε °C).
- Εσωτερική θερμοκρασία χώρου (Zone Air Temperature, σε °C).
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό (Interior Lights: Electricity, σε J)
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρικές συσκευές (Interior Equipment: Electricity, σε J)
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη (Cooling: Electricity, σε J).
- Κατανάλωση θερμικής ενέργειας για θέρμανση (Heating: Diesel, σε J).

### **3.5.10 Αποτελέσματα προσομοίωσης**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της κατοικίας, με το πρόγραμμα EnergyPlus. Από τα διαγράμματα που ακολουθούν, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να εξάγει διάφορα συμπεράσματα για την λειτουργία της κατοικίας, όπως για παράδειγμα αιχμές φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώρες λειτουργίας συστημάτων ψύξης και θέρμανσης και κατανομή ποσού ενέργειας ανά τελική χρήση.

#### Αρχείο DXF

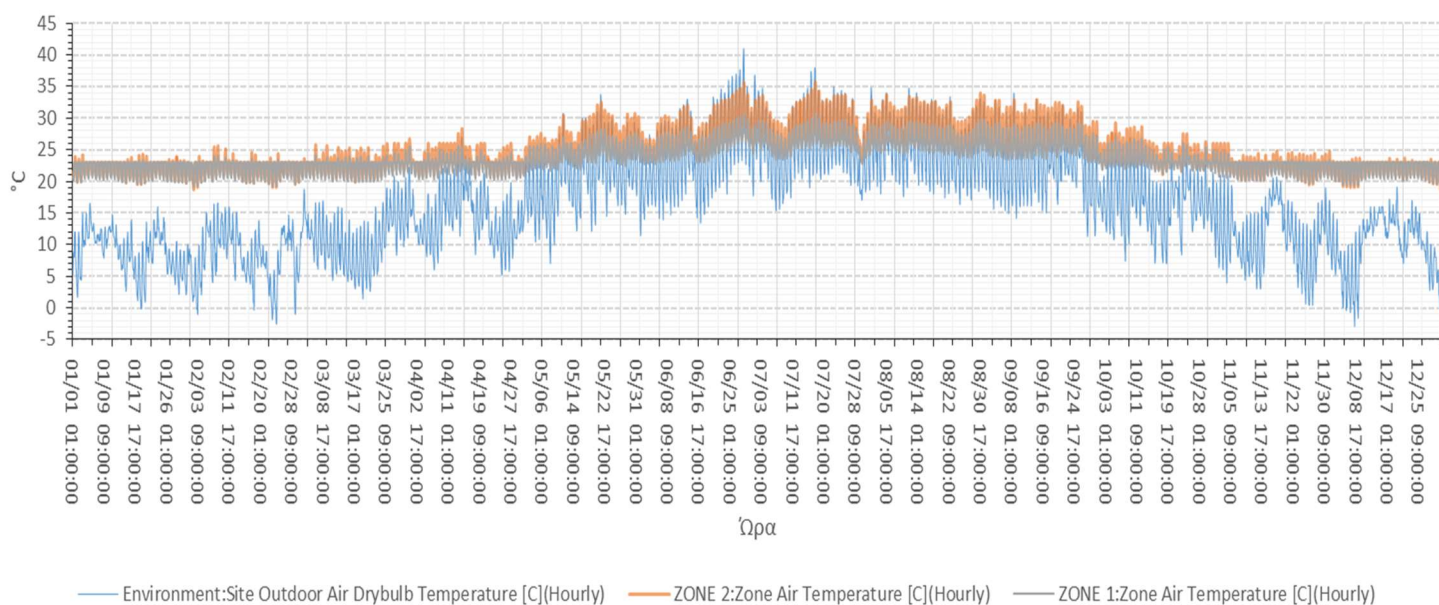
Το αρχείο εξόδου DXF μορφοποιείται σύμφωνα με τους τυπικούς κανόνες "Data Exchange Format" για την αντιπροσώπευση συντεταγμένων τύπου CAD, δηλαδή δημιουργία γραφικών εικόνων. Ανοίγοντας το συγκεκριμένα αρχείο, από ένα λογισμικό προβολής, μπορούμε να παρατηρήσουμε το τρισδιάστατο ολοκληρωμένο μοντέλο της κατοικίας, όπως προέκυψε από το EnergyPlus. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το SketchUp και το γραφικό μοντέλο της κατοικίας παρουσιάζεται στις επόμενες εικόνες.



**Εικόνα 18:** Τρισδιάστατο μοντέλο της κατοικίας στο SketchUp

### Θερμοκρασίες κατοικίας

Τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών εντός των εσωτερικών χώρων της κατοικίας δίνουν μια πρώτη ένδειξη, ότι τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης έχουν προσομοιωθεί σωστά και οι τιμές κυμαίνονται εντός των επιθυμητών ορίων. Από την ετήσια καμπύλη της θερμοκρασίας της κατοικίας, που ακολουθεί, παρατηρούμε τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και των δύο ορόφων ξεχωριστά. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, παρατηρούνται ψηλότερες θερμοκρασίες στον 2<sup>ο</sup> όροφο, κάτι το οποίο είναι απολύτως αναμενόμενο, εφόσον η οροφή του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.



**Εικόνα 19:** Ετήσια καμπύλη θερμοκρασιών κατοικίας

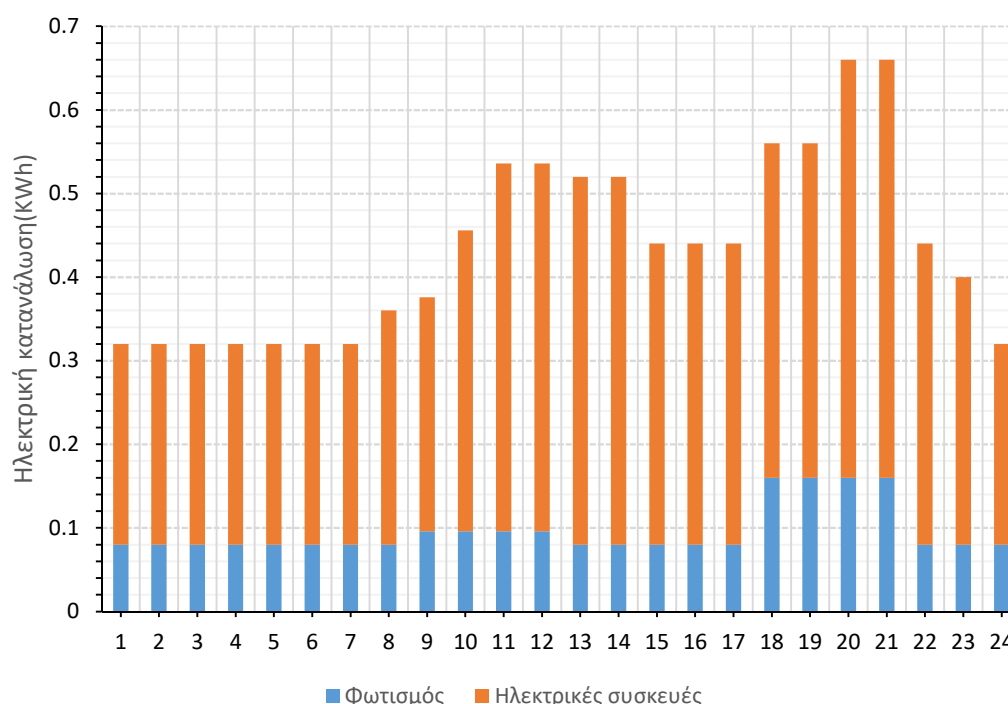


### Ενεργειακή κατανάλωση

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί, ότι κατά την προσομοίωση οι ενεργειακές καταναλώσεις που προκύπτουν έχουν μονάδα μέτρησης τα Joules (J). Ωστόσο για τη μελέτη των αποτελεσμάτων κρίθηκε εύλογη η μετατροπή της μονάδας μέτρησης σε κιλοβατώρες (KWh), όπου  $1 \text{ J} = 2.7777778 \cdot 10^{-7} \text{ KWh}$ .

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται η ενεργειακή κατανάλωση για συγκεκριμένες μέρες. Επιλέχθηκαν τυχαία μια καλοκαιρινή και μια χειμερινή μέρα, έτσι ώστε να συγκρίνουμε την διαφορετική ζήτηση ενέργειας για διαφορετικές εποχές.

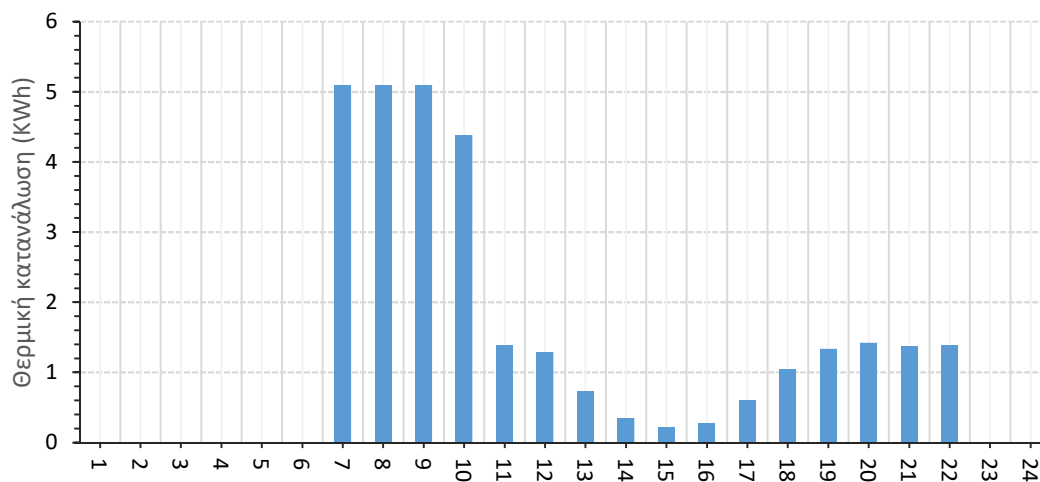
Στο διάγραμμα 11 φαίνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις 17 Δεκεμβρίου (χειμερινή μέρα). Διακρίνεται το ποσό της ενέργειας, που καταναλώνεται λόγω της λειτουργίας του φωτισμού, καθώς και το ποσοστό το οποίο καταναλώνεται από τις ηλεκτρικές συσκευές, που βρίσκονται εντός του σπιτιού. Παρατηρείται αυξημένη ηλεκτρική κατανάλωση το χειμώνα τις ώρες 11:00-14:00, κυρίως λόγω χρήσης της ηλεκτρικής κουζίνας, για μαγείρεμα και τις ώρες 18:00-21:00 όπου παράλληλα με τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών μπαίνει σε λειτουργία ο φωτισμός.



**Διάγραμμα 11:** Ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας στις 17 Δεκεμβρίου (2017)

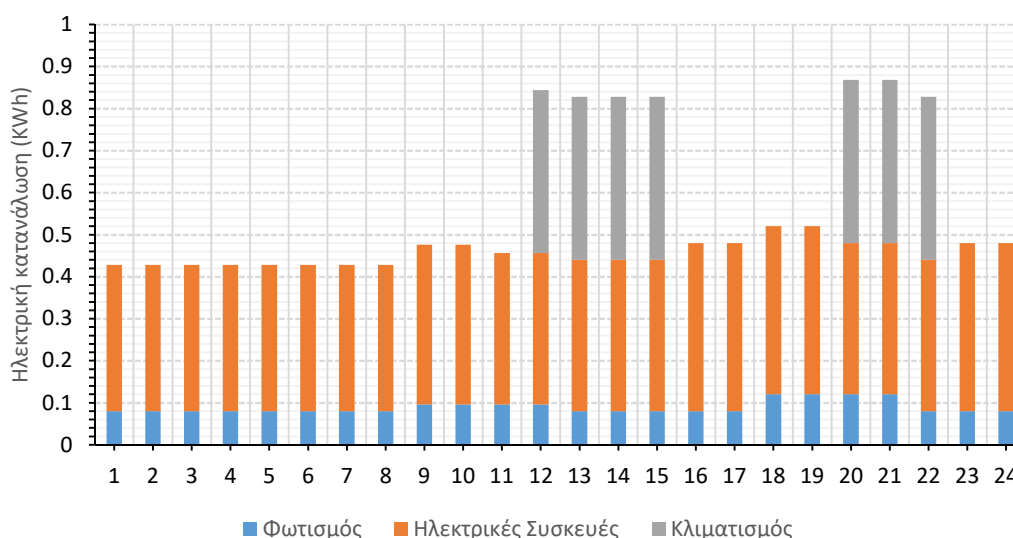
Στο διάγραμμα 12 φαίνεται η θερμική κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης της κατοικίας στις 17 Δεκεμβρίου. Παρατηρούμε ότι οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για θέρμανση του χώρου είναι ιδιαίτερα αυξημένες κατά τις πρωινές ώρες ενώ ελαττώνεται κατά

τις μεσημεριανές ώρες, όπου μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και αυξάνονται ξανά κατά τις βραδινές ώρες.



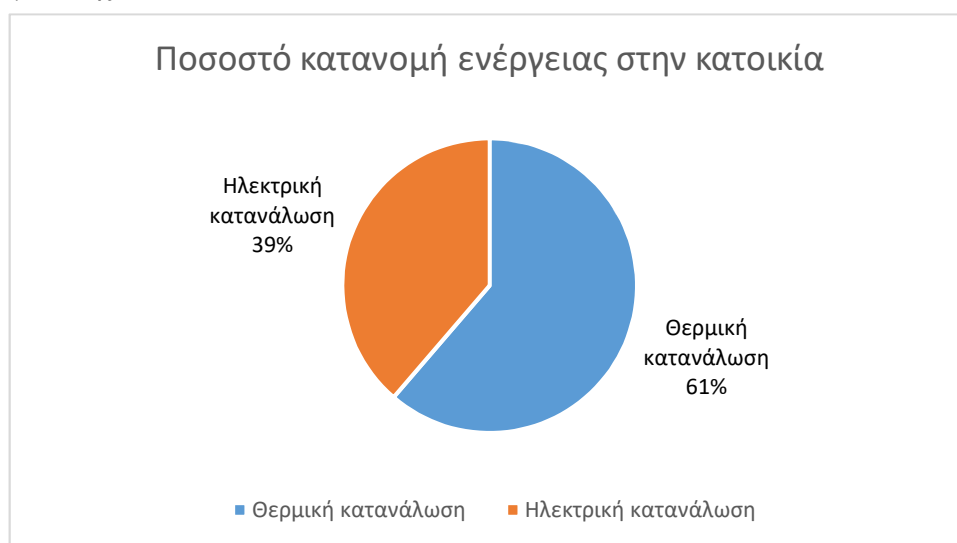
**Διάγραμμα 12:** Ωριαία θερμική κατανάλωση κατοικίας στις 17 Δεκεμβρίου (2017)

Στο διάγραμμα 13 φαίνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις 15 Ιουλίου (καλοκαιρινή μέρα). Το καλοκαίρι παρατηρείται αυξημένη ηλεκτρική κατανάλωση τις ώρες 12:00-15:00 (0.8kWh) και τις ώρες 20:00-22:00 (0.85 kWh), λόγω της χρήσης των κλιματιστικών. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σταθερή ζήτηση ισχύος κατά τις βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες, τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα, το οποίο οφείλεται στο φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ώρο όπως π.χ. τα ψυγεία κ.τ.λ.



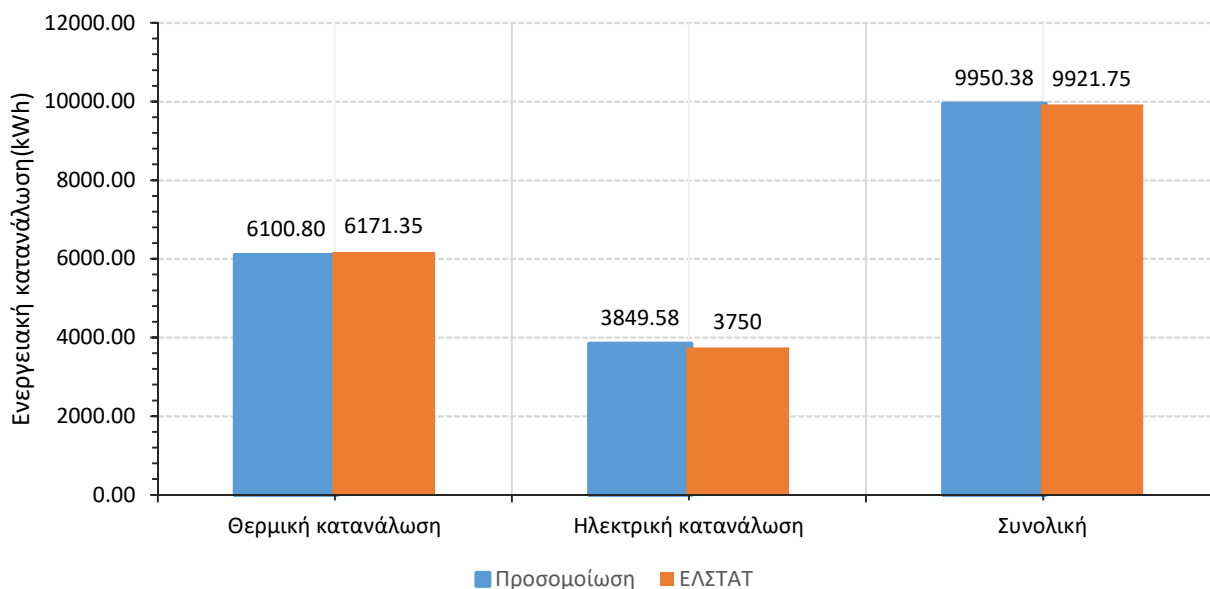
**Διάγραμμα 13:** Ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας στις 15 Ιουλίου (2017)

Κατά μέσο όρο κάθε νοικοκυριό στην Ελλάδα, καταναλώνει 13.994 kWh για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, εκ των οποίων οι 10.244 kWh αφορούν θερμική ενέργεια και οι 3.750 kWh ηλεκτρική ενέργεια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που διενήργησε η Ελληνική Στατιστική Αρχή, οι ανάγκες ενός νοικοκυριού για θέρμανση χώρων και μαγείρεμα αποτελούν το 81% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειάς του, ενώ συνολικά για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του καταναλώνει πετρέλαιο θέρμανσης και ηλεκτρισμό σε ποσοστό 44,1% και 26,8%, αντίστοιχα. Στο διάγραμμα 14 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή ενέργειας στην κατοικία όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



**Διάγραμμα 14:** Ποσοστιαία (%) κατανομή ενέργειας κατά τελική χρήση

Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα καταγεγραμμένα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ[16] φαίνονται στο διάγραμμα 15.



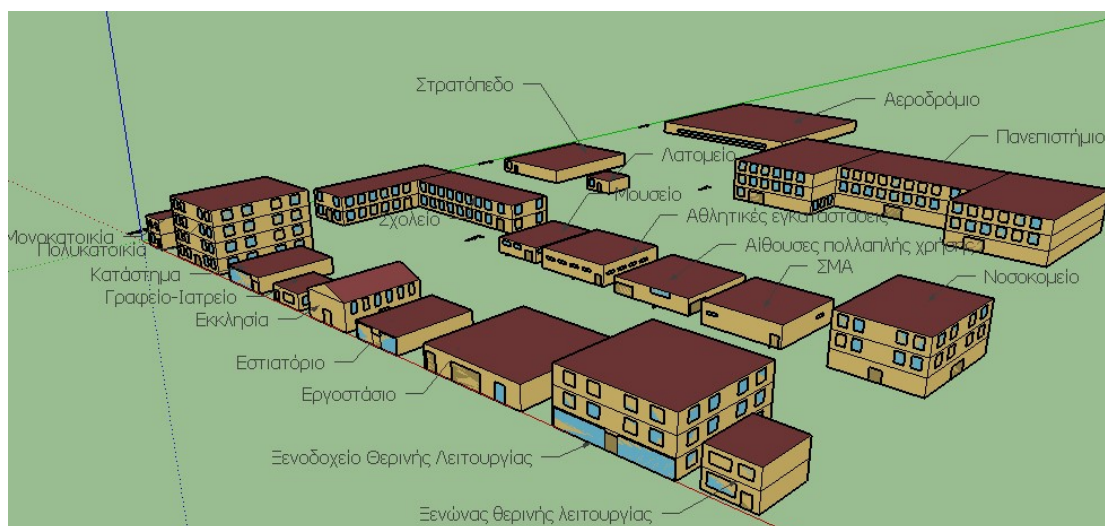
**Διάγραμμα 15:** Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας μιας τυπικής κατοικίας ανέρχεται στις 9950.38KWh, από την οποία 6100.8KWh αντιστοιχεί σε θερμική κατανάλωση ενώ 3849.5KWh είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης από αποτελέσματα της προσομοίωσης, διαπιστώνουμε ότι οι ανάγκες θέρμανσης της κατοικίας είναι μεγαλύτερες απ' ό τι για ψύξη. Η περίοδος που το σπίτι καταναλώνει τα λιγότερα ποσά ενέργειας είναι το Μάιο, το Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο, τους μήνες δηλαδή που δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση και ψύξη του διαμερίσματος, λόγω των καλών καιρικών συνθηκών. Παρατηρούμε ότι έγινε αρκετά καλή προσομοίωση καθώς τα αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μέσες τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης της κατοικίας είναι πάρα πολύ κοντά στα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.

### 3.6 Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου

#### 3.6.1 Λεπτομέρειες μοντελοποίησης

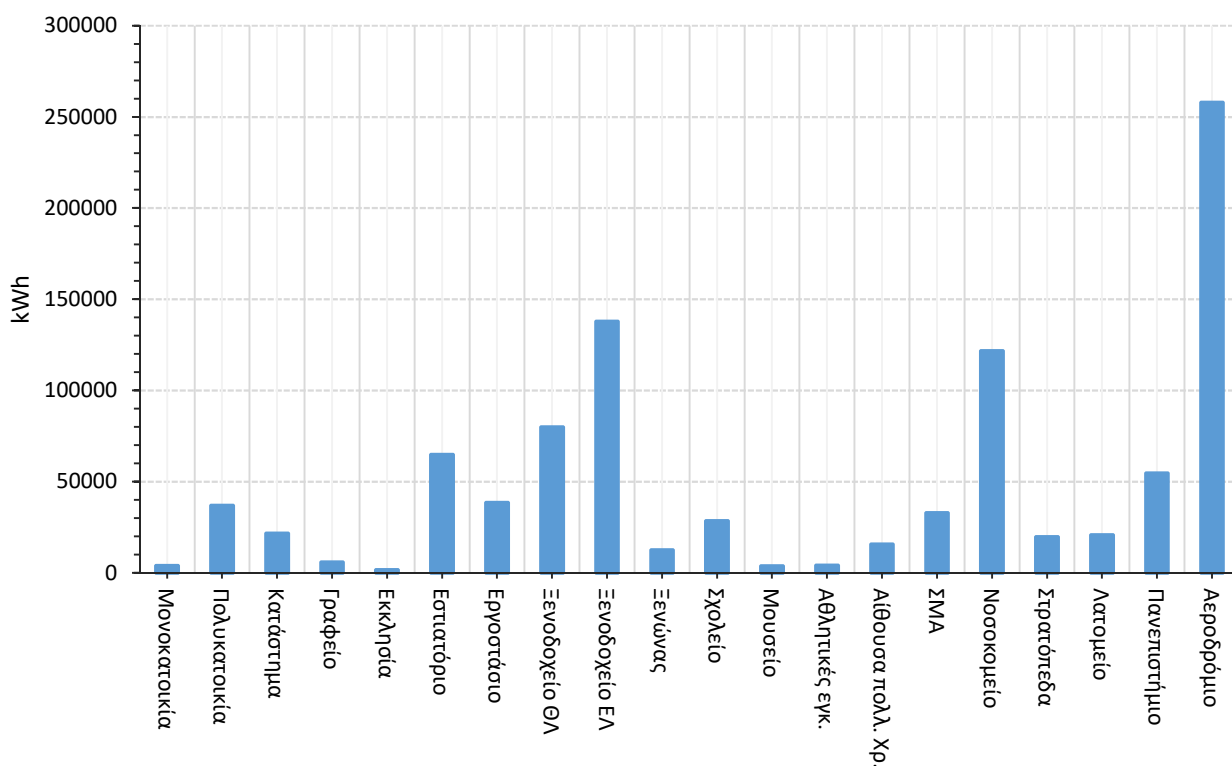
Η ίδια διαδικασία της υποενότητας 3.5 ακολουθείται για την προσομοίωση των υπόλοιπων τυπικών κτιρίων που καταγράφηκαν στον πίνακα 2 και αντιπροσωπεύουν το σύνολο των κτιρίων της Λέσβου. Η εισαγωγή των δεδομένων στο EnergyPlus έγινε με βάση τις τεχνικές οδηγίες του TEE για τυπικά κτίρια και με πληροφορίες που αντλήθηκαν από τα καταγεγραμμένα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε για κάθε τύπο κτιρίου του πίνακα 4, φαίνεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 20: Απεικόνιση των τυπικών κτιρίων της Λέσβου

Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται η υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας στο κτιριακό τομέα της Λέσβου, έτσι όπως προέκυψε από τη μοντελοποίηση. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά και σύμφωνα με τα πραγματικά δεδομένα. Για παράδειγμα, η ετήσια

κατανάλωση ενέργειας στην πολυκατοικία είναι ψηλότερη σε σχέση με τη μονοκατοικία, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, δεδομένου του μεγαλύτερου εγκατεστημένου φορτίου που έχει η πολυκατοικία. Επίσης παρατηρείται ότι το πιο ενεργοβόρο κτίριο είναι το αεροδρόμιο.



**Διάγραμμα 16:** Ετήσια κατανάλωση ηλ. ενέργειας στο κτιριακό τομέα

Έχοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για όλα τα τυπικά κτίρια που επιλέχθηκαν, το δεύτερο στάδιο της μοντελοποίησης έχει ολοκληρωθεί. Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας της μοντελοποίησης είναι η επέκταση των αποτελεσμάτων αυτών, με σκοπό την κατασκευή της νήσου Λέσβου, η εξαγωγή των αποτελεσμάτων που αφορούν την ενεργειακή της κατανάλωση και η σύγκρισή τους με πραγματικά δεδομένα.

Για την επέκταση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του κάθε κτιρίου στο σύνολο των κτιρίων της νήσου Λέσβου, πολλαπλασιάζονται τα αποτελέσματα για όλες τις ώρες του έτους (8760 διαφορετικά αποτελέσματα για κάθε κτίριο) με το συνολικό αριθμό των κτιρίων του νησιού. Για παράδειγμα η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση των κατοικιών υπολογίζεται προσθέτοντας αρχικά τις επιμέρους καταναλώσεις του φωτισμού, εξοπλισμού και κλιματισμού κάθε ώρα και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας με το αριθμό 46035 από τον πίνακα 4.

Να σημειώσουμε ότι με βάση τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, έξι στα δέκα νοικοκυριά χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για να ψύχουν την κατοικία τους (ολόκληρη ή τμήμα αυτής), κατά τους ζεστούς μήνες του έτους. Στην περίπτωση των κατοικιών και των πολυκατοικιών

της Λέσβου, η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς λόγω του συστήματος ψύξης πολλαπλασιάστηκε με ένα συντελεστή 0,4.

Επιπλέον από το σύνολο των κτιρίων δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ποιο ποσοστό των κατοικιών είναι σε λειτουργία κάθε συγκεκριμένη ώρα. Επομένως είναι αναγκαία η προσαρμογή ενός συντελεστή ζήτησης (ΣΖ) στα αποτελέσματα. Ο ΣΖ υπολογίστηκε βάσει της καμπύλης ζήτησης ισχύος του νησιού για το 2017 και είναι ο λόγος της εκάστοτε ώρας του χρόνου προς τη μέγιστη ημερήσια ισχύ του έτους. Ο συντελεστής αυτός αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία για την μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου, αφού με την προσαρμογή του, το τελικό αποτέλεσμα προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματική εικόνα της Λέσβου. Ο ΣΖ πολλαπλασιάστηκε με την ενεργειακή κατανάλωση των κατοικιών και των πολυκατοικιών ενώ για όλους τους άλλους τύπους κτιρίων θεωρήθηκε ότι είναι σε λειτουργία όλος ο αριθμός τους ανάλογα με τη χρήση τους. Επίσης, να σημειώσουμε ότι καταναλωτές όπως το λατομείο και το στρατόπεδο δεν έχουν σημαντικό ποσοστό στη συνολική ενεργειακή ζήτηση λόγω του μικρού αριθμού στη Λέσβο και θα μπορούσαν να παραλειφθούν, ωστόσο η προσομοίωση τους γίνεται για λόγους πληρότητας.

Τέλος, στα αποτελέσματα προσομοίωσης προσαρμόζεται η συνολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για το φωτισμό των οδών και κατανέμεται σε όλες τις ώρες του έτους ανάλογα.

Η πιο πάνω διαδικασία της μοντελοποίησης περιγράφεται μαθηματικά με τις επόμενες εξισώσεις.

$$E_{el}(t) = \sum_{n=1}^{20} (E_{eleg_n}(t) + E_{lights_n}(t) + E_{airC_n}(t)) \cdot N_n \cdot 2,777778 \cdot 10^{-7} + E_{Rlighting}(t) \quad (3.1)$$

$$E_{thermal}(t) = \sum_{n=1}^{20} E_{th_n}(t) \cdot N_n \cdot 2,777778 \cdot 10^{-7} \quad (3.2)$$

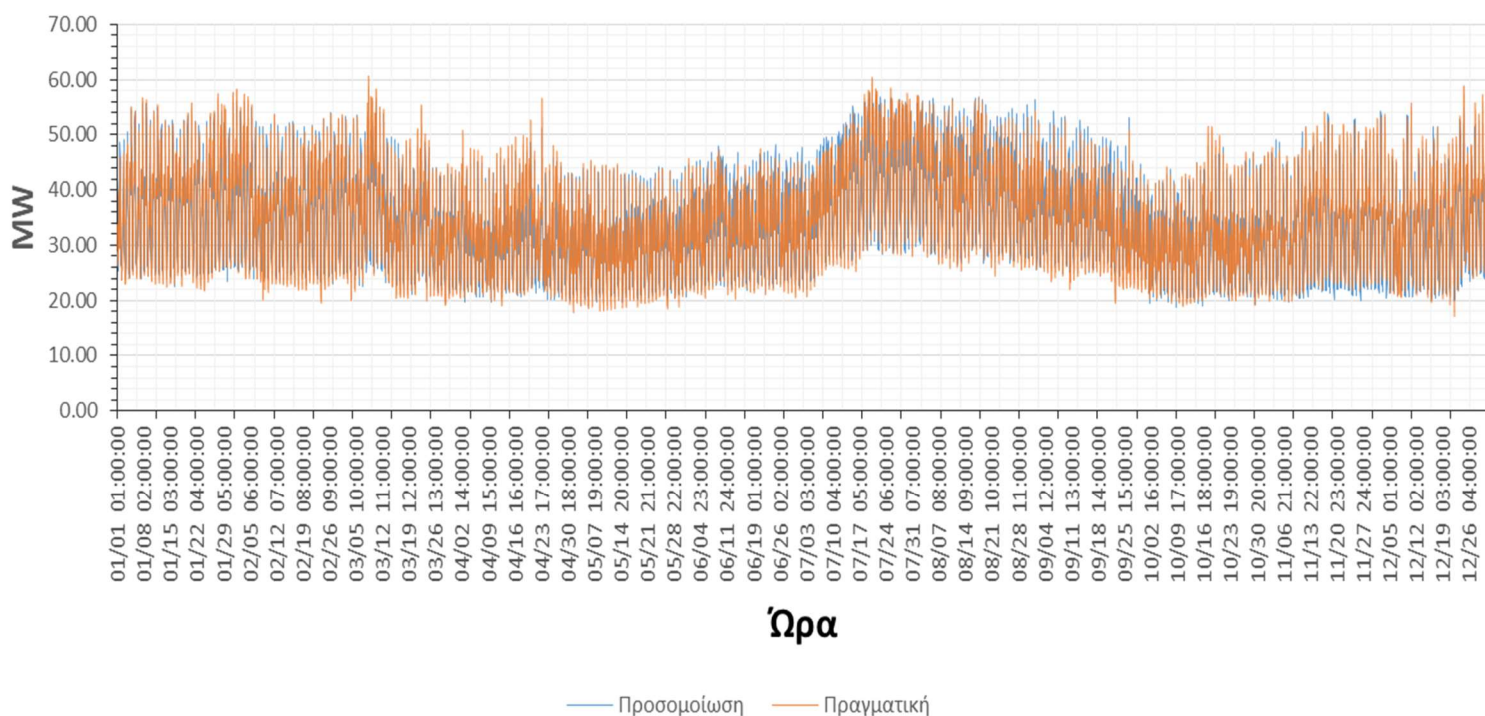
όπου

$t$	0,1...8760 (οι ώρες του χρόνου)
$E_{el}(t)$	η συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια την ώρα $t$
$E_{thermal}(t)$	η συνολική καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια την ώρα $t$
$E_{eleg_n}(t), E_{lights_n}(t), E_{airC_n}(t),$ $E_{Rlighting}(t)$	η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, το φωτισμό και το σύστημα ψύξης την ώρα $t$ για το συγκεκριμένο κτίριο και τον οδικό φωτισμό
$E_{th_n}(t)$	η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα θέρμανσης την ώρα $t$
	για το συγκεκριμένο κτίριο
$N_n$	το πλήθος του τυπικού κτιρίου

Όπως προαναφέραμε στην υποενότητα 3.2, στο στάδιο 3 της μοντελοποίησης πρέπει να γίνονται τροποποιήσεις στα δεδομένα των προσομοιώσεων των κτιρίων, μέχρις ότου η καμπύλη ζήτησης ισχύος να πλησιάσει την πραγματική. Κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα προσομοίωσης, δημιουργεί καινούργια αρχεία .xlsx με καταχωρημένα τα αποτελέσματα. Επομένως κάθε φορά που τροποποιούνται τα δεδομένα εισόδου πρέπει να εφαρμόζονται οι πιο πάνω εξισώσεις για να υπολογιστεί η ενεργειακή κατανάλωση της Λέσβου. Το διάβασμα των αρχείων, η μετατροπή των μονάδων μέτρησης, ο υπολογισμός των ενεργειακών καταναλώσεων και η επέκταση των αποτελεσμάτων υλοποιήθηκαν στη γλώσσα προγραμματισμού R. Η R συνιστάται για ανάλυση δεδομένων και καθιστά την διαδικασία επεξεργασίας των αρχείων .xlsx πιο εύκολη και λιγότερο χρονοβόρα.

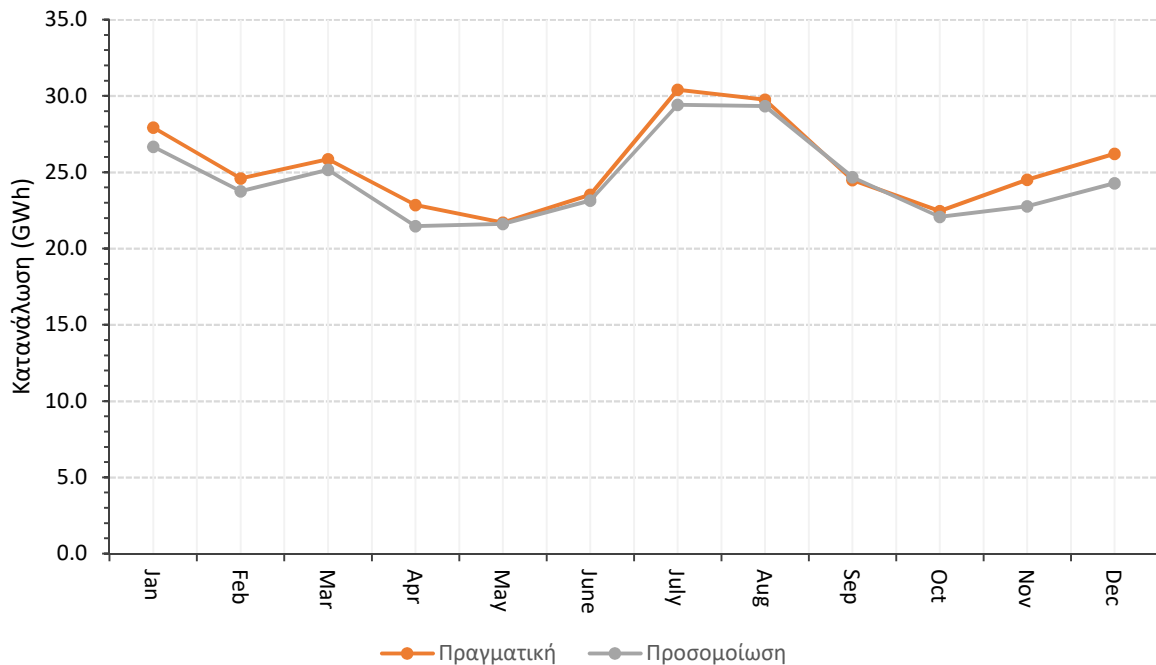
### 3.6.2 Αποτελέσματα μοντελοποίησης

Στο διάγραμμα 17 παρουσιάζεται η πραγματική καμπύλη (πορτοκαλί) και η καμπύλη προσομοίωσης (μπλε) της ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για ολόκληρο το έτος, έτσι όπως προέκυψε από τη μοντελοποίηση. Παρατηρείται ότι οι δύο καμπύλες είναι πανομοιότυπες, επιβεβαιώνοντας την ορθότητα της διαδικασίας της μοντελοποίησης. Όπως προαναφέρθηκε, οι αιχμές φορτίου παρουσιάζονται την καλοκαιρινή περίοδο, λόγω της τουριστικής δραστηριότητας, αλλά και τους χειμερινούς μήνες ειδικά κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου, που εν μέρει αποδίδεται σε γεωργικές δραστηριότητες.



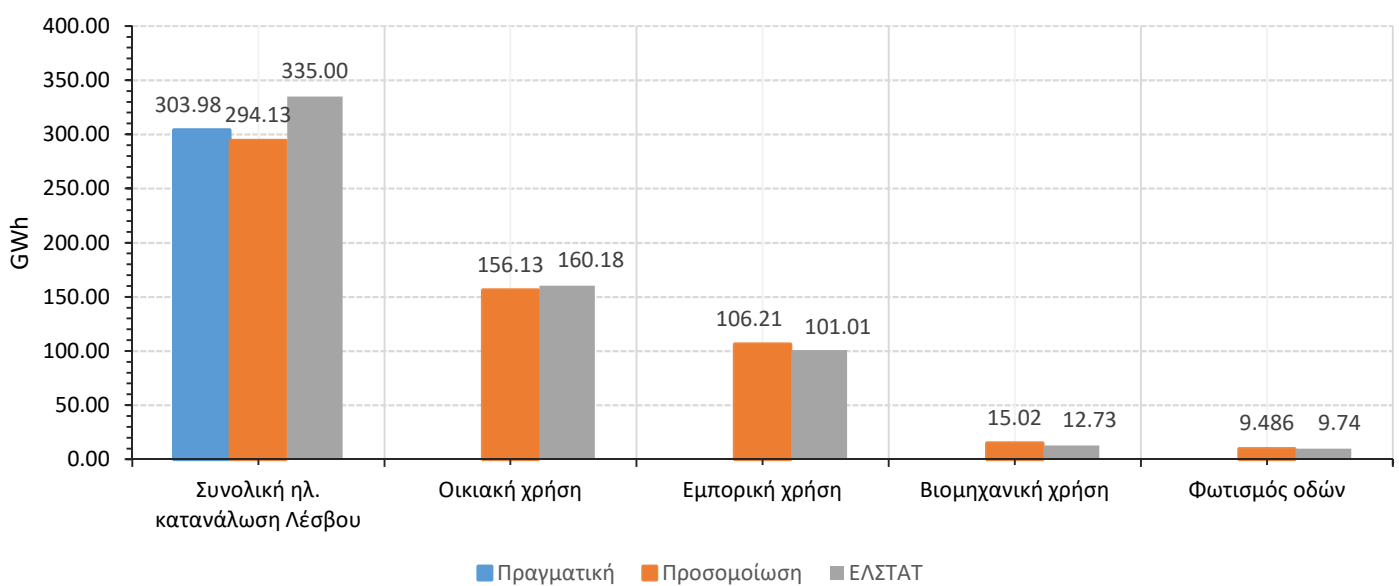
Διάγραμμα 17: Ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση της Λέσβου

Η μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα με την αιχμή ζήτησης ενέργειας να ανέρχεται στις 30,4GWh το μήνα Ιούλιο βάσει των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και στις 29,42GWh βάσει τα πραγματικά δεδομένα.



**Διάγραμμα 18:** Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

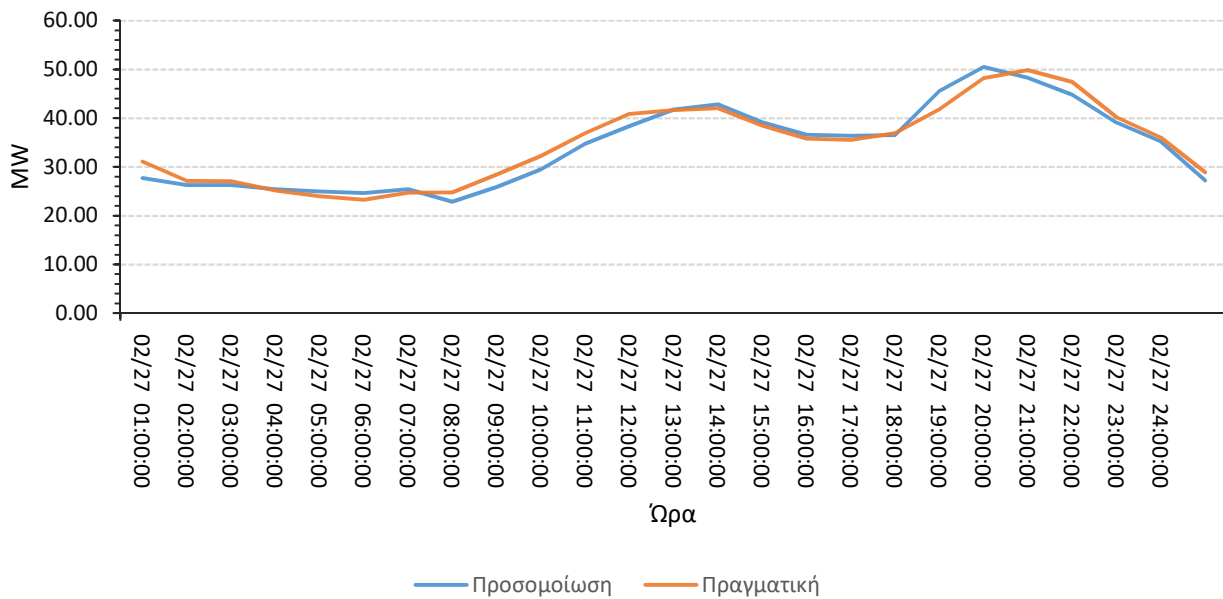
Επίσης διαπιστώνουμε ότι τα δεδομένα που προέκυψαν για την κατανάλωση ενέργειας στη Λέσβο ανά κατηγορία χρήσης προσεγγίζουν αρκετά τις τιμές από τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.



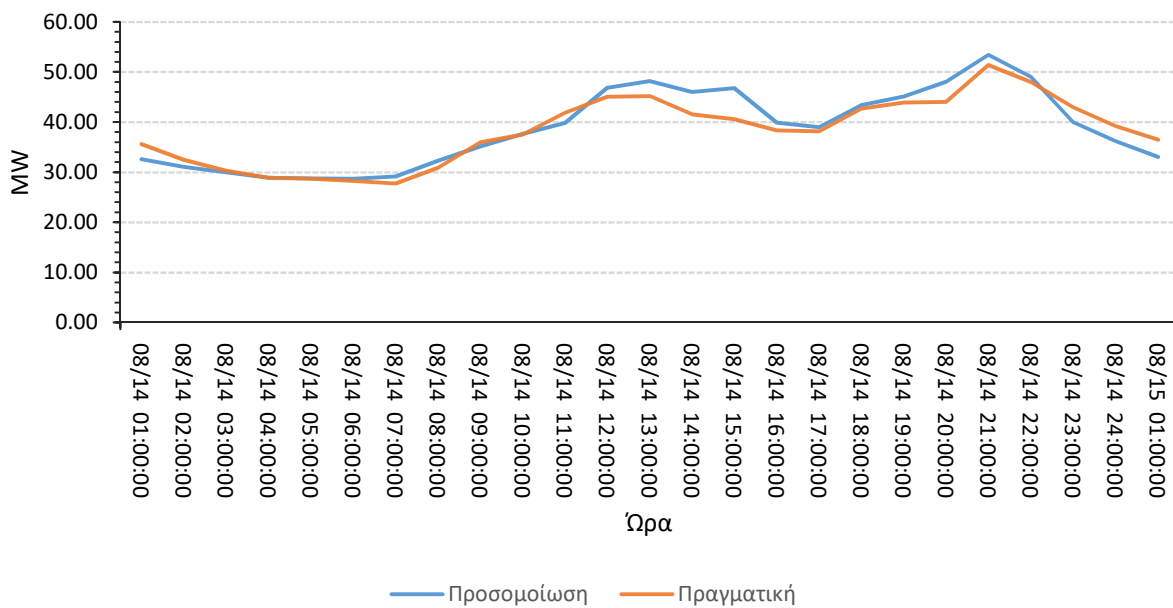
**Διάγραμμα 19:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά κατηγορία χρήσης



Στα διαγράμματα 21 και 22 παρουσιάζονται τα προφίλ ζήτησης ισχύος για τις 27 Φεβρουαρίου και 14 Αυγούστου αντίστοιχα όπως προέκυψε από την μοντελοποίηση και τα πραγματικά δεδομένα. Διαπιστώνουμε, ότι οι δύο ημερήσιες καμπύλες παρουσιάζουν τις ίδιες διακυμάνσεις και οι αποκλίσεις από τις πραγματικές είναι μικρές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι φανερό ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τις πρωινές ώρες από τις 12:00 έως τις 8:00 το πρωί. Η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού και τις βραδινές ώρες.



**Διάγραμμα 21:** Ωριαίο προφίλ ζήτησης ισχύος στις 27 Φεβρουαρίου

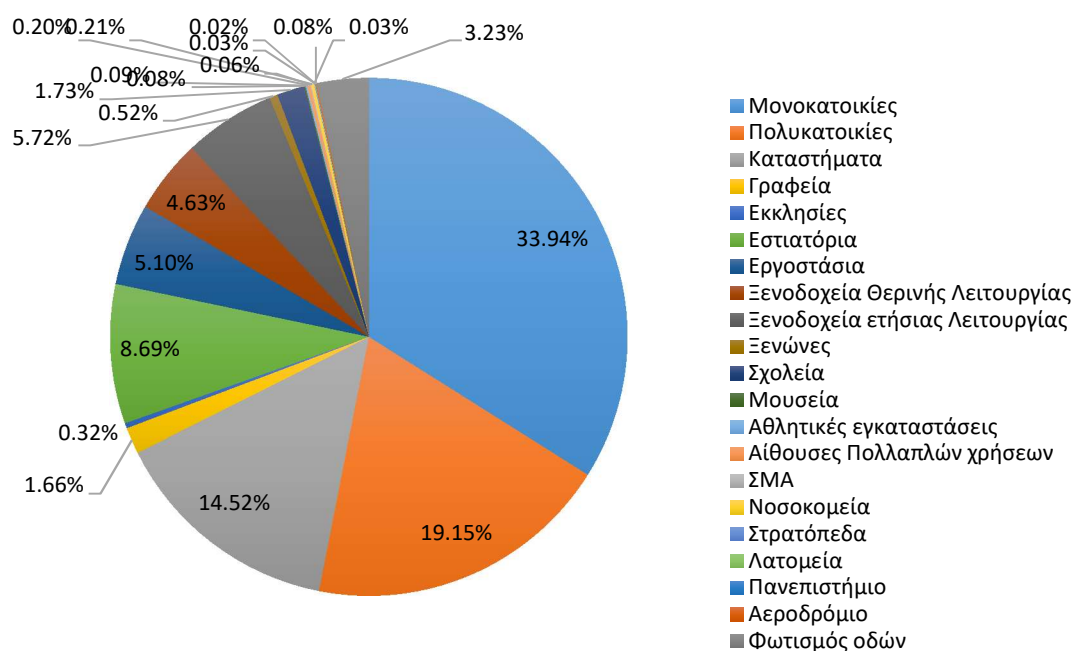


**Διάγραμμα 20:** Ωριαίο προφίλ ζήτησης ισχύος στις 14 Αυγούστου

Ο οικιακός τομέας καταναλώνει ετησίως τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε σύγκριση με τους άλλους τομείς ενεργειακών καταναλώσεων. Το συνολικό ποσό και το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται ετησίως ανά κατηγορία, όπως προέκυψε από τη μοντελοποίηση, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα και διάγραμμα αντίστοιχα.

Κατηγορία κτιρίων	Ετήσια ηλ. κατανάλωση (MWh)
Κατοικία	99830,98
Πολυκατοικία	56346,82
Καταστήματα ετήσιας λειτουργίας	42712,16
Γραφεία-Ιατρεία	4882,72
Μοναστήρια-Εκκλησίες	939,36
Εστιατόρια	25580,57
Βιομηχανία-Εργοστάσια	15019,68
Ξενοδοχείο-Θερινής λειτουργίας	13611,34
Ξενοδοχείο-Ετήσιας λειτουργίας	16831,09
Ξενώνας-Θερινής λειτουργίας	1523,03
Σχολεία	5093,50
Μουσεία	249,92
Αθλητικές Εγκαταστάσεις	263,71
Αίθουσες πολλαπλών χρήσεων	577,21
Σταθμός μεταμόρφωσης αποβλήτων	164,55
Νοσοκομείο-Κέντρα υγείας	608,54
Στρατόπεδα	98,37
Λατομεία	83,17
Πανεπιστήμιο	54,65
Αεροδρόμιο	249,93
<b>Σύνολο</b>	<b>294211.30</b>

Πίνακας 5: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας στο κτιριακό τομέα της Λέσβου



Διάγραμμα 22: Ποσοστιαία κατανομή ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης στο κτιριακό τομέα της νήσου Λέσβου

### 3.7 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης, αρχικά διαπιστώνουμε ότι η καταγραφή του κτιριακού αποθέματος της Λέσβου ήταν έγκυρη καθώς η ωριαία ζήτηση ισχύος για το 2017 που προέκυψε, προσέγγισε σε ικανοποιητικό βαθμό τα πραγματικά δεδομένα (βλ. Διάγραμμα 17). Επιπλέον, πετυχαίνοντας το στόχο αυτό επαληθεύτηκε και η ορθότητα της μεθοδολογίας της μοντελοποίησης. Κατά τη διαδικασία των προσομοιώσεων απαιτήθηκε μεγάλος αριθμός διορθώσεων, τροποποιήσεων και συγκρίσεων με πραγματικά δεδομένα, έτσι ώστε να προσεγγίσουμε την πραγματική εικόνα της Λέσβου. Με την ενσωμάτωση της γλώσσας προγραμματισμού R, εξοικονομήθηκε αρκετός χρόνος κατά τη διαδικασία εκτέλεσης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι το EnergyPlus αποτελεί ένα αξιόπιστο και εύχρηστο πρόγραμμα, για την μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης του νησιού.

Τα αποτελέσματα για την ενεργειακή κατανάλωση μιας τυπικής κατοικίας της Λέσβου συμφωνούν με τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ. Οι ανάγκες για θερμική κατανάλωση είναι σημαντικά ψηλότερες από ότι για ηλεκτρική. Ωστόσο, όσο αφορά τα υπόλοιπα κτίρια, παρατηρήθηκε σημαντική απόκλιση στα αποτελέσματα της θερμικής κατανάλωσης με τα πραγματικά δεδομένα. Όπως προαναφέρθηκε, αυτό οφείλεται κυρίως στην αδυναμία του προγράμματος να προσομοιώσει τα συστήματα θέρμανσης που συναντώνται στα ελληνικά κτίρια. Από την άλλη, η προσομοίωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης των κτιρίων έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα τα οποία ανταποκρίνονται στα πραγματικά δεδομένα.

Αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η οποία συνδέεται με την έντονη τουριστική δραστηριότητα του νησιού. Η ημερήσια ζήτηση ισχύος παρουσιάζει την ίδια διακύμανση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ανεξαρτήτως εποχής.

Ο οικιακός τομέας μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη μείωση των αιχμών ζήτησης, δεδομένου ότι η κατανάλωση ενέργειας σε αυτόν αφορά το 53% περίπου της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ενέργειας του νησιού και τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικά. Οι αιχμές φορτίου παρατηρούνται κυρίως κατά τις μεσημεριανές και βραδινές ώρες. Το προφίλ αυτό είναι χαρακτηριστικό για την μέση κατοικία όπου τα φορτία ακολουθούν τις συνήθειες – υποχρεώσεις της σύγχρονης ελληνικής οικογένειας. Κατά συνέπεια, κρίνεται εύλογο να ληφθούν μέτρα και να εφαρμοστούν τεχνικές οι οποίες στοχεύουν στην ομαλοποίηση της καμπύλης ζήτησης του οικιακού τομέα. Τέτοιες τεχνικές παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.



# 4

## *Διαχείριση ζήτησης φορτίου (Demand side management)*

Ο διαχειριστής ζήτησης ενέργειας έχει ως αρμοδιότητα τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ της ζήτησης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, περισσότερη ισχύς απαιτείται όταν η ζήτηση του φορτίου είναι σε αιχμή. Μια σημαντική λειτουργία ενός έξυπνου δικτύου είναι η διαχείριση της ζήτησης φορτίου, η οποία βοηθά τους φορείς παροχής ενέργειας να μειώσουν τη ζήτηση αιχμής και ως εκ τούτου να μειωθεί και το λειτουργικό κόστος, με στόχο τη λειτουργία του συστήματος με αυξημένη βιωσιμότητα[17]. Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει μια τεχνική μετατόπισης φορτίου που εφαρμόζεται στο οικιακό τομέα και χειρίζεται συγκεκριμένες ελεγχόμενες συσκευές. Η διαχείριση της ζήτησης διαμορφώνεται ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης του οποίου η λύση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μαθηματικό προγραμματισμό[17][18][19][20]. Συγκεκριμένα, εξετάζονται δύο σενάρια μετατόπισης φορτίου, των οποίων οι αλγόριθμοι εφαρμόζονται στα δεδομένα της Λέσβου όπως προέκυψαν από την μοντελοποίηση.

### *4.1 Εισαγωγή*

Όπως διαπιστώθηκε στο κεφάλαιο 3 η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της μέρας. Η κάλυψη της ζήτησης, ειδικότερα κατά τις ώρες αιχμής, αποτελεί μια πρόκληση για τους διαχειριστές ηλεκτρικής ενέργειας[21]. Η συνεχής αύξηση του φορτίου αιχμής αυξάνει την πιθανότητα διακοπής ρεύματος (black out) και το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σταθμός παραγωγής από την πλευρά του, για να χειριστεί τις πιέσεις φορτίου, αυξάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μονάδων παραγωγής που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα και επηρεάζουν, μεταξύ άλλων, το περιβάλλον και τη μελλοντική προσφορά ενέργειας. Οι ντίζελ γεννήτριες είναι οι πιο

συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μονάδες για την κάλυψη της ζήτησης αιχμής σε μεμονωμένα συστήματα ενέργειας, όπως της Λέσβου, για λόγους διαθεσιμότητας, αποδοτικότητας, αξιοπιστίας, ευελιξίας και ασφάλειας[22]. Ωστόσο, αυτός ο τύπος μονάδων ηλεκτροπαραγωγής διαθέτει δαπανηρή λειτουργία και υψηλό κόστος συντήρησης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα νησιά στοιχίζει πολύ περισσότερο από αυτήν στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Παρόλα αυτά το κόστος δεν περνά στους καταναλωτές λόγω της ενιαίας τιμής. Η ΡΑΕ θεωρεί ότι το οριακό κόστος παραγωγής ενέργειας στο νησιωτικό σύστημα είναι 128 €/MWh. Εκτός από τις οικονομικές επιπτώσεις, η παραγωγή και η χρήση των ντίζελ γεννητριών οδηγεί σε απελευθέρωση πολλών εκπομπών στο περιβάλλον. Οι Cackette και Lloyd [23] απαριθμούν τις εκπομπές που παράγονται κατά την καύση του ντίζελ ως:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)
- Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)
- Σωματιδιακό υλικό (PPT)
- Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)
- Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)
- Βαριά μέταλλα (HM)

Λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες της ΕΕ για την ενέργεια και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η ΔΕΗ έχει προβλέψει 55% αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί έως το 2020, η οποία απαιτεί την πρόσθετη παραγωγή ενέργειας 3,62TWh ετησίως[24]. Το σημερινό δίκτυο διανομής της Λέσβου δεν θα έχει την ικανότητα να αντιμετωπίσει αυτά τα μελλοντικά φορτία αιχμής. Η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς χρήστες μειώνει σοβαρά την αξιοπιστία και την ασφάλεια της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και προκαλεί πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον, αποτελώντας ένα σημαντικό πρόβλημα για τους διαχειριστές[13]. Η παραδοσιακή μέθοδος αντιμετώπισης της διαθεσιμότητας ενέργειας, κατά τις περιόδους αιχμής, ήταν η τοποθέτηση περισσότερων καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, σύγχρονες τεχνολογίες όπως η διεσπαρμένη παραγωγή, τα ηλεκτρικά οχήματα, η αποθήκευση ενέργειας και η διαχείριση της ζήτησης ενέργειας (DSM) αλλάζουν ολόκληρο το ενεργειακό μας σύστημα, γεγονός που μπορεί να κάνει την παραδοσιακή μέθοδο ούτε το μοναδικό, αλλά ούτε και τον πιο αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος[25]. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική μετατόπισης φορτίου (load shifting) της DSM για τον οικιακό τομέα, λόγω του ότι παρουσιάζει καλές δυνατότητες για τη μείωση των φορτίων αιχμής.

## 4.2 Πλεονεκτήματα μείωσης αιχμών φορτίου

Τα πλεονεκτήματα της μείωσης των αιχμών φορτίου μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Οφέλη για το διαχειριστή του δικτύου
- Οφέλη για τον τελικό χρήστη
- Μείωση εκπομπών άνθρακα

### 4.2.1 Οφέλη για το διαχειριστή του δικτύου

#### Ποιότητα ενέργειας

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές του δικτύου είναι να διατηρηθεί μια ισορροπία μεταξύ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της ζήτησης. Αυτές οι τεχνικές εστιάζουν ιδιαίτερα στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού προφίλ ζήτησης, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητα ισχύος.

#### Αποτελεσματική χρήση ενέργειας

Ο συντελεστής φορτίου (ΣΦ) είναι μια χρήσιμη ένδειξη για τη μέτρηση της μεταβλητότητας της κατανάλωσης σε ένα δίκτυο. Καθορίζει πόσο αποτελεσματικά καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια. Ένας χαμηλός συντελεστής φορτίου σημαίνει ότι το φορτίο είναι πολύ μεταβλητό. Ο ΣΦ ορίζεται ως[26]:

$$LF(\%) = \frac{P_{AVG}}{P_{Peak}} \quad (4.1)$$

όπου  $LF$  είναι συντελεστής φορτίου, ο  $P_{AVG}$  είναι η μέση πραγματική ζήτηση ισχύος και  $P_{Peak}$  είναι η πραγματική ζήτηση ισχύος.

Από την εξίσωση διαπιστώνεται ότι υψηλός ΣΦ έχει χαμηλό ενεργειακό κόστος, επομένως η βελτίωση του συντελεστή φορτίου καθίσταται υποχρεωτική.

#### Αποδοτικότητα του συστήματος

Για να μετρηστεί το φορτίο αιχμής, το ρεύμα παροχής πρέπει να αυξηθεί σημαντικά. Ωστόσο, η αύξηση του ρεύματος παροχής θα μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος, καθώς το ρεύμα συνδέεται μη γραμμικά με την απώλεια ισχύος[27]. Η απώλεια ισχύος μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$P_{LOSS} = I^2 \times R \quad (4.2)$$

όπου,  $P_{LOSS}$  είναι απώλεια ισχύος,  $I$  είναι το ρεύμα που ρέει μέσω της γραμμής μεταφοράς και  $R$  είναι ωμική αντίσταση στη γραμμή μεταφοράς.

Καθώς η απώλεια ισχύος είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του ρεύματος, είναι απαραίτητο να μειωθεί το ρεύμα παροχής μειώνοντας την αιχμή της ζήτησης για τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος.

#### Μείωση κόστους

Γενικά, το ηλεκτρικό δίκτυο δεν διαθέτει σύστημα αποθήκευσης. Ως εκ τούτου, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν πρέπει να υπερβαίνει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφορετικά, η σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξήσει το κόστος παραγωγή. Τυπικά ένα ηλεκτρικό δίκτυο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να καλύψει τη μέγιστη ζήτηση. Δεδομένου ότι η αιχμή εμφανίζεται περιστασιακά, δεν είναι οικονομικά εφικτό να σχεδιαστεί ένα σύστημα πολύ υψηλότερο από την απαιτούμενη ζήτηση. Η μείωση αιχμών θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος, επομένως, ο διαχειριστής του δικτύου θα μειώσει το κόστος των καυσίμων και το κόστος συντήρησης. Επιπλέον, η μείωση αιχμών θα εξασφαλίσει αποτελεσματικότερη χρήση συστήματος μεταφοράς και διανομής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, αναβολή της αναβάθμισης του συστήματος και παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού του συστήματος.

#### **4.2.2 Οφέλη για τον τελικό χρήστη**

Όπως προαναφέρθηκε, για την κάλυψη της αιχμής ζήτησης απαιτείται να τεθούν σε λειτουργία εφεδρικές ντίζελ γεννήτριες (peaking generators). Η εγκατάσταση νέων μετρητών, που καταγράφουν την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, σε τακτά χρονικά διαστήματα παρέχει την δυνατότητα για καλύτερη προσαρμογή των τιμών στο κόστος παραγωγής. Από τη μια ο διαχειριστής θα μπορεί να διαφοροποιήσει τις τιμές ανάλογα με το λειτουργικό κόστος και από την άλλη ο καταναλωτής θα μπορεί να επωφεληθεί οικονομικά, παρακολουθώντας την διακύμανση των τιμών και αλλάζοντας τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των συσκευών από την περίοδο αιχμής (όταν η τιμή ανά kWh είναι υψηλή) στην περίοδο εκτός αιχμής (όταν η τιμή ανά kWh είναι χαμηλή). Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνεται, είτε αυτόματα, με τη χρήση των μελλοντικών έξυπνων συσκευών, είτε με το χειρισμό του ίδιου του χρήστη. Η μείωση των αιχμών προσφέρει επίσης κάποια μη οικονομικά πλεονεκτήματα για τους τελικούς χρήστες, όπως η βελτιωμένη αξιοπιστία και η ποιότητα ενέργειας.

#### **4.2.3 Μείωση εκπομπών άνθρακα**

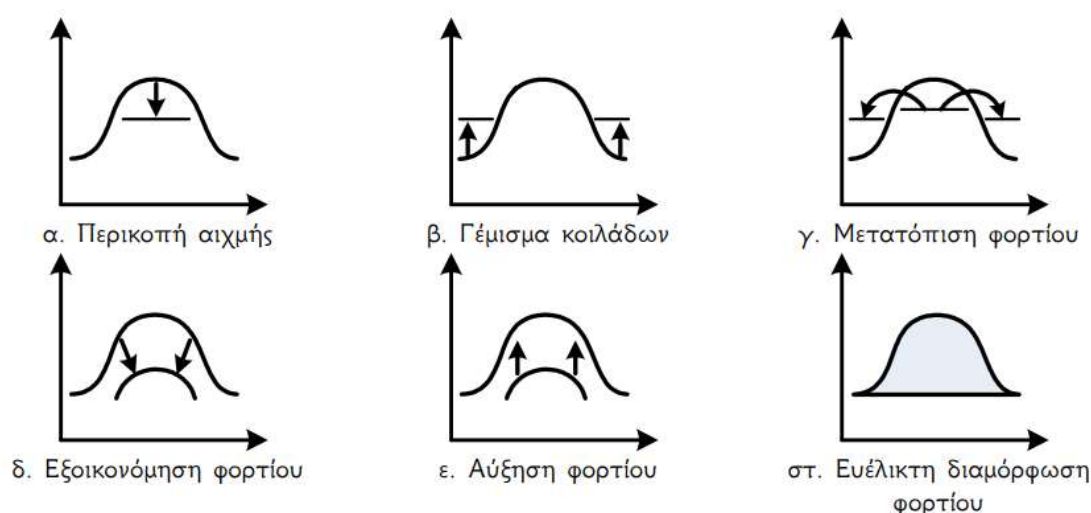
Για την αντιμετώπιση της ζήτησης αιχμής, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας καταναλώνουν επιπλέον καύσιμα (λόγω της αυξανόμενης λειτουργίας των εφεδρικών γεννητριών με πολλαπλές εκκινήσεις και διακοπές), με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι εκπομπές άνθρακα. Η μείωση των αιχμών θα διασφαλίσει την αποτελεσματικότερη λειτουργία των σταθμών



παραγωγής ενέργειας και θα μειώσει τη μεταβλητότητα του φορτίου. Αυτό θα μειώσει τις εκπομπές άνθρακα.

### 4.3 Τεχνικές DSM

Τα προγράμματα DSM γενικά περιλαμβάνουν πολιτικές και μέτρα, που προσπαθούν να ελέγξουν, να επηρεάσουν και να μειώσουν την ποσότητα και τον τρόπο που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια, από την πλευρά της ζήτησης. Τα προγράμματα DSM χρησιμοποιούν συνήθως διάφορες τεχνικές, όπως περικοπή αιχμής, γέμισμα κοιλάδων, μετατόπιση φορτίου, εξοικονόμηση φορτίου, αύξηση φορτίου και ευέλικτη διαμόρφωση φορτίου[28].



**Εικόνα 21:** Διαμόρφωση καμπύλης ανάλογα με το είδος της επιθυμητής μεταβολής

- α. Περικοπή αιχμής (peak clipping): αποτελεί μία από τις κλασικές μορφές διαχείρισης φορτίου. Ουσιαστικά περιλαμβάνει τον άμεσο έλεγχο του φορτίου (direct load control) από την εταιρεία ηλεκτρισμού ώστε να μειωθεί το λειτουργικό κόστος του συστήματος.
- β. Γέμισμα κοιλάδων (valley filling): πρόκειται για την ενίσχυση του φορτίου κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης. Επιδιώκεται η υλοποίησή του όταν το μακροχρόνιο διαφορικό κόστος είναι μικρότερο από τη μέση τιμή της ενέργειας.
- γ. Μετατόπιση φορτίου (load shifting): περιλαμβάνει την μετατόπιση μέρους του φορτίου από τις ώρες αιχμής στις ώρες εκτός αιχμής. Επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου συσκευών που μπορούν να προσφέρουν κάποιο είδος αποθήκευση της ενέργειας (π.χ. θερμοσίφωνες, θέρμανση/ψύξη εσωτερικών χώρων).
- δ. Εξοικονόμηση φορτίου (strategic conservation): εδώ όχι μόνο αλλάζει η μορφή της καμπύλης ζήτησης, αλλά μειώνεται και ο συνολικός όγκος των πωλήσεων ως αποτέλεσμα

σχετικών προγραμμάτων που προωθεί η εταιρεία ηλεκτρισμού, για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ. χρήση ηλεκτρικών συσκευών υψηλής ενεργειακής κλάσης, αντικατάσταση κοινών λαμπτήρων από λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας κ.λπ.).

ε. Αύξηση φορτίου (strategic load growth): μπορεί να είναι αποτέλεσμα της στρατηγικής της εταιρείας ηλεκτρισμού, για διεύρυνση του πελατολογίου της είτε της φυσιολογικής αύξησης του φορτίου (είτε λόγω αύξησης του πληθυσμού, είτε λόγω εξηλεκτρισμού νέων δραστηριοτήτων, όπως π.χ. η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων).

στ. Ευέλικτη διαμόρφωση φορτίου (flexible load shape): σχετίζεται με τη βελτίωση στην αξιοπιστία του συστήματος που επιδιώκεται μέσω διαφόρων προγραμμάτων παροχής υπηρεσιών, όπως διακοπτόμενα/περικοπτόμενα φορτία, διαχείριση φορτίου ατομικά ή κατά ομάδες. Σε αυτά τα προγράμματα μπορούν να συμμετέχουν εθελοντικά οι καταναλωτές λαμβάνοντας ανάλογη αποζημίωση.

Ειδικά για την περίπτωση της περικοπής αιχμής (δηλαδή της απόρριψης φορτίου κατά τις ώρες που το σύστημα αδυνατεί να ανταπεξέλθει στην υψηλή ζήτηση), ο τρόπος που εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα δεν επιτρέπει την προαιρετική συμμετοχή των ενδιαφερόμενων καταναλωτών. Καθώς όμως, οι εταιρείες αποκτούν σταδιακά ένα περισσότερο πελατοκεντρικό προφίλ, προκειμένου να βελτιώσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες προς τους πελάτες τους, τα προγράμματα διαχείρισης ζήτησης που υλοποιούν περιλαμβάνουν στόχους όπως οι παραπάνω, αλλά με παροχή κατάλληλων κινήτρων για ενίσχυση της εθελοντικής συμμετοχής των πελατών τους.

Πλέον οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν αν θα συμμετάσχουν σε προγράμματα που επιτρέπουν την ευελιξία στην πλευρά της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και επιφέρουν αλλαγές, όπως αυτές που παρουσιάστηκαν παραπάνω, στην καμπύλη φορτίου. Αυτή η ικανότητα των καταναλωτών να ανταποκρίνονται σε εναύσματα βάσει αξιοπιστίας (reliability trigger) ή τιμής (price trigger), που τους προσφέρονται από τον προμηθευτή τους ή από το Διαχειριστή του Δικτύου, με μείωση ή μετατόπιση του φορτίου τους, περιγράφεται ως «απόκριση ζήτησης» (demand response-DR)[29].

Η διαχείριση φορτίου (ΔΦ) ή απόκριση ζήτησης μπορεί να είναι δύο ειδών :

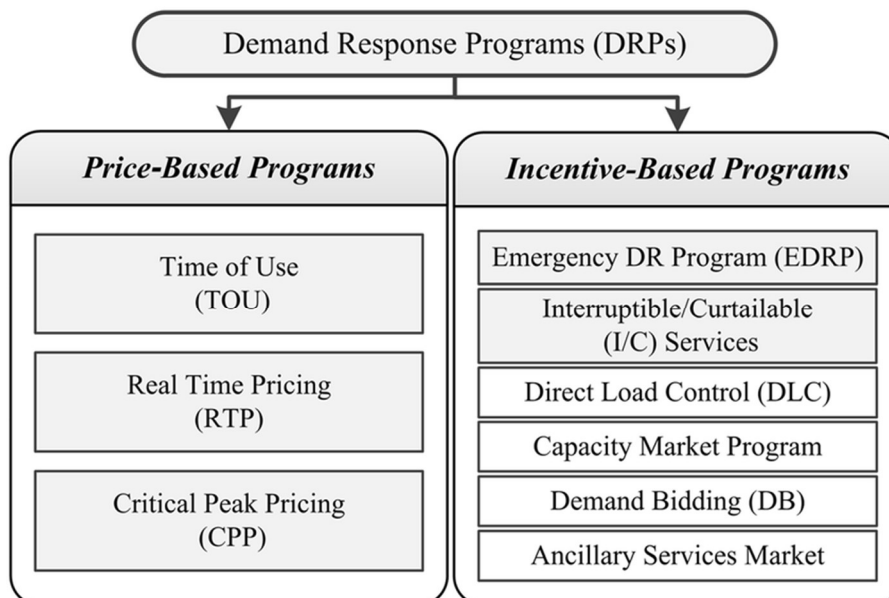
1. Κατανεμημένη (dispatchable) ή βάσει κινήτρων (incentive-based) ή βάσει αξιοπιστίας (reliability-triggered) ή άμεση: περιλαμβάνει προγραμματισμένες αλλαγές στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελούν αντικείμενο συμφωνίας μεταξύ του πελάτη και του προμηθευτή.

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- i. άμεσος έλεγχος φορτίων (direct load control),
  - ii. διακοπές/περικοπές φορτίων (interruptible/curtailable rates),
  - iii. προσφορές ζήτησης (demand bidding/buyback programs),
  - iv. προγράμματα απόκρισης ζήτησης εκτάκτων καταστάσεων,
  - v. προγράμματα συμμετοχής στην αγορά ισχύος (capacity market programs),
  - vi. προγράμματα παροχής επικουρικών υπηρεσιών (ancillary services market programs).
2. Μη κατανεμημένη (non-dispatchable) ή βάσει τιμών (price-based) ή έμμεση: δεν υποχρεώνει τον πελάτη να συμμορφωθεί με κάποια συμφωνία, η συμμετοχή του είναι προαιρετική και εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τις προσωπικές του προτιμήσεις. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση είναι οι τιμές, το επίπεδο των οποίων μεταβάλλεται. Για το λόγο αυτό καλείται και έμμεση.

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- i. τιμολόγηση με χρονική διαφοροποίηση τιμών (time-of-use pricing - TOU pricing),
- ii. τιμολόγηση κρίσιμων αιχμών (critical-peak pricing - CPP),
- iii. τιμολόγηση πραγματικού χρόνου (real-time pricing - RTP).

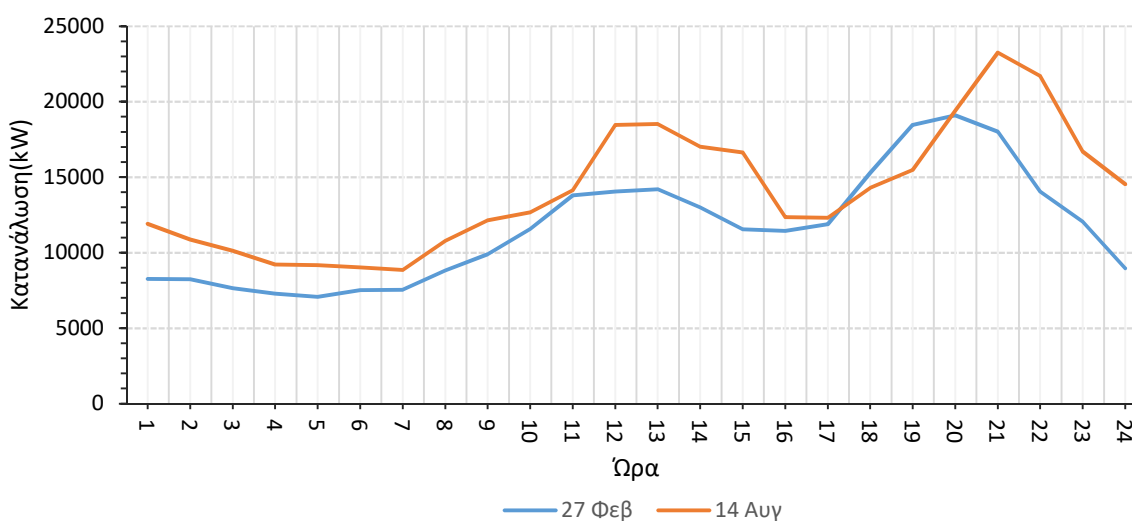


**Εικόνα 22:** Ταξινόμηση των προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης

#### 4.4 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό τομέα

Καθώς το 55% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Λέσβο σχετίζεται με τα νοικοκυριά, όπως προέκυψε από την μοντελοποίηση, κρίνεται αναγκαίο να θεσπιστούν πολιτικές και τεχνικές για τη μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης και τη βελτίωση της τελικής χρήσης. Η κατανάλωση ενέργειας εντός μιας κατοικίας εξαρτάται από το μέγεθος της οικογένειας, το κλίμα, την ιδιοκτησία συσκευών, τον τρόπο ζωής, τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός σπιτιού και της ανθρώπινης ενέργειας. Στα πλαίσια της μοντελοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης της Λέσβου έγινε η παραδοχή ότι όλες οι κατοικίες έχουν την ίδια ενεργειακή συμπεριφορά. Επίσης η ηλεκτρική κατανάλωση χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες, το φωτισμό, τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και το σύστημα κλιματισμού. Στη ενότητα αυτή γίνεται εκτενής ανάλυση του ηλεκτρικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται εντός μιας τυπικής κατοικίας της Λέσβου. Η κατανομή και ο προγραμματισμός του φορτίου θα βοηθήσει τους διαχειριστές να κατανοήσουν την ενεργειακή κατανάλωση λόγω των οικιακών συσκευών, ώστε να εφαρμοστεί η κατάλληλη τεχνική διαχείρισης της ζήτησης.

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας στο σύνολο των κατοικιών της Λέσβου, για δύο διαφορετικές μέρες του χρόνου. Είναι φανερό, ότι παρουσιάζεται αυξημένη ζήτηση ισχύος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρά το χειμώνα, που αντικατοπτρίζει την εκτεταμένη χρήση των συσκευών ψύξης εντός των κατοικιών. Επίσης παρατηρούμε ότι η διακύμανση κατά τη διάρκεια των δύο ημερών ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο, δηλαδή αυξημένη ζήτηση ενέργειας κατά τις μεσημεριανές και τις βραδινές ώρες και μειωμένη ζήτηση ενέργειας κατά τις πρώτες πρωινές (12:00 έως 7:00). Η μέση τιμή των ατόμων ανά νοικοκυριό είναι 2,7 άτομα και υπολογίστηκε ότι στο σύνολο τα νοικοκυριά καταναλώνουν περίπου 280MWh ημερησίως το χειμώνα, 339MWh ημερησίως το καλοκαίρι και 99.8GWh ετησίως.



**Διάγραμμα 23:** Ωριαίο προφίλ ζήτησης ισχύος στις 27 Φεβ και 14 Αυγ για το σύνολο των κατοικιών

#### 4.4.1 Ηλεκτρικές οικιακές συσκευές

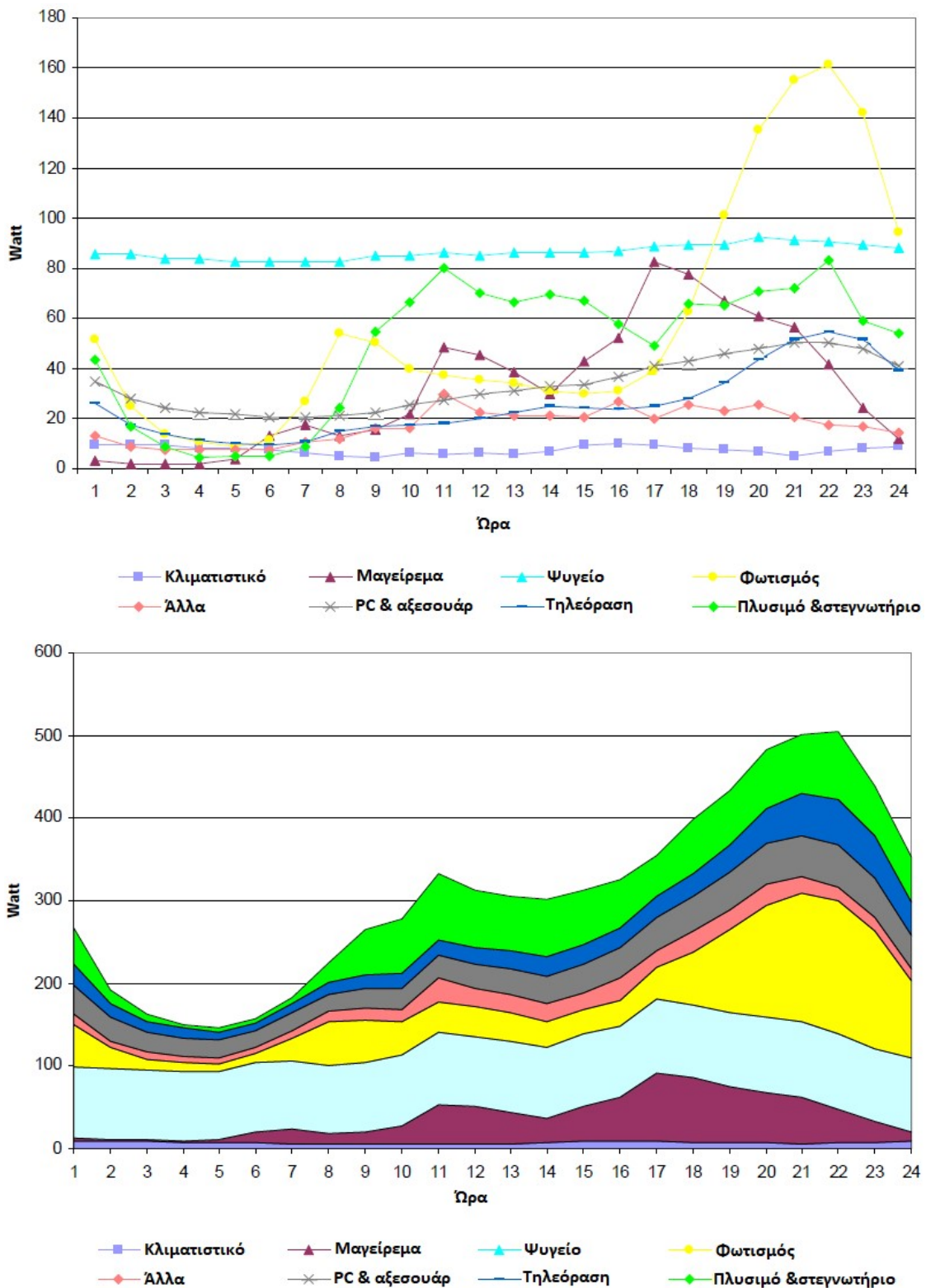
Οι οικιακές συσκευές είναι η πηγή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από το νοικοκυριό. Ένα νοικοκυριό έχει διαφορετικούς τύπους συσκευών, το καθένα με διαφορετική ζήτηση ισχύος, χρόνο εκτέλεσης και αριθμό χρήσεων. Η έρευνα του προγράμματος REMODECE είχε σαν στόχο, να καταγράψει τις οικιακές συσκευές με υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας[30]. Έγιναν μετρήσεις σε 12 ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένου της Ελλάδας, για τουλάχιστον 100 νοικοκυριά ανά χώρα. Ορισμένα αποτελέσματα από τις εκστρατείες μέτρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Συσκευή	Ποσοστό κατοχής	Ετήσια μέση κατανάλωση ανά νοικοκυριό(kWh)
Φορτιστές	100%	13
Ψυγείο χωρίς κατάψυξη	35%	134
Ψυγείο με κατάψυξη	79%	355
Καταψύκτης	50%	269
Σίδερο	95%	124
Πλυντήριο ρούχων	94%	174
Στεγνωτήριο ρούχων	32%	110
Πλυντήριο πιάτων	61%	142
Επιτραπέζιος υπολογιστής	79%	218
Laptop	42%	23
Ρούτερ ίντερνετ	48%	28
Εκτυπωτής	67%	22
TV CRT	93%	114
Κλιματιστικό ψύξης	60%	63
Ηλεκτρικός φούρνος	80%	241
Φούρνος μικροκυμάτων	67%	22
Βραστήρας νερού	50%	35
Ηλεκτρική σκούπα	100%	65
Λάμπες	100%	487
<b>Συνολική κατανάλωση</b>		<b>2639</b>

Πίνακας 6: Μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά συσκευή και νοικοκυριό

Στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης η κατανάλωση των βασικών οικιακών συσκευών, δηλαδή η καμπίλη φορτίου και η μέγιστη ισχύς, είναι σχεδόν γνωστά. Οι συμβατικές οικιακές συσκευές περιλαμβάνουν θερμοσίφωνες, συστήματα ψύξης, πλυντήρια, στεγνωτήρια, ηλεκτρικές κουζίνες και φωτισμό. Ως ένα παράδειγμα των διαθέσιμων

δεδομένων, τα σχήματα του διαγράμματος 4 δείχνουν τις καμπύλες φορτίου για τις οικιακές συσκευές, σε μια κανονική ημέρα εργασίας[30].



**Διάγραμμα 24:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ομάδα συσκευών για ένα τυπικό νοικοκυριό σε μια κανονική ημέρα

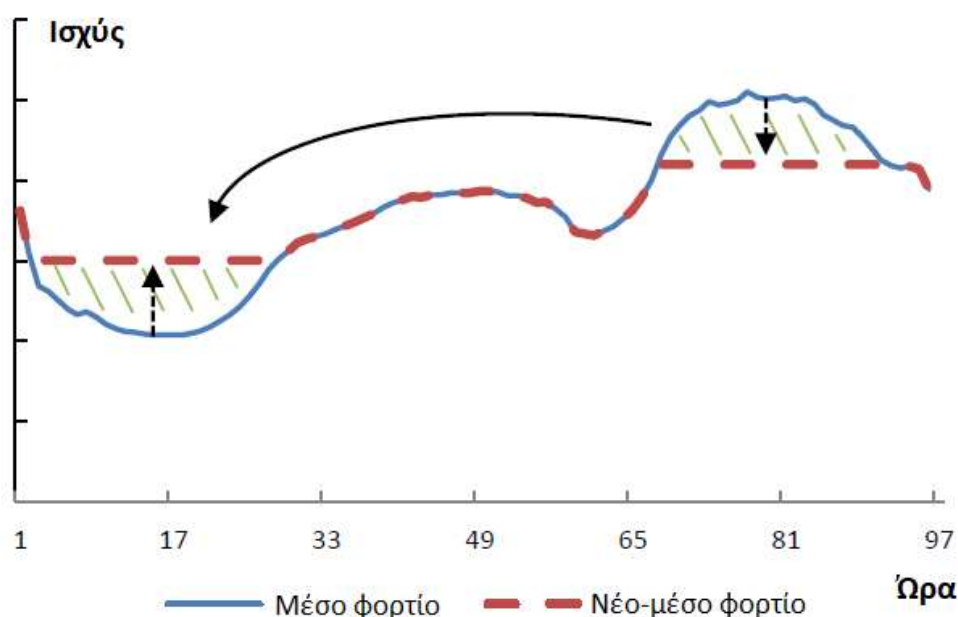
Ορισμένες από αυτές τις συσκευές μπορούν να προγραμματιστούν σε περιόδους με χαμηλότερη ζήτηση φορτίου. Ωστόσο, δεν είναι κάθε συσκευή κατάλληλη για διαχείριση ή προγραμματισμό. Επομένως, τα οικιακά φορτία μπορούν να χωριστούν σε ευέλικτες συσκευές και σε σταθερές συσκευές[19].

Σταθερές συσκευές: Αυτές οι συσκευές δεν μπορούν να διαχειριστούν. Απαιτούν να λειτουργούν συγκεκριμένη ώρα της μέρας και η μετατόπιση τους δεν είναι εφικτή, π.χ. όταν ενεργοποιούνται τα φώτα, πρέπει να λειτουργούν άμεσα και να μην προγραμματίζονται αργότερα. Δεδομένου ότι αυτές οι συσκευές δεν είναι ευέλικτες, η ατομική λειτουργία και η ζήτησή τους δεν παρουσιάζουν περαιτέρω ενδιαφέρον. Δεν απαιτούνται να προσομοιωθούν μεμονωμένα και ως εκ τούτου θα θεωρηθούν ως μία μονάδα. Η ζήτηση των σταθερών φορτίων είναι η συνδυασμένη ζήτηση όλων των μη ευέλικτων συσκευών.

Ευέλικτες συσκευές: Αυτοί οι τύποι φορτίων μπορούν να μετατοπιστούν ή να προγραμματιστούν οποιαδήποτε άλλη στιγμή. Η δυνατότητα μετατόπισης συνδέεται άμεσα με τις ανάγκες και την άνεση του καταναλωτή.

#### 4.5 Μετατόπιση φορτίου (load shifting)

Τα προγράμματα μετατόπισης φορτίου προσπαθούν να μεταφέρουν ευέλικτες οικιακές συσκευές, από περιόδους αιχμής, σε περιόδους εκτός αιχμής. Αυτές οι λειτουργίες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ημερήσιο επίπεδο, αλλά και σε μικρότερες κλίμακες χρόνου, όπως οι ωριαίες περίοδοι.



Εικόνα 23: Τεχνική μετατόπισης φορτίου

Η ενθάρρυνση των καταναλωτών να μεταφέρουν το φορτίο τους γίνεται με (1) Έμμεσο έλεγχο φορτίου ή (2) Άμεσο έλεγχο φορτίου.

#### 1. Έμμεσος έλεγχος φορτίου - Indirect Load Control (ILC)

Τα προγράμματα έμμεσου ελέγχου απαιτούν από τους καταναλωτές να αλλάζουν μόνοι τους την καταναλωτική τους συμπεριφορά [31]. Ο καταναλωτής είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των οικιακών φορτίων και όχι εξωτερικοί παράγοντες όπως ο διαχειριστής δικτύου ή κάποια ηλεκτρονική υπηρεσία. Για παράδειγμα, μια ηλεκτρονική υπηρεσία ανταλλαγής μηνυμάτων, μπορεί να προειδοποιεί τον καταναλωτή για την εμφάνιση αιχμών φορτίου και να επιδεικνύει τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, για να πείσει τους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωσή τους απενεργοποιώντας μη βασικές συσκευές[32].

#### 2. Άμεσος έλεγχος φορτίου - Direct Load Control (DLC)

Ο έλεγχος άμεσου φορτίου ή αυτόματη μετατόπιση φορτίου απαιτεί από τους καταναλωτές να κατέχουν έξυπνο εξοπλισμό και μια υποδομή επικοινωνίας[31] που επιτρέπει τη χρήση έξυπνων συστημάτων, π.χ. έξυπνων μετρητών και έξυπνων συσκευών που επικοινωνούν μέσω διαφόρων μέσων όπως Broadband over Power Line (BPL), Internet, WiFi, Bluetooth, κλπ[21]. Όταν τα νοικοκυριά επιτρέπουν DLC, τα καταναλωτικά φορτία μπορούν να είναι: (i) προγραμματισμένα, (ii) διακοπτόμενα και (iii) αλληλουχίας.

- i. Προγραμματισμός: Οι συσκευές μπορούν να προγραμματιστούν για περιόδους εκτός αιχμής. Όχι μόνο μέρα σε μέρα, αλλά και σε ωριαία βάση.
- ii. Διακοπή: Κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, οι συσκευές μπορούν να διακόπτονται για να μειωθεί η κατανάλωση. Οι συσκευές θα επαναλειτουργήσουν όταν η ζήτηση μειωθεί π.χ. πλυντήρια πιάτων, κ.λπ.
- iii. Διαδοχή: Συσκευές με πολλαπλή διακοπτόμενη λειτουργία, π.χ. ψύξης ή θέρμανσης, μπορούν να λειτουργούν διαδοχικά ώστε να μειωθεί η αιχμή και να δημιουργηθεί ένα πιο συνεχές φορτίο ζήτησης.

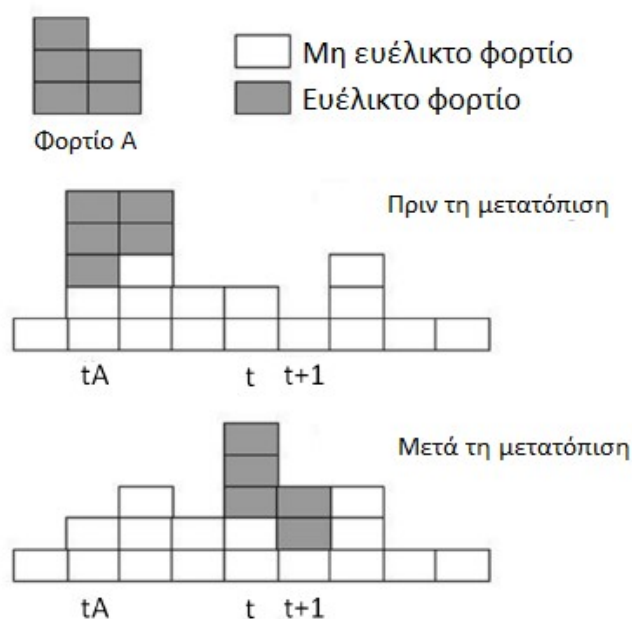
Οι παραδοσιακοί διαχειριστές δικτύου εφαρμόζουν τα προγράμματα DSM, χρησιμοποιώντας κίνητρα για τις τιμές. Μειώνοντας τα τιμολόγια σε περιόδους εκτός αιχμής, οι καταναλωτές ενθαρρύνονται να μετατοπίσουν τα ευέλικτα φορτία τους από τις υψηλότερα τιμολογιακές περιόδους στις χαμηλότερα τιμολογιακές περιόδους. Αν υποθέσουμε ότι το έξυπνο σύστημα επιτρέπει την αυτόματη μέτρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας μπορούν στη συνέχεια να παρέχουν στα νοικοκυριά τιμές βάσει χρόνου και ζήτησης. Αυτό δημιουργεί την ευκαιρία για τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας να χρησιμοποιούν πιο περίπλοκα μοντέλα για να δώσουν κίνητρο στους καταναλωτές όπως η δυναμική τιμολόγηση[33].



Από τη μεγάλη ποικιλία τεχνικών DSM, αυτή η μελέτη εξετάζει προσεκτικότερα τη μετατόπιση φορτίου ως κύρια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον κεντρικό ελεγκτή του έξυπνου δικτύου υπό τον περιορισμό να μην υποβαθμίζεται το επίπεδο άνεσης στο σπίτι. Επίσης έρευνα έδειξε ότι το 70% των νοικοκυριών θα ήταν πρόθυμο να μετατοπίσει μερικά από τα καθημερινά φορτία σε περιόδους εκτός αιχμής[34].

#### 4.5.1 Προτεινόμενη Μεθοδολογία

Σκοπός είναι η μετατόπιση ευέλικτων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών από την προβλεπόμενη ώρα λειτουργίας, έτσι ώστε να πετύχουμε την μείωση των αιχμών φορτίου στη συνολική καμπύλη ζήτησης φορτίου της Λέσβου (Εικόνα 24)[35]. Το σενάριο που εξετάζεται, είναι ο σχεδιασμός ενός νέου χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των οικιακών συσκευών, το οποίο προκύπτει από την προτεινόμενη τεχνική μετατόπισης φορτίου και μπορεί να εφαρμοστεί με τον άμεσο ή έμμεσο τρόπο, όπως παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.5. Δηλαδή το νέο σχεδιάγραμμα θα μπορεί να ακολουθηθεί από τους καταναλωτές, οι οποίοι συμμετέχουν στο πρόγραμμα DSM και είναι πρόθυμοι να αλλάξουν τον τρόπο χρήσης των συσκευών, έχοντας κάποιο οικονομικό όφελος, ή από τον ελεγκτή δικτύου στα πλαίσια της αναβάθμισης των υφιστάμενων δικτύων σε έξυπνα δίκτυα, τα οποία επιτρέπουν την ανταλλαγή του πληροφοριών μεταξύ του ελεγκτή της διαχείρισης της ζήτησης και κάθε συσκευής, κατά τη διάρκεια του πραγματικού χρόνου λειτουργίας. Για παράδειγμα, όταν ένας πελάτης πιάσει το κουμπί ON μιας συσκευής, η αίτηση σύνδεσης αποστέλλεται στον έξυπνο ελεγκτή δικτύου. Ο ελεγκτής ανταποκρίνεται και βάσει του νέου σχεδιαγράμματος είτε θα επιτρέψει την λειτουργία της συσκευής είτε θα προτείνει μια νέα ώρα λειτουργίας.



Εικόνα 24: Μετατόπιση του ευέλικτου φορτίου A

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος προϋποθέτει την ύπαρξη μιας αντικειμενικής καμπύλης φορτίου (στοχευμένη καμπύλη ανάλογα με τον σκοπό της DSM), η οποία καθορίζεται από το διαχειριστή του έξυπνου δικτύου. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος μετατόπισης φορτίου αποτελεί μια τεχνική βελτιστοποίησης, που έχει ως στόχο να φέρει την τελική καμπύλη φορτίου όσο το δυνατόν πιο κοντά στην αντικειμενική καμπύλη φορτίου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός στόχος της στρατηγικής DSM[36]. Για παράδειγμα, αν ο στόχος της διαχείρισης της ζήτησης είναι να μειωθεί το κόστος της ενεργειακής κατανάλωσης, θα επιλεγεί μια αντικειμενική καμπύλη φορτίου που είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας[19]. Γενικά, ο σχεδιασμός του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των οικιακών συσκευών, επομένως και ο καθορισμός της αντικειμενικής καμπύλης, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες, όπως τη μεγιστοποίηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας, την δυνατότητα χρησιμοποίησης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας κλπ.[37]. Στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται δύο σενάρια μετατόπισης φορτίου τα οποία υλοποιούνται με μαθηματικό προγραμματισμό.

#### 4.5.2 Ορισμός μαθηματικού προγράμματος

Μαθηματικός προγραμματισμός (mathematical programming) είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο βρίσκει τις κατάλληλες τιμές των μεταβλητών του προβλήματος, μέσα από ένα επιτρεπτό σύνολο, με στόχο την μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μιας ή περισσότερων συναρτήσεων[38].

Μαθηματικά προγράμματα με  $n$  μεταβλητές και  $m$  περιορισμούς έχουν τη μορφή

$$\text{Maximize or minimize: } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.3)$$

Έτσι ώστε να ισχύουν

$$\begin{aligned} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq \text{ ή } = \text{ ή } \geq b_1 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq \text{ ή } = \text{ ή } \geq b_2 \\ &\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq \text{ ή } = \text{ ή } \geq b_m \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$x \in X, \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.5)$$

Κάθε μία από τις  $m$  σχέσεις περιορισμού περιλαμβάνει ένα από τα τρία σύμβολα  $\leq, =, \geq$ .

Οι πραγματικές συναρτήσεις  $g_i, z: A \rightarrow \mathbb{R}$ , όπου  $A$  κάποιο σύνολο του  $\mathbb{R}^n$ ,  $i=1,2,\dots,m$  και το διάνυσμα  $x \in X$  με  $X$  υποσύνολο του  $\mathbb{R}^n$ .

Η σχέση (4.1) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, δηλαδή την συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή μεγιστοποιηθεί. Οι σχέσεις (4.2) καλούνται περιορισμοί του προβλήματος και η σχέση (4.3) περιορίζει το πρόβλημα στο σύνολο των εφικτών τιμών της μεταβλητής – διάνυσμα  $x$ .

## **4.6 1<sup>ο</sup> Σενάριο εφαρμογής**

Έχοντας στοιχεία για την κατανάλωση κάθε συσκευής ανά νοικοκυριό, γίνεται πρόβλεψη του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των ευέλικτων οικιακών συσκευών εντός της τυπικής κατοικίας τη Λέσβου. Όπως προαναφέρθηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus η ηλεκτρική κατανάλωση των συσκευών καθορίστηκε δηλώνοντας την συνολική εγκατεστημένη ισχύ της κατοικίας και καθορίζοντας τους συντελεστές χρησιμοποίησης για κάθε ώρα. Η συνολική κατανάλωση των σταθερών φορτίων δεν διαχωρίζεται σε επιμέρους συσκευές, καθώς η τεχνική διαχείριση της ζήτησης που εφαρμόζεται αφορά μόνο τη διαχείριση των ευέλικτων συσκευών. Λόγω των περιορισμένων στοιχείων για τα ελληνικά νοικοκυριά, καθώς και στοιχείων παραπλήσιων κλιματικών, κοινωνικών ή οικονομικών συνθηκών με την Ελλάδα χωρών, για την εύρεση ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ευέλικτων συσκευών, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία δύο δημοσιεύσεων που αφορούσαν το Ηνωμένο Βασίλειο και μιας έρευνας του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Η.Β., σε 251 νοικοκυριά για την ηλεκτρική κατανάλωση των οικιακών συσκευών[39]. Για τα δεδομένα αυτά έγινε μια προσπάθεια να τροποποιηθούν με ορισμένες υποθέσεις, ώστε να προσομοιώνουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις συνθήκες στα ελληνικά νοικοκυριά.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο το χρονοδιάγραμμα των ευέλικτων συσκευών και μετατοπίζει τα φορτία ανάλογα με την επιθυμητή αντικειμενική συνάρτηση λαμβάνοντας υπόψη ένα ευέλικτο χρονικό περιθώριο μετατόπισης, έτσι ώστε να μην υποβαθμίζεται το επίπεδο άνεσης στην οικία. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο ελεγχόμενες συσκευές: καφετιέρα και πλυντήριο ρούχων. Η καφετιέρα λειτουργεί συνήθως κατά τη διάρκεια του πρωινού λόγω του τρόπου ζωής των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, ο αλγόριθμος μπορεί να λάβει υπόψη αυτό και να προσπαθήσει να αλλάξει καφετιέρα όσο το δυνατόν νωρίτερα το πρωί. Από την άλλη το πλυντήριο ρούχων δεν έχει τέτοιο περιορισμό και μπορεί να μετατοπιστεί σε μια μεταγενέστερη ώρα της ημέρας.

Στο πίνακα 7 παρουσιάζεται το ωράριο λειτουργίας και το διάστημα ευελιξίας των ευέλικτων οικιακών συσκευών, όπως προβλέφθηκε για την τυπική κατοικία της Λέσβου για μια καλοκαιρινή και μια χειμερινή μέρα.

Συσκευή	Εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας	Ευελιξία μετατόπισης (hr)	Κατανάλωση συσκευής (Watts)
Στεγνωτήριο ρούχων	17:00-18:00	6	2500
Πλυντήριο πιάτων	13:00-14:00	5	1300
Πλυντήριο ρούχων	15:00-16:00	6	500
Ηλεκτρικός φούρνος	11:00-12:00, 17:00-18:00	3	2000
Σίδηρο	18:00-19:00	3	1200
Ηλεκτρική σκούπα	10:00-11:00	6	500
Βραστήρας νερού	21:00-22:00	5	1200
Τοστιέρα	08:00-09:00	5	850
Ηλεκτρικός κουζίνα	12:00-13:00	2	2200
Πιστολάκι μαλλιών	08:00-09:00	1	1000
Καφετιέρα	08:00-09:00	1	1000
Θερμοσίφωνα	20:00-21:00	2	4500
Ηλεκτρική θέρμανση (χειμερινή περίοδο)	19:00-20:00	2	2500
Κλιματιστικό ψύξης (καλοκαιρινή περίοδο)	12:00-15:00, 20:00-23:00	3	1500

**Πίνακας 7:** Ημερήσιος προγραμματισμός χρήσης των ευέλικτων ηλεκτρικών συσκευών

Στο σενάριο αυτό εξετάζονται δύο περιπτώσεις αντικειμενικών καμπύλων. Η πρώτη αντικειμενική καμπύλη επιδιώκει να διαμορφώσει μια ισορροπημένη καμπύλη ζήτησης, μετατοπίζοντας τα φορτία ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια της μέρας. Στην περίπτωση αυτή η τεχνική μετατόπισης επιδιώκει την αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος. Το κίνητρο για τη συμμετοχή των καταναλωτών στο πρόγραμμα DSM μπορεί να είναι μια προσυμφωνημένη οικονομική προσφορά. Σε αυτή την περίπτωση, οι καταναλωτές υποχρεούνται να ανταποκριθούν όταν τους ζητηθεί και σε περίπτωση που δεν το κάνουν, τιμωρούνται με οικονομικές ποινές.

Η δεύτερη αντικειμενική καμπύλη καθορίζεται, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα (Time of use tariff-TOU). Η μετατόπιση των οικιακών συσκευών σε ώρες χαμηλής ζήτησης, θα έχει οικονομικό αντίκτυπο στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος των καταναλωτών, καθώς η τιμή χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερη αυτές τις ώρες. Επομένως με αυτό τον τρόπο δίνεται το οικονομικό κίνητρο σε καταναλωτές να συμμετέχουν σε πρόγραμμα DSM. Αρχικά να αναφέρουμε ότι στην Ελλάδα δεν συναντάμε μεταβλητά τιμολόγια. Οι καταναλώσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του 24ώρου χρεώνονται με δύο τιμές (κανονικής χρέωσης και μειωμένης χρέωσης), ανάλογα με το ωράριο εφαρμογής. Ωστόσο η αντικειμενική καμπύλη καθορίστηκε από τις τιμές που αντλήθηκαν από το πρόγραμμα Power Smart Pricing που εφαρμόζεται στο Illinois της Αμερικής και αποτελεί ένα πρόγραμμα DSM[40]. Το μεταβλητό τιμολόγιο εξετάζεται ως

μια στρατηγική που θα μπορούσε να εφαρμοστεί μελλοντικά στη Λέσβο, στα πλαίσια των έξυπνων δικτύων και θα επηρεάσει τους καταναλωτές στον τρόπο που καταναλώνουν την ενέργεια.

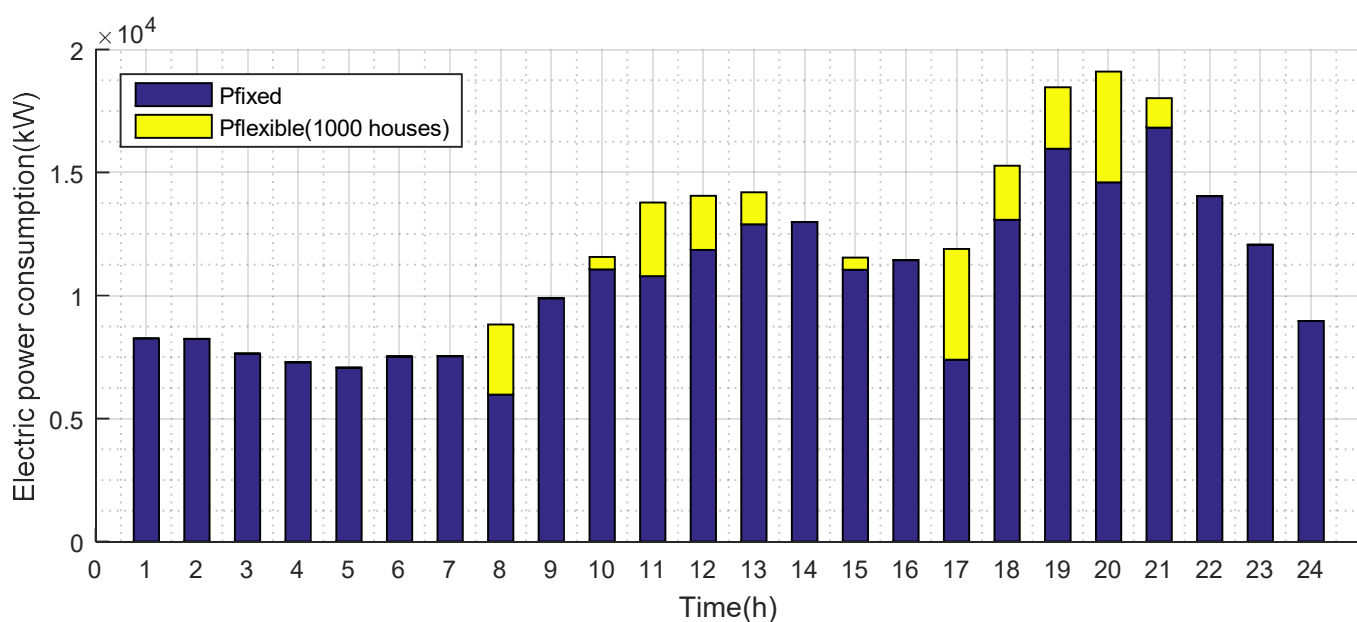
Τα οικιακά προγράμματα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο είναι μια στρατηγική παροχής ηλεκτρικού ρεύματος που προσφέρεται από τις αμερικάνικες εταιρίες Ameren Illinois και την ComEd, στα οποία οι καταναλωτές πληρώνουν τιμές παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που μεταβάλλονται ανά ώρα. Σε αντίθεση με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής τιμής, οι οικιακοί πελάτες χρεώνονται σε πραγματικό χρόνο για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν κάθε ώρα βάσει της αντίστοιχης χονδρικής ωριαίας τιμής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Με το οικιακό πρόγραμμα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο της Ameren, οι ωριαίες τιμές για την επόμενη ημέρα ορίζονται το προηγούμενο βράδυ και μπορούν να κοινοποιηθούν στους πελάτες, ώστε να μπορούν να καθορίσουν την καλύτερη ώρα της ημέρας για να χρησιμοποιήσουν τις ενεργοβόρες συσκευές. Με το οικιακό πρόγραμμα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο του ComEd, οι τιμές βασίζονται στην πραγματική ωριαία τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και οι πελάτες ενημερώνονται όταν οι τιμές σε πραγματικό χρόνο είναι υψηλές ή αναμένεται να είναι ψηλές, για να μετατοπίσουν τη χρήση των ενεργοβόρων συσκευών σε χαμηλότερες τιμές. Ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι εγγυημένη, οι πελάτες μπορούν να διαχειριστούν το κόστος ηλεκτρισμού με τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο μεταβάλλοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ώρες όταν οι τιμές είναι υψηλότερες σε ώρες όταν οι τιμές είναι χαμηλότερες. Για να συμμετάσχουν σε ένα οικιακό πρόγραμμα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο, οι πελάτες χωρίς έξυπνο μετρητή πρέπει να έχουν εγκατεστημένο μετρητή που να μπορεί να καταγράφει την ωριαία χρήση.

Η ευέλικτη φύση του προτεινόμενου αλγορίθμου επιτρέπει την εφαρμογή του σε οποιαδήποτε μέρα του χρόνου και με οποιοδήποτε χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των οικιακών συσκευών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόζεται στο προφίλ ζήτησης ισχύος για κάθε κατοικία ξεχωριστά. Ωστόσο, προκειμένου να αξιολογήσουμε την επίδραση που έχει η συγκεκριμένη τεχνική DSM στη συνολική καμπύλη ζήτησης ισχύος γίνεται η παραδοχή ότι 1000 κατοικίες της Λέσβου ακολουθούν το ίδιο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών. Πιο ρεαλιστικό σενάριο θα ήταν να εξεταστούν 1000 διαφορετικά χρονοδιαγράμματα ωστόσο για λόγους απλότητας, θεωρούμε ως χρονοδιάγραμμα λειτουργίας 1000 κατοικιών, τη στήλη 2 του πίνακα 7. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η συνολική κατανάλωση ισχύος για τον οικιακό τομέα της Λέσβου στις 27 Φεβρουαρίου. Επίσης διακρίνεται το ποσό της ισχύος που οφείλεται στις ευέλικτες συσκευές των 1000 κατοικιών.

Ημερομηνία	Συν. κατανάλωση (kW)	Σταθερή ισχύς-Pfixed (KW)	Ευέλικτη ισχύς για 1000 σίτια-Pflexible (kW)
02/27 01:00:00	8257	8257	0
02/27 02:00:00	8233	8233	0
02/27 03:00:00	7641	7641	0
02/27 04:00:00	7287	7287	0
02/27 05:00:00	7064	7064	0
02/27 06:00:00	7516	7516	0
02/27 07:00:00	7538	7538	0
02/27 08:00:00	8819	5969	2850
02/27 09:00:00	9895	9895	0
02/27 10:00:00	11564	11064	500
02/27 11:00:00	13785	10785	3000
02/27 12:00:00	14054	11854	2200
02/27 13:00:00	14196	12896	1300
02/27 14:00:00	12987	12987	0
02/27 15:00:00	11545	11045	500
02/27 16:00:00	11442	11442	0
02/27 17:00:00	11893	7393	4500
02/27 18:00:00	15271	13071	2200
02/27 19:00:00	18468	15968	2500
02/27 20:00:00	19104	14604	4500
02/27 21:00:00	18021	16821	1200
02/27 22:00:00	14046	14046	0
02/27 23:00:00	12057	12057	0
02/27 24:00:00	8966	8966	0

**Πίνακας 8:** Ωριαία κατανάλωση ισχύος από τον οικιακό τομέα για τις 27 Φεβρουαρίου 2017



**Διάγραμμα 25:** Ωριαία κατανάλωση ισχύος από τον οικιακό τομέα για τις 27 Φεβρουαρίου 2017

#### 4.6.1 Μαθηματική περιγραφή του προβλήματος

#### 4.6.2 Συνάρτηση ελαχιστοποίησης

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνική που προτείνεται για το DSM προβλέπει συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα σύνδεσης για κάθε ελεγχόμενο φορτίο του συστήματος, με στόχο την προσέγγιση της καμπύλης φορτίου με την αντικειμενική καμπύλη. Η τεχνική αποτελεί ένα πρόβλημα δυαδικού προγραμματισμού (binary programming) και μπορεί να διαμορφωθεί μαθηματικά όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση[36][35][19]:

$$\underset{a_{tn}}{\text{minimize}} \sum_{t=1}^{T=24} \left( P_t^{fixed} + \sum_{n=1}^{N=14} a_{tn} P_n - Obj_t \right)^2 \quad (4.6)$$

όπου

$t \in T$       Ωρες της μέρας

$n \in N$       Το πλήθος των ευέλικτων συσκευών

$P_t^{fixed}$       Η καταναλισκόμενη ισχύς από τις σταθερές συσκευές την ώρα  $t$

$a_{tn}$       Δυαδική μεταβλητή

$P_n$       Η ονομαστική ισχύς της ευέλικτης συσκευής  $n$

$Obj_t$       Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης την ώρα  $t$

Το συνολικό καταναλισκόμενο φορτίο κάθε ώρα της ημέρας δίνεται από τον ακόλουθο όρο της εξίσωσης ελαχιστοποίησης:

$$P_t^{load} = P_t^{fixed} + \sum_{n=1}^{N=14} a_{tn} P_n = P_t^{fixed} + P_t^{flexible} \quad (4.7)$$

όπου  $P_t^{fixed}$  είναι η προβλεπόμενη κατανάλωση των σταθερών φορτίων της κατοικίας στο χρόνο  $t$  και  $P_t^{flexible}$  η συνολική ζήτηση ισχύος των  $N$  συσκευές που λειτουργούν την ώρα  $t$ .

Η στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς (σε Watts) λόγω της ευέλικτης συσκευής εκφράζεται ως  $a_{tn} P_n$  όπου  $P_i$  είναι η μέγιστη δυνατή ισχύς της ζήτησης της συσκευής σύμφωνα με το σχεδιασμό της και  $a_{tn}$ , με τιμή 0 και 1, είναι δυαδικός συντελεστής ο οποίος υποδεικνύει αν η ευέλικτη συσκευή είναι σε λειτουργία τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και ορίζεται από το χρήστη

βάσει του αρχικού χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των συσκευών που προκύπτει από την μοντελοποίηση.

Για ένα σπίτι με  $N$  συσκευές, για χρόνο  $t_0$  έως το  $t_{24}$ , η συνολική στιγμιαία ισχύς που καταναλώνεται από τις ευέλικτες συσκευές μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\begin{aligned}
 P_1^{flexible} &= a_{10}P_1 + a_{11}P_2 + a_{12}P_3 + \dots a_{1N}P_N \\
 P_2^{flexible} &= a_{20}P_1 + a_{21}P_2 + a_{22}P_3 + \dots a_{2N}P_N \\
 P_3^{flexible} &= a_{30}P_1 + a_{31}P_2 + a_{32}P_3 + \dots a_{3N}P_N \\
 &\vdots \\
 P_{24}^{flexible} &= a_{240}P_1 + a_{241}P_2 + a_{242}P_3 + \dots a_{24N}P_N
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

ή σε μορφή πινάκων

$$\begin{pmatrix} P_1^{flexible} \\ P_2^{flexible} \\ P_3^{flexible} \\ \vdots \\ P_{24}^{flexible} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{240} & a_{241} & a_{242} & \dots & a_{24N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix} \tag{4.9}$$

$$P_t^{flexible} = A \cdot P^{controllable\ devices} \tag{4.10}$$

όπου

$A$ : δυαδικός πίνακας  $24 \times N$ . Οι άξονες στο πίνακα συμπληρώνονται βάσει των ωρών λειτουργίας των ευέλικτων συσκευών όπως φαίνεται στη στήλη 2 του πίνακα 7.

$P^{controllable\ devices}$ : διάνυσμα που έχει ως στοιχεία την ισχύ όλων των  $N$  ευέλικτων συσκευών που βρίσκονται εντός κατοικίας. Η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει κάθε ευέλικτη συσκευή φαίνεται στη στήλη 4 του πίνακα 7.

Το σταθερό φορτίο  $P_t^{fixed}$  είναι το φορτίο το οποίο δεν δύναται να το συμπεριλάβουμε στην τεχνική μετατόπισης, καθώς αποτελείται από την κατανάλωση οικιακών συσκευών των οποίων η λειτουργία τους είναι απαραίτητη για συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα η κατανάλωση της τηλεόρασης αποτελεί ένα σταθερό φορτίο, καθώς η ώρα λειτουργίας της εξαρτάται από το ωράριο προβολής των τηλεοπτικών προγραμμάτων που ενδιαφέρουν τον καταναλωτή.



### 4.6.3 Αντικειμενικές καμπύλες

- **Objective 1:** Ομαλοποίηση της καμπύλης κατανάλωσης φορτίου

Η καμπύλη αυτή καθορίζεται με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής και την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του συστήματος. Η μετατόπιση του φορτίου στοχεύει στην ισοπέδωση της καμπύλης ζήτησης. Η ισορροπημένη ζήτηση ενέργειας μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος. Η τιμή της αντικειμενικής καμπύλης στο χρόνο  $t$  ορίζεται ως εξής:

$$Objective1(t) = \frac{\sum_{s=1}^{24} P_s^{load}}{T} \quad (4.11)$$

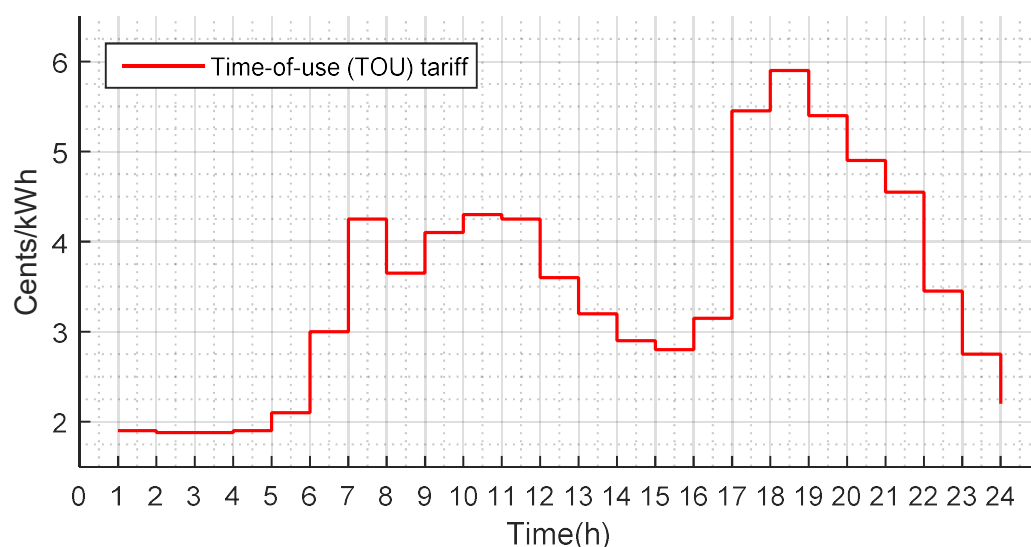
όπου  $\sum_{s=1}^{24} P_s^{load}$  είναι το άθροισμα του προβλεπόμενου φορτίου κάθε ώρας σε KW και  $T$  η συνολική διάρκεια της μέρας ( $T=24$ )

- **Objective 2:** Μείωση του ενεργειακού κόστους κατανάλωσης

Όπως προαναφέρθηκε, η μια αντικειμενική καμπύλη που λαμβάνεται υπόψη σε αυτή την εργασία συνίσταται στην ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας των καταναλωτών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα DSM. Για αυτό το λόγο, η αντικειμενική καμπύλη (4.12)[19] είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τις τιμές της ενέργειας, όπως αυτές ορίζονται στο διάγραμμα 26 [41].

$$Objective2(t) = \frac{C_{PriceAVG}}{C_t^{Price}} \cdot \frac{1}{T} \cdot \sum_{s=1}^{24} P_s^{load} \quad (4.12)$$

όπου  $C_t^{Price}$  είναι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ανά kWh τη χρονική  $t$



Διάγραμμα 26: Γράφημα τιμών ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα την περίοδο της ημέρας (set by Illinois Power Company)

#### 4.6.4 Περιορισμοί προβλήματος βελτιστοποίησης

Από τις εξισώσεις (4.9) και (4.10), ο πίνακας A όταν πολλαπλασιαστεί με το διάνυσμα  $p_{controllable\ devices}$  δίνει την συνολική ισχύ που καταναλώνεται από τις ευέλικτες συσκευές κάθε ώρα της μέρας, οπότε οι άξονες του πίνακα A καθορίζουν ποιες συσκευές της κατοικίας είναι ενεργοποιημένες κάθε ώρα και είναι το προβλεπόμενο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των ευέλικτων συσκευών πριν την μετατόπιση. Η συνάρτηση ελαχιστοποίησης (4.6) έχει ως μεταβλητές τα στοιχεία του νέου πίνακα A' ( $a'_{tn}$ ). Το πρόβλημα καθορίζει τα νέα στοιχεία  $a'_{tn}$  (0 ή 1) υλοποιώντας, τελικά, ένα νέο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών.

Στο πρόβλημα βελτιστοποίησης ενσωματώνονται και οι περιορισμοί οι οποίοι αφορούν τα περιθώρια μετατόπισης των φορτίων από την προβλεπόμενη ώρα λειτουργίας τους. Για κάθε συσκευή υπάρχει ένα χρονικό εύρος στο οποίο μπορεί να μετατοπιστεί και έχει καθοριστεί στη στήλη 3 του πίνακα 7. Για παράδειγμα, βάσει του αρχικού χρονοδιαγράμματος το πλυντήριο ρούχων τίθεται σε λειτουργία η ώρα 13:00 το μεσημέρι και έχει ένα εύρος μετατόπισης  $\pm 5$  ώρες, όπως φαίνεται και στο πιο κάτω πίνακα.

	Dryer	Dishwasher	Washing Machine	Oven(2nd hour)	Oven(1st hour)	Iron	Vacuum Cleaner	Kettle	Toaster	Electric stove	Hair Dryer	Coffe Maker	Microwave(2nd hour)	Microwave(1 st hour)	Water Heater Electric	Electric Heating
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
21	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Οπότε οι περιορισμοί του προβλήματος επιβάλλουν τα μηδενικά στοιχεία στο νέο πίνακα  $A'$  έτσι ώστε οι συσκευές να μην μετατοπίζονται σε θέσεις εκτός του περιθωρίου ευελιξίας. Με αυτό τον τρόπο δεν επηρεάζεται το επίπεδο άνεσης των καταναλωτών. Οι περιορισμοί εκφράζονται μαθηματικά ως εξής:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=T_n-m_n+23}^{T_n+m_n+1} a'_{tn} = 0 \quad \text{if} \quad T_n - m_n < 0 \quad (4.13)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=T_n+m_n-23}^{T_n-m_n-1} a'_{tn} = 0 \quad \text{if} \quad T_n + m_n > 24 \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{T_n-m_n-1} a'_{tn} &= 0 \\ \sum_{n=1}^N \sum_{t=T_n+m_n+1}^{24} a'_{tn} &= 0 \end{aligned} \quad \text{otherwise} \quad (4.15)$$

όπου

$T_n$  Η αρχική ώρα λειτουργίας της συσκευής  $n$  (Πίνακας 7 στήλη 2)

$m_n$  Το περιθώριο μετατόπισης της συσκευής  $n$  (Πίνακας 7 στήλη 3)

$$\sum_{t=1}^{24} a'_{tn} = \sum_{t=1}^{24} a_{tn} \quad (4.16)$$

$$a'_{tn} \text{ is binary } \forall t, n \quad (4.17)$$

#### 4.6.5 Δείκτες αξιολόγησης της τεχνικής

Για να εξετάσουμε εάν η προτεινόμενη τεχνική μετατόπισης φορτίου δουλεύει ικανοποιητικά, χρειάζεται ένας δείκτης που υποδεικνύει τις αλλαγές στην καμπύλη της ζήτησης. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου καθορίζεται από την απόκλιση της μετατοπισμένης καμπύλης, από την ιδανική καμπύλη, η οποία είναι η μέση τιμή του φορτίου

της μέρας που εξετάζεται. Υπάρχουν δύο κατηγορίες βασικών δεικτών επίδοσης: οι δείκτες ισοστάθμισης (Levelling Effect-LE) και οι δείκτες ύψους κορυφών (Height of Peaks-HP). Οι LE μετρούν την απόκλιση από την ιδανική καμπύλη. Οι χαμηλότεροι δείκτες LE δείχνουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα του προγραμματισμού των ευέλικτων συσκευών. Οι HP μετρούν την αποτελεσματικότητα στη μείωση των κορυφών. Το άθροισμα της απόκλισης της μετατοπισμένης καμπύλης από την αντικειμενική καμπύλη (ιδανική γραμμή) του δικτύου είναι ένας καλός δείκτης. Όταν τα φορτία αιχμής μειώνονται και τα κενά γεμίζονται, η απόκλιση της καμπύλης ζήτησης προς την ιδανική γραμμή μειώνεται. Για να υπολογιστεί αυτός ο δείκτης, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ιδανική γραμμή ή η μέση τιμή. Επίσης, η αξιολόγηση των καμπυλών σε περισσότερα σημεία δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, για αυτό το λόγο οι δείκτες υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τιμές ανά 15 λεπτά.

- Ιδανική καμπύλη –  $\mu$

Χρησιμοποιώντας την προβλεπόμενη καμπύλη ζήτησης, υπολογίζεται η ιδανική καμπύλη του δικτύου. Η ιδανική καμπύλη είναι ξεχωριστή για κάθε μέρα, όποτε στην προκειμένη περίπτωση υπολογίζεται για τις 27 του Φεβρουαρίου, που είναι η μέρα που εξετάζεται.

$$\mu = \frac{\sum_{s=0}^{96} P_s^{load}}{96} \quad (4.18)$$

με  $s$  σε τεταρτημόρια και  $\mu$  αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της καμπύλης.

- Δείκτης ισοστάθμισης (Levelling Effect – LE)

Τώρα που υπολογίστηκε η ιδανική γραμμή, μπορεί να υπολογιστεί η απόκλιση της μετατοπισμένης καμπύλης από την ιδανική. Η συνολική απόκλιση είναι το άθροισμα της απόλυτης διαφοράς μεταξύ της μετατοπισμένης και της ιδανικής καμπύλης.

$$deviation = \sum_{s=0}^{96} |P_s^{load} - \mu| \quad (4.19)$$

Ο βασικός δείκτης ισοστάθμισης υπολογίζεται ως εξής

$$LE = \frac{\sum_{s=0}^{96} |P_s^{load} - \mu|}{\mu} \quad (4.20)$$

Όταν οι αιχμές μειώνονται και τα κενά γεμίζονται, η απόκλιση από την ιδανική καμπύλη μειώνεται, καθώς επίσης και ο δείκτης LE. Ως εκ τούτου, το επίπεδο αποτελεσματικότητας της τεχνικής μετατόπισης υποδεικνύεται από τη χαμηλότερη τιμή LE σε σύγκριση με την τιμή LE της καμπύλης στην οποία δεν εφαρμόστηκε μετατόπιση.

- $LE^2$

Η απόκλιση από την ιδανική καμπύλη δεν διακρίνεται σε γέμισμα των κενών ή σε μείωση των αιχμών. Για να μετρήσουμε επίσης αυτή την πτυχή, χρησιμοποιήσαμε μια τιμή τετραγωνικής απόκλισης  $LE^2$ , η οποία για χαμηλότερα κενά και μεγαλύτερες κορυφές δίνει μεγαλύτερες τιμές απόκλισης. Για να μπορούμε να συγκρίνουμε διαφορετικές καμπύλες μεταξύ τους, οι τιμές αυτές διαιρούνται στη συνέχεια με το τετράγωνο της μέσης τιμής της προβλεπόμενης καμπύλης.

$$LE^2 = \frac{\sum_{s=0}^{96} (P_s^{load} - \mu)^2}{\mu^2} \quad (4.21)$$

- Δείκτης ύψους κορυφών (Height of Peaks-HP)

Η μετατόπιση φορτίου μειώνει τα φορτία αιχμής στο σύστημα. Για να μετρηθεί αυτή η μείωση, η μέγιστη αιχμή της ζήτησης του φορτίου διαιρείται με τη μέση τιμή της προβλεπόμενης καμπύλης.

$$RHP = \frac{MAX_{s=0}^{96} (P_s^{load})}{\mu} \quad (4.22)$$

Για να διαπιστωθεί εάν αλλάζει το σχήμα των φορτίων αιχμής, μετρείται η διάρκεια (d) της καμπύλης ζήτησης πάνω από ένα ορισμένο ποσοστό του μέγιστου φορτίου της καμπύλης. Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιείται ποσοστό 80%.

$$d = \sum_{t=0}^{96} \text{if } P_s^{load} > a \cdot HP \text{ then } 1 \text{ else } 0 \quad (4.23)$$

όπου  $a=0,8$  και HP η μέγιστη αιχμή της ημέρας.

Για να δώσουμε μια ένδειξη του αριθμού των κενών που είναι ακόμα διαθέσιμα για την πλήρωση (D.HP) με ευέλικτες συσκευές, τότε το d διαιρείται με τον αριθμό των χρονικών βημάτων και αφαιρείται από το 1.

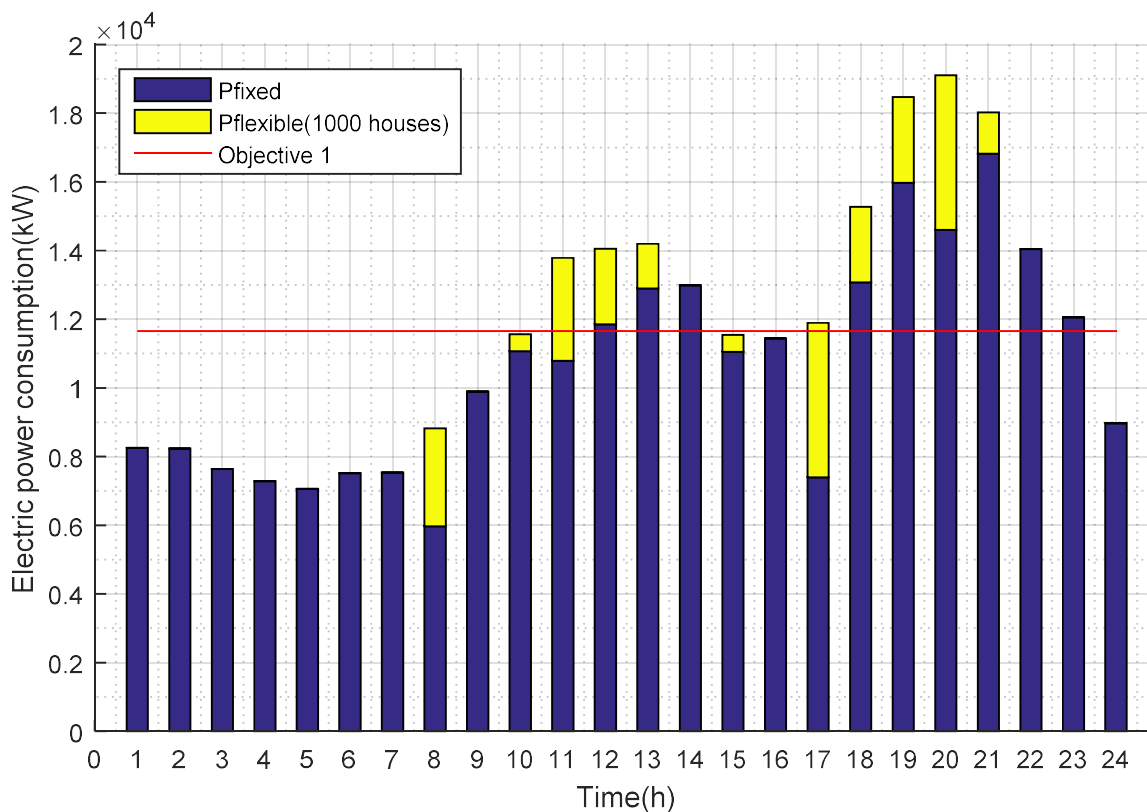
$$HPD = 1 - \frac{d}{96} \quad (4.24)$$

#### 4.6.6 Αποτελέσματα μετατόπισης φορτίου για το 1<sup>ο</sup> Σενάριο

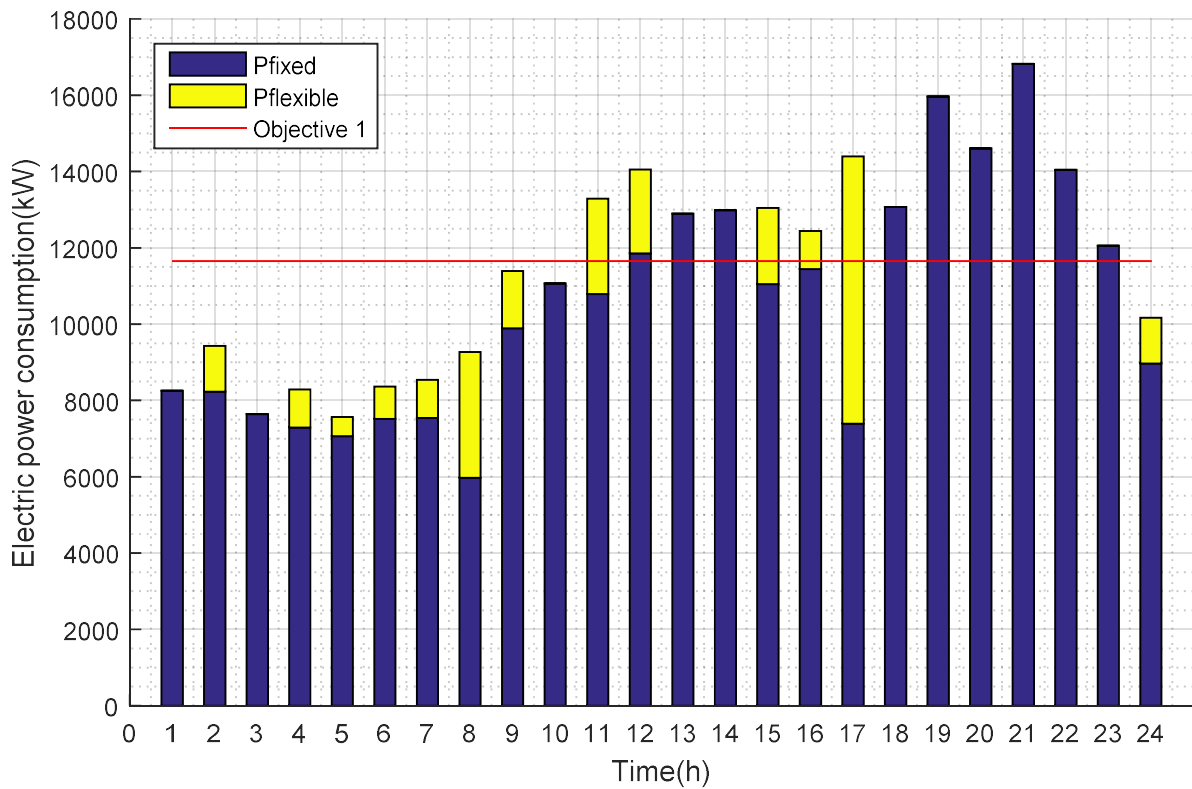
Για την υλοποίηση του προτεινόμενου αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MATLAB. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης περιγράφηκε χρησιμοποιώντας το εργαλείο Yalmip[42] και λύθηκε με το solver CPLEX της IBM. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τεχνικής μετατόπισης φορτίου στις 27 Φεβρουαρίου 2017, για τις δύο περιπτώσεις των αντικειμενικών καμπύλων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Συγκεκριμένα, για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα:

- 1) Ιστόγραμμα της προβλεπόμενης ζήτησης φορτίου στον οικιακό τομέα
- 2) Ιστόγραμμα της ζήτησης φορτίου μετά τη μετατόπιση φορτίου στον οικιακό τομέα
- 3) Αρχική και τελική καμπύλη ζήτησης φορτίου στον οικιακό τομέα
- 4) Πίνακας με τους δείκτες αξιολόγησης της αρχικής και τελικής καμπύλης στον οικ. τομέα
- 5) Συνολική αρχική και τελική καμπύλη ζήτησης φορτίου στη Λέσβο
- 6) Πίνακας με τους δείκτες αξιολόγησης της συνολικής αρχικής και τελικής καμπύλης ζήτησης στη Λέσβο
- 7) Αρχικό και τελικό χρονοδιάγραμμα των ευέλικτων συσκευών

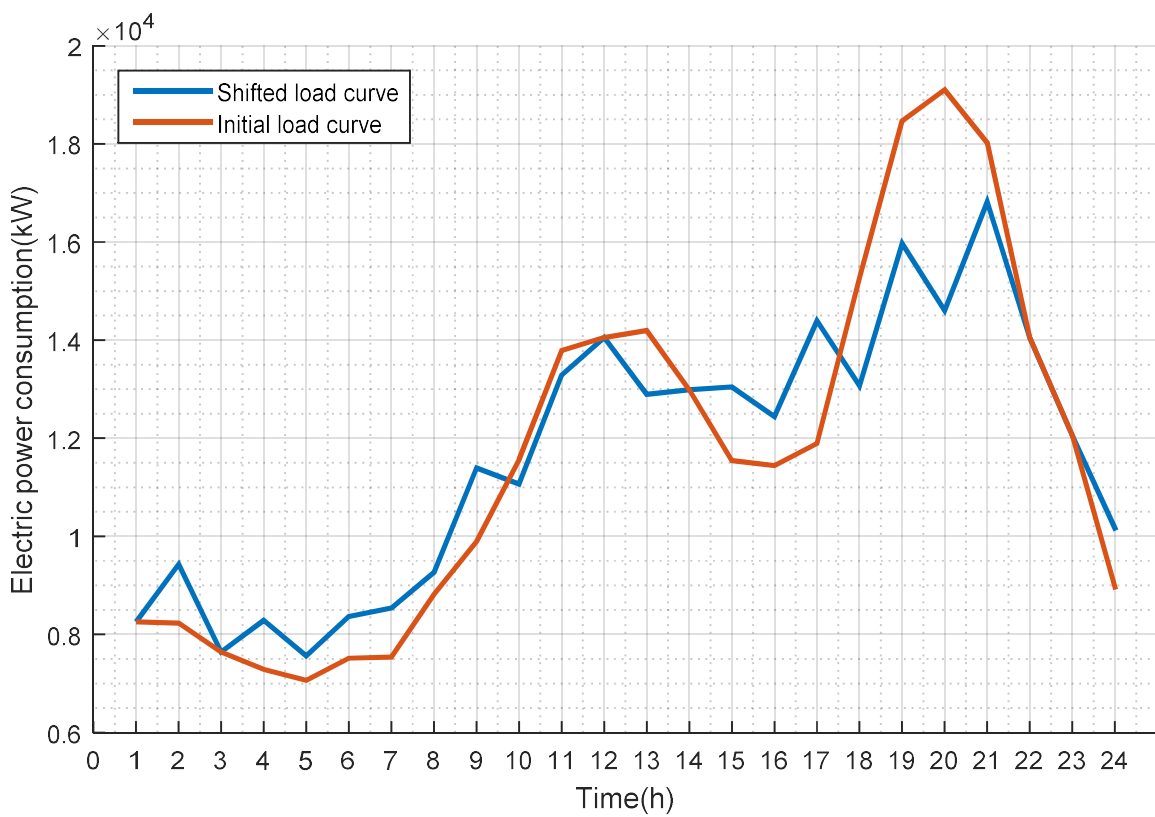
- **Objective 1: Ομαλοποίηση της καμπύλης κατανάλωσης φορτίου**



Διάγραμμα 27: Ωριαία ζήτηση φορτίου για τον οικιακό τομέα στις 27 Φεβ. και αντικειμενική καμπύλη



**Διάγραμμα 28:** Μετατόπιση ευέλικτων φορτίων στη συνολική καμπύλη του οικιακού τομέα (objective 1)



**Διάγραμμα 29:** Αρχική καμπύλη και τελική καμπύλη με μετατόπιση φορτίου της κατανάλωσης στον οικιακό τομέα

	Initial Load Curve	Shifted Load Curve
$LE$	23.3681	18.248
$LE^2$	0.058123	0.019724
$RHP$	1.6259	1.4316
$d$	14	8
$HPD$	0.84946	0.91398

**Πίνακας 9:** Δείκτες αξιολόγησης για τις καμπύλες κατανάλωσης του οικιακού τομέα (Διάγραμμα 29)

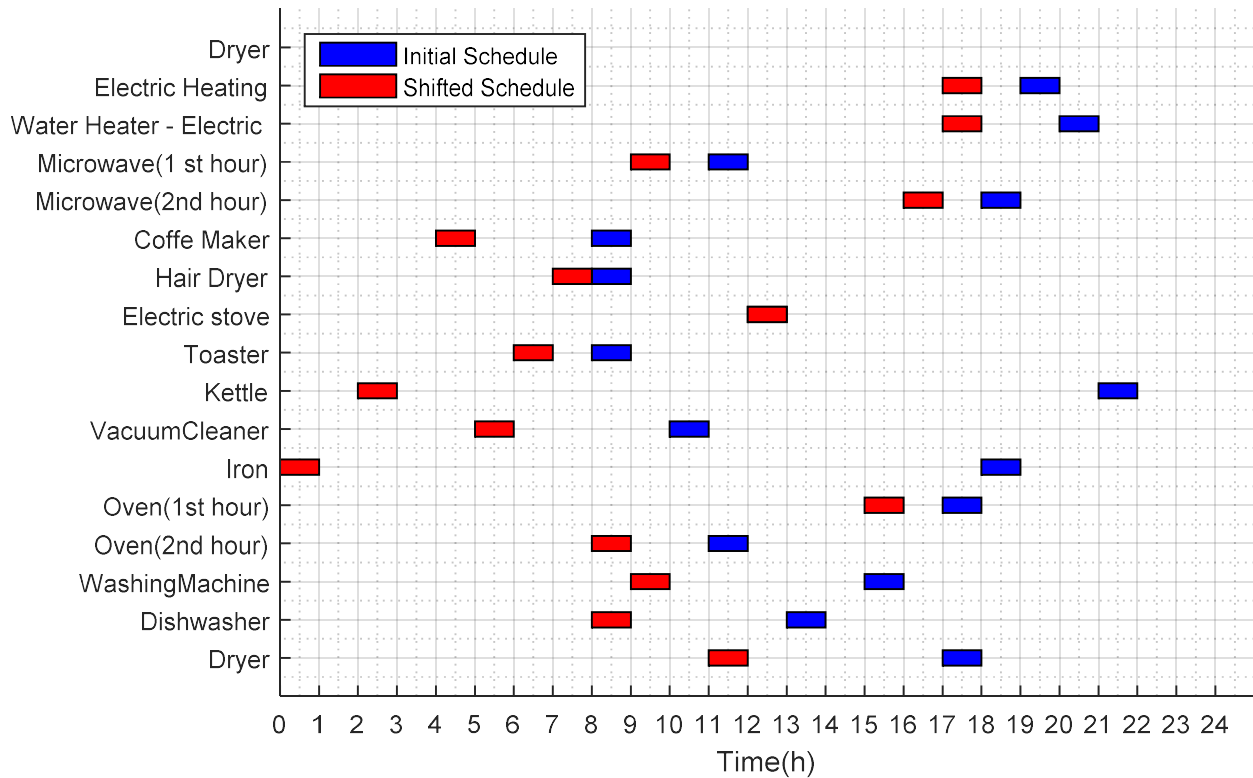


**Διάγραμμα 30:** Αρχική καμπύλη και τελική καμπύλη με μετατόπιση φορτίου της συνολικής κατανάλωσης της Λέσβου

	Initial Load Curve	Shifted Load Curve
$LE$	18.0966	16.4453
$LE^2$	0.038045	0.025534
$RHP$	1.4657	1.3919
$d$	23	20
$HPD$	0.75269	0.78495

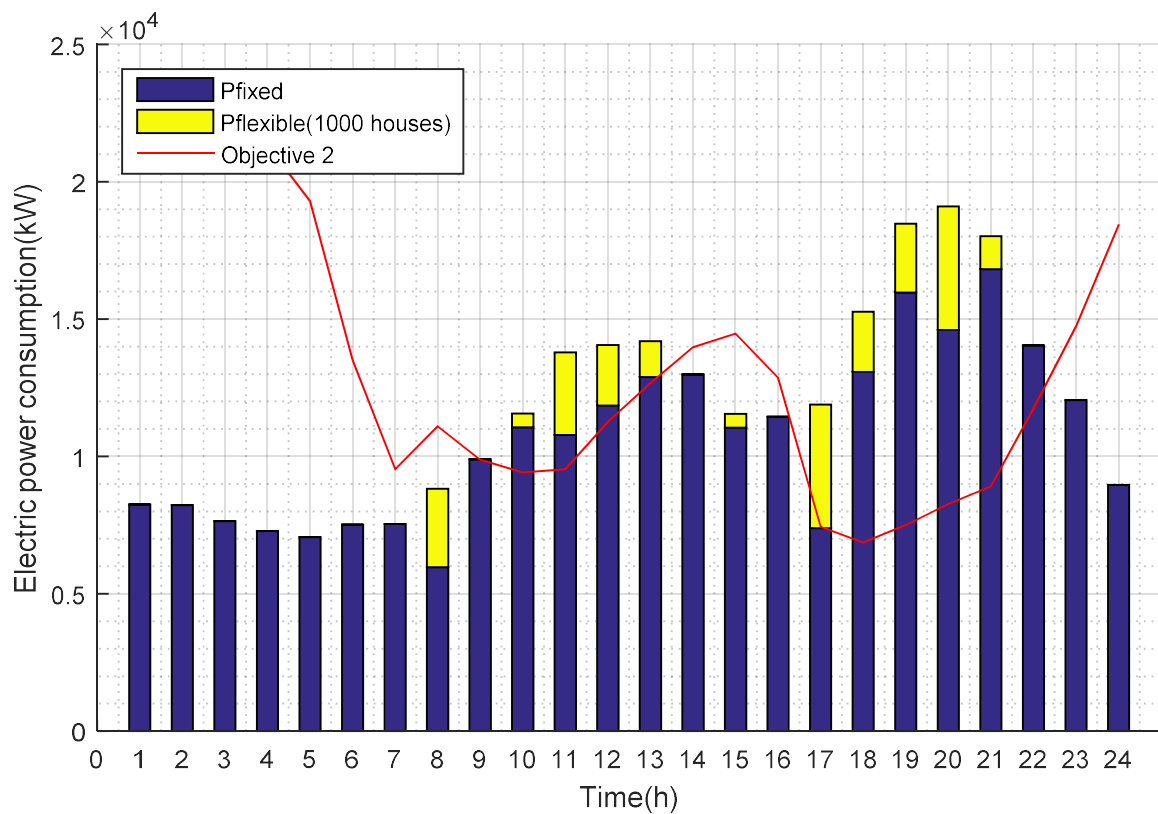
**Πίνακας 10:** Δείκτες αξιολόγησης για τις καμπύλες συνολικής κατανάλωσης της Λέσβου (Διάγραμμα 30)



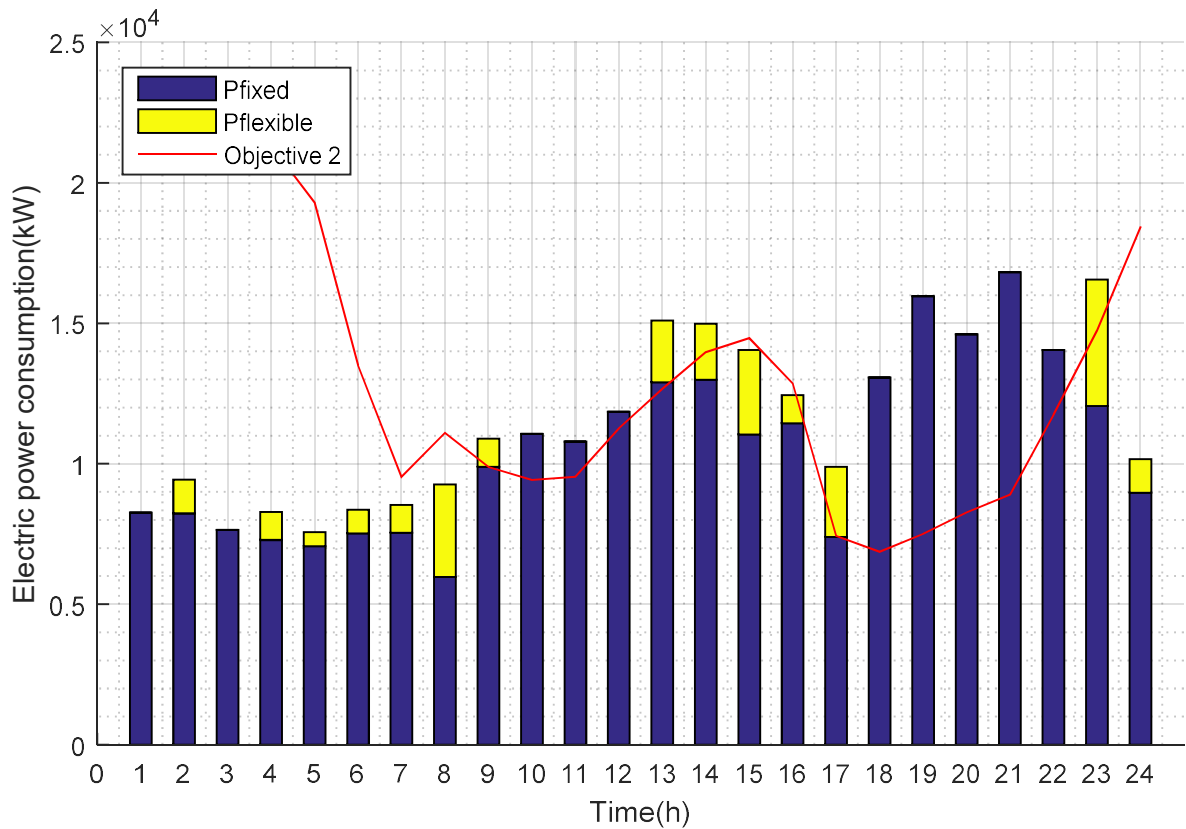


Διάγραμμα 31: Αρχικό και τελικό χρονοδιάγραμμα εύελικτων συσκευών

- **Objective 2: Μείωση του ενεργειακού κόστους κατανάλωσης**



Διάγραμμα 32: Ωριαία ζήτηση φορτίου για τον οικιακό τομέα στις 27 Φεβ. και αντικειμενική καμπύλη



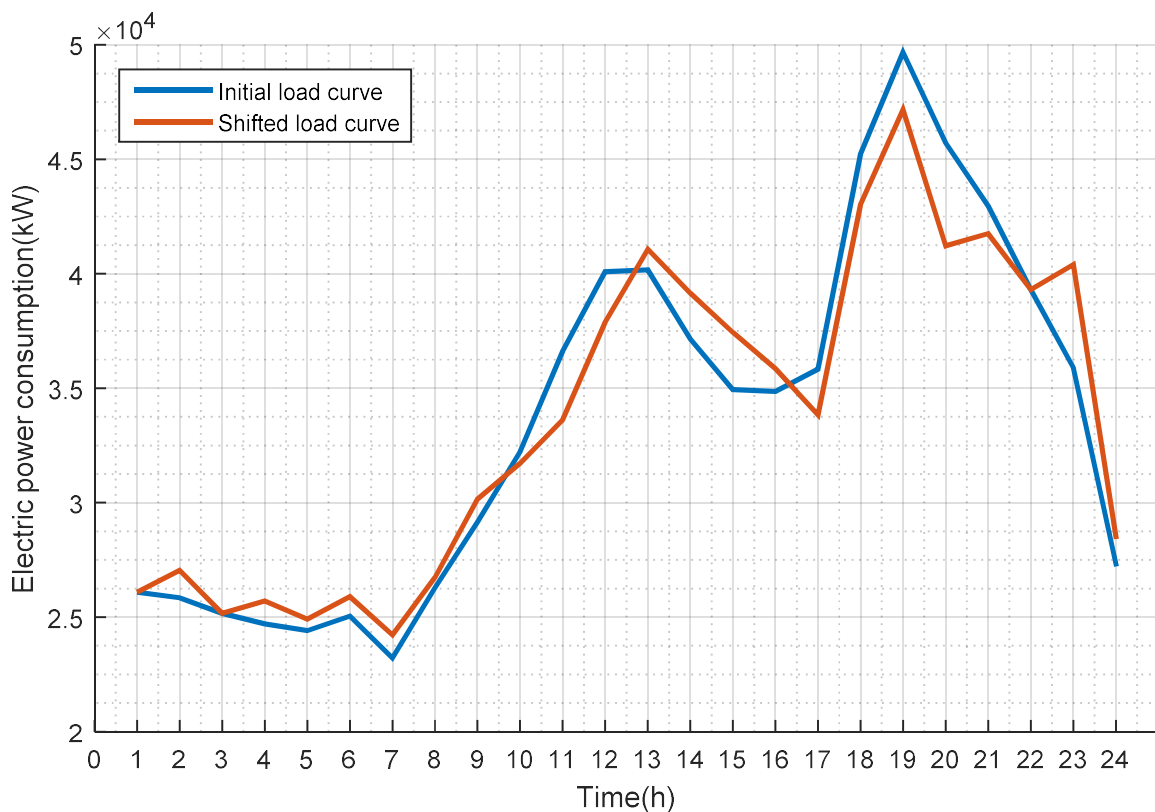
Διάγραμμα 33: Μετατόπιση ευέλικτων φορτίων στη συνολική καμπύλη του οικιακού τομέα (objective 2)



Διάγραμμα 34: Αρχική καμπύλη και τελική καμπύλη με μετατόπιση φορτίου της κατανάλωσης στον οικιακό τομέα

	Initial Load Curve	Shifted Load Curve
$LE$	23.3681	19.895
$LE^2$	0.058123	0.019865
$RHP$	1.6259	1.4316
$d$	14	11
$HPD$	0.84946	0.88172

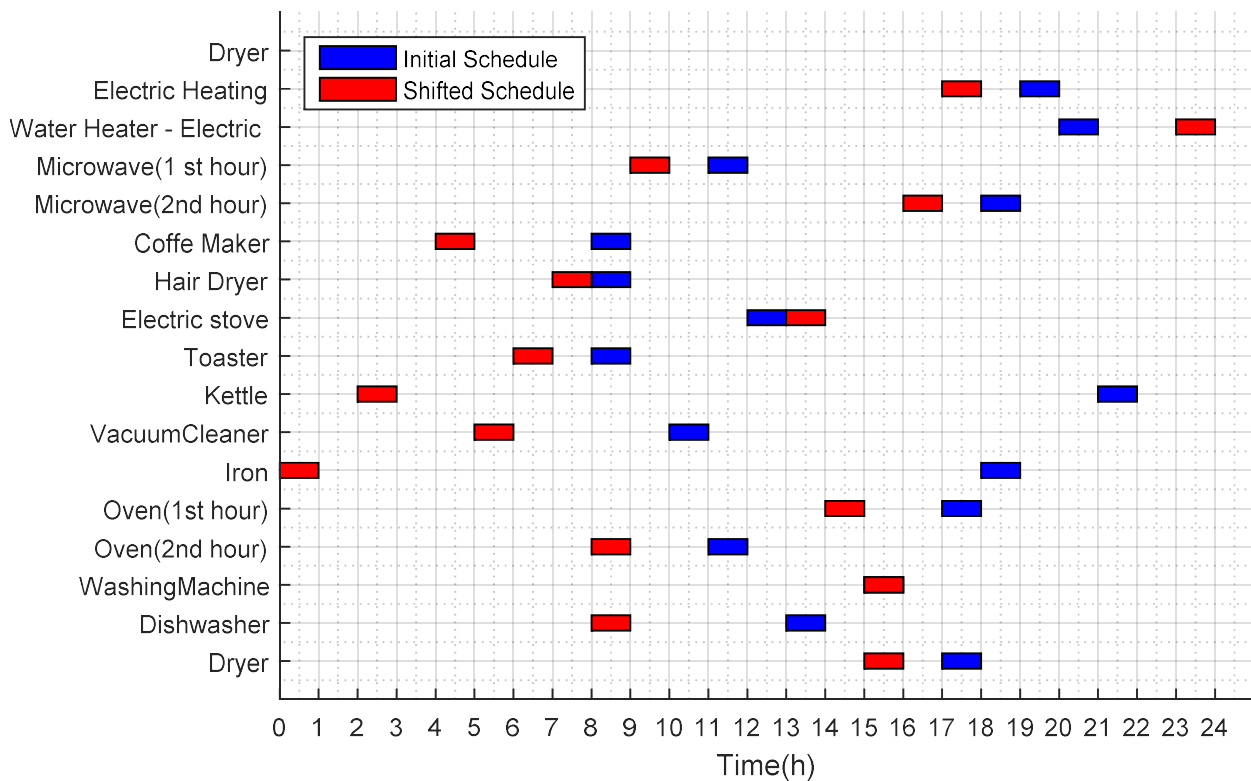
**Πίνακας 11:** Δείκτες αξιολόγησης για τις καμπύλες κατανάλωσης του οικιακού τομέα (Διάγραμμα 34)



**Διάγραμμα 35:** Αρχική καμπύλη και τελική καμπύλη με μετατόπιση φορτίου της συνολικής κατανάλωσης της Λέσβου

	Initial Load Curve	Shifted Load Curve
$LE$	18.0966	16.5697
$LE^2$	0.038045	0.025537
$RHP$	1.4657	1.3919
$d$	23	24
$HPD$	0.75269	0.74194

**Πίνακας 12:** Δείκτες αξιολόγησης για τις καμπύλες συνολικής κατανάλωσης της Λέσβου (Διάγραμμα 35)



**Διάγραμμα 36:** Αρχικό και τελικό χρονοδιάγραμμα ευέλικτων συσκευών

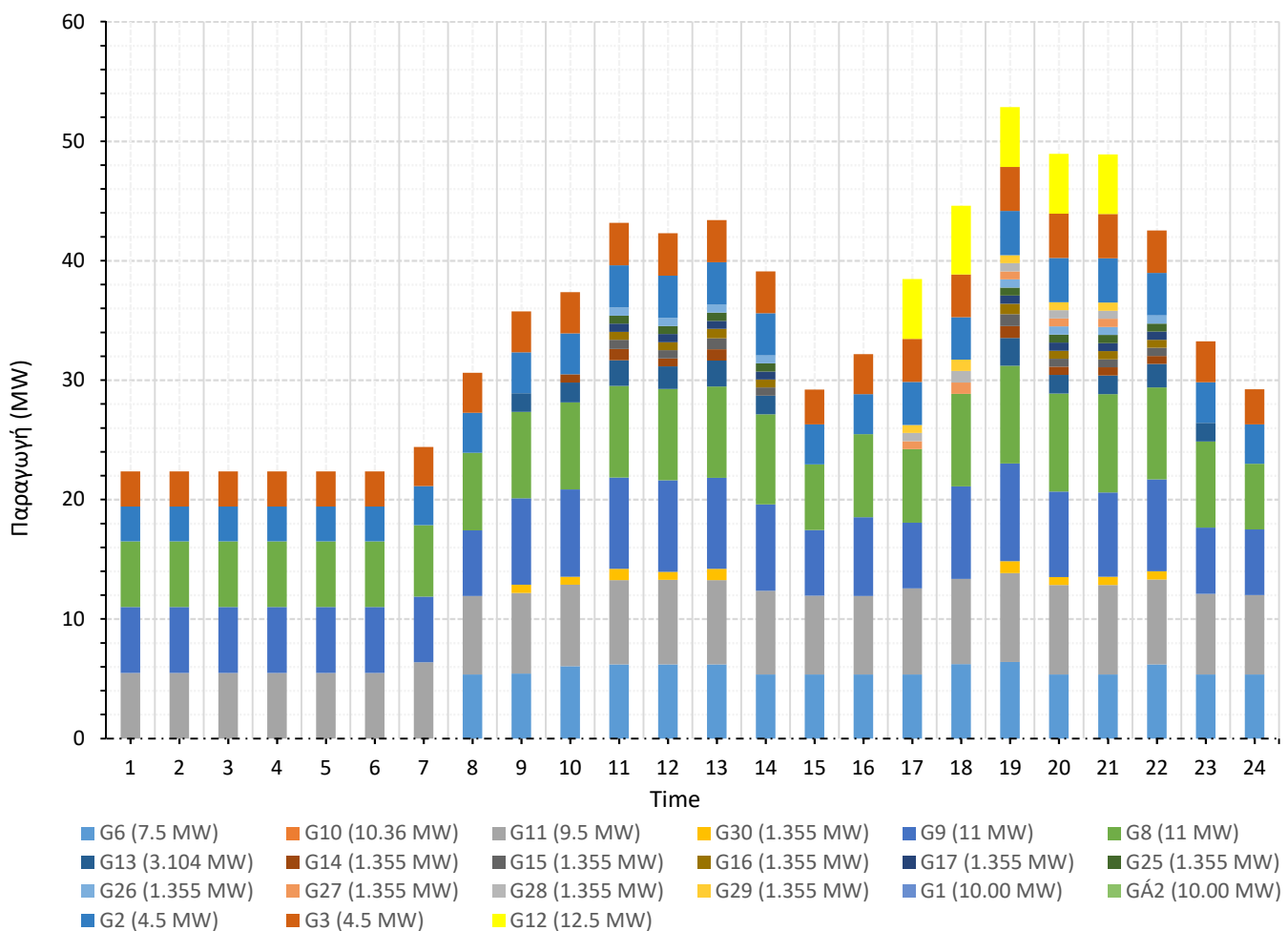
Από τα διαγράμματα και τους δείκτες αξιολόγησης, συμπεραίνουμε ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος έδωσε ικανοποιητική μείωση στις αιχμές φορτίου. Συγκεκριμένα, για τις δύο περιπτώσεις οι δείκτες ισοστάθμισης των καμπυλών ζήτησης του οικιακού τομέα μειώθηκαν κατά ποσοστό 21,9% και 14,5% αντίστοιχα, ενώ για την συνολική καμπύλη ζήτησης η μείωση ήταν 9,1% και 8,4%, αντίστοιχα. Όσο αφορά τους δείκτες ύψους κορυφών η μείωση στη καμπύλη του οικιακού τομέα ήταν 14,4% και 12%, αντίστοιχα, ενώ για την συνολική καμπύλη η μείωση ήταν 5% και για τα δύο περιπτώσεις.

Από το Διάγραμμα 34 γίνεται αντιληπτό ότι κατά τις ώρες 13:00-14:00 δημιουργήθηκε μια δεύτερη αιχμή στη καμπύλη ζήτησης του οικιακού τομέα, μετά την τεχνική μετατόπισης. Αυτό συμβαίνει διότι οι δεδομένες τιμές του μεταβαλλόμενου τιμολογίου χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ανταποκρίνονται στις διακυμάνσεις της ζήτησης, για τα αμερικάνικα δεδομένα, τα οποία διαφέρουν ελαφρώς από τα ελληνικά. Οπότε στη περίπτωση αυτή τυγχάνει για τη συγκεκριμένη ώρα που υπάρχει αιχμή ζήτησης, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι χαμηλή βάσει του αμερικάνικου τιμολογίου.

Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το 1ο σενάριο μετατόπισης φορτίου, στο οποίο οι αντικειμενικές καμπύλες στοχεύουν στη μείωση των αιχμών της καμπύλης ζήτησης είναι αποτελεσματικό.

## 4.7 2<sup>ο</sup> Σενάριο εφαρμογής

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, για την κάλυψη το φορτίων αιχμής των νησιών απαιτείται η λειτουργία εφεδρικών μονάδων παραγωγής (συνήθως ντιζελογεννήτριες) με σημαντικά υψηλότερο κόστος λειτουργίας, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μονάδες και με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω εκπομπής καυσαερίων. Κατά τις ώρες αιχμής στη Λέσβο, τίθενται εντός λειτουργίας μια αεριοστροβιλική μονάδα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής, της οποίας το κόστος λειτουργίας είναι δαπανηρό. Στο σενάριο αυτό γίνεται η βέλτιστη μετατόπιση συγκεκριμένων οικιακών συσκευών έτσι ώστε οι απαιτήσεις των φορτίων αιχμής να καλύπτονται από τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής και να μην χρειάζεται να τεθεί σε λειτουργία η συγκεκριμένη μονάδα. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η αποδιδόμενη ισχύς των επιμέρους μονάδων παραγωγής για μια συγκεκριμένη μέρα στη Λέσβο. Με κίτρινο χρώμα διακρίνεται το ποσό της ισχύος που αποδίδεται από την αεριοστροβιλική μονάδα (G12).



Διάγραμμα 37: Παραγωγή των μονάδων της Λέσβου για τις 27 Φεβρουαρίου 2017

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος στοχεύει στη μετατόπιση τεσσάρων ευέλικτων ενεργοβόρων οικιακών συσκευών, λαμβάνοντας υπόψη τον αντίστοιχο βαθμό προτεραιότητας που ορίζεται από το χρήστη. Από τον πίνακα 6 (Υποενότητα 4.4.1) επιλέχθηκαν οι συσκευές με υψηλό ποσοστό ιδιοκτησίας στις κατοικίες της Λέσβου και με δυνατότητα μετατόπισης από την προβλεπόμενη ώρα λειτουργίας τους. Στο πιο κάτω πίνακα φαίνονται οι συσκευές αυτές με την αντίστοιχη μέση ισχύ κατανάλωσης και το βαθμό προτεραιότητας.

<b>Συσκευή</b>	<b>Μέση ισχύς (W)</b>	<b>Προτεραιότητα</b>
Πλυντήριο ρούχων	2800	1
Πλυντήριο πιάτων	3200	2
Θερμοσίφωνα (χειμερινή περίοδο)	3000	3
Κλιματιστικό (καλοκαιρινή περίοδο)	1500	3

**Πίνακας 13:** Ευέλικτες οικιακές συσκευές με τον αντίστοιχο βαθμό προτεραιότητας στην τεχνική μετατόπισης φορτίου

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου αλγόριθμου έγιναν οι πιο κάτω παραδοχές.

- Για κάθε ώρα ο μέγιστος αριθμός συσκευών κάθε τύπου που είναι σε λειτουργία είναι 1000. Ο αριθμός αυτός μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με την πρόβλεψη φορτίου.
- Όλες οι ενεργές γεννήτριες για την εκάστοτε μέρα εκτός της G12, μπορούν να αποδώσουν την μέγιστη ισχύ, έτσι ώστε να καλύψουν ορισμένο φορτίο της G12 και στο υπόλοιπο εφαρμόζεται η τεχνική μετατόπισης φορτίου.
- Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δίνει προτεραιότητα στη μετατόπιση του πλυντηρίου ρούχων που είναι η πιο συνηθισμένη συσκευή σε μια τυπική κατοικία της Λέσβου.
- Όλες οι συσκευές δύναται να μετατοπιστούν σε οποιαδήποτε ώρα της μέρας εκτός από το διάστημα 24:00-08:00.
- Το χειμώνα δεν τίθενται σε λειτουργία τα κλιματιστικά ενώ το καλοκαίρι δεν τίθενται σε λειτουργία οι θερμοσίφωνες.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος χωρίζεται σε δύο προβλήματα βελτιστοποίησης. Οι μεταβλητές του πρώτου προβλήματος καθορίζουν τον ελάχιστο αριθμό των συσκευών που πρέπει να μετατοπιστούν, για να τεθεί εκτός λειτουργίας η γεννήτρια G12, λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό προτεραιότητας, όπως δηλώθηκε στο πίνακα 13. Το δεύτερο πρόβλημα καθορίζει τον αριθμό των συσκευών που πρέπει να μετατοπιστούν σε κάθε ώρα της μέρας έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύς των υπόλοιπων γεννητριών, εκτός της G12 (αντικειμενική καμπύλη) και της μετατοπισμένης καμπύλης ζήτησης, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του προβλήματος.

#### 4.7.1 Μαθηματική περιγραφή του προβλήματος

Η ελαχιστοποίηση της 1<sup>ης</sup> συνάρτησης αποτελεί ένα πρόβλημα γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού (integer programming) και μπορεί να μοντελοποιηθεί μαθηματικά όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση:

$$\underset{x_{int}^{n,t}}{\text{minimize}} \sum_{t=1}^{T=24} (P_{gen}^{t,12} - \sum_{n=1}^{N=4} x_{int}^{n,t} \cdot P_{dev}^n) \quad (4.25)$$

$$\tau. \omega \quad 0 \leq x_{int}^{n,t} \leq 1000, \forall n, t \quad (4.26)$$

$$x_{int}^{n,t} \text{ is integer } \forall n, t \quad (4.27)$$

όπου

$t \in T$	Ωρες της μέρας
$n \in N$	Σύνολο συσκευών που ορίστηκαν για μετατόπιση
$P_{gen}^{t,12}$	Η παραγωγή της γεννήτριας 12 την ώρα t (MW)
$x_{int}^{n,t}$	Ακέραια μεταβλητή για τον καθορισμό του ελάχιστου αριθμού φορτίων που απαιτείται να μετατοπιστούν
$P_{dev}^n$	Η μέση ισχύς κατανάλωσης της συσκευής n (MW)

Η φύση του αλγορίθμου είναι τέτοια που δίνει προτεραιότητα στη συσκευή της οποίας η ισχύς καθορίζεται στις τιμές  $P_{dev}^n$  με αύξουσα σειρά. Για παράδειγμα δόθηκε προτεραιότητα στο πλυντήριο ρούχων οπότε η ισχύς 0.0028 (MW) της συσκευής ανατέθηκε στην τιμή  $P_{dev}^1$ .

Η ελαχιστοποίηση της 2<sup>ης</sup> συνάρτησης αποτελεί ένα πρόβλημα μη γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού (integer programming) και μπορεί να μοντελοποιηθεί μαθηματικά όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση:

$$\underset{y_{int}^{n,t}}{\text{minimize}} \sum_{t=1}^{T=24} \left( (P_{TotalGen}^t + \sum_{n=1}^{N=4} y_{int}^{n,t} \cdot P_{dev}^n) - \text{Max}(P_{TotalGen}^t) \right)^2 \quad (4.28)$$

$$P_{Total\ Gen}^t = \begin{cases} \sum_{u=0}^{U=23} Max(P_{gen}^{t,u}) & \text{if } P_{gen}^{t,n} > 0 \\ \sum_{u=0}^{U=23} P_{gen}^{t,u} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.29)$$

Περιορισμοί

$$\sum_{n=1}^{T=24} y_{int}^{n,t} = \sum_{t=1}^{T=24} x_{int}^{n,t} \quad \forall n \in \{0,4\} \quad (4.30)$$

$$\sum_{n=1}^{N=4} \sum_{t=0}^8 y_{int}^{n,t} = 0 \quad (4.31)$$

$$y_{int}^{n,t} \text{ is integer } \quad \forall n, t \quad (4.32)$$

όπου

$u \in U$	Το πλήθος των γεννητριών
$P_{TotalGen}^t$	Η συνολική παραγωγή των όλων γεννητριών πριν τη μετατόπιση φορτίων την ώρα t (MW).
$y_{int}^{n,t}$	Ακέραια μεταβλητή για το καθορισμό των μετατοπισμένων φορτίων
$P_{gen}^{t,u}$	Η παραγωγή της γεννήτριας u την ώρα t (MW)
$x_{int}^{n,t}$	Ακέραιος αριθμός

Από την εξίσωση 4.28 καθορίζονται οι μεταβλητές  $y_{int}^{n,t}$  οι οποίες παίρνουν ακέραιες τιμές (περιορισμός 4.32) και υποδεικνύουν τον αριθμό των συσκευών που μετατοπίζονται σε κάθε ώρα της μέρας. Ο περιορισμός 4.30 επιβάλλει στο πρόβλημα να μετατοπίσει μόνο όσα φορτία υπολογίστηκαν από το πρόβλημα βελτιστοποίησης (εξίσωση 4.25), δηλαδή τον ελάχιστο αριθμό φορτίων για να τεθεί εκτός λειτουργίας η G12. Ο περιορισμός 4.31 επιβάλλει η μετατόπιση των φορτίων να επιτρέπεται καθ' όλη την διάρκεια της μέρας (09:00-23:00). Η παράμετρος αυτή μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τις ανάγκες των καταναλωτών.

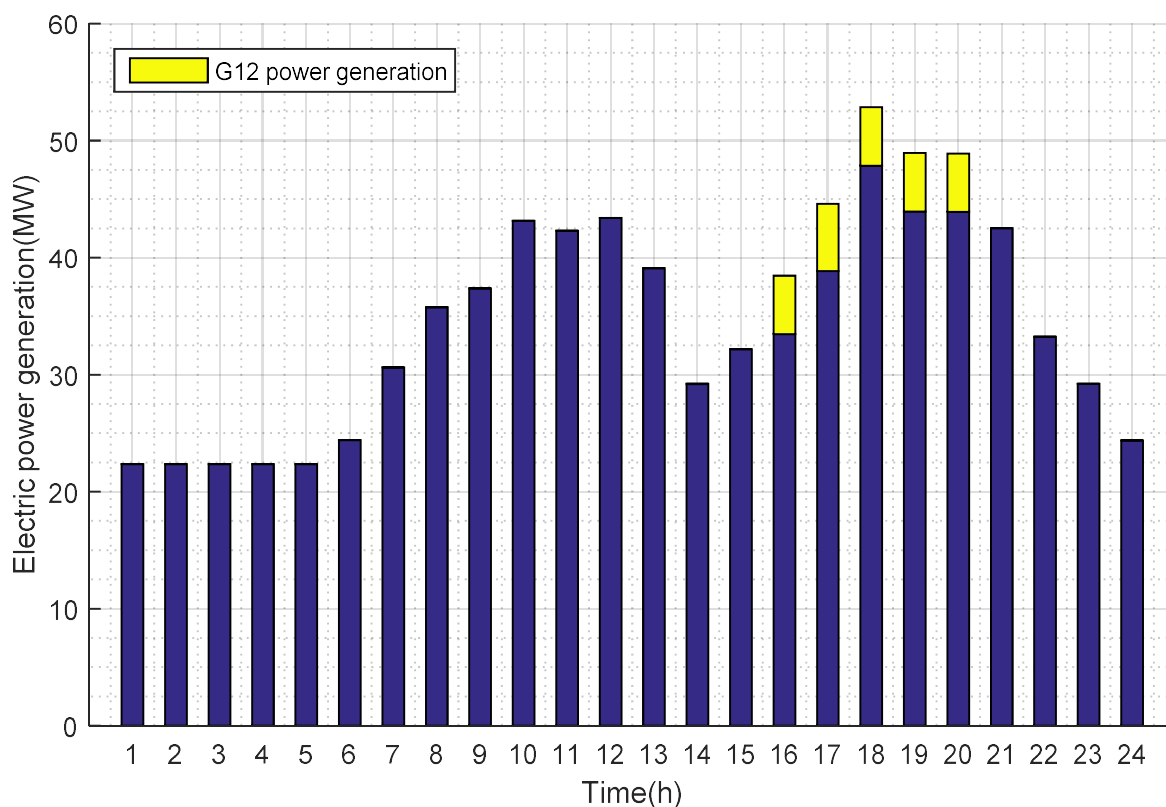


#### 4.7.2 Αποτελέσματα μετατόπισης φορτίου για το 2<sup>ο</sup> Σενάριο

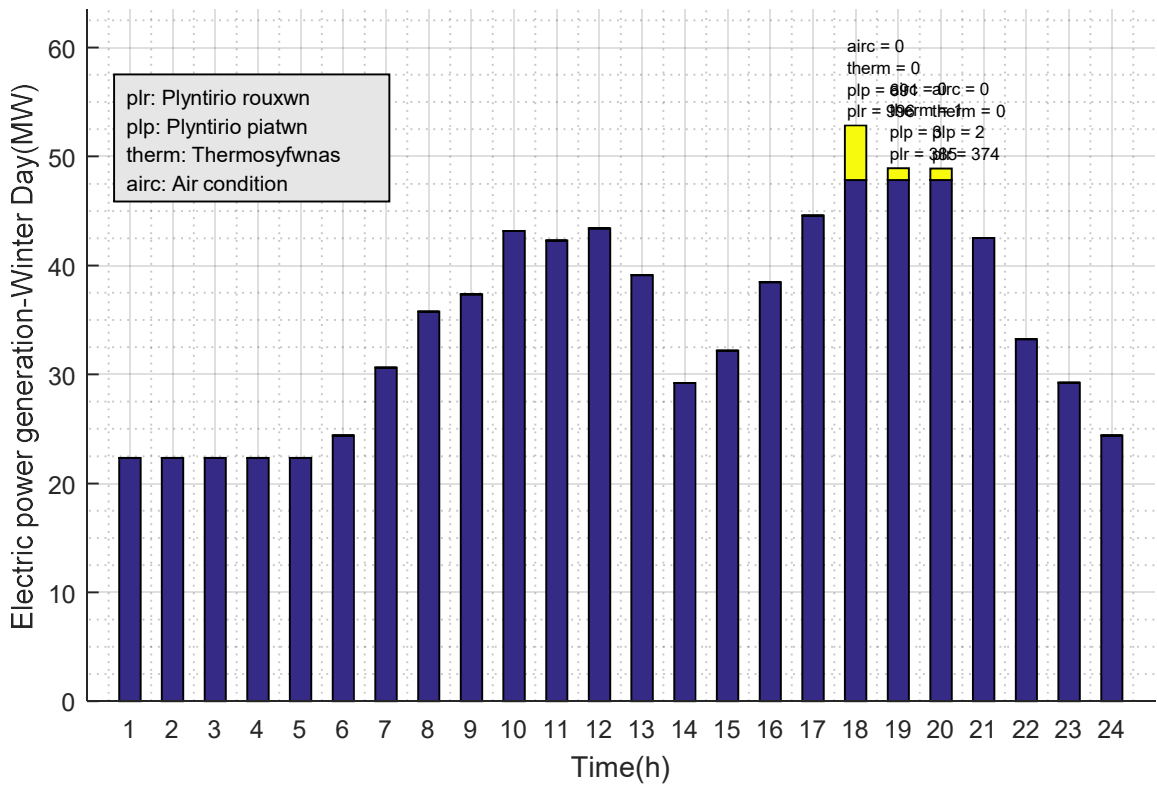
Όπως και στην ενότητα 4.6.6, για την υλοποίηση του προτεινόμενου αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MATLAB, το εργαλείο Yalmip[42] και ο solver CPLEX της IBM. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τεχνικής μετατόπισης φορτίου στις 27 Φεβρουαρίου 2017. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα εξής διαγράμματα:

- 1) Ιστόγραμμα της συνολικής παραγωγής για κάθε ώρα της μέρας. Με κίτρινο χρώμα διακρίνεται η παραγωγή της G12.
- 2) Ιστόγραμμα της συνολικής παραγωγής για κάθε ώρα της μέρας και τη μέγιστη παραγωγή των γεννητριών κατά τις ώρες λειτουργίας της G12 για την κάλυψη ορισμένου φορτίου.
- 3) Ιστόγραμμα της συνολικής παραγωγής για κάθε ώρα της μέρας με μετατοπισμένο φορτίο.
- 4) Αρχική και τελική καμπύλη της συνολικής παραγωγής στη Λέσβο

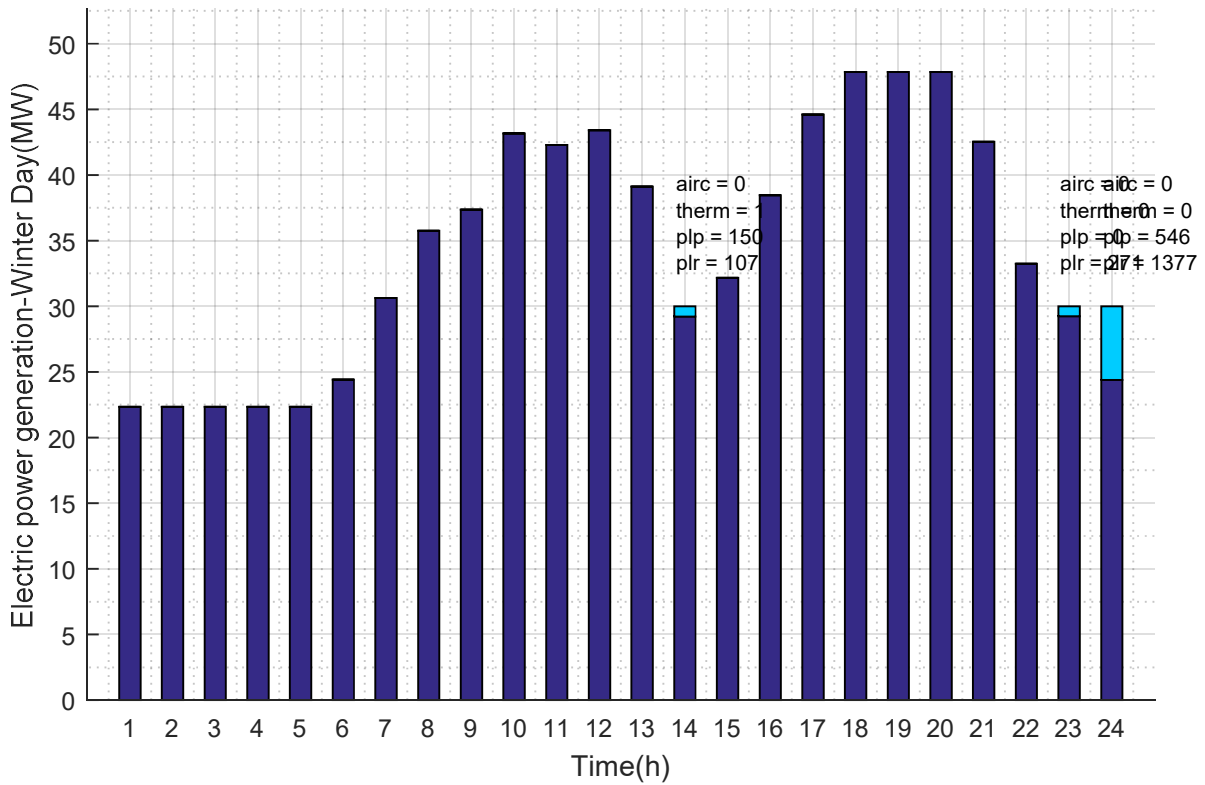
#### Μετατόπιση φορτίου για τις 27 Φεβρουαρίου 2017



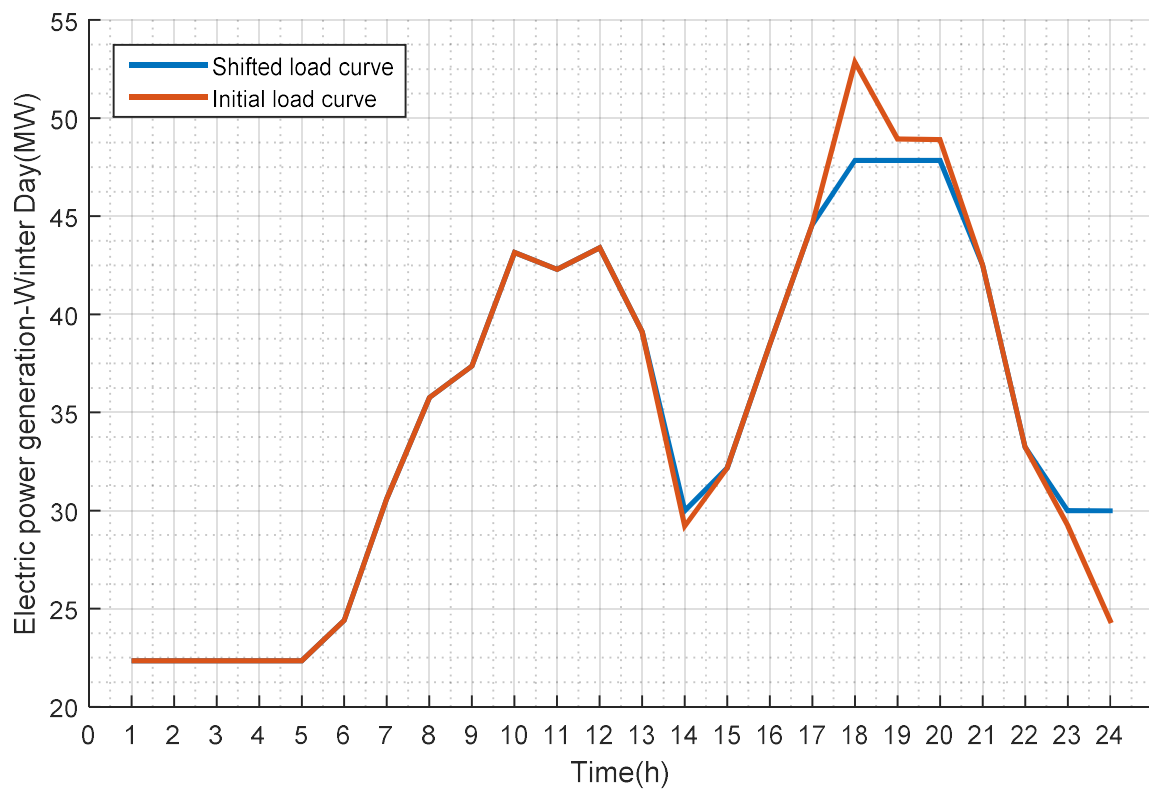
**Διάγραμμα 38:** Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Λέσβο(27 Φεβ.)



Διάγραμμα 39: Παραγωγή γεννητριών για την κάλυψη ορισμένου φορτίου της γεννήτριας G12



Διάγραμμα 40: Μετατόπιση φορτίων-Μηδενική παραγωγή της G12



**Διάγραμμα 41:** Αρχική καμπύλη και τελική καμπύλη με μετατόπιση φορτίου της συνολικής παραγωγής της Λέσβου (27 Φεβ)



# 5

## *Επίλογος*

### *5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα*

Τα κτίρια της Λέσβου αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή, ο οποίος όμως ταυτόχρονα διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών και βέλτιστων τεχνικών, είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας τους με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

Στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε μια εναλλακτική μεθοδολογία μοντελοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης της νήσου Λέσβου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των κτιρίων και του ενεργειακού προφίλ του νησιού και η σύγκριση τους με τα πραγματικά δεδομένα έδειξαν ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι αξιόπιστη για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών ενός νησιού ή μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, η χρήση του προγράμματος προσομοίωσης EnergyPlus μας έδωσε την δυνατότητα εισαγωγής πληθώρας παραμέτρων για το χαρακτηρισμό των κτιρίων με αποτέλεσμα να περιγράφουν ικανοποιητικά οι διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων της Λέσβου και να εξαχθούν έγκυρα αποτελέσματα. Η γλώσσα προγραμματισμού R παρείχε την ευελιξία στην διαδικασία επέκτασης των αποτελεσμάτων, εξοικονομώντας σημαντικό χρόνο κατά την τροποποίηση των παραμέτρων εισόδου. Τα αποτελέσματα δίνουν λεπτομερείς πληροφορίες για την συνολική ωριαία ενεργειακή κατανάλωση της κάθε κατηγορίας κτιρίων, αλλά και συνολικά της Λέσβου. Αξιοποιώντας τα, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να πάρει αποφάσεις για την εφαρμογή τεχνικών, εργαλείων και δράσεων που μπορούν να συμβάλουν στην ορθολογική χρήση της ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 2 εφαρμόστηκε μια τεχνική διαχείρισης της ζήτησης με σκοπό την μείωση των αιχμών στη συνολική καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της Λέσβου. Εξετάστηκαν δύο σενάρια μετατόπισης των ευέλικτων οικιακών συσκευών και έγινε προσπάθεια

αξιολόγησης των επιπτώσεων των τεχνικών διαχείρισης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας αρχικά στους οικιακούς καταναλωτές και κατ' επέκταση στο σύστημα της ηλεκτροπαραγωγής. Τα δύο σενάρια ανάχθηκαν σε προβλήματα βελτιστοποίησης, όπου επιδιώχθηκε η βέλτιστη μετατόπιση των ευέλικτων συσκευών έτσι ώστε να πετύχουμε μια επιθυμητή καμπύλη ζήτησης που ορίζεται από το διαχειριστή δικτύου. Τα αποτελέσματα και οι δείκτες αξιολόγησης έδειξαν ότι μια τέτοια στρατηγική μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη τρόπο κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος του πρώτου σεναρίου δέχεται ως δεδομένα εισόδου τη προβλεπόμενη καμπύλη ζήτησης της εξεταζόμενης κατοικίας, την προβλεπόμενη ώρα λειτουργίας των οικιακών συσκευών (δεδομένα που προκύπτουν από την μοντελοποίηση), την ευελιξία μετατόπισης των συσκευών και λύνει το πρόβλημα βελτιστοποίησης βάσει αυτών των παραμέτρων. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος του δεύτερου σεναρίου δέχεται ως δεδομένα εισόδου την προβλεπόμενη λειτουργία των θερμικών μονάδων παραγωγής και την ευελιξία μετατόπισης των συσκευών.

Η τεχνική αυτή δύναται να εφαρμοστεί με την μελλοντική αναβάθμιση των υφιστάμενων δικτύων σε έξυπνα δίκτυα, τα οποία με την κατάλληλη υποδομή θα λαμβάνουν και θα αξιολογούν τις μετρήσεις, θα αναλύουν τα δεδομένα και θα προβαίνουν σε παρεμβάσεις. Κομβικό σημείο γι' αυτή την επίτευξη αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές. Ο μετρητής αυτός επιτρέπει την καταγραφή, ανάλυση και μετάδοση πολλών και διαφορετικών μετρούμενων δεδομένων, δίνοντας την δυνατότητα στους διαχειριστές των δικτύων διανομής, τους προμηθευτές ενέργειας και τους καταναλωτές να συγκεντρώνουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα πρότυπα χρήσης, καθώς και να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα ενεργειακά προφίλ τους. Μπορεί να καταγράφει σε πραγματικό χρόνο την ενεργειακή κατανάλωση δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει τη ροή της τόσο τοπικά όσο και απομακρυσμένα, μέσω ασύρματων δικτύων, του διαδικτύου και των έξυπνων τηλεφώνων (smart phones). Κάθε μετρητής μπορεί να αποστέλλει αυτόματα τα στοιχεία της κατανάλωσης σε έναν κεντρικό υπολογιστή που τα συλλέγει και τα επεξεργάζεται και ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή, κοιτάζοντας στην οθόνη του υπολογιστή να γνωρίζει και κυρίως να ελέγχει τι καταναλώνει. Έτσι μπορεί να περιορίζει την άσκοπη χρήση στην κατανάλωση ενέργειας.

Επίσης, μελέτες έδειξαν πως παρεμβάσεις για την αυτοματοποίηση της απόκρισης ζήτησης αποτελούν τον πιο αποδοτικό τρόπο για την μετατόπιση της ζήτησης στους οικιακούς καταναλωτές, όπου συγκεκριμένα ευέλικτα φορτία όπως συστήματα κλιματισμού και ηλεκτρικής θέρμανσης. Οι αυτοματισμοί απαιτούν την αξιοποίηση τεχνολογίας για την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής. Για παράδειγμα, οι θερμοστάτες στα συστήματα κλιματισμού μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να περιοριστεί η ζήτηση κατά τις περιόδους ψηλών χρεώσεων. Στις έρευνες που μελετήθηκαν, οι αυτοματισμοί

χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα κλιματισμού χώρου, ηλεκτρικής θέρμανσης χώρου και νερού αλλά και αντλίες δεξαμενών. Κάποιες μελέτες χρησιμοποίησαν και μεθόδους άμεσου ελέγχου φορτίου ακόμα και από τον ίδιο τον πάροχο ενέργειας.

Οι πιο πιθανές προκλήσεις που εμφανίζονται κατά την εφαρμογή DSM προγραμμάτων είναι:

- Οι πελάτες ενδέχεται να μην είναι πρόθυμοι να αλλάξουν τις δραστηριότητές τους. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα σε μια χώρα όπου η τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος δεν ακολουθεί την διακύμανση της ζήτησης.
- Το επίπεδο άνεσης των πελατών ενδέχεται να επηρεαστεί από την εφαρμογή των τέτοιων προγραμμάτων.
- Οι υποδομές τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών όπως η προηγμένη μέτρηση, το σύστημα επικοινωνιών, οι μέθοδοι ελέγχου και οι τεχνολογίες πληροφοριών δεν είναι πλήρως διαθέσιμες στα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι υποδομές πρέπει να είναι έτοιμες πριν από την επιτυχή εφαρμογή του προγράμματος DR, καθώς συνεπάγεται επένδυση πολλών εκατομμυρίων δολαρίων.
- Η πολυπλοκότητα της συνολικής λειτουργίας του συστήματος θα αυξηθεί με την εφαρμογή των τεχνικών απόκρισης ζήτησης.

## **5.2 Μελλοντικές επεκτάσεις**

Στην Ελλάδα δεν έχει πραγματοποιηθεί καμιά έρευνα, ώστε να αξιολογηθεί η προθυμία των καταναλωτών να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για μείωση ζήτησης κατά τις περιόδους αιχμής του συστήματος. Είναι σαφές ότι έλλειψη δοκιμών στον ελλαδικό χώρο και λόγω των σχετικά ανάμεικτων ευρημάτων από τις διεθνείς έρευνες, δεν γίνεται να εξαχθούν ασφαλή θεωρητικά συμπεράσματα από την εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων στη Λέσβο. Έτσι, περαιτέρω ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα αυτό κρίνεται απαραίτητη. Επίσης, μια μελέτη για την αποδοχή των έξυπνων συσκευών από τους καταναλωτές παρέχει κάποια περεταίρω στοιχεία. Επιπλέον, η τεχνική διαχείρισης της ζήτησης θα μπορούσε να επεκταθεί περαιτέρω έτσι ώστε να υλοποιείται η μετατόπιση των φορτίων λαμβάνοντας υπόψη την διαθεσιμότητα παραγωγής των ΑΠΕ του νησιού.

Το βασικότερο σημείο όμως είναι η ανάπτυξη της ορθής συνείδησης εξοικονόμησης ενέργειας, μέσα από δράσεις οι οποίες θα εστιάσουν σε αυτό. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.





# 6

## Βιβλιογραφία

- [1] IEA, “ENERGY POLICIES OF IEA COUNTRIES,” 2017.
- [2] F. Petrakopoulou, “Energy Statistics and Renewable Energy Potential of Greece,” *GENERGIS - Green Energy Islands*, no. June 2015, 2015.
- [3] Eurostat, “Final energy consumption,” 2018. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg\\_07\\_11](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sdg_07_11).
- [4] IEA, “World Energy Balances 2017,” 2017. [Online]. Available: <http://www.iea.org/statistics/>. [Accessed: 02-Jun-2018].
- [5] N. Hatziaargyriou, I. Margaritis, I. Stavropoulou, S. Papathanassiou, and A. Dimeas, “Noninterconnected Island Systems: The Greek Case,” *IEEE Electr. Mag.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–27, 2017.
- [6] HEDNO, “Μηνιαία Δελτία ΑΠΕ και Θερμικής Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά,” 2018. [Online]. Available: <https://www.deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristimi-diasundedemenwn-nisiwn>. [Accessed: 31-May-2018].
- [7] N. Hatziaargyriou and A. Dimeas, “Renewable Energy Developments in Greek islands,” 2016.
- [8] DAFNI, “SMART GRID APPLICATIONS & THE CASE OF EUROPEAN ISLANDS a new green technology revolution,” *Conf. Peripher. Marit. Reg.*, 2014.
- [9] I. Margaritis, “HEDNOs strategy in a very challenging new energy environment,” 2017.
- [10] N. Βέττας, “Οι ενεργειακές δυνατότητες της Ελλάδας ως αναπτυξιακός παράγοντας,” *IOBE*, 2016.
- [11] Θ. Ευφημία, “Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ,” ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2009.
- [12] ΕΛΣΤΑΤ, “Δημογραφικά χαρακτηριστικά,” 2011. [Online]. Available:

- <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011>. [Accessed: 04-May-2018].
- [13] Υ. Εσωτερικών, “ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΗΜΟΥ ΛΕΣΒΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2015 - 2019,” 2015.
- [14] L. Chao, “HOME ENERGY CONSUMPTION ESTIMATION BY END USE AND ENERGY EFFICIENCY UPGRADE RECOMMENDATIONS,” 2014.
- [15] Υ.Π.Ε.Κ.Α., “Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας,” 2012.
- [16] Hellenic Statistical Authority, “Press Release - Survey on Energy Consumption in Households,” no. October, pp. 2011–2012, 2013.
- [17] P. Balakumar and S. Sathiya, “Demand side management in smart grid using load shifting technique,” in *2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)*, 2017, pp. 1–6.
- [18] N. G. Dlamini and F. Cromieres, “Implementing peak load reduction algorithms for household electrical appliances,” *Energy Policy*, vol. 44, pp. 280–290, 2012.
- [19] A. Sinha and M. De, “Load shifting technique for reduction of peak generation capacity requirement in smart grid,” in *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016, pp. 1–5.
- [20] A. Rahman, Gopakumar/, and Gokul, “Demand Side Optimization using a Load Shifting Algorithm,” p. 2014, 2014.
- [21] M. Uddin, M. F. Romlie, M. F. Abdullah, S. Abd Halim, A. H. Abu Bakar, and T. Chia Kwang, “A review on peak load shaving strategies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. February, pp. 3323–3332, 2018.
- [22] A. Palamar, E. Pettai, and V. Beldjajev, “Control System for a Diesel Generator and UPS Based Microgrid,” *Sci. J. Riga Tech. Univ. Power Electr. Eng.*, vol. 26, pp. 48–53, 2011.
- [23] A. C. Lloyd and T. A. Cackette, “Diesel Engines: Environmental Impact and Control,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 51, no. 6, pp. 809–847, Jun. 2001.
- [24] F. R. Tsakiris, *Energy Development in the Non-Connected Islands of the Aegean Sea*. 2010.
- [25] M. De Blécourt, “Load-shifting in a new perspective Smart scheduling of smart household appliances using an Agent-Based Modelling Approach,” 2012.
- [26] D. Gotham, K. Muthuraman, P. Preckel, R. Rardin, and S. Ruangpattana, “A load factor based mean-variance analysis for fuel diversification,” *Energy Econ.*, vol. 31, no. 2, pp. 249–256, 2009.

- [27] P. H. Maruthi, K. M. Likith, and T. Ananthapadmanabha, “A Novel Approach for Optimal Allocation of a Distributed Generator in a Radial Distribution Feeder for Loss Minimization and Tail End Node Voltage Improvement during Peak Load,” *Int. Trans. Electr. Comput. Eng. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 67–72, Mar. 2014.
- [28] Charles River Associates, “The World Bank Charles River Associates 5335 College Avenue , Suite 26 Oakland , California 94618,” no. February, 2005.
- [29] Γ. Η. Ασημακοπούλου, “Συμβολή στη βέλτιστη διαχείριση διεσπαρμένων ενεργειακών πόρων,” National Technical University of Athens, 2017.
- [30] A. De Almeida, P. Fonseca, R. Bandeirinha, T. Fernandes, R. Araújo, U. Nunes, M. Dupret, J. P. Zimmermann, B. Schlomann, and E. Gruber, “Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe.”
- [31] IEA, “Integration of Demand Side Management , Distributed Generation , Renewable Energy Sources and Energy Storages Participants,” 2008.
- [32] N. Gudi, “A simulation platform to demonstrate active demand-side management by incorporating heuristic optimization for home energy management,” 2010.
- [33] A. Faruqui, R. Hledik, and J. Tsoukalis, “The Power of Dynamic Pricing,” *Electr. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 42–56, 2009.
- [34] V. Stankovic, L. Webb, and W. C. Smart, “Smart Homes and Energy Demand Reduction.”
- [35] A. R. S. Vidal, L. A. A. Jacobs, and L. S. Batista, “An evolutionary approach for the demand side management optimization in smart grid,” in *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, 2014, pp. 1–7.
- [36] T. Logenthiran, D. Srinivasan, and T. Z. Shun, “Demand Side Management in Smart Grid Using Heuristic Optimization,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1244–1252, 2012.
- [37] A. Tascikaraoglu, A. R. Boynuegri, and M. Uzunoglu, “A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey,” *Energy Build.*, vol. 80, pp. 309–320, 2014.
- [38] Y. Motozawa, “Analysis of Linear , Integer , and Binary Programming and their Applications,” 2009.
- [39] T. Lineham, H. Oxford, W. Brown, J. Griggs, G. Surveys, L. Harding, and A. E. A. Technology, “Household Electricity Survey A study of domestic electrical product usage,” 2012.
- [40] “A Smart Electricity Rate from Ameren Illinois,” *Power Smart Pricing*, 2018. [Online]. Available: <https://www.powersmartpricing.org/>.

- [41] “Real-time pricing for residential customers,” *Ameren Illinois Power Co.*, 2010.  
[Online]. Available: [http://www.ameren.com/Residential/ADC\\_RTP\\_Res.as](http://www.ameren.com/Residential/ADC_RTP_Res.as).
- [42] J. Lofberg, “YALMIP : a toolbox for modeling and optimization in MATLAB,” in *2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (IEEE Cat. No.04CH37508)*, 2004, pp. 284–289.