



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΣΑΒΒΑ ΚΑΡΡΑ

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



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

Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΣΑΒΒΑ ΚΑΡΡΑ

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις :

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

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

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

.....
ΣΑΒΒΑΣ ΚΑΡΡΑΣ

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

Copyright © Σάββας Καρρας, 2016
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 τη συγγραφέα.

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

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα έχει αποτελέσει αντικείμενο πληθώρας μελετών εξαιτίας της μεγάλης ανάγκης για εξοικονόμηση ενέργειας. Στην εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται κάποια βιβλιογραφικά στοιχεία όσον αφορά τη σχέση κτιρίων και ενέργειας σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Εν συνεχεία η εργασία χωρίζεται σε δύο επιμέρους μελέτες.

Το πρώτο μέρος αφορά την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός διαμερίσματος στην Αθήνα με χρήση του προγράμματος προσομοίωσης EnergyPlus. Αρχικά, περιγράφεται η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του προγράμματος και έπειτα παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα της σε ημερήσια και ετήσια βάση.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, γίνεται στην αρχή μια περιγραφή ορισμένων τεχνικών πρόβλεψης της ηλεκτρικής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα και παραθέτονται τέσσερις σχετικές μελέτες για τρεις ευρωπαϊκές χώρες (Ιταλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Φινλανδία). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής για την μοντελοποίηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης μιας υποθετικής περιοχής χιλίων νοικοκυριών στην Ελλάδα. Τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα, γίνεται σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης στον ελληνικό χώρο και παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα.

Λέξεις Κλειδιά: <<κτίρια, ενεργειακή κατανάλωση, EnergyPlus, μοντελοποίηση κατανάλωσης νοικοκυριών >>

Abstract

In the past few years, energy consumption in the field of constructions has been variously studied due to a great need that has occurred for energy saving. In the introduction of this diploma thesis there is a presentation of bibliographical data about the connection between buildings and energy both on European and on a national basis. Subsequently, the diploma thesis is divided in two individual studies.

The first part is a study conducted by the writer on the energy consumption profile of an apartment in Athens, using the EnergyPlus simulation program. At the beginning, there is a description of the function and the characteristics of the simulation program and afterwards, there is a further analysis of the simulation stages (input data) and the results on a daily and on an annual basis.

At the beginning of the second part, there is a general description of load prediction techniques in the residential sector and also a reference to four different papers concerning studies on the matter, in three different European countries (Italy, Great Britain, Finland). Then, there is an analytical presentation of the method used in the present diploma thesis for modeling electric load consumption in a hypothetical residential area of 1000 households, in Greece. Finally, there is a presentation and an analysis of the results in comparison to actual measurements made in Greece, accompanied by conclusions.

Keywords: «buildings, energy consumption, EnergyPlus, modeling household energy consumption»

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	9
1.1 Ενέργεια και κατοικίες.....	9
1.2 Κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε.	10
1.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.	11
1.4 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα.....	13
1.5 Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων στον οικιακό τομέα	14
1.5.1 Υφιστάμενη κατάσταση κατοικιών.....	15
1.5.2 Θερμική και ηλεκτρική κατανάλωση κατοικιών	16
1.5.3 Κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά και κατανάλωση	17
1.5.4 Καθημερινές συνήθειες και κατανάλωση.....	18
1.6 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	19
1.7 Ελληνική Νομοθεσία	22
1.7.1 Νόμος 3661/2008 (ΦΕΚ 89/Α/2008) "Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις"	22
1.7.2 Κ.Εν.Α.Κ.	22
1.7.3 Νόμος 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»	25
2. Πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus	27
2.1 Εισαγωγή	27
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά προγράμματος προσομοίωσης Energy Plus	29
2.3 Βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμών που χρησιμοποιεί το Energy Plus	29
2.3.1 Συνάρτηση μεταφοράς αγωγιμότητας	29
2.3.2 Θερμική ισορροπία εξωτερικών επιφανειών	31
2.3.3 Θερμική ισορροπία εσωτερικών επιφανειών	32
2.3.4 Ακούσιος αερισμός	33
2.3.5 Εκούσιος αερισμός	33
2.3.6 Ηλιακά κέρδη	34
2.4 Το πρόγραμμα EnergyPlus	34
2.4.1 Κλιματικά δεδομένα.....	35
2.4.2 Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus.....	35
2.4.3 Κατηγορίες δεδομένων εισόδου στο EnergyPlus	37
2.4.4 Προσομοίωση κτιρίου	39
3. Προσομοίωση κτιρίου στο EnergyPlus	40
3.1 Περιγραφή του κτιρίου	40
3.2 Θερμικές ζώνες.....	40
3.3 Δομικά υλικά και στρώσεις	41
3.4 Σχεδιασμός κτιρίου	42
3.5 Εσωτερική μάζα (Internal Mass)	44
3.6 Χρονοδιαγράμματα (Schedules).....	44
3.7 Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Gains).....	46
3.8 Ροή του αέρα δια μέσου των θερμικών ζωνών (Zone Airflow)	48
3.9 Πρότυπα συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού (HVAC templates).....	49
3.10 Καθορισμός αποτελεσμάτων (Output:Reporting)	51
3.11 Αποτελέσματα	51
3.11.1 Ημερήσια θερμοκρασία διαμερίσματος.....	51
3.11.2 Ηλεκτρική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το καλοκαίρι.....	53
3.11.3 Ηλεκτρική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το χειμώνα.....	54
3.11.4 Συνολική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το καλοκαίρι	55
3.11.5 Συνολική κατανάλωση ενέργειας μιας τυχαίας μέρας το χειμώνα.....	55
3.11.7 Σύγκριση ημερήσιων καμπύλων κατανάλωσης για καλοκαίρι και χειμώνα	56

3.11.8	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	57
3.11.9	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας.....	58
3.12	Αποτελέσματα σε HTML	59
3.13	Συμπεράσματα	61
4.	Τεχνικές μοντελοποίησης και πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα	62
4.1	Εισαγωγή	62
4.2	Τεχνικές	63
4.2.1	Top-down	64
4.2.2	Bottom-up.....	64
4.3	Ηλεκτρική κατανάλωση των σπιτιών στην Ιταλία.....	65
4.4	Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στο Ηνωμένο Βασίλειο	69
4.4.1	Δεδομένα - Μεθοδολογία.....	69
4.4.2	Δημιουργία του προφίλ κατανάλωσης.....	71
4.4.3	Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	72
4.5	Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στο Ηνωμένο Βασίλειο (2)	73
4.5.1	Δεδομένα	73
4.5.2	Μεθοδολογία.....	75
4.6	Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στην Φινλανδία	77
4.6.1	Μεθοδολογία.....	77
4.6.2	Εφαρμογή του μοντέλου και αποτελέσματα.....	80
4.6.3	Εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας.....	81
5.	Υπολογισμός της ηλεκτρικής κατανάλωσης μιας περιοχής.....	83
5.1	Επεξεργασία δεδομένων	83
5.2	Δημιουργία του μοντέλου υπολογισμού	85
5.3	Ηλεκτρική κατανάλωση στα ελληνικά νοικοκυριά	86
5.4	Ημερήσια χρήση των ηλεκτρικών συσκευών	89
5.5	Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης.....	93
5.6	Αποτελέσματα	93
5.6.1	Αποτελέσματα ανά τύπο νοικοκυριού	93
5.6.2	Συνολικά αποτελέσματα.....	96
6.	Συμπεράσματα	100
	Παράρτημα.....	102
	Βιβλιογραφία.....	104

1. Εισαγωγή

1.1 Ενέργεια και κατοικίες

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων, η οποία είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι αποτελεί πρωταρχικής σημασίας έννοια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το σύγχρονο παγκόσμιο ενεργειακό ζήτημα έχει αναχθεί σε πηγή σημαντικών γεωπολιτικών προβλημάτων, χρόνιας οικονομικής αστάθειας, ανησυχητικής περιβαλλοντικής ρύπανσης και σοβαρών κοινωνικών ανισοτήτων [1].

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το σημαντικότερο κομμάτι της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (40%) οφείλεται στον κτιριακό τομέα [2]. Στην Ελλάδα αυτό το ποσοστό είναι περίπου 42% και τα κτίρια ευθύνονται για πάνω από το 45% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του βασικού αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου [3]. Έχει δε υπολογιστεί ότι με την καύση ενός τόνου ισοδύναμου πετρελαίου (1 toe) υγρού καυσίμου εκπέμπονται τουλάχιστον τρεις τόνοι CO₂ στο περιβάλλον.

Επομένως, η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια είναι ιδιαίτερα εμφανής και η λήψη μέτρων για τον περιορισμό των θερμικών, ηλεκτρικών, ψυκτικών ή άλλων ενεργειακών αναγκών τους είναι επιβεβλημένη, όπως και ο φιλικός και λειτουργικός σχεδιασμός των νέων κτιρίων ως προς το περιβάλλον με βάση την βιοκλιματική αρχιτεκτονική και την εφαρμογή συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Παράλληλα, τα οφέλη από την εφαρμογή στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας είναι και οικονομικά διότι μειώνονται τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου.

Γι' αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια, το θέμα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων έχει τεθεί σε υψηλή προτεραιότητα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [4]. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από μια σειρά σχετικών αποφάσεων και οδηγιών, μεταξύ των οποίων η Οδηγία 2002/91 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και η Οδηγία 2006/32 για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες. Η Οδηγία 2002/91 ορίζει ότι τα κράτη-μέλη οφείλουν να εφαρμόσουν μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων βάσει κάποιων γενικών προδιαγραφών που ορίζει η Ε.Ε. Ενθαρρύνεται επίσης η χρήση δείκτη εκπομπών CO₂ ώστε να γίνεται φανερή η συνεισφορά στη μείωση των εκπομπών από τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που τυχόν εφαρμόζονται.

1.2 Κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε.

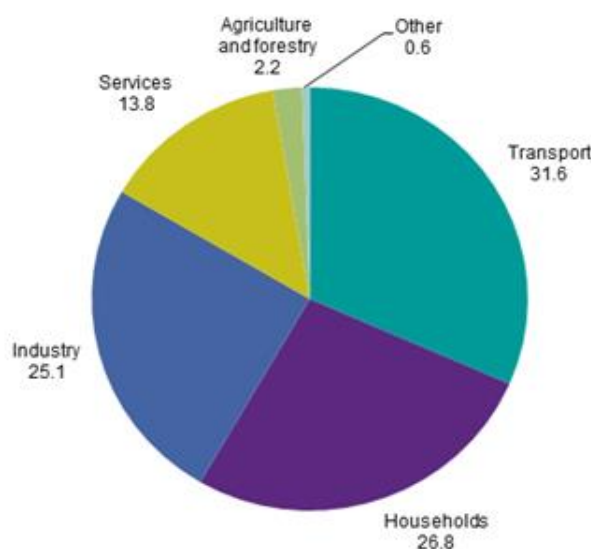
Η τελική κατανάλωση ενέργειας των 28 κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (δηλαδή αν εξαιρέσουμε την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και αυτή που χάνεται στα στάδια μετασχηματισμού και μεταφοράς της) ισούται με 1.104 εκατομμύρια toe σύμφωνα με τις τελευταίες μετρήσεις του 2014 από τη Eurostat. Κατά την διάρκεια των 25 τελευταίων ετών η τελική κατανάλωση ενέργειας έφτασε στη μέγιστη τιμή της την περίοδο 2003 – 2008 ενώ από το 2009 και μετά παρουσιάζει συνεχή πτώση κυρίως λόγω της οικονομικής κρίσης σε διεθνές επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα η μέγιστη τιμή της ήταν το 2006 στα 1.187 εκατομμύρια toe και η απότομη πτώση του 2009 ήταν της τάξης του 5,7 %. Η Γερμανία είναι η χώρα με την υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη, η οποία μάλιστα αποτελεί το 20% της συνολικής ευρωπαϊκής. Οι τελικές καταναλώσεις στην Ελλάδα για το 2014 ισοδυναμούν με 15,8 εκατομμύρια toe, παρουσιάζουν μικρή αύξηση σε σχέση με τις τιμές του 1990 και είναι σχεδόν στα ίδια επίπεδα με τις προηγούμενες μετρήσεις του 2013, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του Eurostat.

Πίνακας 1-1 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε. [Πηγή Eurostat]

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	Share in EU-28, 2014 (%)
EU-28	1 081.1	1 082.7	1 132.8	1 191.3	1 163.8	1 105.5	1 104.9	1 106.6	1 061.7	100.0
Belgium	31.5	34.4	37.6	36.6	38.6	35.2	35.0	36.2	34.0	3.2
Bulgaria	16.4	11.4	9.1	10.2	8.8	9.3	9.2	8.8	9.0	0.8
Czech Republic	32.5	26.1	24.8	26.0	24.9	24.1	23.7	23.9	23.0	2.2
Denmark	13.5	14.8	14.7	15.5	15.5	14.8	14.2	14.1	13.5	1.3
Germany	228.9	221.6	220.0	218.5	219.7	208.8	212.1	217.7	208.9	19.7
Estonia	5.7	2.6	2.4	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	2.8	0.3
Ireland	7.3	8.0	10.8	12.6	12.0	10.9	10.6	10.7	10.8	1.0
Greece	14.7	15.8	18.7	21.0	19.1	19.0	17.1	15.3	15.6	1.5
Spain	57.1	64.0	79.9	97.8	89.1	86.7	83.2	80.8	79.2	7.5
France	136.2	143.5	155.3	160.2	155.0	143.8	148.0	151.9	141.7	13.4
Croatia	6.5	5.3	6.0	7.2	7.2	7.0	6.7	6.6	6.2	0.6
Italy	107.7	114.6	124.7	137.2	128.5	123.1	121.8	118.5	113.4	10.7
Cyprus	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	0.2
Latvia	6.4	3.8	3.3	4.0	4.1	3.9	4.0	3.9	3.9	0.4
Lithuania	9.7	4.6	3.8	4.6	4.8	4.7	4.8	4.7	4.8	0.5
Luxembourg	3.3	3.1	3.5	4.5	4.3	4.3	4.2	4.1	4.0	0.4
Hungary	19.9	16.2	16.1	18.2	16.5	16.1	14.8	15.3	15.4	1.4
Malta	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1
Netherlands	41.8	51.0	52.3	54.2	55.1	51.6	51.5	51.6	47.3	4.5
Austria	19.3	21.4	23.7	27.8	28.0	27.1	27.0	27.9	26.8	2.5
Poland	59.9	62.9	55.3	58.5	66.4	64.8	64.4	63.3	61.6	5.8
Portugal	11.9	13.9	17.9	19.0	18.1	17.3	16.0	15.9	15.8	1.5
Romania	40.8	27.0	22.8	24.7	22.6	22.8	22.8	21.8	21.7	2.0
Slovenia	3.7	4.1	4.5	4.9	5.0	5.0	4.9	4.8	4.6	0.4
Slovakia	15.2	11.0	11.0	11.6	11.5	10.8	10.3	10.6	10.1	0.9
Finland	21.7	22.0	24.3	25.2	26.2	25.0	25.2	24.7	24.4	2.3
Sweden	31.2	35.1	35.0	33.7	34.1	32.4	32.4	31.6	31.2	2.9
United Kingdom	136.9	142.7	153.2	152.7	143.3	132.0	135.9	137.2	129.8	12.2
Iceland	1.4	1.5	1.9	2.0	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	–
Norway	16.1	16.9	18.1	18.6	19.6	18.7	18.8	19.0	18.4	–
Montenegro	–	–	–	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	–
FYR of Macedonia	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	1.7	–
Albania	1.9	0.9	1.5	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.1	–
Serbia	11.8	6.1	6.9	9.6	9.0	9.2	8.5	8.3	7.8	–
Turkey	38.6	45.1	56.2	63.4	74.0	78.7	84.2	82.9	85.9	–
Bosnia and Herzegovina	3.3	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.9	4.5	–
Kosovo (under UNSCR 1244/99)	–	–	0.8	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	–

Source: Eurostat (online data code: nrg_100a)

Οι τρεις κύριοι τομείς στους οποίους έχουμε τα υψηλότερα ποσοστά καταναλώσεων ενέργειας είναι οι μεταφορές , η βιομηχανία και ο οικιακός τομέας. Παρατηρώντας λοιπόν ότι το ποσοστό της τελικής ενέργειας που καταναλώνεται στα νοικοκυριά είναι 26,8%, δηλαδή πάνω από το ένα τέταρτο καταλαβαίνουμε πόσο σημαντική είναι η λήψη μέτρων που θα έχουν ως στόχο την μείωση των καταναλώσεων.

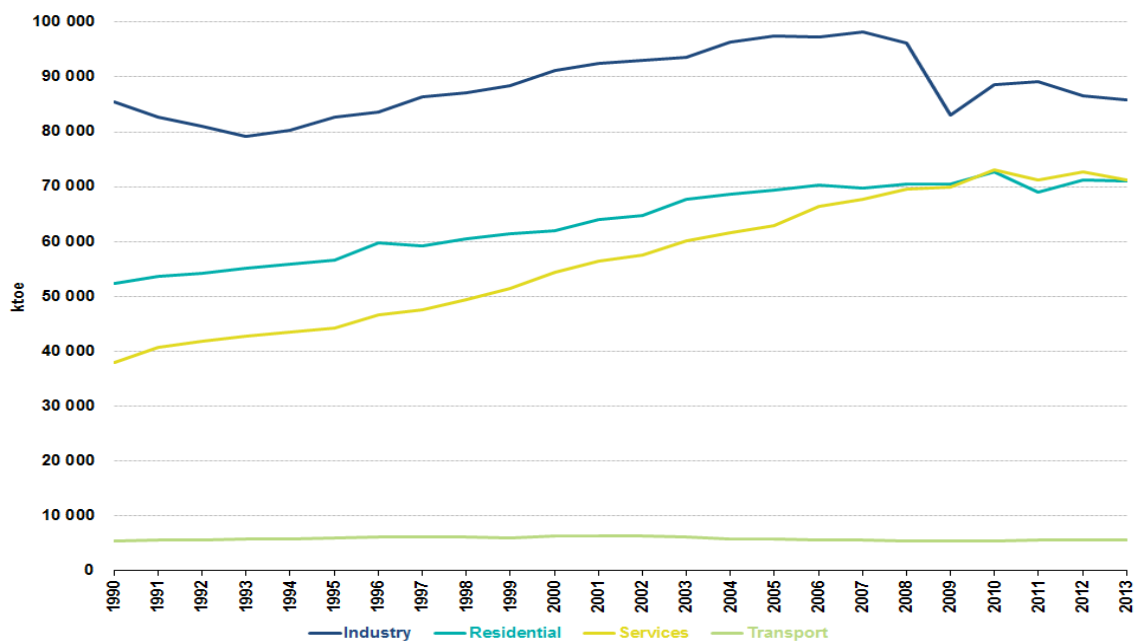


Διάγραμμα 1-1. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. [Πηγή Eurostat]

1.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.

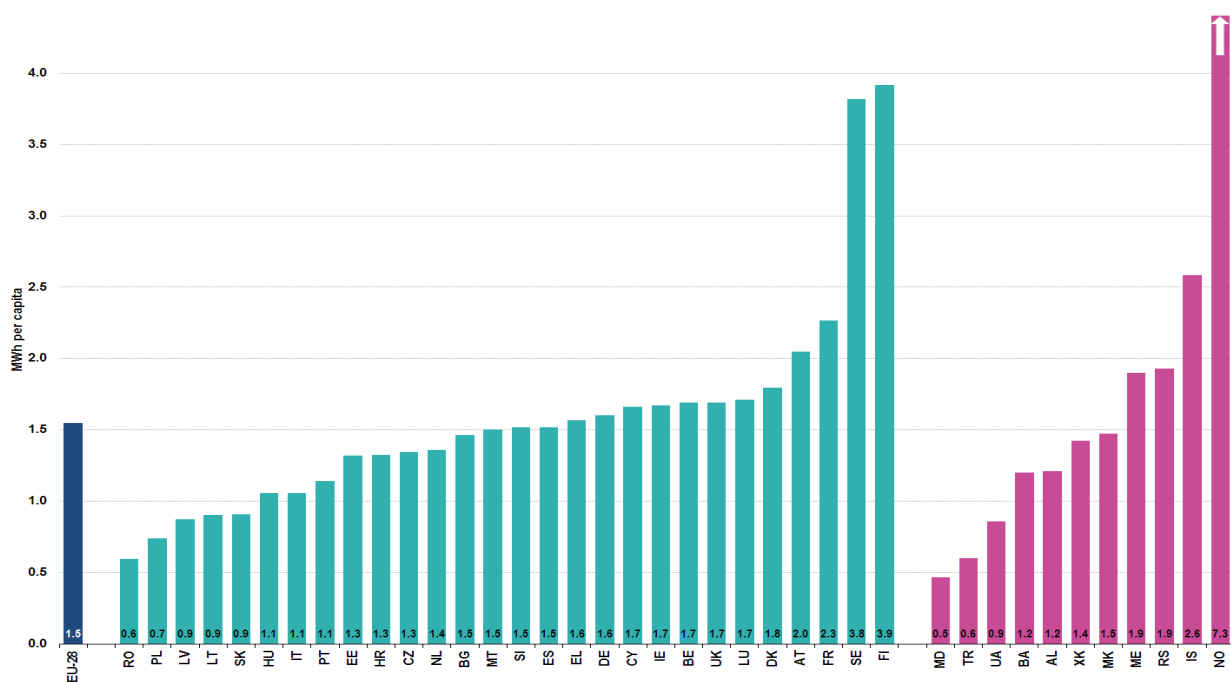
Εστιάζοντας το ενδιαφέρον της μελέτης μας στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατηρούμε αύξηση κατά 32,5% την περίοδο 1990 – 2008. Λόγω της οικονομικής κρίσης που ήρθε στην επιφάνεια το 2009 είχαμε μια μείωση κατά 5,2%, έως ότου επανέλθει στα προηγούμενα επίπεδα το 2010. Καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου από το 1990 μέχρι το 2013 που έγιναν και οι τελευταίες επίσημες μετρήσεις από την Ε.Ε. , η ηλεκτρική κατανάλωση αυξήθηκε κατά 28,1%. Η τεράστια αυτή αύξηση είναι αποτέλεσμα των αλλαγών στο συνολικό αριθμό των νοικοκυριών καθώς και του αριθμού των ατόμων από τα οποία αποτελούνται τα νοικοκυριά αυτά - δηλαδή σχετίζεται με δημογραφικά στοιχεία. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που εξηγούν το φαινόμενο είναι η αύξηση των οικιακών συσκευών και των καταναλωτικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται σε ένα σπίτι στο διάστημα αυτό.

Το 2013, η ηλεκτρική κατανάλωση στον τομέα της βιομηχανίας ήταν περίπου 86 Μtoe, στον τομέα των υπηρεσιών 71Μtoe, στον οικιακό τομέα 71 Μtoe και στις μεταφορές 5,5 Μtoe.



Διάγραμμα 1-2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. [Πηγή Eurostat]

Ο μέσος όρος της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα στο σύνολο των 28 χωρών της Ε.Ε. είναι 1,5 MWh ανά άτομο. Το εύρος των τιμών είναι αρκετά μεγάλο, καθώς οι τιμές των καταναλώσεων ποικίλουν από λίγο λιγότερο της 1MWh ανά άτομο στις περιοχές της Ρουμανίας, Πολωνίας, Λιθουανίας, Λετονίας και Σλοβακίας έως άνω των 3MWh ανά άτομο στη Φιλανδία και στη Σουηδία. Στην Ελλάδα είναι 1,6 MWh το χρόνο, περίπου ίσο δηλαδή με τον μέσο όρο της Ε.Ε..



Διάγραμμα 1-3. Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά άτομο στην Ευρώπη [Πηγή Eurostat]

1.4 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα

Ο κτιριακός τομέας έχει έντονο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τη χρήση πρωτογενών υλών, την κατανάλωση φυσικών πόρων καθώς και την παραγωγή ρύπων και αποβλήτων [5]. Το πλήθος των κτιρίων στην Ελλάδα εκτιμάται περίπου σε 4 εκατομμύρια, από τα οποία το 77% είναι κατοικίες. Η πλειοψηφία των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980, και κατ' επέκταση έχουν ελλιπή ή καθόλου θερμομονωτική προστασία και ηλεκτρομηχανολογικές (H/M) εγκαταστάσεις με χαμηλές αποδόσεις. Συνεπώς, είναι προφανές ότι τα ελληνικά κτίρια είναι ενεργοβόρα και ότι η πλειοψηφία τους θα χρειαστεί κάποιας μορφής ανακαίνιση στο κέλυφος και στις H/M εγκαταστάσεις τα επόμενα χρόνια ώστε να εναρμονιστεί με τους νέους κανονισμούς ενεργειακής απόδοσης ή για να μειωθεί το λειτουργικό τους κόστος και να βελτιωθεί η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος [6].

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία (ΕΛΣΤΑΤ 2012) η τελική κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια αντιστοιχεί περίπου στο 42% της συνολικής κατανάλωσης ή σε 7,3 εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe), σε αντίθεση με το 20% το 1980, το 26% το 1990 και το 32% το 2000. Περίπου 5,04 Mtoe (58,615 GWh) καταναλώθηκαν στα κτίρια κατοικιών (69% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα) και 2,23 Mtoe (25,935 GWh) στα κτίρια του τριτογενή τομέα (30,5%), εκτός γεωργικών χρήσεων. Επίσης, τα ελληνικά κτίρια καταναλώνουν περίπου το 72% της τελικά διαθέσιμης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλουν κατά περίπου 45% στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

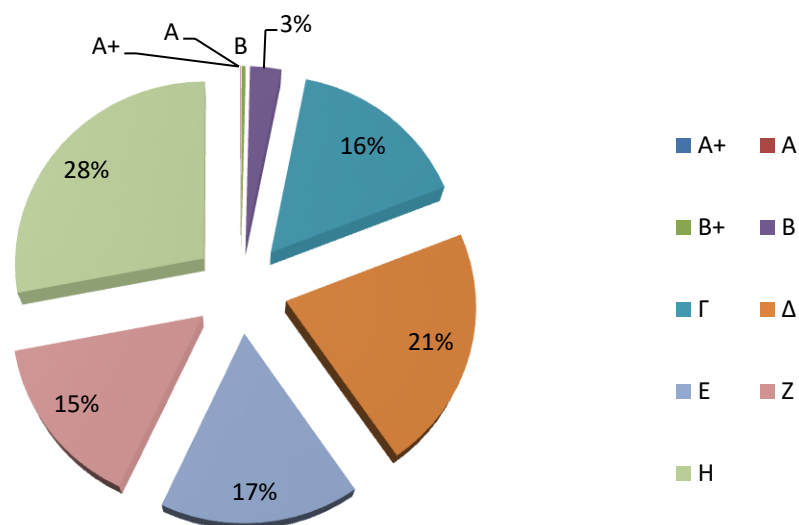
Το 2010, τα υπουργεία Οικονομικών και Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΠΕΚΑ) ενέκριναν Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, σύμφωνα με τον οποίο τα κτίρια κατατάσσονται με βάση την ενεργειακή τους απόδοση σε 9 κατηγορίες (A+, A, B+, B, Γ, Δ, E,Z, H).

Πίνακας 1-2 Κατάταξη ενεργειακών κλάσεων

Ενεργειακή κλάση	Όρια κλάσης
A+	$A+ < 0,33 \cdot RR$
A	$0,33 \cdot RR \leq A < 0,5 \cdot RR$
B+	$0,5 \cdot RR \leq B+ < 0,75 \cdot RR$
B	$0,75 \cdot RR \leq B < 1,0 \cdot RR$
Γ	$1,0 \cdot RR \leq \Gamma < 1,41 \cdot RR$
Δ	$1,41 \cdot RR \leq \Delta < 1,82 \cdot RR$
E	$1,82 \cdot RR \leq E < 2,27 \cdot RR$
Z	$2,27 \cdot RR \leq Z < 2,73 \cdot RR$
H	$2,73 \cdot RR \leq H$

Από τον Ιανουάριο του 2011, που ξεκίνησε η διαδικασία έκδοσης των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.), μέχρι και το 2015, έχουν εκδοθεί 663.625 Π.Ε.Α. για διάφορες χρήσεις κτιρίων [7]. Κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης αποτελεί το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) του εξεταζόμενου κτιρίου προ την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (kWh/m²). Το κτίριο αναφοράς καταλαμβάνει πάντα την κατηγορία Β στην ενεργειακή κατάταξη και έχει την ίδια γεωμετρία, προσανατολισμό, προφίλ λειτουργίας και κλιματικά δεδομένα με το υπό μελέτη κτίριο.

Η συντριπτική τους πλειοψηφία (85%) αφορά σε κτίρια κατοικιών (μονοκατοικίες/πολυκατοικίες), ενώ μόλις το 15% αφορά σε κτίρια του τριτογενή τομέα, με τα γραφεία, τα καταστήματα και τους χώρους μαζικής εστίασης να έχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Από την ανάλυση των δεδομένων, επιβεβαιώνεται ότι τα κτίρια παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση στην υπάρχουσα κατάσταση και συνεπώς, υπάρχει μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Οι κατοικίες κατατάσσονται στην ενεργειακή κλάση Η κατά 32%, ενώ μόνο το 4% κατατάσσεται στις ενεργειακές κλάσεις Β και πάνω. Τα κτίρια του τριτογενή τομέα παρουσιάζουν γενικότερα καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά με το 37% να κατατάσσονται στην ενεργειακή κλάση Δ, ενώ μόνο το 6% κατατάσσονται στην ενεργειακή κλάση Η.



Διάγραμμα 1-4 Πιστοποιητικό ΠΕΑ κτιρίων ανά ενεργειακή κλάση [Πηγή ΥΠΕΚΑ]

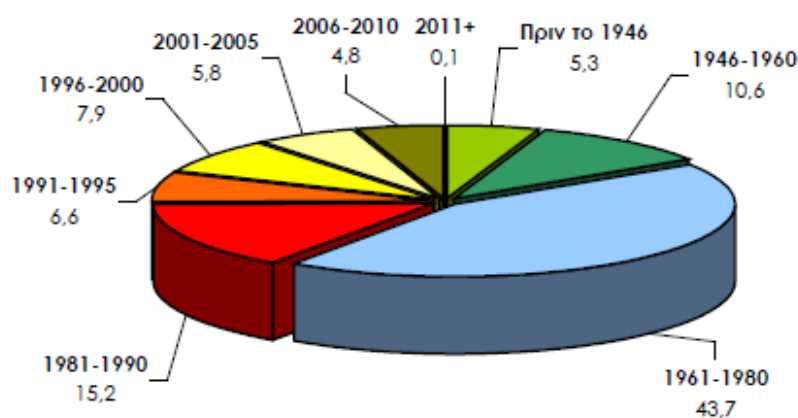
1.5 Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων στον οικιακό τομέα

Η ΕΛΣΤΑΤ διενήργησε για πρώτη φορά μια έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά κατά το χρονικό διάστημα Οκτωβρίου 2011 – Σεπτεμβρίου 2012, με την οποία συλλέχθηκαν πληροφορίες αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα επίπεδα κατανάλωσης

για διαφορετικές χρήσεις (θέρμανση- ψύξη χώρων, ζεστό νερό χρήσης, μαγείρεμα, φωτισμός κ.ά.), καθώς και τις ποσότητες και τα είδη των χρησιμοποιούμενων καυσίμων [8] . Η έρευνα, που υλοποιήθηκε με τη συνδρομή, ως τεχνικού εμπειρογνώμονα, του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ήταν δειγματοληπτική και διενεργήθηκε σε 3.600 νοικοκυριά. Η μεθοδολογική προσέγγιση για την εκτίμηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας βασίστηκε στις δαπάνες για ηλεκτρική ενέργεια όπως αυτές καταγράφηκαν από τα νοικοκυριά, στην αντίστοιχη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αναφοράς των δαπανών καθώς και στα χαρακτηριστικά και τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών που διαθέτουν τα νοικοκυριά. Περίοδοι αναφοράς για τα ενεργειακά δεδομένα είναι οι χειμερινοί Οκτώβριος 2011–Απρίλιος 2012 και θερινοί μήνες Μάιος 2012–Σεπτέμβριος 2012, καθώς και οι χειμερινοί και θερινοί -πριν τη διενέργεια της έρευνας- μήνες Οκτώβριος 2010–Απρίλιος 2011 και Μάιος 2011–Σεπτέμβριος 2011.

1.5.1 Υφιστάμενη κατάσταση κατοικιών

Το 43,7% των κτιρίων έχει κατασκευαστεί /αποπερατωθεί τις δεκαετίες '60 και '70, ενώ μόλις το 18,6% από το 2000 και μετά. Το 42% των κατοικιών βρίσκονται στο ισόγειο των κτιρίων, ενώ το 53,4% σε όροφο (έναν ή και περισσότερους – μεζονέτες). Η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει έντονη συσχέτιση με την ηλικία του κτιρίου, τόσο εξαιτίας της κατασκευής του κελύφους, όσο και των εγκατεστημένων Η/Μ συστημάτων. Η κατανάλωση μειώνεται από τα παλιότερα προς τα νεότερα κτίρια. Το 73,2% των κατοικιών είναι ιδιόκτητες, εκ των οποίων το 60,8% χωρίς οικονομικές υποχρεώσεις και το 12,4% με οικονομικές υποχρεώσεις (δάνειο, υποθήκη). Το μέσο εμβαδόν των κατοικιών ανέρχεται σε 84,8 m², με το 23,6% των νοικοκυριών να διαμένουν σε κτίρια με εμβαδόν μέχρι και 60 m², το 41,7% σε κτίρια με εμβαδόν μεταξύ 61-90 m² και το 34,7% σε κτίρια με εμβαδόν μεγαλύτερο από 90 m². Αναφορικά με τη μόνωση και τη θερμομόνωση, 5 στις 10 κατοικίες διαθέτουν θερμομόνωση, ενώ 1 στους 10 κατοίκους δεν γνωρίζει εάν υπάρχει μόνωση στην κατοικία που διαμένει.



Διάγραμμα 1-5 Ποσοστιαία κατανομή(%) των κατοικιών κατά περίοδο κατασκευής [Πηγή ΕΛΣΤΑΤ]

1.5.2 Θερμική και ηλεκτρική κατανάλωση κατοικιών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του. Από το ποσό αυτό η θέρμανση των χώρων και το μαγείρεμα απορροφά το 81%. Παράλληλα, κάθε νοικοκυριό καταναλώνει, συνολικά για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του, πετρέλαιο θέρμανσης και ηλεκτρισμό σε ποσοστό 44,1% και 26,8 % αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, όσον αφορά στη θερμική ενέργεια (καύση καυσίμου, π.χ. υγραέριο, πετρέλαιο θέρμανσης κ.λπ. και ηλιακή ενέργεια) κάθε νοικοκυριό καταναλώνει κατά μέσο όρο 10.244 kWh το χρόνο. Σε ποσοστό 85,9% η ενέργεια αυτή καταναλώνεται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης των κατοικιών. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται περισσότερο (θέρμανση χώρων, μαγείρεμα και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης) είναι το πετρέλαιο (60,3%) και ακολουθούν τα καυσόξυλα (23,8%). Η χρήση του φυσικού αερίου παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (7,4%).

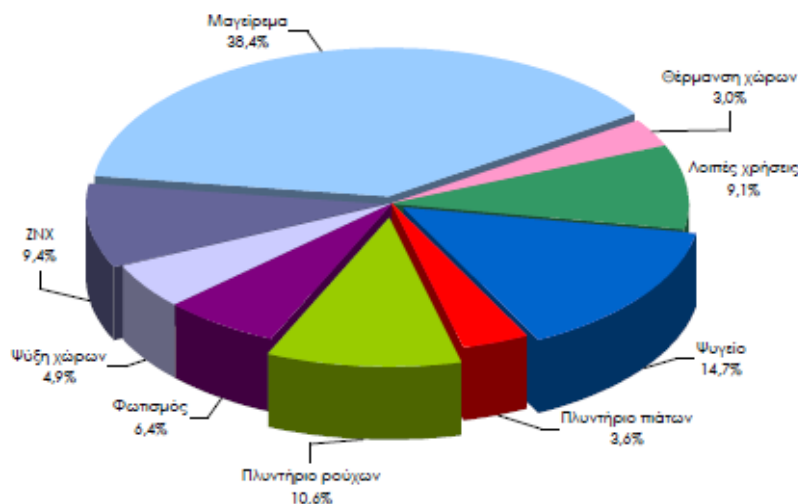
Τα νοικοκυριά των αστικών περιοχών παρουσιάζουν αυξημένη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, και σε ένα βαθμό, και πετρελαίου θέρμανσης, συγκρινόμενα με αυτά των αγροτικών περιοχών. Η χρήση καυσόξυλων είναι σημαντικά υψηλότερη στις αγροτικές περιοχές. Το 98,9% των κατοικιών διαθέτουν κάποιο σύστημα / εξοπλισμό θέρμανσης. Το 50,8% των νοικοκυριών χρησιμοποίησε κεντρικό σύστημα θέρμανσης ως κύριο σύστημα θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο, το 48,6% κάποιο ανεξάρτητο (αυτόνομο) σύστημα θέρμανσης και το 0,6% τηλεθέρμανση. Το 65,3% των νοικοκυριών ανέφερε ότι διαθέτει διακόπτη αυτονομίας για τη λειτουργία του κεντρικού συστήματος θέρμανσης, ενώ το 34,68% όχι.

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για το κύριο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας είναι:

- 63,8% πετρέλαιο θέρμανσης
- 12,4% ηλεκτρισμός
- 12% βιομάζα (καυσόξυλα, πελλέτες, μπριγκέτες, γεωργικά και δασικά υπολείμματα)
- 8,7% φυσικό αέριο

Να σημειωθεί πάντως πως 3 στα 10 νοικοκυριά χρησιμοποιούν εκτός του κύριου συστήματος θέρμανσης και κάποιο συμπληρωματικό σύστημα, το οποίο είναι, κυρίως, το τζάκι (32,3% των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης), ανεξάρτητες μονάδες κλιματισμού (28,2%) και φορητές ηλεκτρικές συσκευές, όπως ηλεκτρική σόμπα, αερόθερμο και καλοριφέρ (26,5%).

Η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό είναι 3.750 kWh. Από αυτά, το 38,4% καταναλώνεται από για το μαγείρεμα, το 14,7% για τη λειτουργία του ψυγείου, το 10,6% για τη λειτουργία του πλυντηρίου ρούχων και, μόλις, το 6,6% για το φωτισμό και το 4,9% για την ψύξη της κατοικίας.



Διάγραμμα 1-6 Ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση

Όσον αφορά την ψύξη, 6 στα 10 νοικοκυριά χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για να ψύχουν την κατοικία τους (ολόκληρη ή τμήμα αυτής) κατά τους ζεστούς μήνες του έτους. Το σύστημα αυτό σε ποσοστό 99,7% αφορά ανεξάρτητες μονάδες κλιματισμού (split units), ενώ κεντρικά συστήματα ψύξης καταγράφονται μόλις για το 0,3 % των νοικοκυριών. Το 66,1% των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για να ψύχουν την κατοικία τους, κάνει χρήση ανεξάρτητων μονάδων κλιματισμού 2- 4 μήνες το χρόνο, ενώ το 30,9% λιγότερο από 2 μήνες. Αναφορικά με την ημερήσια λειτουργία των συστημάτων ψύξης, τα μισά περίπου νοικοκυριά τα χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο 3-5 ώρες, κατά τους θερινούς μήνες (Μάιο έως Σεπτέμβριο).

Για την παροχή ζεστού νερού χρήσης, το 98,6% των νοικοκυριών διαθέτουν σύστημα / εξοπλισμό για να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Ειδικότερα, το 74,5% των νοικοκυριών χρησιμοποιεί ηλεκτρικό θερμοσίφωνα, το 37,6% ηλιακό θερμοσίφωνα και το 25,2% σύστημα συνδεδεμένο με την κεντρική θέρμανση (boiler).

1.5.3 Κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά και κατανάλωση

Η συσχέτιση των κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών των μελών των νοικοκυριών με την ενεργειακή τους κατανάλωση έδειξε ότι:

- Η μέση κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά άτομο σε μονομελή νοικοκυριά είναι κατά μέσο όρο 66% υψηλότερη από αυτή σε νοικοκυριά με περισσότερα μέλη. Αντίστοιχα, η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά άτομο είναι κατά μέσο όρο 69% υψηλότερη στην περίπτωση των μονομελών νοικοκυριών.
- Η μέση κατανάλωση θερμικής ενέργειας στα νοικοκυριά τα οποία διαθέτουν τουλάχιστον ένα μέλος άνω των 65 ετών είναι υψηλότερη κατά 8%, σε σχέση με νοικοκυριά που δεν

διαθέτουν ούτε ένα μέλος άνω των 65 ετών. Αντίθετα, τα νοικοκυριά με ένα μέλος άνω των 65 ετών εμφανίζουν χαμηλότερη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 17% σε σχέση με τα νοικοκυριά χωρίς μέλη ηλικίας άνω των 65 ετών.

- Νοικοκυριά με μέλη που εργάζονται εμφανίζουν υψηλότερη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 32% και θερμικής ενέργειας κατά 15%, σε σχέση με νοικοκυριά τα οποία δεν διαθέτουν κανένα μέλος που εργάζεται.
- Νοικοκυριά με άνεργα μέλη, εμφανίζουν υψηλότερη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 16% και χαμηλότερη μέση κατανάλωση θερμικής ενέργειας κατά 10% σε σχέση με νοικοκυριά τα οποία δεν διαθέτουν κανένα άνεργο μέλος.
- Στις ενοικιασμένες κατοικίες, η κατανάλωση θερμικής ενέργειας ήταν χαμηλότερη κατά 52% συγκριτικά με τις ιδιόκτητες και κατά 47% συγκριτικά με τις παραχωρημένες δωρεάν. Επιπλέον, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις ενοικιασμένες κατοικίες ήταν χαμηλότερη κατά 11% συγκριτικά με τις ιδιόκτητες και κατά 1% συγκριτικά με τις παραχωρημένες δωρεάν.

1.5.4 Καθημερινές συνήθειες και κατανάλωση

Επιπρόσθετα, καταγράφηκαν πληροφορίες που αφορούν στις συνήθειες των χρηστών σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά, στα είδη και τον αριθμό των συσκευών και συστημάτων που χρησιμοποιούν, ενώ εξετάστηκε και η διείσδυση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών στον οικιακό τομέα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη ρύθμιση των θερμοστατών των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με τους κανόνες ενεργειακά αποδοτικότερης συμπεριφοράς (ρύθμιση στους 18 – 20 °C και στους 26 – 28 °C αντίστοιχα), δείχνει μείωση της μέσης κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για θέρμανση πάνω από 13%, και της μέσης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη πάνω από 15%. Ο φυσικός δροσισμός της κατοικίας με το άνοιγμα παραθύρων, φεγγιτών, ανοιγμάτων οροφής, κατά τη διάρκεια της νύχτας το καλοκαίρι, έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση, κατά μέσο όρο, 21% λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη. Τα νοικοκυριά που χρησιμοποιούν πλήρη πλύση στα πλυντήρια ρούχων ή πιάτων (δηλαδή, με τα πλυντήρια γεμάτα στο μέγιστο δυνατό σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους) παρουσιάζουν, κατά μέσο όρο, χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης του 17%. Τέλος, αναφορικά με την ενεργειακή συμπεριφορά των νοικοκυριών ως προς τη διατήρηση των ηλεκτρικών συσκευών σε κατάσταση αναμονής, όταν αυτές δεν χρησιμοποιούνται, περίπου 8 στα 10 αφήνουν την τηλεόραση σε κατάσταση αναμονής (53,3% πάντα και 25,1% όταν είναι στην κατοικία τους) και μόνον 2 στα 10 κλείνουν την τηλεόραση όταν δεν την χρησιμοποιούν.

1.6 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Η διαχείριση της ενέργειας στις τελικές της χρήσεις αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της βιώσιμης ανάπτυξης από περιβαλλοντική, οικονομική και αναπτυξιακή άποψη, όπως αυτή έχει εκφραστεί με την Πράσινη Βίβλο για την Ενεργειακή Απόδοση (2005). Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχοντας αναγνωρίσει την αναγκαιότητα λήψης μέτρων στον κτιριακό τομέα, ήδη από το 1993 με την οδηγία SAVE93/76/ΕΟΚ, έχει δώσει προτεραιότητα στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα κράτη – μέλη και με το πρωτόκολλο του Κιότο για την Κλιματική Αλλαγή, την Ενέργεια και το Περιβάλλον (1997) δεσμεύθηκε για τη διατήρηση της ανόδου της θερμοκρασίας της γης κάτω από τους 2 °C όσο και να μειώσει έως το 2020 τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20 % τουλάχιστον κάτω από τα επίπεδα του 1990. Για το λόγο αυτό η Ε.Ε. έχει εκδώσει μια σειρά οδηγιών προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, της προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και γενικότερα της προστασίας του περιβάλλοντος [9].

Με την οδηγία **2010/31/ΕΚ** [10] του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, θεσπίζονται οι ακόλουθες απαιτήσεις από τα κράτη μέλη:

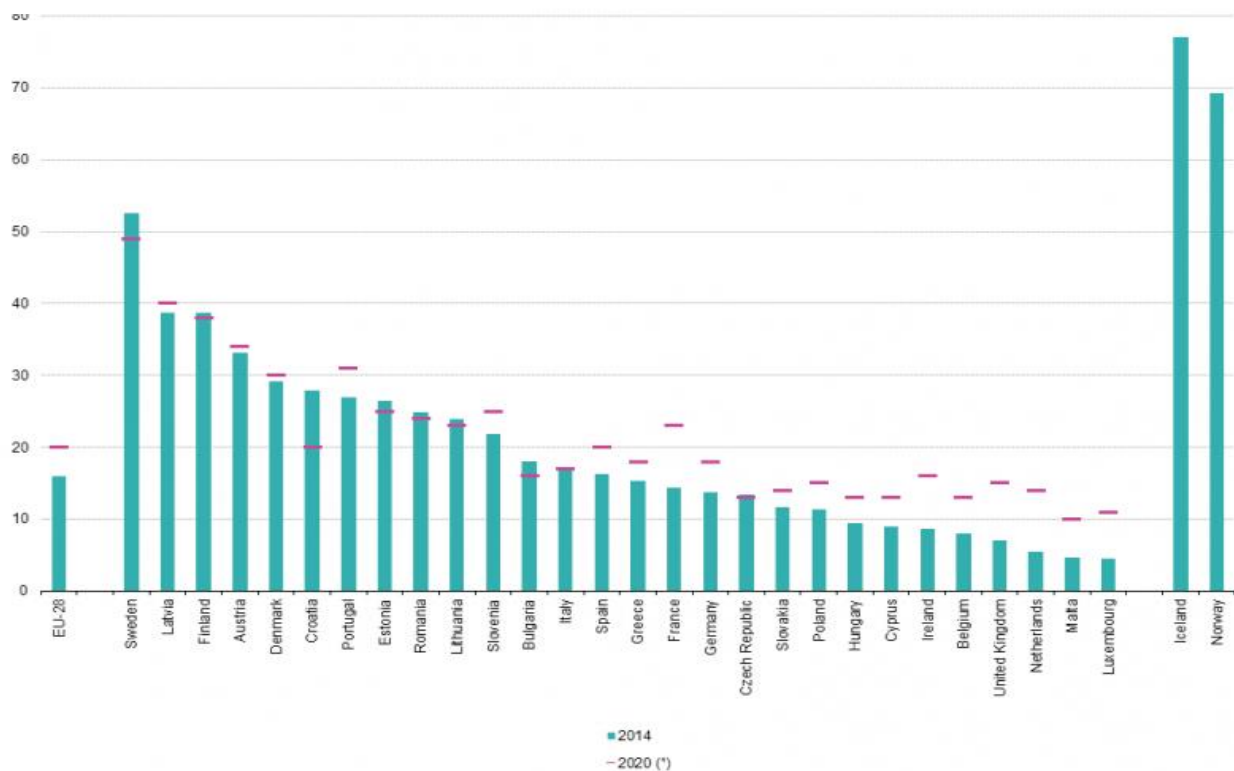
1. Υιοθέτηση, σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, μιας κοινής μεθοδολογίας υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει, πλέον των θερμικών χαρακτηριστικών, και άλλους παράγοντες που διαδραματίζουν όλο και σημαντικότερο ρόλο όπως π.χ. οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα στοιχεία παθητικής θέρμανσης και ψύξης, η σκίαση, η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, ο επαρκής φυσικός φωτισμός και ο σχεδιασμός του κτιρίου. Η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης δεν θα πρέπει να στηρίζεται μόνο στην εποχή κατά την οποία απαιτείται θέρμανση, αλλά θα πρέπει να καλύπτει την ετήσια ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Για τον σκοπό αυτού του υπολογισμού, τα κτίρια θα πρέπει να κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: α) μονοκατοικίες διαφόρων τύπων· β) συγκροτήματα διαμερισμάτων· γ) γραφεία· δ) εκπαιδευτικά κτίρια· ε) νοσοκομεία· στ) ξενοδοχεία και εστιατόρια· ζ) αθλητικές εγκαταστάσεις· η) κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου· θ) άλλα είδη κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια.
2. Καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης που πρέπει να εμφανίζει ένα κτίριο ώστε να επιτευχθούν τα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα. Το επίπεδο αυτών των απαιτήσεων αναθεωρείται κάθε πέντε χρόνια, ενώ δίνεται στα κράτη μέλη το δικαίωμα να διαφοροποιούν τα ελάχιστα όρια ανάλογα με το αν τα κτίρια είναι υφιστάμενα ή καινούρια, καθώς και ανάλογα με τη λειτουργία του κτιρίου. Από την εφαρμογή των ελάχιστων απαιτήσεων μπορούν να εξαιρεθούν τα προστατευόμενα κτίρια (όπως κτίρια ιστορικής αξίας), κτίρια χρησιμοποιούμενα ως χώροι λατρείας, προσωρινά κτίρια, κτίρια

κατοικίας που χρησιμοποιούνται για περιορισμένο χρονικό διάστημα κάθε χρόνο και μεμονωμένα κτίρια με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια μικρότερη από 50m².

3. Κατάρτιση εθνικών σχεδίων που θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, την πρακτική εφαρμογή του ορισμού του όρου Zero Energy Building με βάση τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες, τους ενδιαμέσους στόχους για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των νέων κτιρίων έως το 2015 και πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και τα οικονομικά μέτρα που λαμβάνονται υπέρ της προώθησης των κτιρίων με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση συμβατικών ενεργειακών πηγών.
4. Θέσπιση συστήματος πιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, τιμές αναφοράς ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση και αξιολόγησή της, πρόσθετες πληροφορίες όπως επί παραδείγματι το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτεται από ΑΠΕ, αλλά και συστάσεις για συμφέρουσες οικονομικά βελτιώσεις.
5. Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η εγκατάσταση συσκευών κλιματισμού στις ευρωπαϊκές χώρες κάτι που προκαλεί σοβαρά προβλήματα σε ώρες αιχμής φορτίου, με συνέπεια την αύξηση του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος και τη διατάραξη της ενεργειακής ισορροπίας. Θα πρέπει να δίνεται προτεραιότητα σε στρατηγικές που ενισχύουν τις θερμικές επιδόσεις των κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο. Προς τον σκοπό αυτό απαιτείται επικέντρωση σε μέτρα για την αποφυγή της υπερθέρμανσης, όπως η σκίαση και η επαρκής θερμική ικανότητα στη δομή του κτιρίου, καθώς και στην περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνικών παθητικής ψύξης, ιδίως εκείνων που βελτιώνουν τις εσωτερικές κλιματικές συνθήκες και το μικροκλίμα γύρω από τα κτίρια
6. Τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού των κτιρίων.
7. Θέσπιση ανεξάρτητων συστημάτων ελέγχου για τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης και τις εκθέσεις επιθεώρησης.

Ένας πολύ σημαντικός στόχος της οδηγίας αυτής είναι τα κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Από τις 31 Δεκεμβρίου 2020 και μετά, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας συμβατικών ενεργειακών πηγών, ενώ τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους πρέπει να πληρούν τα ίδια κριτήρια από τις 31 Δεκεμβρίου 2018.

Επιπλέον με την οδηγία **2009/28/EK** [11] του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου τέθηκε ο στόχος της προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές η οποία θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 20 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ένωσης έως το 2020.



Διάγραμμα 1-7 Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που παράχθηκε από Α.Π.Ε.

Η πιο πρόσφατη από αυτές, είναι η οδηγία **2012/27/ΕΕ [12]** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22^{ης} Νοεμβρίου 2012, για την ενεργειακή απόδοση η οποία θέτει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Κοινότητας, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης κατά 20% μέχρι το 2020 και η κατανάλωση της ενέργειας να μην υπερβαίνει τους 1.474 εκατομμύρια Ισοδύναμους Τόνους Πετρελαίου (toe) πρωτογενούς ενέργειας ή τους 1.078 εκατομμύρια Ισοδύναμους Τόνους Πετρελαίου (toe) τελικής ενέργειας.

Μεταξύ άλλων τα κράτη-μέλη αναλαμβάνουν τις παρακάτω δεσμεύσεις:

- Δημοσίευση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος, η οποία να περιλαμβάνει ανασκόπηση του εθνικού κτιριακού αποθέματος (βάσει στατιστικής δειγματοληψίας), εξεύρεση οικονομικώς αποδοτικών προσεγγίσεων για τις ανακαινίσεις ανάλογα με το είδος κτιρίου και την κλιματική ζώνη, πολιτικές και μέτρα για την τόνωση οικονομικώς αποδοτικών ριζικών ανακαινίσεων κτιρίων και τέλος την εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας.
- Προώθηση ενεργειακών ελέγχων, οι οποίοι θα διενεργούνται από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες
- Εγκατάσταση μετρητών ενέργειας (ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, τηλεθέρμανσης και ζεστού νερού) που θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση.

- Διασφάλιση ακριβούς πληροφόρησης τιμολόγησης σε όλα τα στάδια (διανομείς, διαχειριστές διανομής και εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας).
- Προώθηση μέτρων για την αποδοτική χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, όπως φορολογικά κίνητρα, χρηματοδότηση, δανεισμός, επιδοτήσεις κ.ά.

1.7 Ελληνική Νομοθεσία

1.7.1 Νόμος 3661/2008 (ΦΕΚ 89/Α/2008) "Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις"

Η Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμμετέχει στην αναβάθμιση του κτιριακού τομέα με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ο Νόμος 3661/2008 [13] για τα "Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις" αποτελεί το βασικό θεσμικό πλαίσιο για τη μεταφορά της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων σε εθνικό επίπεδο. Ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της Οδηγίας και προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων.

1.7.2 Κ.Εν.Α.Κ.

Η ανάγκη για ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης, την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος, οδήγησε στην θεσμοθέτηση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) [14], [15], όπως προβλέπεται στο Άρθρο 3 του νόμου 3661/2008 που εκδόθηκε με σκοπό την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 2002/91/ΕΚ. Ο Κ.Εν.Α.Κ. είναι η πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια από ελληνικής πλευράς όσον αφορά τον καθορισμό όλων των παραμέτρων που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Σκοπός της εγκυκλίου αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικού χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Τα βασικά στοιχεία του Κ.Εν.Α.Κ. είναι τα παρακάτω:

- Ορίζεται μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους και οι προδιαγραφές των

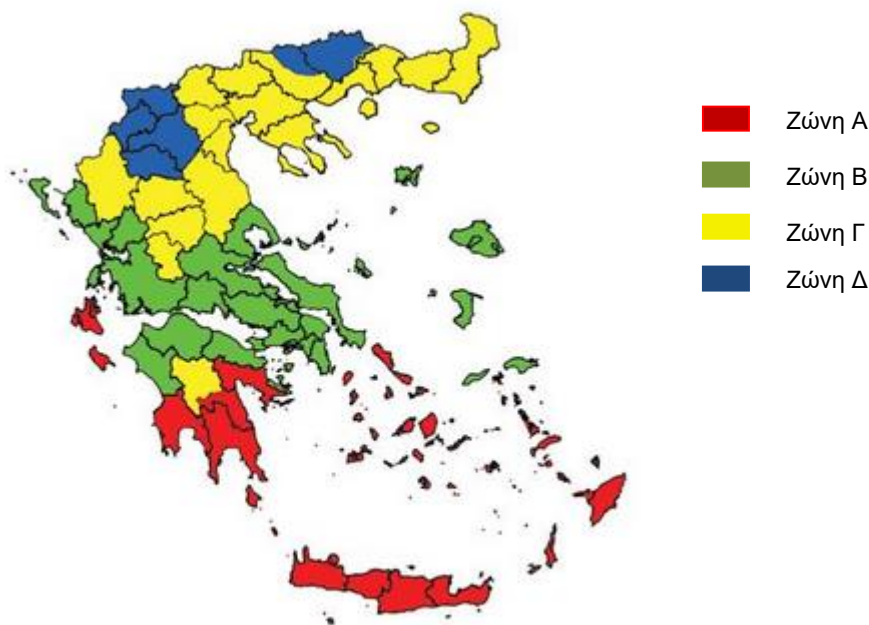
Η/Μ εγκαταστάσεων.

- Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Καθορίζεται η μορφή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, καθώς και τα στοιχεία που περιλαμβάνει.
- Καθορίζεται η διαδικασία ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Για την εφαρμογή της παρούσας απόφασης, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στη ψυχρότερη):

- **ΖΩΝΗ Α:** Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
- **ΖΩΝΗ Β:** Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
- **ΖΩΝΗ Γ:** Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
- **ΖΩΝΗ Δ:** Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Για τις περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 600 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας θα εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκει γενικότερα η περιοχή.



Εικόνα 1-1.1 Κλιματικές ζώνες ελληνικής επικράτειας

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η μεθοδολογία υπολογισμού περιλαμβάνει τουλάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

1. Τη χρήση του κτιρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό των χρηστών.
2. Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
3. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.α.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.α.).
4. Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.).
5. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
6. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης ψύξης/κλιματισμού χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
7. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης μηχανικού αερισμού (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
8. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παραγωγής ZNX (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
9. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης φωτισμού για τα κτίρια του τριτογενή τομέα.
10. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Στη μεθοδολογία υπολογισμού συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση των ακόλουθων συστημάτων:

- i. Ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων παραγωγής θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
- ii. Ενέργεια παραγόμενη με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).
- iii. Κεντρικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου (τηλεθέρμανση).
- iv. Φυσικός φωτισμός.

Επιπλέον, στις ελάχιστες προδιαγραφές κτιρίων ορίζεται ότι τα δομικά στοιχεία του εξεταζόμενου νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου πρέπει να πληρούν ορισμένους περιορισμούς θερμομόνωσης.

Για το λόγο αυτό ορίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε κλιματική ζώνη (Πίνακας 1-3). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value) είναι ένας δείκτης θερμομόνωσης και ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους d σε ορισμένο χρονικό διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν. Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή σύστημα μέσα στα πλαίσια που αναφέρθηκαν. Όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός δομικού στοιχείου, υλικού ή στρώσεων υλικών, τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχουμε [16].

Πίνακας 1-3 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για κάθε κλιματική ζώνη

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² *K)]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U _D	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U _W	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	U _{DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U _G	1,20	0,90	0,75	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος	U _{WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοιγμάτα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κα)	U _F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	U _{G_F}	2,20	2,00	1,80	1,80

1.7.3 Νόμος 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»

Με το Άρθρο 10 του νόμου αυτού [17] τροποποιήθηκαν τα άρθρα του νόμου 3661/2008 σχετικά με την εφαρμογή ΑΠΕ στα κτίρια και θεσπίζονται οι απαιτήσεις για την κάλυψη των αναγκών με χρήση συστημάτων ΑΠΕ σε νέα και υφιστάμενα κτίρια. Τα βασικά σημεία είναι τα εξής:

Για τα νέα κτίρια,

- πρέπει να εκπονείται μελέτη η οποία περιλαμβάνει την τεχνική, περιβαλλοντική και οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης τουλάχιστον ενός από τα εναλλακτικά συστήματα παροχής ενέργειας, όπως αποκεντρωμένα συστήματα παροχής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα

θέρμανσης ή ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και αντλίες θερμότητας.

- το αργότερο έως τις 31.12.2019, θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσής τους με τα παραπάνω συστήματα.
- καθίσταται υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα. Το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60%.

Για τα υφιστάμενα κτίρια,

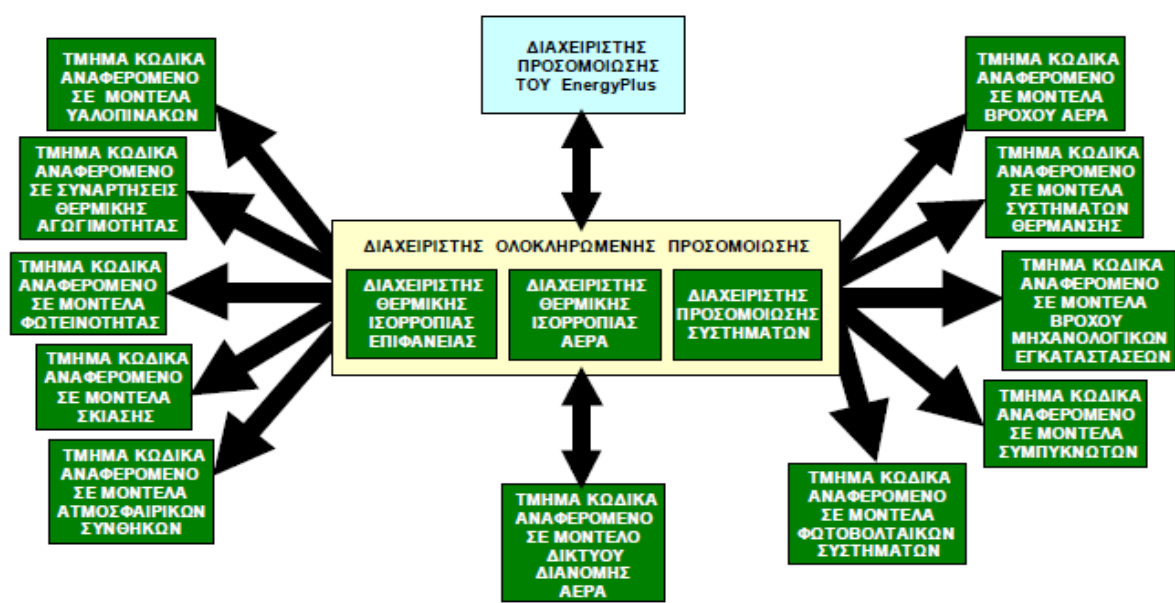
- όταν υφίστανται ριζική ανακαίνιση, η ενεργειακή απόδοσή τους αναβαθμίζεται, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, ώστε να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, όπως αυτές καθορίζονται στον Κ.Εν.Α.Κ..
- καθορίζονται τακτικές επιθεωρήσεις στους λέβητες και στις εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού
- προκηρύσσονται προγράμματα για παρεμβάσεις με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των οικιών με χρηματοδότηση από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων, ενώ καθορίζονται και οι λεπτομέρειες των προγραμμάτων αυτών

2. Πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus

2.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα Energy Plus είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open source) που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. αποσκοπώντας στην προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων [18]. Βασιζόμενο στην αναλυτική περιγραφή από τον χρήστη των γεωμετρικών και δομικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC Systems – Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems), των μηχανολογικών εγκαταστάσεων και των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο, το EnergyPlus έχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας αποτελεσμάτων (τα οποία ορίζονται από το χρήστη) όπως η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών ή/και επιφανειών του κτιρίου, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για να καλυφθούν οι θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου κ.λπ. Τα αποτελέσματα αυτά βοηθούν το χρήστη ώστε να πάρει αποφάσεις και να λάβει συγκεκριμένα μέτρα για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

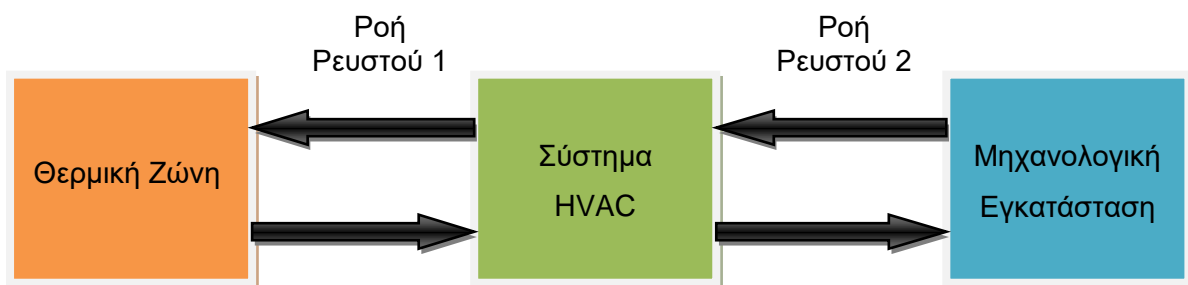
Ο πυρήνας της προσομοίωσης βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές της θερμικής ισορροπίας. Αποδεικνύεται ότι το μοντέλο αυτό είναι σχετικά απλό σε σύγκριση με την οργάνωση των δεδομένων και τον έλεγχο που απαιτείται για την προσομοίωση των πολλών συνδυασμών των διαφόρων τύπων συστημάτων, ρυθμίσεων για τις ενεργειακές πηγές, χρονοδιαγραμμάτων και περιβαλλόντων χώρων.



Εικόνα 2-1 Σχηματική δομή του EnergyPlus

Η προσομοίωση που εκτελεί το πρόγραμμα Energy Plus αποτελείται από αλληλοεπιδρώντες ενότητες [19]. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που πρέπει να υπολογιστούν και για τα τρία βασικά μέρη, το κτίριο, το σύστημα και τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, πρέπει να υπολογίζονται ταυτόχρονα. Στα προγράμματα που χρησιμοποιούν ίδιο μοντέλο προσομοίωσης όπως το BLAST (Building Loads and Systems Thermodynamics) ή το DOE-2 (Department of Energy-2) οι θερμικές ζώνες του κτιρίου, τα συστήματα διαχείρισης και ο εξοπλισμός των κεντρικών εγκαταστάσεων προσομοιώνονται διαδοχικά χωρίς καμία ανάδραση από το ένα στο άλλο. Η διαδοχική λύση ξεκινά με μια θερμική ισορροπία ζώνης που αναπροσαρμόζει τους όρους της ζώνης και καθορίζει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης σε όλα τα χρονικά βήματα. Αυτές οι πληροφορίες τροφοδοτούνται στην προσομοίωση του συστήματος διαχείρισης του αερισμού για τον προσδιορισμό της απόκρισης του συστήματος, αλλά αυτή η απόκριση δεν επηρεάζει τις συνθήκες της ζώνης. Ομοίως, τα στοιχεία του συστήματος διαχείρισης του αερισμού τροφοδοτούνται στην προσομοίωση των μονάδων παραγωγής ενέργειας χωρίς ανάδραση. Αυτή η τεχνική προσομοίωσης λειτουργεί καλά όταν η απόκριση του συστήματος είναι μια καλά ορισμένη συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου.

Για να πραγματοποιηθεί προσομοίωση που είναι ρεαλιστική, τα στοιχεία πρέπει να αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα μεταξύ τους σε κάθε χρονικό βήμα μικρότερο της ώρας (sub-hourly time step) το οποίο έχει θέσει ο χρήστης, σε συνδυασμό με κάθε χρονικό βήμα μικρότερο της ώρας το οποίο θέτει ο HVAC διαχειριστής [20]. Πιο συγκεκριμένα η θερμική κατάσταση στην οποία θα βρεθεί μία ελεγχόμενη θερμική ζώνη καθορίζει τα θερμικά ή και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται. Αυτή η πληροφορία διοχετεύεται με τη σειρά της στο σύστημα το οποίο θα ανταποκριθεί τόσο το ίδιο όσο και η μηχανολογική εγκατάσταση με την οποία συνοδεύεται αυτό (Σχήμα 7). Αυτή η απόκριση με τη σειρά της θα εφαρμοστεί στην θερμική ζώνη με συνέπεια την αλλαγή της κατάστασης αυτής στο επιθυμητό επίπεδο. Επομένως όλη αυτή διαδικασία καταλήγει σε μια ενημέρωση της θερμικής ζώνης για την προκύπτουσα κατάσταση αυτής.



Εικόνα 2-2 Σχηματική απεικόνιση της προσομοίωσης

2.2 Βασικά χαρακτηριστικά προγράμματος προσομοίωσης Energy Plus

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ενεργειακής προσομοίωσης που εκτελεί το πρόγραμμα προσομοίωσης Energy Plus [21].

- Υπό-ωριαία, με δυνατότητα καταχώρησης από το χρήστη, χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση μεταξύ των θερμικών ζωνών και του περιβάλλοντος με μεταβλητά χρονικά βήματα για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θερμικών ζωνών και των συστημάτων HVAC.
- Αρχεία καιρικών συνθηκών, εισόδου και εξόδου που περιλαμβάνουν ωριαίες ή υπό-ωριαίες περιβαλλοντικές συνθήκες και τυπικές αλλά και εκθέσεις αποτελεσμάτων οριζόμενες από τον χρήστη.
- Τεχνική λύσης με βάση την θερμική ισορροπία για τον προσδιορισμό θερμικών φορτίων που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής και στην εσωτερική και στην εξωτερική επιφάνεια κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος.
- Υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας μέσω δομικών στοιχείων όπως τοίχοι, στέγες, δάπεδα, κλπ. χρησιμοποιώντας συναρτήσεις αγωγιμότητας.
- Μοντελοποίηση μετάδοσης της θερμότητας στο έδαφος με τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους πεπερασμένων διαφορών και απλοποιημένων αναλυτικών τεχνικών.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που λογίζεται για την προσρόφηση και εκρόφηση της υγρασίας, είτε ως ένταξη στρώσης με στρώσης στην συνάρτηση αγωγιμότητας ή ως ένα αποτελεσματικό μοντέλο διείσδυσης βάθους υγρασίας.
- Ανισότροπο μοντέλο ατμόσφαιρας για βελτιωμένο υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Σύνθετους υπολογισμούς κουφωμάτων που επιτρέπουν τον κατάλληλο υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τους υαλοπίνακες των παραθύρων

2.3 Βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμών που χρησιμοποιεί το Energy Plus

2.3.1 Συνάρτηση μεταφοράς αγωγιμότητας

Η πιο βασική λύση χρονοσειρών είναι η εξίσωση του συντελεστή που συσχετίζει τη ροή σε μία επιφάνεια ενός στοιχείου με μια άπειρη σειρά θερμοκρασιών και στις δύο πλευρές, όπως φαίνεται από την εξίσωση [1]:

$$q_{ko}^*(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad [1]$$

όπου q είναι η ροή θερμότητας, T είναι η θερμοκρασία, το i συμβολίζει το εσωτερικό του δομικού στοιχείου, το o συμβολίζει το εξωτερικό του δομικού στοιχείου, το t αντιπροσωπεύει το τρέχον χρονικό βήμα και X και Y είναι οι συντελεστές απόκρισης.

Η βασική μορφή της λύσης της συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας είναι η:

$$q_{ki}''(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ki,t-j\delta}'' \quad [2]$$

για την εσωτερική ροή θερμότητας και

$$q_{ko}''(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ko,t-j\delta}'' \quad [3]$$

για την εξωτερική ροή θερμότητας όπου:

X_j = εξωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Y_j = διαγώνιος συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Z_j = εσωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Φ_j = συντελεστής ροής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j = 1, 2, \dots, nq$

T_i = θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας

T_o = θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας

q_{ki}'' = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εσωτερική επιφάνεια

q_{ko}'' = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εξωτερική επιφάνεια

Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς των συναρτήσεων μεταφοράς αγωγιμότητας ορίζονται από τον παρακάτω πίνακα γραμμικών εξισώσεων:

$$\frac{d[\mathbf{x}]}{dt} = [\mathbf{A}][\mathbf{x}] + [\mathbf{B}][\mathbf{u}] \quad [4]$$

$$[\mathbf{y}] = [\mathbf{C}][\mathbf{x}] + [\mathbf{D}][\mathbf{u}]$$

όπου x είναι ένα διάνυσμα μεταβλητών κατάστασης, u είναι ένα διάνυσμα εισόδου, y είναι το διάνυσμα εξόδου, t είναι ο χρόνος και A , B , C και D είναι συντελεστές πινάκων.

Η διατύπωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση της μεταβατικής εξίσωσης θερμικής αγωγιμότητας με την επιβολή ενός πλέγματος πεπερασμένων διαφορών στα διάφορα στρώματα του

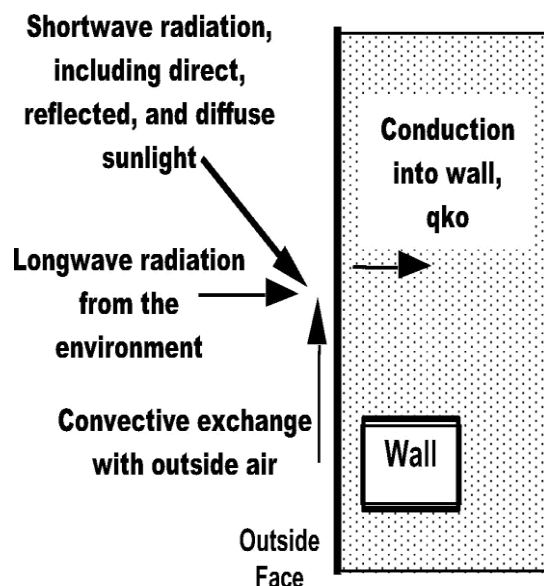
δομικού στοιχείου που αναλύεται. Σε αυτή την περίπτωση, οι μεταβλητές κατάστασης είναι οι κομβικές θερμοκρασίες, οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος (εσωτερικού και εξωτερικού) είναι οι είσοδοι και οι προκύπτουσες ροές θερμότητας και στις δύο επιφάνειες είναι οι έξοδοι. Έτσι, προκύπτει ή ακόλουθη μορφή:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} = [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [\mathbf{B}] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad [5]$$

$$\begin{bmatrix} q''_i \\ q''_o \end{bmatrix} = [\mathbf{C}] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [\mathbf{D}] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad [6]$$

όπου $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ είναι οι πεπερασμένες διαφορές κομβικών θερμοκρασιών, n είναι ο αριθμός των κόμβων, T_i και T_o είναι οι εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και q''_i και q''_o είναι οι ροές θερμότητας.

2.3.2 Θερμική ισορροπία εξωτερικών επιφανειών



Η θερμική ισορροπία στην εξωτερική επιφάνεια είναι:

$$q''_{\text{asol}} + q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{ko}} = 0$$

[7]

Εικόνα 2-3 Εξωτερικές ακτινοβολίες

όπου,

q''_{asol} = απορροφημένη άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολίας ροής θερμότητας

q''_{LWR} = ακτινοβολία ανταλλαγής ροής με τον αέρα και τον περιβάλλοντα χώρο

q''_{conv} = ανταλλαγή κατακόρυφης ροής με τον εξωτερικό αέρα

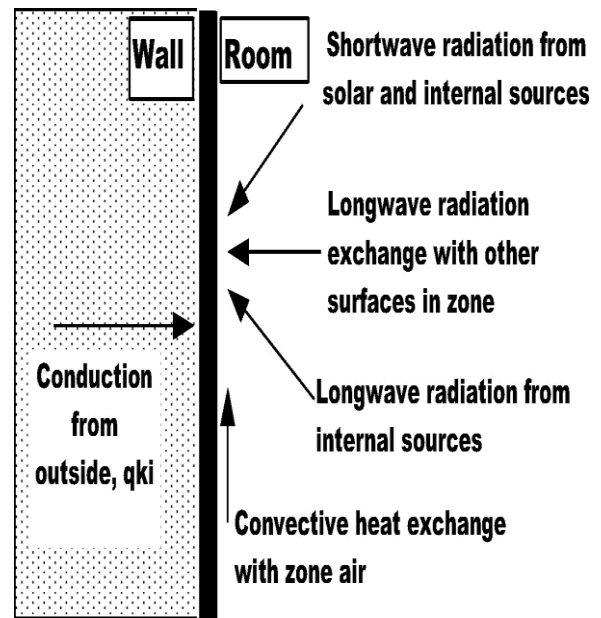
q''_{ko} = ροή θερμικής αγωγιμότητας εντός του τοίχου

2.3.3 Θερμική ισορροπία εσωτερικών επιφανειών

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μεθόδου της θερμικής ισορροπίας είναι η εσωτερική θερμική ισορροπία που αφορά τις εσωτερικές όψεις των επιφανειών των ζωνών. Αυτό το θερμικό ισοζύγιο μοντελοποιείται γενικά σε συνδυασμό με τέσσερα συνδυασμένα στοιχεία μεταφοράς της θερμότητας: 1) αγωγιμότητας μέσω του δομικού στοιχείου, 2) συναγωγή του αέρα, 3) απορρόφηση και αντανάκλαση μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας και 4) ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Η θερμική ισορροπία των εσωτερικών επιφανειών ορίζεται ως:

$$q''_{LWX} + q''_{sw} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0$$

[8]



Εικόνα 2-4 Εσωτερικές ακτινοβολίες

όπου:

q''_{LWX} = καθαρή ανταλλαγή ροής μακρού μήκους κύματος ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών των ζωνών

q''_{sw} = καθαρή μικρού κύματος ακτινοβολία ροής στις επιφάνειες από το φωτισμό

q''_{LWS} = μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία ροής από τις συσκευές της ζώνης

q''_{ki} = αγωγιμότητα ροής διαμέσου το τοίχου

q''_{sol} = εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία ροής απορροφημένη στην επιφάνεια

q''_{conv} = ροή θερμότητας συναγωγής στον αέρα της ζώνης

2.3.4 Ακούσιος αερισμός

Ο ακούσιος αερισμός συνήθως προκαλείται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των εξωτερικών θυρών, τις χαραμάδες γύρω από τα παράθυρα και σε πολύ μικρές ποσότητες ακόμα και μέσα από τα δομικά στοιχεία. Ο αλγόριθμος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$\text{Infiltration} = (I_{\text{desing}}) * (F_{\text{schedule}}) * [A + B * (T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}}) + C * (\text{Windspeed}) + D * (\text{Windspeed}^2)] \quad [9]$$

Όπου:

- I_{desing} , είναι η παροχή όγκου του εξωτερικού αέρα (τιμή σχεδιασμού)
- F_{schedule} , είναι ένας συντελεστής (από 0 ως 1) χρήσης του αερισμού που καθορίζεται για κάθε ώρα της ημέρας του χρόνου από το χρήστη
- Windspeed , είναι η ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή στην οποία είναι κατασκευασμένο το κτίριο
- T_{zone} , είναι η θερμοκρασία του χώρου
- T_{odb} , είναι η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος
- A, B, C, D = σταθερές

2.3.5 Εκούσιος αερισμός

Ο εκούσιος αερισμός είναι η άμεση ροή του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον σε θερμική ζώνη προκειμένου να παρέχεται κάποια ποσότητα μη μηχανικής ψύξης. Ο αλγόριθμος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$\text{Ventilation} = (V_{\text{desing}}) * (F_{\text{schedule}}) * [A + B * (T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}}) + C * (\text{Windspeed}) + D * (\text{Windspeed}^2)] \quad [10]$$

Όπου:

- V_{desing} , είναι η παροχή όγκου του εξωτερικού αέρα (τιμή σχεδιασμού)
- F_{schedule} , είναι ένας συντελεστής (από 0 ως 1) χρήσης του αερισμού που καθορίζεται για κάθε ώρα της ημέρας του χρόνου από το χρήστη
- Windspeed , είναι η ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή στην οποία είναι κατασκευασμένο το κτίριο
- T_{zone} , είναι η θερμοκρασία του χώρου
- T_{odb} , είναι η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος
- A, B, C, D = σταθερές

2.3.6 Ηλιακά κέρδη

Τα συνολικά ηλιακά κέρδη σε μια εξωτερική επιφάνεια είναι συνδυασμός της απορρόφησης της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{so} = \alpha \cdot (I_b \cdot \cos\theta + I_s \cdot F_{SS} + I_g \cdot F_{sg}) \quad [11]$$

όπου:

α = ηλιακή απορρόφηση της επιφάνειας I_b = ένταση της άμεσης δέσμης ακτινοβολίας

I_s = ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα

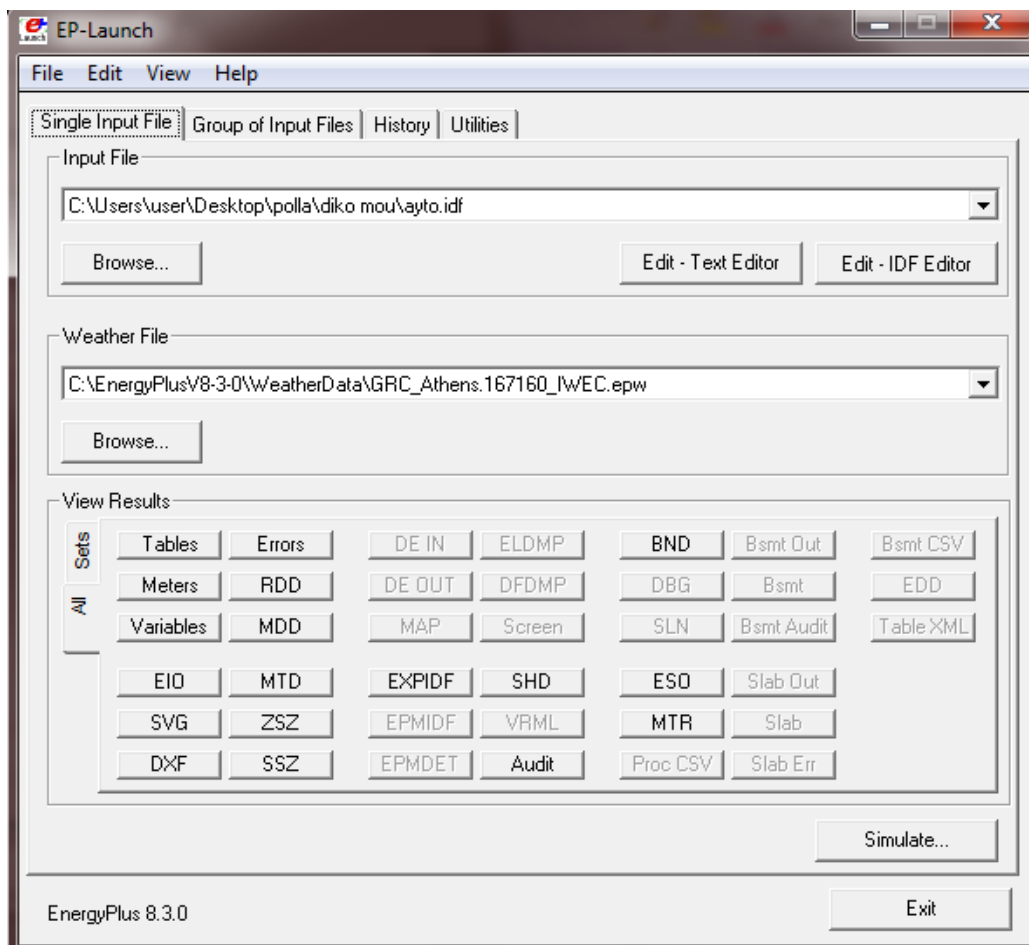
I_g = ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας από το έδαφος

F_{SS} = συντελεστής γωνίας μεταξύ της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας

F_{sg} = συντελεστής γωνίας μεταξύ της επιφάνειας και του εδάφους

2.4 Το πρόγραμμα EnergyPlus

Ξεκινώντας το πρόγραμμα EnergyPlus εμφανίζεται το κύριο παράθυρο του προγράμματος το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε ένα αρχείο κλιματικών δεδομένων, να δημιουργήσουμε ή να επεξεργαστούμε ένα αρχείο κτιρίου ή να τρέξουμε το πρόγραμμα και να δούμε τα αποτελέσματα.



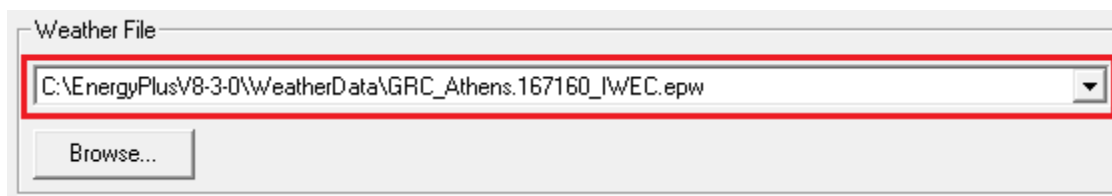
Εικόνα 2-5 Κεντρικό παράθυρο του EnergyPlus

2.4.1 Κλιματικά δεδομένα

Τα αρχεία των κλιματικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση κτιρίων στο EnergyPlus καλύπτουν τόσο ένα τυπικό κλιματικό έτος όσο και ειδικές τυπικές ημέρες σχεδιασμού (ακραία κλιματικά δεδομένα) για τον υπολογισμό των μέγιστων φορτίων (φορτία σχεδιασμού) που χρησιμοποιούνται στη διαστασιολόγηση των διάφορων συστημάτων HVAC (λέβητες, καυστήρες, αντλίες θερμότητας) καθώς και του δευτερογενούς εξοπλισμού (αντλίες, ανεμιστήρες). Επίσης περιέχουν πληροφορίες για διάφορες παραμέτρους της εξεταζόμενης περιοχής όπως για την ωριαία θερμοκρασία, ωριαία υγρασία, ωριαία ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, ωριαία ατμοσφαιρική πίεση και ωριαία ηλιακή ακτινοβολία.

Τα κλιματικά αρχεία είναι της μορφής IWEC (International Weather for Energy Calculation) και είναι το αποτέλεσμα του ASHRAE Research Project 1015 που εκτελέστηκε από την ASHRAE Technical Committee 4.2. Η δημιουργία των αρχείων IWEC πραγματοποιήθηκε σε δυο στάδια. Πρώτα, συλλέχθηκαν κλιματικά δεδομένα 18 ετών από το National Climatic Data Center, Asheville, NC. Έπειτα τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν και προέκυψαν δώδεκα τυπικοί μετεωρολογικοί μήνες μέσω των οποίων δημιουργήθηκαν τα κλιματικά αρχεία IWEC.

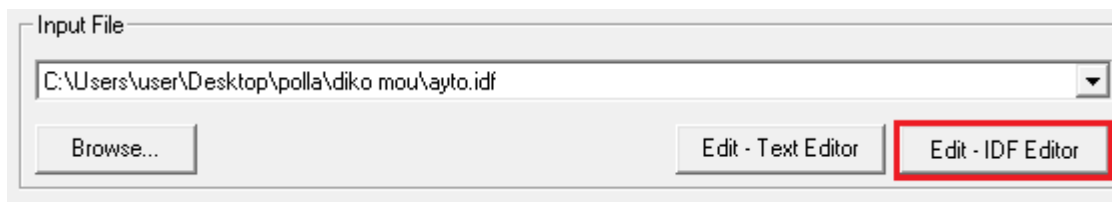
Στην ιστοσελίδα του EnergyPlus υπάρχουν αποθηκευμένα αρχεία από κλιματικές μετρήσεις στις περιοχές της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας. Για το κτίριο που μελετήσαμε χρησιμοποιήσαμε τα μετεωρολογικά δεδομένα για την Αθήνα



Εικόνα 2-4 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων στο EnergyPlus

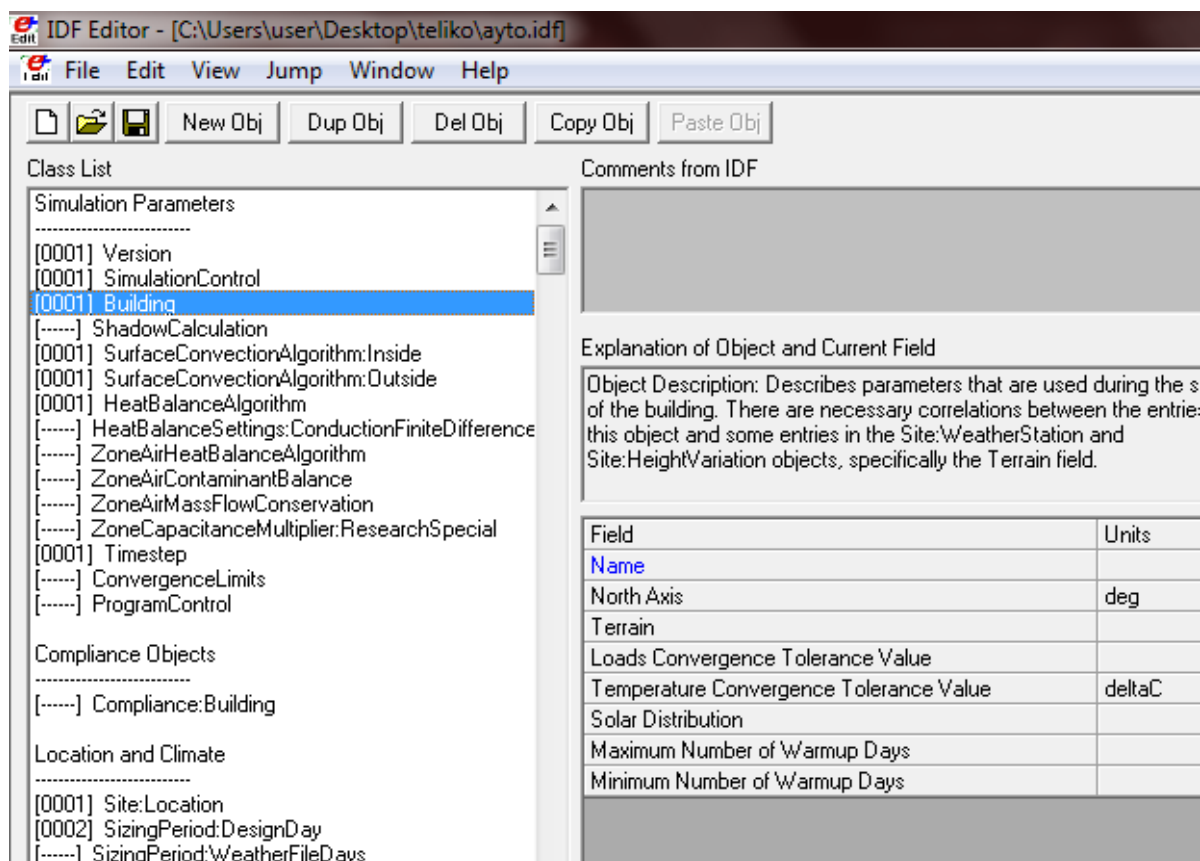
2.4.2 Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus

Με το εργαλείο IDF Editor παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει πληροφορίες στο πρόγραμμα μέσω της δημιουργίας και επεξεργασίας αρχείων εισαγωγής δεδομένων (IDF – input data file).



Εικόνα 2-5 Εισαγωγή κτιριακών δεδομένων στο EnergyPlus

Η επιλογή IDF Editor οδηγεί σε μια δεύτερη κονσόλα η οποία ουσιαστικά αποτελεί το κύριο εργαλείο του χρήστη. Στο αριστερό μέρος του παραθύρου υπάρχει μία λίστα με τις κατηγορίες δεδομένων εισόδου (Class List). Κάθε εισερχόμενο δεδομένο μπορεί να οριστεί και να επεξεργαστεί χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο, μορφής πλέγματος, το οποίο περιέχει λίστες με ορισμένες επιλογές ώστε να διευκολύνει το χρήστη. Για την περιγραφή κάθε δεδομένου ζητείται η συμπλήρωση συγκεκριμένων πεδίων, τα οποία πολλές φορές είναι συμπληρωμένα πολλές φορές από το ίδιο το EnergyPlus. Τα πεδία των οποίων ο τίτλος είναι γραμμένος με μπλε γράμματα είναι υποχρεωτικό να ορισθούν ώστε το λογισμικό να διεξάγει την προσομοίωση. Το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε, να διαγράψουμε, να αντιγράψουμε και να επικολλήσουμε δεδομένα είτε μέσα στο ίδιο το αρχείο είτε από ένα αρχείο σε ένα άλλο. Επιπλέον, σε ορισμένες καρτέλες δίνεται μια σύντομη περιγραφή τους σε ένα ειδικό πλαίσιο πάνω από τα δεδομένα ώστε να γνωρίζει ο χρήστης τι είδους πληροφορίες πρέπει να εισάγει. Στην καρτέλα Help υπάρχει το πλήρες εγχειρίδιο του προγράμματος (EnergyPlus Documentation) που περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για τη χρήση του.



Εικόνα 2-6 IDF Editor – Πλατφόρμα σχεδίασης

2.4.3 Κατηγορίες δεδομένων εισόδου στο EnergyPlus

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες κατηγορίες δεδομένων που μπορεί να δεχθεί το λογισμικό EnergyPlus προς επεξεργασία. Κάθε κατηγορία δεδομένων αποτελείται από επιμέρους αντικείμενα. Τα αντικείμενα αυτά, τα οποία περιγράφονται από το χρήστη, εμπεριέχουν όλα τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (διαστάσεις, δομικά υλικά, συστήματα θέρμανσης – ψύξης, κ.λπ.) που πρόκειται να μοντελοποιηθεί και καθορίζουν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Οι κατηγορίες δεδομένων με βάση τις οποίες ο χρήστης θα περιγράψει το κτίριο στο λογισμικό είναι οι ακόλουθες:

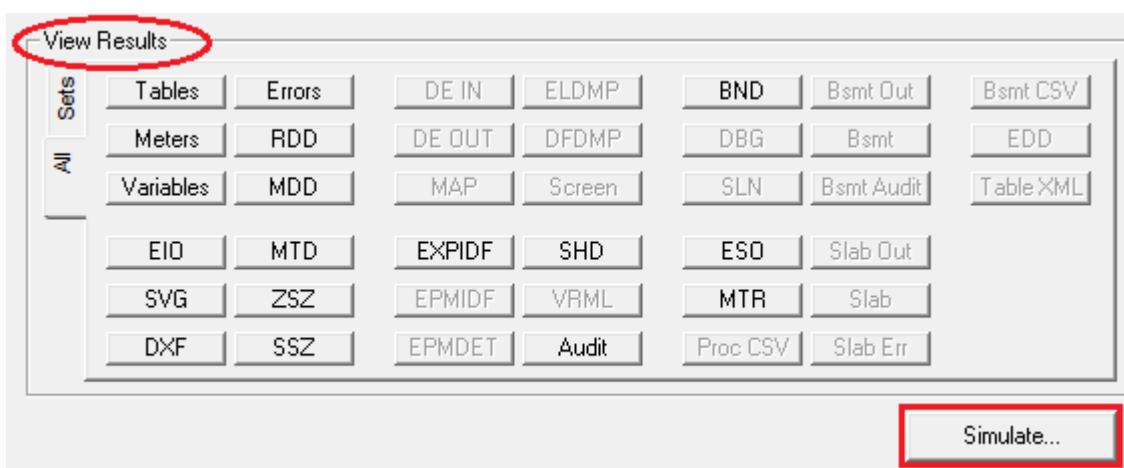
- **Simulation Parameters:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης ορίζει διάφορες παραμέτρους (π.χ. αλγορίθμους, σκιάσεις κ.λπ.)
- **Location and Climate :** Ο χρήστης ορίζει τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο. Αυτό γίνεται μέσω του αρχείου κλιματολογικών δεδομένων (weather file)
- **Schedules :** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης κατασκευάζει χρονοδιαγράμματα για κάποια από τα αντικείμενα που έχει επιλέξει(όπως π.χ. την παρουσία των ατόμων στο κτίριο, τότε θα λειτουργούν οι ηλεκτρικές συσκευές, τότε θα χρησιμοποιείται θέρμανση κ.λπ.)
- **Surface Constructions Elements :** Από εδώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιγράψει λεπτομερώς όλα τα δομικά στοιχεία που αποτελούν το κτίριο (τοιχοποιίες, θερμομονώσεις, υαλοπίνακες κ.λπ.)
- **Thermal zones and Surfaces :** Περιγράφονται οι θερμικές ζώνες του κτιρίου, δίνονται οι εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες και οι θερμικές ζώνες που ανήκουν, τα υαλοπετάσματα και οι θερμικές ζώνες στις οποίες ανήκουν αυτά και τα στοιχεία σκίασης του κτιρίου
- **Advanced Construction, Surface, Zone Concepts:** Εδώ ορίζονται οι περιβάλλουσες συνθήκες κάθε επιφάνειας του κτιρίου
- **Room Air Models:** Από εδώ ο χρήστης ορίζει τα μαθηματικά μοντέλα με τα οποία θα υπολογιστεί η θερμοκρασία του αέρα σε κάθε ζώνη, στην περίπτωση που αυτή είναι ανομοιόμορφη
- **Internal Gains:** Εδώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιγράψει διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ενός κτιρίου(όπως π.χ. οι άνθρωποι που βρίσκονται μέσα σε αυτό, ο τεχνητός φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές)
- **Daylighting:** Ορίζεται ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού κάποιας ζώνης ανάλογα με το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού

- **Zone Airflow:** Εδώ περιγράφεται ο αθέλητος (infiltration) και ο φυσικός (ventilation) αερισμός κάθε ζώνης.
- **Exterior Equipment:** Ο χρήστης περιγράφει τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται έξω από το κτίριο και δεν επηρεάζουν θερμικά κάποια ζώνη (π.χ. εξωτερικός φωτισμός, εξωτερική παροχή νερού κ.λπ.)
- **Fans:** Εδώ περιγράφεται ο ανεμιστήρας που περιέχει ένα σύστημα θέρμανσης – ψύξης και κλιματισμού.
- **Coils:** Εδώ περιγράφονται οι θερμοσυσσωρευτές που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης – ψύξης και κλιματισμού.
- **Evaporative Coolers:** Ο χρήστης μπορεί να περιγράψει ένα σύστημα ψύξης που βρίσκεται στο κτίριο (διαφορετικό από αυτό που θα περιγράψει στην κατηγορία Refrigeration – βλέπε παρακάτω)
- **Humidifiers and Dehumidifiers:** Στην κατηγορία αυτή περιγράφεται ο υγραντήρας και ο αφυγραντήρας ενός συστήματος θέρμανσης ψύξης και κλιματισμού
- **Heat Recovery:** Εδώ περιγράφεται ο εναλλάκτης θερμότητας που περιέχει ένα σύστημα θέρμανσης- ψύξης και κλιματισμού
- **Controllers / Setpoint Managers:** Οι δυο αυτές κατηγορίες συνεργάζονται μεταξύ τους ώστε ο χρήστης να ελέγξει τη λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης των συστημάτων θέρμανσης – ψύξης και κλιματισμού
- **Air Distribution:** Από εδώ ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τη διανομή του αέρα σε μια ζώνη από τα συστήματα θέρμανσης – ψύξης και κλιματισμού που βρίσκονται μέσα σ' αυτή
- **Node Branch-Management:** Ο χρήστης περιγράφει τα κομβικά σημεία για τη σύνθεση ενός συστήματος θέρμανσης – ψύξης και κλιματισμού καθώς και τις διακλαδώσεις αυτού
- **Pumps:** Εδώ θα περιγραφεί ο τύπος των αντλιών που διαθέτουν οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου
- **Plant- Condenser Flow Control:** Περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο διανέμονται τα ρευστά του κλειστού κυκλώματος της μηχανολογικής εγκατάστασης
- **Solar Collectors:** Από εδώ ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τον τύπο των ηλιακών συλλεκτών (π.χ. ηλιακοί θερμοσίφωνες) που χρησιμοποιούνται στο κτίριο
- **Plant Heating and Cooling Equipment, Condenser Equipment and Heat Exchangers:** Εδώ περιγράφονται τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια μηχανολογική εγκατάσταση (π.χ. boiler, πύργους ψύξης, συμπυκνωτές κ.λπ.)
- **Water Heaters and Thermal Storage:** Στην κατηγορία αυτή περιγράφεται ο τύπος των δεξαμεμών αποθήκευσης ζεστού νερού

- **Demand Limiting Controls:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιορίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις που έχει ένα κτίριο για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.
- **Electric Load Center Generators-Specifications:** Εδώ ορίζονται τα διάφορα συστήματα που παράγουν ενέργεια στο κτίριο(π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες κ.λ.π.)
- **Performance Curves:** Ορίζεται ο τύπος των εξισώσεων που δείχνουν πως μεταβάλλεται η απόδοση ορισμένων εξαρτημάτων της μηχανολογικής εγκατάστασης συναρτήσει κάποιων μεταβλητών(όπως θερμοκρασία, ροή ρευστών κ.α.)
- **Economics:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να ορίσει διάφορα οικονομικά στοιχεία που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (όπως το νόμισμα, την τιμή της κιλοβατώρας κ.α.)
- **Output Reporting:** Ορίζονται τα αποτελέσματα που θέλει ο χρήστης να εμφανιστούν μετά το πέρας της προσομοίωσης καθώς και την χρονική μεταβολή τους (ωριαία, ημερήσια κ.λπ.). Τα αποτελέσματα αυτά εξαρτώνται από τα δεδομένα που έχει δώσει ο χρήστης στο λογισμικό.

2.4.4 Προσομοίωση κτιρίου

Αφού δημιουργήσουμε το αρχείο με το κτίριο που θέλουμε να μελετήσουμε και ορίσουμε τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής τρέχουμε το πρόγραμμα και εμφανίζονται τα αποτελέσματα τα οποία ορίσαμε να εμφανιστούν.



Εικόνα 2-7 Προσομοίωση και αποτελέσματα στο EnergyPlus

3. Προσομοίωση κτιρίου στο EnergyPlus

3.1 Περιγραφή του κτιρίου

Το κτίριο που επιλέχθηκε για την ενεργειακή μελέτη με χρήση του EnergyPlus είναι ένα διαμέρισμα 4^ο ορόφου στο Χολαργό σε μια πολυκατοικία κατασκευής 2002. Το εμβαδόν του είναι 111,24 m² και έχει προσανατολισμό βορειοδυτικό. Διαθέτει ένα σαλόνι, μία κουζίνα, ένα μπάνιο, ένα W.C., τρία υπνοδωμάτια και τρία μπαλκόνια. Το διαμέρισμα αναπαρίσταται σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή στις εικόνες 3-2 και 3-3 αντίστοιχα.

3.2 Θερμικές ζώνες

Ο διαχωρισμός των κτιρίων σε θερμικές ζώνες αποτελεί σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού τους σχεδιασμού και τεχνική ορθολογικής χρήσης ενέργειας και αφορά δύο επίπεδα: τον ορθολογικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό βάσει ενεργειακών κριτηρίων (π.χ. βιοκλιματικό σχεδιασμό) και το σχεδιασμό και τη λειτουργία των μηχανολογικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης. Αρχικά πρέπει να καταστεί σαφές στον αναγνώστη το ακριβές περιεχόμενο του όρου «θερμική ζώνη». Με τον όρο αυτό λοιπόν, αναφερόμαστε στον όγκο του αέρα ο οποίος βρίσκεται σε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία, μαζί με τις επιφάνειες που τον περικλείουν ή/και περικλείονται από αυτόν, έχοντας την δυνατότητα να μεταφέρουν και να αποθηκεύουν θερμότητα.

Γενικά οι χώροι θα πρέπει να ομαδοποιούνται ανάλογα με τις ενεργειακές τους απαιτήσεις και με το βαθμό χρήσης τους και να είναι προσανατολισμένοι κατάλληλα. Το κτίριο επομένως χωρίζεται σε «θερμικές ζώνες» με βάση κάποια κριτήρια και κάποιους γενικούς κανόνες. Οι χώροι που θα αποτελούν την κάθε ζώνη θα πρέπει να έχουν παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Ωστόσο σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010) και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 ο διαχωρισμός του κτιρίου πρέπει να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.

Στο πλαίσιο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου καθορίζονται και οι θερμαινόμενοι χώροι (ή θερμικές ζώνες) και οι μη θερμαινόμενοι χώροι (Μ.Θ.Χ.). Οι μη θερμαινόμενοι και οι ηλιακοί χώροι του κτιρίου είναι ενεργειακά αδρανείς χώροι, χωρίς απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Κατά τους υπολογισμούς, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων και των ηλιακών χώρων θεωρούνται μηδενικά. Ωστόσο, συμμετέχουν δυναμικά στον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων για θέρμανση και ψύξη των θερμαινόμενων χώρων (θερμικές ζώνες) και για το λόγο αυτό περιγράφονται και καθορίζονται με την ίδια ακρίβεια όπως και οι θερμικές ζώνες. Επισημαίνεται ότι εάν τμήμα του κτιρίου εφάπτεται με μη θερμαινόμενους

χώρους (π.χ. κλιμακοστάσιο), για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, θεωρείται κατά παραδοχή ότι εφάπτεται με τον εξωτερικό αέρα.

Στην παρούσα μελέτη επιλέξαμε μία ενιαία θερμική ζώνη για διευκόλυνση των υπολογισμών, καθότι δεν υπάρχει μεγάλη ανάγκη διάκρισης των χώρων της μονοκατοικίας σε διαφορετικές ζώνες. Η επιλογή έγινε στην καρτέλα **Zones**. Τα δεδομένα που εισάγαμε ήταν το όνομα της ζώνης και ο προσανατολισμός του κτιρίου. Οι διαστάσεις της ζώνης ορίστηκαν να υπολογιστούν αυτόματα από το πρόγραμμα.

3.3 Δομικά υλικά και στρώσεις

Για τα δομικά στοιχεία επιφάνειας (surface construction elements) καταχωρήσαμε δεδομένα στις εξής επιλογές:

- **Material**

Εδώ ορίζονται όλα τα αδιαφανή δομικά υλικά που αποτελούν το κτίριο. Αυτό γίνεται ορίζοντας το όνομα (name), την τραχύτητα (roughness), το πάχος (thickness), την θερμική αγωγιμότητα (conductivity) με μονάδες σε $W/(m \cdot K)$, την πυκνότητα (density) σε kg/m^3 και την ειδική θερμοχωρητικότητα (specific heat) σε $J/(kg \cdot K)$ κάθε υλικού.

- **WindowMaterial:Glazing**

Στην καρτέλα αυτή ορίζονται συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων που θα χρησιμοποιηθούν στα παράθυρα. Το διαμέρισμα που μελετάμε έχει μόνο εξωτερικά παράθυρα. Για να τρέξει σωστά το πρόγραμμα πρέπει να ορίσουμε ως μπροστινή πλευρά (front side) την πλευρά του γυαλιού που γειτνιάζει με τον εξωτερικό αέρα, ενώ ως πίσω πλευρά (back side) ορίζεται η πλευρά του υαλοπίνακα που γειτνιάζει με την ζώνη που εμπεριέχεται το παράθυρο.

- **WindowMaterial:Gas**

Στην επιλογή αυτή ορίζονται τα χαρακτηριστικά του αερίου που περιέχεται μεταξύ των υαλοπινάκων των παραθύρων. Στην περίπτωση του διαμερίσματός μας μεταξύ των υαλοπινάκων παρεμβάλλεται αέρας.

- **Construction**

Εδώ ορίζεται πλήρως η σύνθεση εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών του κτιρίου δηλαδή περιγράφονται αναλυτικά τα υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένα οι τοίχοι, τα πατώματα, οι οροφές, οι πόρτες και τα παράθυρα. Κάθε μια από αυτές τις κατασκευές αποτελείται από στρώματα υλικών που ορίζονται σε αυτήν την καρτέλα με σειρά από έξω προς τα μέσα. Ως εξωτερική ορίζουμε τη στρώση που είναι πιο μακριά από τη ζώνη στην οποία βρίσκεται η κατασκευή ενώ το τελευταία στρώμα υλικού που ορίζεται είναι και αυτό που γειτνιάζει με την ζώνη. Τα δομικά μέρη του σπιτιού περιγράφονται στην Εικόνα 3-1.

Field	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name	Heavy Exterior Wall	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Medium Exterior Wall	Medium Roof/Ceiling	Medium Partitions	Medium Floor
Outside Layer	M01 100mm brick	Clear 3mm	F08 Metal surface	G05 25mm wood	M01 100mm brick	M14a 100mm heavyweight concrete	G01a 19mm gypsum board	F16 Acoustic tile
Layer 2	M14a 100mm heavyweight concrete	Air 13mm	I01 25mm insulation board		I02 50mm insulation board	F05 Ceiling air space resistance	F04 Wall air space resistance	F05 Ceiling air space resistance
Layer 3	I02 50mm insulation board	Clear 3mm			F04 Wall air space resistance	F16 Acoustic tile	G01a 19mm gypsum board	M14a 100mm heavyweight concrete
Layer 4	F04 Wall air space				G01a 19mm gypsum board			
Layer 5	G01a 19mm gypsum board							
Layer 6								
Layer 7								
Layer 8								
Layer 9								
Layer 10								

Εικόνα 3-1 Τα δομικά μέρη του σπιτιού

3.4 Σχεδιασμός κτιρίου

Για το σχεδιασμό του κτιρίου, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα αναλυτικής περιγραφής όλων των στοιχείων που το αποτελούν. Εμείς εισάγαμε δεδομένα στις εξής καρτέλες:

- **Wall:Detailed**

Στην καρτέλα αυτή περιγράφονται αναλυτικά οι τοίχοι που αποτελούν το κτίριο. Σε κάθε ένα στοιχείο δίνουμε ένα όνομα, περιγράφουμε τον τύπο του (από την καρτέλα Construction), περιγράφουμε την ζώνη στην οποία ανήκει και τη ζώνη, το αντικείμενο ή την επιφάνεια με την οποία συνορεύει. Τέλος περιγράφουμε τις συντεταγμένες του στον άξονα x-y-z ξεκινώντας από το σημείο που έχουμε ορίσει εμείς και συνεχίζοντας είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα. Όποια περιγραφή και αν ακολουθήσουμε για τις συντεταγμένες ενός τοίχου κοιτάμε πάντα να είναι η ίδια και για όλους τους υπόλοιπους.

- Για την κατασκευή του κτιρίου ορίσαμε 13 εσωτερικούς τοίχους, 14 επιφάνειες κολώνων και 25 εξωτερικούς τοίχους.

- **RoofCeiling:Detailed**

Εδώ ορίζουμε την οροφή του κτιρίου. Τα στοιχεία που πρέπει να συμπληρώσουμε για να περιγράψουμε ένα στοιχείο είναι ίδια με την προηγούμενη καρτέλα και ακολουθούμε και τους ίδιους κανόνες περιγραφής.

- **Floor:Detailed**

Αντίστοιχα με τα παραπάνω, εδώ περιγράφουμε το πάτωμα του διαμερίσματος

- **Window**

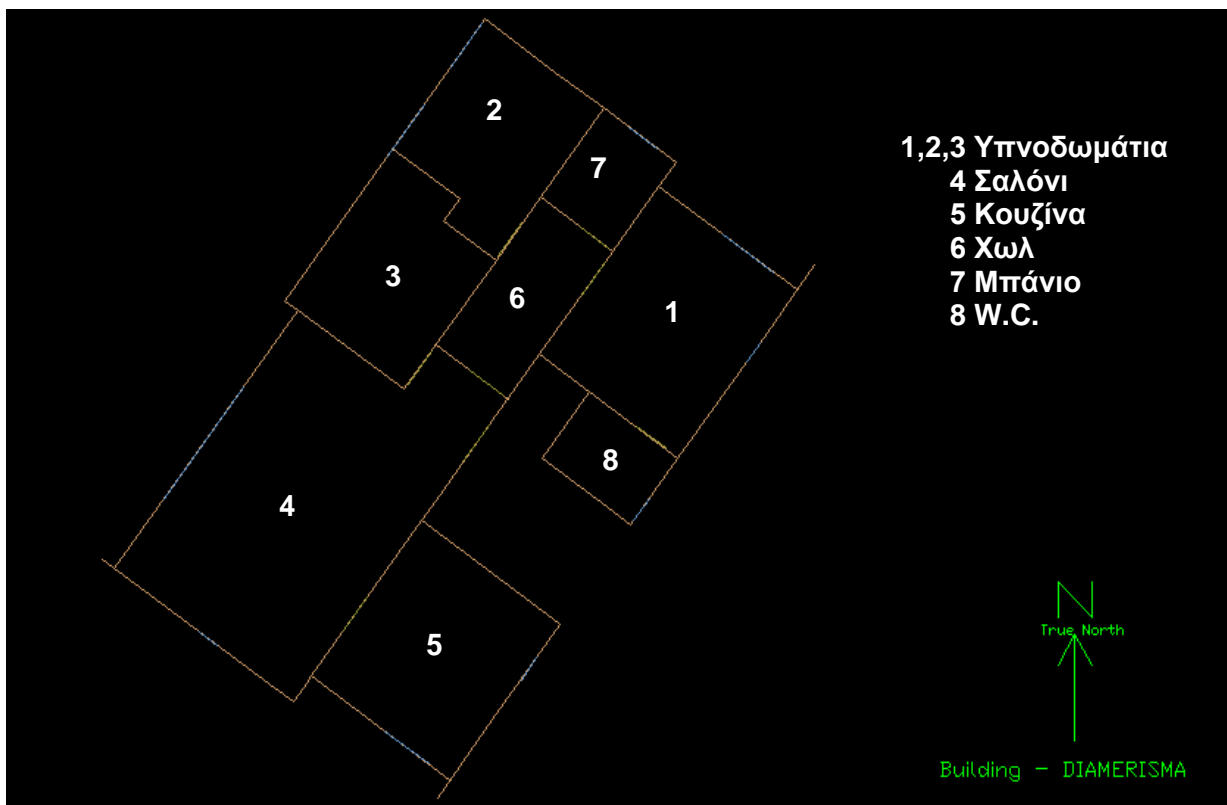
Στην κατηγορία αυτή περιγράφουμε τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες. Ξεκινάμε δίνοντας ένα όνομα στο κάθε στοιχείο, ύστερα ορίζουμε την κατασκευή του (από την κατηγορία Construction), την επιφάνεια στην οποία ανήκει, το μέγεθός τους και την απόστασή του από το πάτωμα. Έτσι, για να περιγράψουμε μια μπαλκονόπορτα θεωρούμε ότι έχει απόσταση 0 από το πάτωμα, ενώ για ένα παράθυρο ορίζουμε το επιθυμητό ύψος.

- Συνολικά το διαμέρισμα έχει 5 μπαλκονόπορτες και 5 παράθυρα. Μπαλκονόπορτες έχει η κουζίνα, το σαλόνι και τα τρία υπνοδωμάτια. Παράθυρο συναντάμε στο μπάνιο, στο WC, στην κουζίνα, στο σαλόνι και στο δωμάτιο 1.

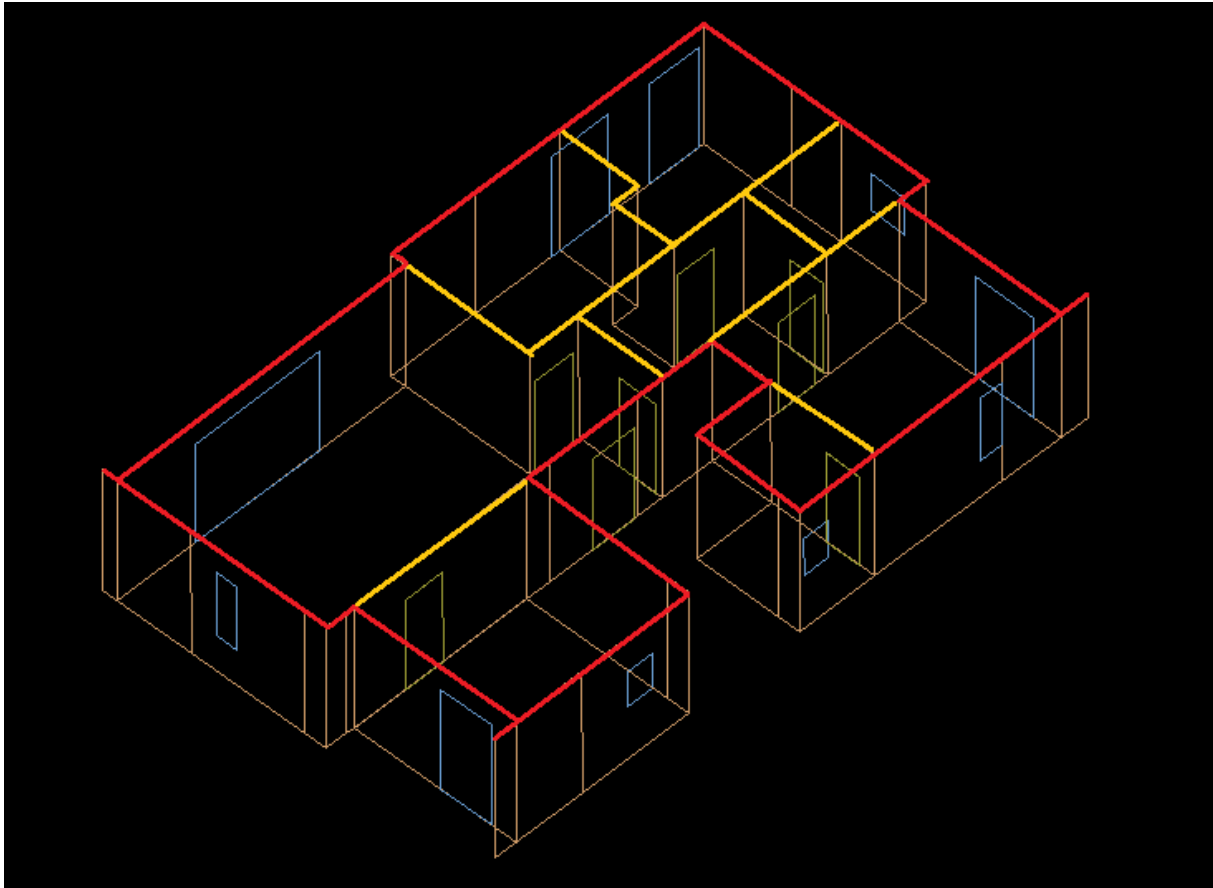
- **Door:Interzone**

Ορίζουμε τις πόρτες του διαμερίσματος. Η διαδικασία είναι αντίστοιχη με αυτή των παραθύρων και προσέχουμε καθώς πρέπει και εδώ να ορίσουμε την απόσταση από το πάτωμα.

- Για το διαμέρισμα ορίσαμε μία πόρτα κουζίνας, μία πόρτα χωλ, πόρτα για κάθε ένα από τα τρία υπνοδωμάτια, πόρτα λουτρού, πόρτα WC και εξώπορτα.



Εικόνα 3-2 2D απεικόνιση του προς μελέτη διαμερίσματος με το *Volvo View Express*



Εικόνα 3-3 3D απεικόνιση του προς μελέτη διαμερίσματος με το Volo View Express

3.5 Εσωτερική μάζα (Internal Mass)

Κάθε επιφάνεια που περιγράφεται ως εσωτερικός τοίχος, οροφή ή πάτωμα σε μία ζώνη μπορεί να θεωρηθεί εσωτερική μάζα της ζώνης αυτής και επομένως να παραληφθεί από την κατασκευή του κτιρίου στα πλαίσια μιας ενεργειακής προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει ανταλλαγή ενέργειας με οποιαδήποτε άλλη ζώνη στο κτίριο παρά μόνο με τη ζώνη μέσα στην οποία βρίσκονται. Επιπλέον στην ίδια κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα έπιπλα και όλα τα μεγάλα αντικείμενα μέσα στη ζώνη. Στα πλαίσια της προσομοίωσης μας επιλέξαμε να θεωρήσουμε μία ενιαία εσωτερική μάζα που περιλαμβάνει όλα τα ξύλινα έπιπλα του σπιτιού με τις προκαθορισμένες τιμές του προγράμματος.

3.6 Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

Το EnergyPlus δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τα χρονοδιαγράμματα για την χρονική μεταβολή διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Στην κατηγορία αυτή περιγράφεται η μεταβολή παραμέτρων όπως ο φωτισμός, η δραστηριότητα των ατόμων στο κτίριο, η λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, η λειτουργία των συστημάτων ψύξης

θέρμανσης και άλλα όπως θα δούμε αναλυτικά στη συνέχεια σε τρία στάδια: ημερήσια, εβδομαδιαία και ετήσια περιγραφή των μεταβολών τους. Είναι υποχρεωτικό από το ίδιο το πρόγραμμα ώστε να μην υπάρξει σφάλμα κατά την προσομοίωση να περιλαμβάνονται στα χρονοδιαγράμματα όλες οι μέρες του έτους (severe error : Missing some day assignments error).

Προτού κατασκευαστούν τα χρονοδιαγράμματα πρέπει να οριστούν το είδος των αριθμητικών τιμών και τα όρια τους στην καρτέλα **Schedule:TypeLimits**. Για παράδειγμα, σε ένα χρονοδιάγραμμα για την επιθυμητή θερμοκρασία του καλοριφέρ τότε στην καρτέλα αυτή θα ορίσουμε την πληροφορία «θερμοκρασία». Αναλυτικά θα περιγράψουμε το ανώτατο και κατώτατο όριο που θέλουμε να έχει (π.χ -20 έως 50), αν είναι συνεχής ή διακριτή αριθμητική τιμή (συνεχής στην περίπτωσή μας) και τέλος τις μονάδες που θέλουμε να έχει η πληροφορία μας.

Για την προσομοίωση του κτιρίου περιγράψαμε αναλυτικά τα χρονοδιαγράμματα ψύξης και θέρμανσης σε τρία στάδια.

1. Από την καρτέλα **Schedule:Day:Hourly** καθορίσαμε 4 διαφορετικά χρονοδιαγράμματα, ένα για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τις καθημερινές, ένα για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τα σαββατοκύριακα, ένα για τη λειτουργία του κλιματισμού τις καθημερινές και ένα για τη λειτουργία του κλιματιστικού τα σαββατοκύριακα.
 - Θέρμανση Καθημερινές: 07:00 – 10:00 και 15:00 – 24:00
 - Θέρμανση Σαββ/ριακα: Όλη μέρα
 - Κλιματισμός Καθ/ρινες: 16:00 – 21:00
 - Κλιματισμός Σαβ/ριακά: 11:00 – 13:00 και 16:00 – 21:00
2. Από την καρτέλα **Schedule:Week:Compact** ορίστηκε ποιες μέρες της εβδομάδας θα είναι σε ισχύ το κάθε ένα από αυτά.
3. Στην καρτέλα **Schedule:Year** ορίζεται για ποια περίοδο του χρόνου
 - Θέρμανση : 16 Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου
 - Ψύξη : 1 Μαΐου έως 31 Αυγούστου

Επιπλέον από την καρτέλα **Schedule:Compact** ορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα του θερμοστάτη στους 23°C για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης στους 26°C , της ανθρώπινης παρουσίας στο σπίτι κατά τη διάρκεια της ημέρας, της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών και της διείσδυσης του αέρα λόγω αερισμού. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από το αρχείο της ιστοσελίδας του προγράμματος που περιέχει πρότυπες κατοικίες για διάφορες πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών. Για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ενός παρόμοιου διαμερίσματος 4 ατόμων, 100 m² στην περιοχή του Los Angeles.

3.7 Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Gains)

Επιρροή στην ενεργειακή συμπεριφορά και θερμική κατανάλωση ενός κτιρίου έχουν, εκτός από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος και τα δομικά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένο, και άλλοι παράγοντες όπως οι άνθρωποι που ζουν και κινούνται μέσα σε αυτό, ο τεχνητός φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές, ο εξοπλισμός αερίου, παροχής ζεστού νερού κ.λ.π.

Στην περίπτωση του υπό μελέτη κτιρίου μας οι παράγοντες που συνεισφέρουν στα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι οι άνθρωποι, ο τεχνητός φωτισμός και οι ηλεκτρικές συσκευές.

- **Άτομα – Χρήστες (People)**

Εδώ ορίζονται τα εσωτερικά θερμικά κέρδη κάθε θερμικής ζώνης της κατοικίας, που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Έτσι, έτσι όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, έχουν δοθεί για την περιγραφή της κατηγορίας στοιχεία όπως : η θερμική ζώνη που έχουμε ορίσει (Zone name), το χρονοδιάγραμμα μεταβολής της ανθρώπινης παρουσίας (Number of people schedule name) το οποίο ήδη έχει οριστεί στην καρτέλα Schedules, ο μέγιστος αριθμός ατόμων που βρίσκονται στη ζώνη (Number of people), που στην περίπτωσή μας έχει οριστεί 4 καθώς γνωρίζουμε ότι τέσσερα είναι τα άτομα που κατοικούν στο σπίτι και το χρονοδιάγραμμα ανθρώπινης δραστηριότητας (Activity level schedule name) το οποίο και αυτό ορίστηκε στην καρτέλα Schedules. Επισημαίνεται ότι το επίπεδο ανθρώπινης δραστηριότητας ορίστηκε σε 80 Watt/person, με βάση τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) [22]. Τα υπόλοιπα στοιχεία είτε αφήνονται κενά είτε παίρνουν τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος

Field	Units	Obj1
Name		Katoikoi
Zone or ZoneList Name		ROOMS_LIVR_KIT_HALL
Number of People Schedule Name		PEOPLE_SCH
Number of People Calculation Method		People
Number of People		4
People per Zone Floor Area	person/m ²	
Zone Floor Area per Person	m ² /person	
Fraction Radiant		0,75
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		thermiki isxus ana atomo
Carbon Dioxide Generation Rate	m ³ /s-W	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name		
Work Efficiency Schedule Name		
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSchedule
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name		
Clothing Insulation Schedule Name		

Εικόνα 3-4 Εισαγωγή ατόμων στο EnergyPlus

- **Τεχνητός Φωτισμός (Lights)**

Στην επιλογή αυτή ορίστηκε η συμβολή του τεχνητού φωτισμού στα εσωτερικά θερμικά κέρδη της ζώνης της κατοικίας μας. Για τον σκοπό αυτό δόθηκε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού, ορισμένο ήδη στην καρτέλα Schedules, καθώς και η ισχύς των φωτιστικών ανά τετραγωνικό μέτρο στα 3,6 W/m² σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα. Επίσης δόθηκαν τιμές για τους συντελεστές Return Air Fraction, Fraction Radiant, Fraction Visible και Fraction Replaceable με βάση τις προεπιλογές του προγράμματος.

Field	Units	Obj1
Name		Fwtismos Dwmatiwn
Zone or ZoneList Name		ROOMS_LIVR_KIT_HALL
Schedule Name		LIGHTS_SCH
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Lighting Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m ²	3,6
Watts per Person	W/person	
Return Air Fraction		0
Fraction Radiant		0,6
Fraction Visible		0,2
Fraction Replaceable		0
End-Use Subcategory		General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 1		
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 2	1/K	

Εικόνα 3-5 Εισαγωγή φωτισμού στο EnergyPlus

- **Ηλεκτρικές συσκευές (Electric Equipment)**

Τέλος ορίστηκαν τα θερμικά κέρδη της ζώνης λόγω της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών. Η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών της ζώνης ορίστηκε στα 5 W/m² σύμφωνα με τα στοιχεία του TEE, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές καθορίστηκαν από το πρόγραμμα.

Field	Units	Obj1
Name		Katanalwsh
Zone or ZoneList Name		ROOMS_LIVR_KIT_HALL
Schedule Name		EQUIPMENT_SCH
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Design Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m ²	5
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		0
Fraction Radiant		0
Fraction Lost		0
End-Use Subcategory		General

Εικόνα 3-6 Εισαγωγή ηλεκτρικών συσκευών στο EnergyPlus

3.8 Ροή του αέρα δια μέσου των θερμικών ζωνών (Zone Airflow)

Ένας πολύ σημαντικός ρυθμιστικός παράγοντας της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι η ροή του αέρα μεταξύ των θερμικών ζωνών ή/και μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος, είτε αυτή προκαλείται αθέλητα, είτε προκαλείται σκόπιμα.

- **Αθέλητος αερισμός (Infiltration)**

Ο αθέλητος αερισμός είναι η μη σκόπιμη ροή αέρα που προκαλείται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των εξωτερικών πορτών από ρωγμές ή σχισμές γύρω από τα κουφώματα, και σε πολύ μικρές ποσότητες ακόμη και δια μέσου των δομικών στοιχείων του κτιρίου.

Η περιγραφή του αθέλητου αερισμού έγινε στην περίπτωση μας μέσω της επιλογής **ZoneInfiltration:DesignFlowRate** στην οποία ορίστηκε μια σταθερή τιμή εισχώρησης αέρα ανά κυβικό μέτρο το δευτερόλεπτο ($0,001527 \text{ m}^3/\text{s}$) και τέσσερις μεταβλητές που συμπληρώνουν τα δεδομένα για τον υπολογισμό του και δίνουν μια σταθερή ροή κάτω από όλες τις συνθήκες. Οι τιμές που δόθηκαν ήταν οι προεπιλεγμένες τιμές του EnergyPlus.

- **Αερισμός (Ventilation)**

Ως αερισμός ορίζεται η σκόπιμη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου στο εσωτερικό. Ο αερισμός χωρίζεται σε φυσικό (π.χ. άνοιγμα παραθύρων) και μηχανικό (π.χ. εξαερισμό με ανεμιστήρες). Στην υπό μελέτη κατοικία μας έχει ληφθεί υπόψη μόνο φυσικός αερισμός. Αυτό ορίστηκε στην καρτέλα **ZoneVentilation:DesignFlowRate**, μέσω της επιλογής Ventilation Type: Natural.

Προκειμένου να προσομοιώσουμε τη συμπεριφορά των ατόμων που ζουν στην κατοικία, όσον αφορά το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων, το EnergyPlus δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή να χρησιμοποιήσει κάποια όρια στις εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες καθώς και στη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας (Delta Temperature), τα οποία όταν ξεπερνιούνται ο φυσικός αερισμός σταματά, δηλαδή τα παράθυρα παραμένουν κλειστά. Η παρακάτω έκφραση παρουσιάζει ξεκάθαρα τη λογική αυτή καθώς και τα όρια που τίθενται:

```
If Tz < Tmin=20 °C then OFF
If Tz > Tmax =28 °C then OFF
If Tout < Tmin=14 °C then OFF
If Tout > Tmax=34 °C then OFF
If (Tz – Tout) < DT=2 °C then OFF
Else ON
```

Έτσι για παράδειγμα, αν η θερμοκρασία της ζώνης είναι μικρότερη από 20°C ή μεγαλύτερη από 28°C τα παράθυρα θα παραμείνουν κλειστά. Κατ' αντιστοιχία, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από 14°C ή μεγαλύτερη από 34°C, τότε τα παράθυρα θα παραμείνουν επίσης κλειστά γιατί η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι και στις δύο περιπτώσεις έξω από τα ανθρώπινα όρια θερμικής άνεσης

3.9 Πρότυπα συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού (HVAC templates)

Στην κατηγορία αυτή έγινε ο καθορισμός των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου μας. Σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία του σπιτιού που έχουμε στη διάθεσή μας, η ψύξη του διαμερίσματος γίνεται μέσω κλιματιστικών ενώ η θέρμανση είναι αυτόνομη, με καυστήρα πετρελαίου και τα κλασικά σώματα θέρμανσης (καλοριφέρ). Στον προσδιορισμό των συγκεκριμένων στοιχείων για το σπίτι παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα. Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα που ακολουθεί τα αμερικάνικα ενεργειακά πρότυπα. Ως εκ τούτου υπάρχουν επιλογές τις οποίες δεν συναντάμε στα ελληνικά νοικοκυριά ενώ άλλα στοιχεία που είναι χαρακτηριστικά στον ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν. Το πρόγραμμα δεν δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει ως κεντρικό σύστημα θέρμανσης τα κλασικά 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. Επομένως το σύστημα ψύξης θέρμανσης του κτιρίου έπρεπε να επιλεγθεί κατάλληλα ώστε να δίνει αποτελέσματα όσον τον δυνατόν πιο κοντά στα ελληνικά δεδομένα.

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 κρύου και με κρύο νερό (μέσω ψύκτη) ως σύστημα ψύξης. Τα μέρη του συστήματος που καθορίστηκαν στο πρόγραμμα παρατίθενται στη συνέχεια.

- **Θερμοστάτης (HVACTemplate:Thermostat)**

Στην καρτέλα αυτή ορίστηκαν τα όρια της θερμοκρασίας που αν ξεπεραστούν μπαίνουν σε λειτουργία τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης. Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιήθηκαν τα χρονοδιαγράμματα που καθορίστηκαν στην καρτέλα schedules. Έτσι το heating setpoint ορίστηκε στους 23°C και το cooling setpoint στους 26°C.

- **HVACTemplate:Zone:VAV**

Στην καρτέλα αυτή ορίζουμε απλά ότι το σύστημα ψύξης – θέρμανσης που χρησιμοποιήσαμε είναι τύπου VAV. Τα μόνα στοιχεία που ορίζουμε πέραν των

προεπιλεγμένων του προγράμματος είναι το όνομα που δώσαμε στο σύστημα και οι θερμοστάτες που θα χρησιμοποιήσει.

- **HVACTemplate:System:VAV**

Εδώ περιγράφεται αναλυτικά το σύστημα ψύξης – Θέρμανσης που θα χρησιμοποιήσουμε με προσδιορίζοντας τα χαρακτηριστικά του. Καταρχάς δηλώσαμε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του συστήματος (VAV SCHEDULE) όπως το περιγράψαμε στην καρτέλα Schedules:Year. Δεύτερον, προσδιορίσαμε ότι η ψύξη γίνεται με χρήση κρύου νερού και η θέρμανση με χρήση ζεστού νερού. Τα υπόλοιπα δεδομένα ορίζονται με βάση τις προεπιλογές του προγράμματος. Επιπλέον προσθέσαμε ένα εξτρά χρονοδιάγραμμα (chiller schd) με το οποίο σταματάει η λειτουργία ψύξης κατά τους χειμερινούς μήνες. Η επιλογή αυτή έγινε διότι διαπιστώθηκε στα αποτελέσματα ότι το EnergyPlus δεν διακόπτει τη λειτουργία ψύξης το χειμώνα, αλλά ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της θέρμανσης. Έτσι με την κατάλληλη τροποποίηση το σφάλμα του προγράμματος διορθώθηκε.

Field	Units	Obj1
Name		System:heat-cool
System Availability Schedule Name		VAV SCHEDULE
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize
Supply Fan Minimum Flow Rate	m3/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		chiller schd
Cooling Coil Setpoint Schedule Name		Clg-SetP-Sch
Cooling Coil Design Setpoint	C	12,8
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 3-7 Εισαγωγή συστήματος HVAC στο EnergyPlus

- **HVACTemplate:Plant:ChilledWaterLoop, HVACTemplate:Plant:Chiller και HVACTemplate:Plant:Tower**

Στην καρτέλα αυτή περιγράφηκαν το σύστημα και η μονάδα ψύξης. Ορίστηκε ότι το σύστημα λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Τα υπόλοιπα δεδομένα ορίστηκαν από τις στάνταρ τιμές του προγράμματος

- **HVACTemplate:Plant:HotWaterLoop και HVACTemplant:Plant:Boiler**

Εδώ περιγράψαμε το σύστημα θέρμανσης. Ο καυστήρας ορίστηκε ότι λειτουργεί με diesel και τα υπόλοιπα δεδομένα συμπληρώθηκαν από τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος.

3.10 Καθορισμός αποτελεσμάτων (Output:Reporting)

Αφού ορίσαμε παραπάνω όλα τα απαραίτητα για το EnergyPlus χαρακτηριστικά του κτιρίου μας, έπρεπε να καθορίσουμε και τα αποτελέσματα που επιθυμούμε να πάρουμε μετά την επεξεργασία τους. Για το σκοπό αυτό το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να ορίσει μια σειρά από επιθυμητά αποτελέσματα μέσω των καρτελών του στα οποία περιλαμβάνονται τα σφάλματα που εντοπίζει το πρόγραμμα κατά την προσομοίωση,

3.11 Αποτελέσματα

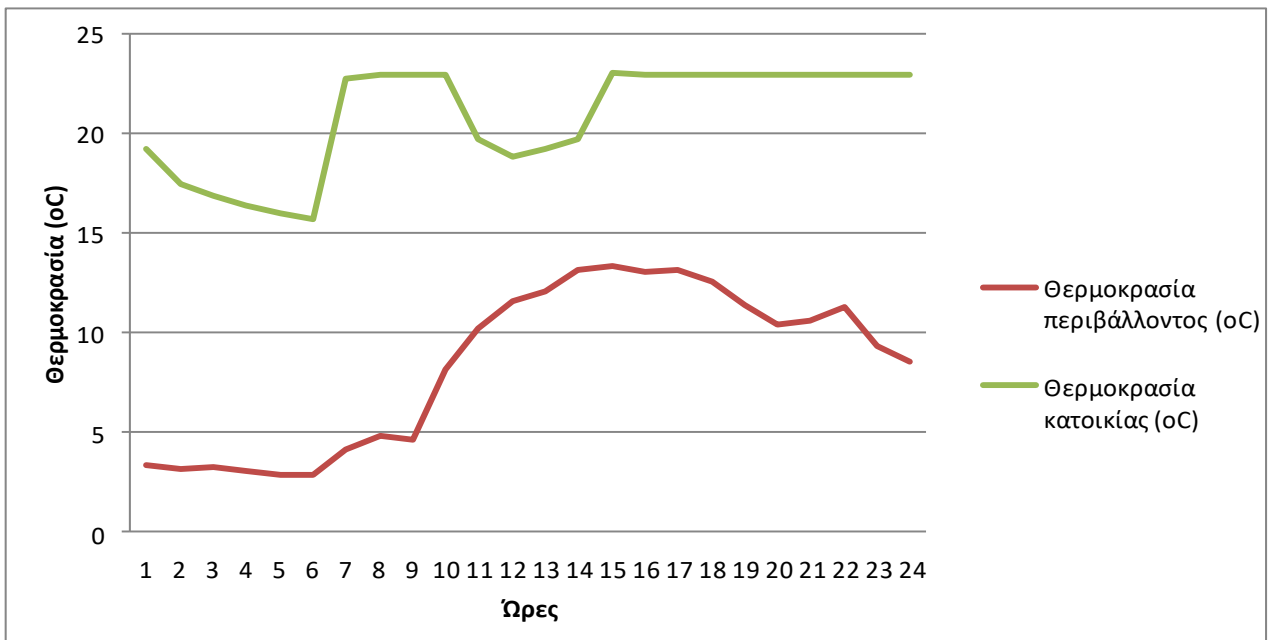
Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση της κατοικίας. Καταρχάς, θα παρουσιάσουμε την επίδραση που είχε το σύστημα HVAC την εσωτερική θερμοκρασία του σπιτιού για μια τυχαία μέρα του χρόνου. Στην παρούσα μελέτη ωστόσο εστίασαμε στην θερμική και ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση της κατοικίας. Οι καταναλώσεις υπολογίστηκαν σε μηνιαία βάση για να έχουμε μια γενική ενεργειακή εικόνα του κτιρίου για ολόκληρο το έτος, αλλά και αναλυτικότερα σε χρονικά διαστήματα της μιας ώρας. Ενδεικτικά θα παρουσιάσουμε την ημερήσια καμπύλη φορτίου για μια τυχαία μέρα του χειμώνα (17 Φεβρουαρίου) και για μια τυχαία μέρα του καλοκαιριού (21 Αυγούστου). Επιπλέον, κάναμε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων τόσο μεταξύ διαφορετικών ημερών του έτους όσο και μεταξύ των δύο διαφορετικών ειδών καταναλώσεων.

3.11.1 Ημερήσια θερμοκρασία διαμερίσματος

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος την Παρασκευή 17 Φεβρουαρίου. Η χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία την ημέρα αυτή είναι στις πέντε το πρωί (2,9°C) και η μεγαλύτερη στις τρεις το μεσημέρι (13,2oC). Από την καμπύλη της θερμοκρασίας του διαμερίσματος εύκολα παρατηρούμε την επίδραση που έχει σε αυτήν το σύστημα θέρμανσης που έχουμε ορίσει. Το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του ορίζει πως θα είναι ανοιχτό από τις 07:00 έως τις 10:00 και από τις 15:00 ως τις 24:00 σε περίπτωση που η θερμοκρασία του σπιτιού είναι χαμηλότερη από αυτήν που ορίζει ο θερμοστάτης (23°C). Την μέρα αυτή επομένως η θερμοκρασία εντός του σπιτιού αν και υψηλότερη από αυτήν του περιβάλλοντος δεν ξεπερνάει ποτέ τους 23°C, οπότε το σύστημα θέρμανσης είναι συνεχώς σε λειτουργία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη μεγάλη διαφορά που έχει η θερμοκρασία στο σπίτι τις ώρες που το σύστημα είναι σίγουρα κλειστό λόγω του χρονοδιαγράμματός του.

Πίνακας 3-1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος και θερμοκρασία κατοικίας στις 17 Φεβρουαρίου

	Εξωτερική θερμοκρασία(°C)	Θερμοκρασία σπιτιού(°C)
01:00	4,9	19,2
02:00	3,2	17,5
03:00	3,3	16,9
04:00	3,1	16,4
05:00	2,9	16,0
06:00	2,9	15,7
07:00	4,2	22,8
08:00	4,8	23,0
09:00	4,6	23,0
10:00	8,2	23,0
11:00	10,2	19,7
12:00	11,6	18,8
13:00	12,1	19,2
14:00	13,2	19,7
15:00	13,4	23,1
16:00	13,1	23,0
17:00	13,2	23,0
18:00	12,6	23,0
19:00	11,4	23,0
20:00	10,4	23,0
21:00	10,6	23,0
22:00	11,3	23,0
23:00	9,3	23,0
24:00	8,6	23,0

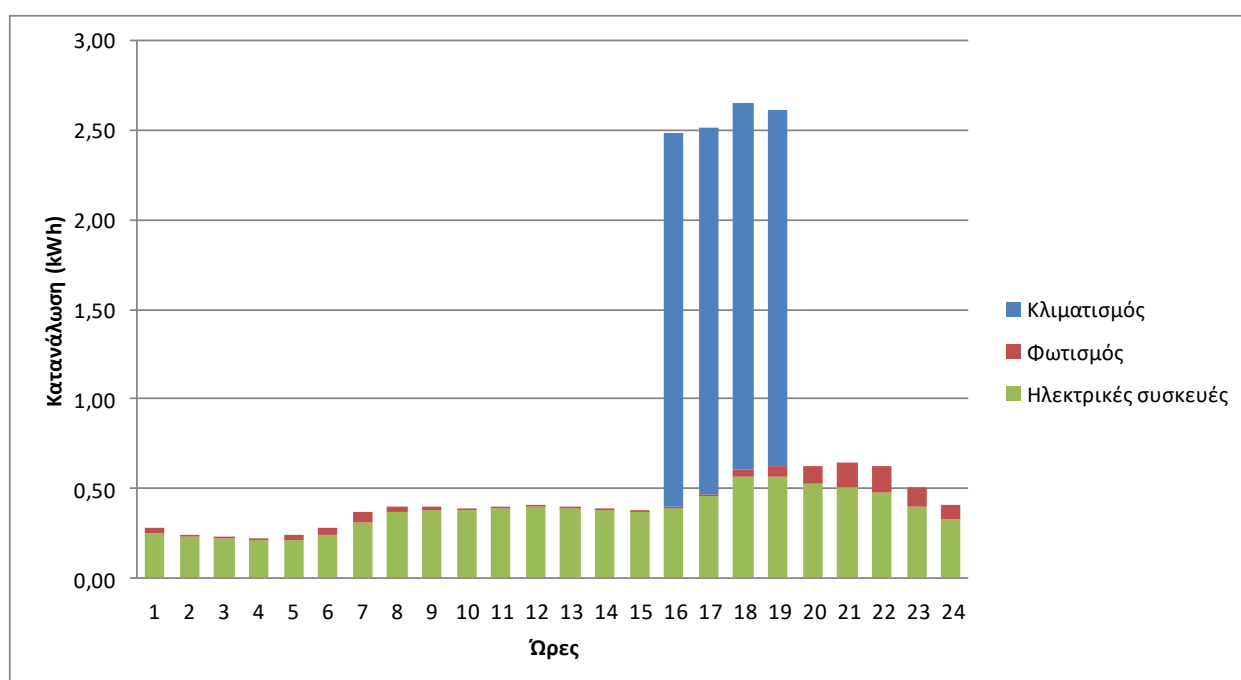


Διάγραμμα 3-3-1 Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία στις 17 Φεβρουαρίου

3.11.2 Ηλεκτρική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το καλοκαίρι

Πίνακας 3-2 Ηλεκτρική κατανάλωση στις 21 Αυγούστου σε kWh

	Κλιματισμός (kWh)	Φωτισμός (kWh)	Ηλεκτρικές Συσκευές(kWh)
01:00	0,00	0,02	0,25
02:00	0,00	0,01	0,23
03:00	0,00	0,01	0,22
04:00	0,00	0,01	0,21
05:00	0,00	0,02	0,21
06:00	0,00	0,04	0,24
07:00	0,00	0,06	0,31
08:00	0,00	0,03	0,37
09:00	0,00	0,02	0,37
10:00	0,00	0,00	0,38
11:00	0,00	0,00	0,39
12:00	0,00	0,00	0,40
13:00	0,00	0,00	0,39
14:00	0,00	0,01	0,37
15:00	0,00	0,00	0,37
16:00	2,09	0,01	0,38
17:00	2,04	0,02	0,45
18:00	2,05	0,04	0,57
19:00	1,99	0,06	0,57
20:00	0,00	0,09	0,53
21:00	0,00	0,14	0,50
22:00	0,00	0,14	0,48
23:00	0,00	0,11	0,40
24:00	0,00	0,08	0,33

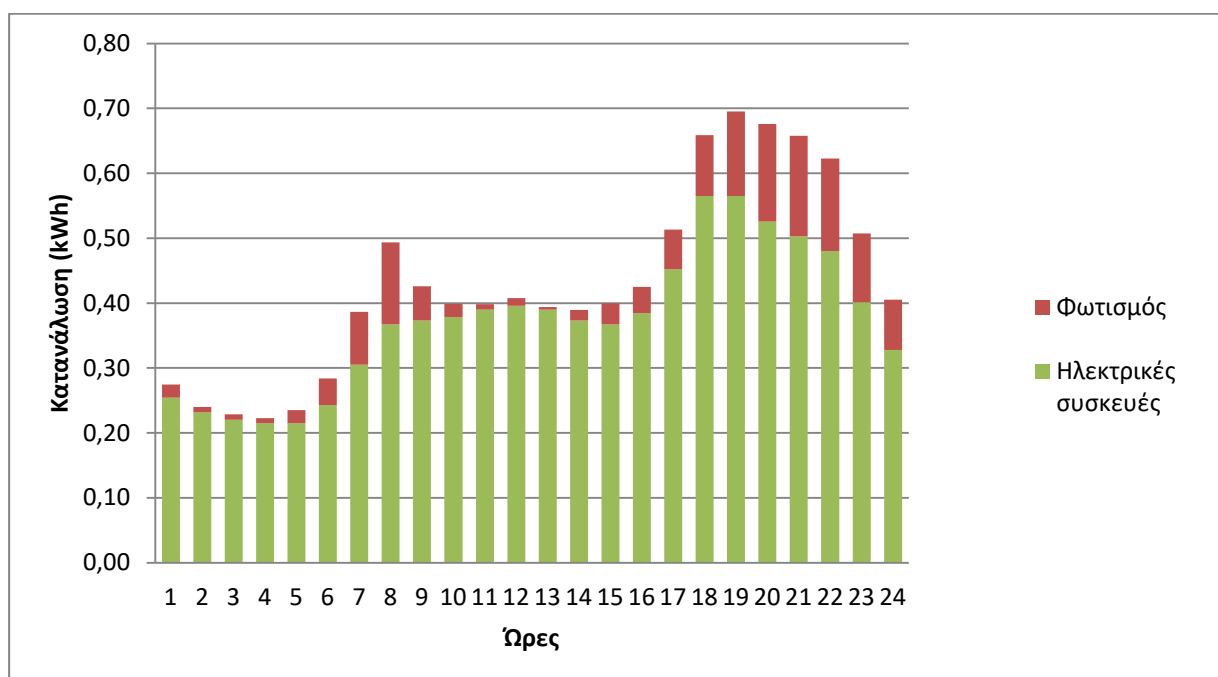


Διάγραμμα 3-3-3 Ηλεκτρική κατανάλωση στις 21 Αυγούστου σε kWh

3.11.3 Ηλεκτρική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το χειμώνα

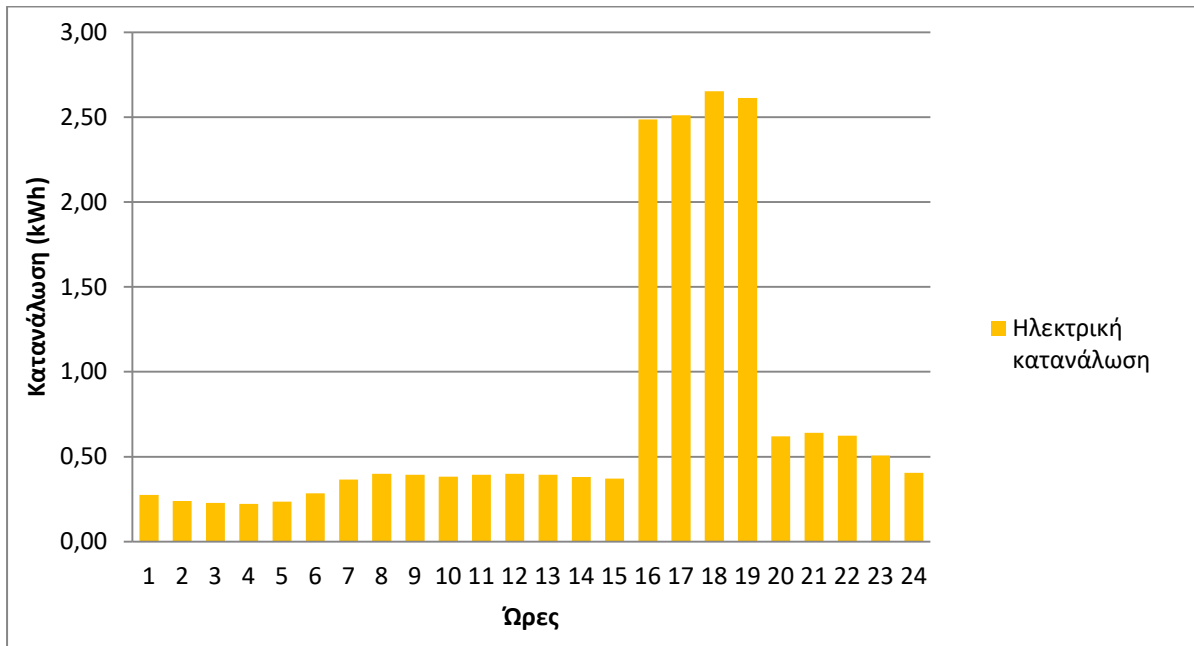
Πίνακας 3-4 Ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας 17 Φεβρουαρίου

	Φωτισμός (kWh)	Ηλεκτρικές Συσκευές(kWh)
01:00	0,02	0,25
02:00	0,01	0,23
03:00	0,01	0,22
04:00	0,01	0,21
05:00	0,02	0,21
06:00	0,04	0,24
07:00	0,08	0,31
08:00	0,13	0,37
09:00	0,05	0,37
10:00	0,02	0,38
11:00	0,01	0,39
12:00	0,01	0,40
13:00	0,00	0,39
14:00	0,02	0,37
15:00	0,03	0,37
16:00	0,04	0,38
17:00	0,06	0,45
18:00	0,09	0,57
19:00	0,13	0,57
20:00	0,15	0,53
21:00	0,15	0,50
22:00	0,14	0,48
23:00	0,11	0,40
24:00	0,08	0,33



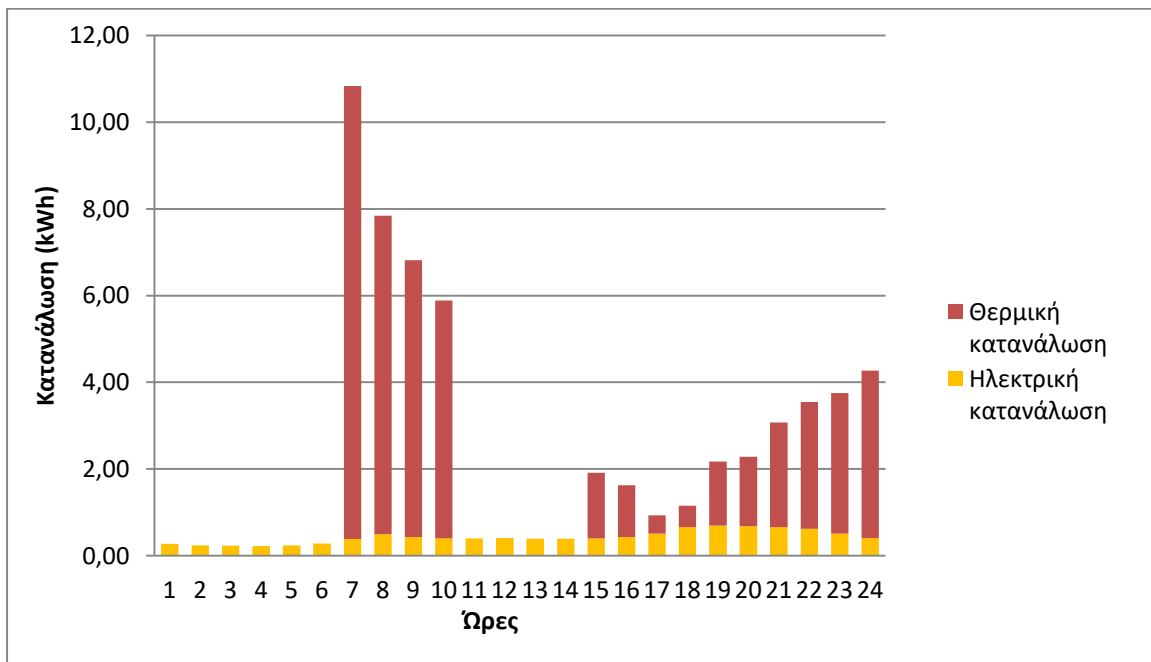
Διάγραμμα 3-4 Ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας 17 Φεβρουαρίου

3.11.4 Συνολική κατανάλωση μια τυχαία μέρα το καλοκαίρι



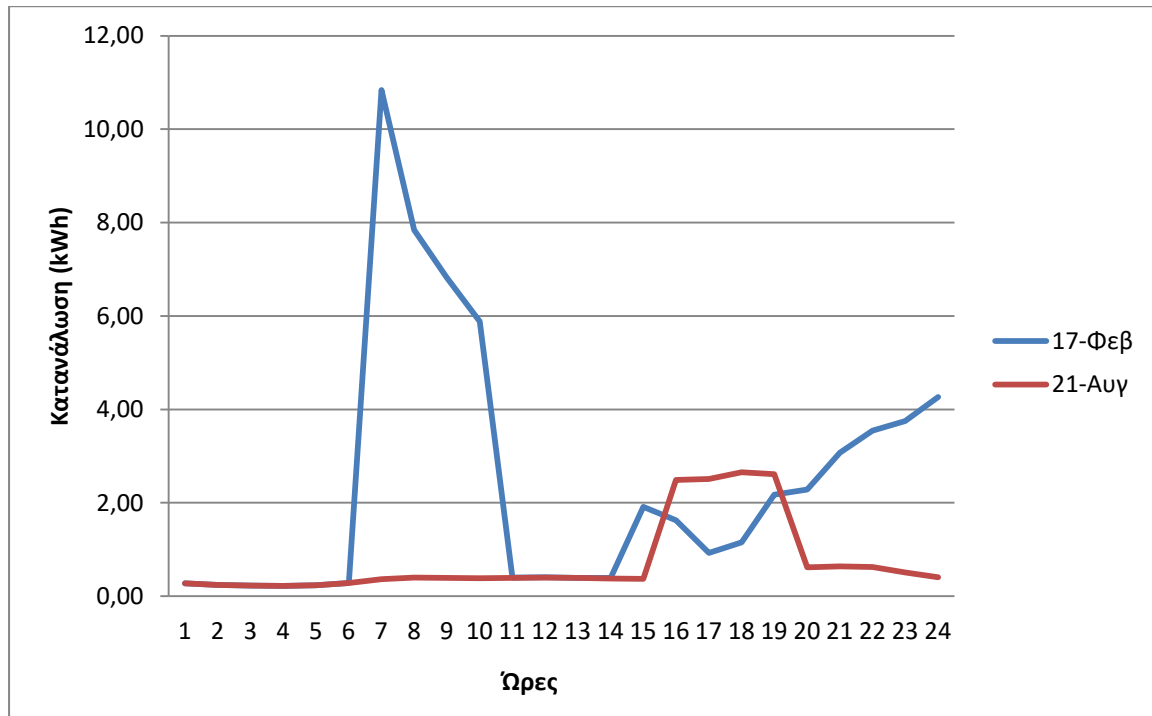
Διάγραμμα 3-5 Συνολική κατανάλωση κατοικίας στις 21 Αυγούστου

3.11.5 Συνολική κατανάλωση ενέργειας μιας τυχαίας μέρας το χειμώνα



Διάγραμμα 3-6 Συνολική κατανάλωση της κατοικίας 17 Φεβρουαρίου

3.11.6 Σύγκριση ημερήσιων καμπύλων κατανάλωσης για καλοκαίρι και χειμώνα



Διάγραμμα 3-7 Κατανάλωση κατοικίας 17 Φεβρουαρίου και 21 Αυγούστου

Για την παρουσίαση των ημερήσιων ενεργειακών καταναλώσεων επιλέχθηκε μία τυχαία μέρα του χειμώνα και μία τυχαία μέρα το καλοκαίρι. Αυτές ήταν η 17η Φεβρουαρίου και η 21η Αυγούστου αντίστοιχα. Και οι δύο μέρες ήταν καθημερινές επομένως το σύστημα HVAC του διαμερίσματος ακολούθησε τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας ψύξης και θέρμανσης για τις καθημερινές.

Όσον αφορά την ηλεκτρική κατανάλωση παρατηρούμε μια τεράστια διαφορά μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα λόγω της λειτουργίας του κλιματιστικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το φορτίο αιχμής σε μια καλοκαιρινή μέρα να φτάνει τις 2,7 kWh για το χρονικό διάστημα 17:00 – 18:00. Αντίθετα το μέγιστο φορτίο μια χειμωνιάτικη μέρα είναι 0,7 kWh από τις 19:00 ως τις 20:00. Και τις δύο εποχές πάντως παρατηρείται η ίδια περίπου μορφή καμπύλης η οποία εμφανίζει δύο αιχμές: μια μικρή το πρωί στις 08:00 και η μεγαλύτερη από τις 18:00 ως τις 20:00.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν για τη συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ωστόσο είναι διαφορετικά. Η αιχμή της κατανάλωσης μιας χειμωνιάτικης μέρας, λόγω του υπολογισμού και της θερμικής ενέργειας φτάνει τις 11 kWh στις εφτά το πρωί όταν και μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα θέρμανσης για πρώτη φορά μέσα στη μέρα. Στη συνέχεια η κατανάλωση ελαττώνεται καθώς αυξάνεται και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στις 15:00 που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει

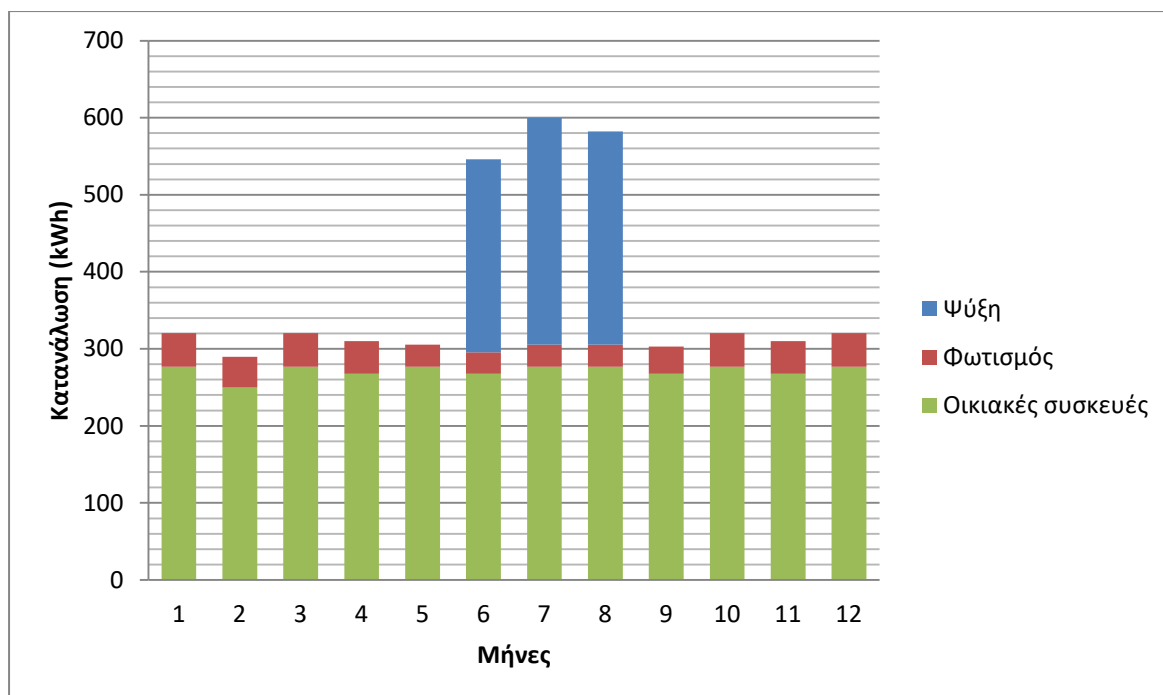
πάλι σε λειτουργία εμφανίζει πάλι μια αιχμή, αλλά πολύ μικρότερη συγκριτικά με την προηγούμενη (2 kWh) και πέφτει ως τις 17:00 που οι απαιτήσεις για θέρμανση δεν είναι ακόμα πολύ αυξημένες και ύστερα αυξάνεται σταδιακά ως τις δώδεκα το βράδυ οπότε και τερματίζει η λειτουργία του συστήματος. Αντίθετα η συνολική κατανάλωση ενέργειας το καλοκαίρι οφείλεται μόνο σε συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρισμό.

Συγκρίνοντας τις δύο ημερήσιες καμπύλες παρατηρούμε ότι είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους όχι μόνο ως προς την συνολική τους κατανάλωση αλλά κυρίως ως προς το μοτίβο που ακολουθούν. Οι αιχμές εμφανίζονται διαφορετικές ώρες μέσα στη μέρα και τα φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα το χειμώνα. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές ενεργειακές καταναλώσεις των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης αλλά και στις διαφορετικές ανάγκες των ατόμων για θέρμανση και ψύξη και επομένως στο διαφορετικό χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του κάθε συστήματος. Είναι πολύ πιο λογικό να υπάρχει ανάγκη για θέρμανση ένα κρύο πρωινό του χειμώνα παρά για κλιματισμό το καλοκαίρι!

3.11.7 Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Πίνακας 3-5 Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατοικία

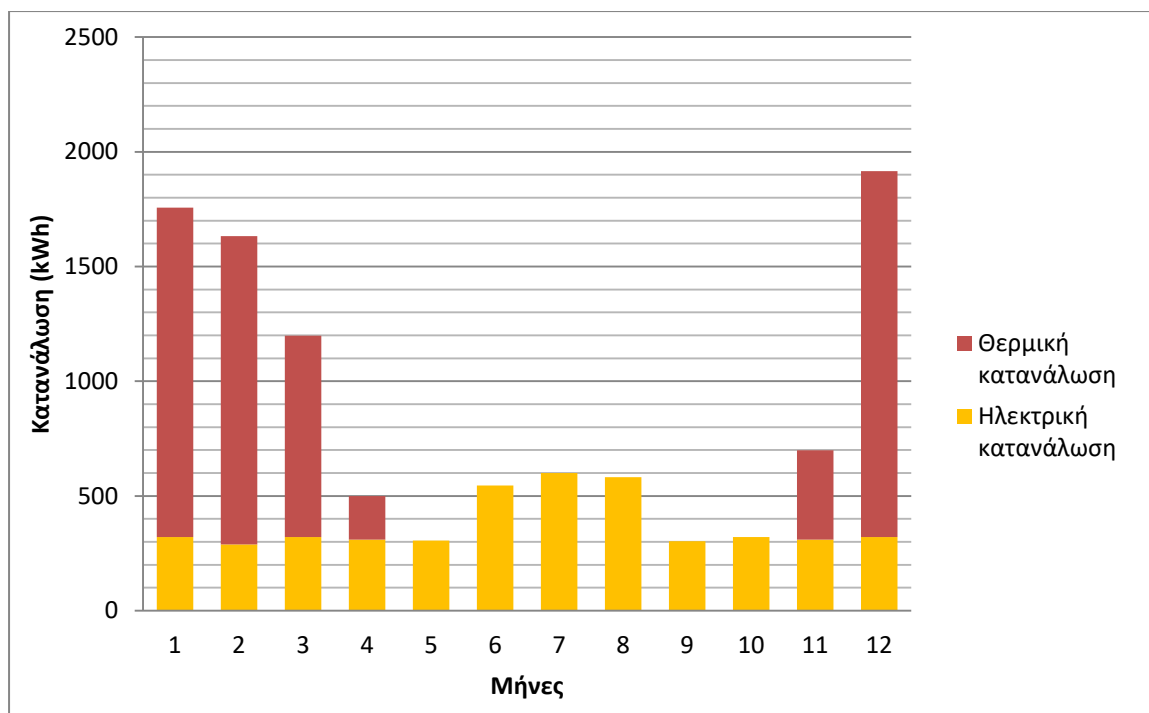
	Ψύξη (kWh)	Φωτισμός (kWh)	Οικιακές συσκευές (kWh)
Ιανουάριος	0,00	43,90	276,63
Φεβρουάριος	0,00	39,65	249,86
Μάρτιος	0,00	43,90	276,63
Απρίλιος	0,00	42,48	267,71
Μάιος	0,00	28,63	276,63
Ιούνιος	250,51	27,71	267,71
Ιούλιος	294,50	28,63	276,63
Αύγουστος	277,02	28,63	276,63
Σεπτέμβριος	0,00	35,10	267,71
Οκτώβριος	0,00	43,90	276,63
Νοέμβριος	0,00	42,48	267,71
Δεκέμβριος	0,00	43,90	276,63



Διάγραμμα 3-8 Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας

3.11.8 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας

	Ηλεκτρική ενέργεια(kWh)	Θερμική Ενέργεια(kWh)
Ιανουάριος	320,53	1436,78
Φεβρουάριος	289,51	1343,38
Μάρτιος	320,53	878,53
Απρίλιος	310,19	189,29
Μάιος	305,26	0,00
Ιούνιος	545,92	0,00
Ιούλιος	599,76	0,00
Αύγουστος	582,29	0,00
Σεπτέμβριος	302,80	0,00
Οκτώβριος	320,53	0,00
Νοέμβριος	310,19	389,53
Δεκέμβριος	320,53	1595,62



Διάγραμμα 3-9 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατοικίας

Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας : 4.528 kWh

Ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας :5.833 kWh

Συνολική ετήσια κατανάλωση : 10.361 kWh

3.12 Αποτελέσματα σε HTML

Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να εξάγει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μορφή HTML. Στο αρχείο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα που έχει ορίσει ο χρήστης αλλά και το ίδιο το πρόγραμμα αυτόματα ώστε να γίνει η προσομοίωση. Ουσιαστικά αποτελεί μια λεπτομερή περιγραφή των δεδομένων εισόδου και εξόδου και των χαρακτηριστικών τους. Παράλληλα διενεργεί σύγκριση των αποτελεσμάτων και παρουσιάζει τις μέσες τιμές καθώς και τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεδομένων αλλά και ποια χρονική στιγμή αυτές εμφανίζονται. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται ένα μικρό μέρος του αρχείου ενδεικτικά. Από αυτά φαίνεται ότι το σπίτι έχει τη μεγαλύτερη ηλεκτρική κατανάλωση στις 7 Αυγούστου στις 15:20 με τη μέτρηση να δείχνει 3.966,46kWh και τη μεγαλύτερη κατανάλωση diesel στις 22 Φεβρουαρίου στις 06:19 (14.205,81kWh) που είναι και η ώρα που μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα θέρμανσης .

Report: Annual Building Utility Performance SummaryFor: **Entire Facility**Timestamp: **2016-09-24 18:55:45****Values gathered over 8760.00 hours**Building: **DIAMERISMA****Site and Source Energy**

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	42.67	377.54
Net Site Energy	42.67	377.54
Total Source Energy	90.59	801.49
Net Source Energy	90.59	801.49

Report: Demand End Use Components SummaryFor: **Entire Facility**Timestamp: **2016-09-24 18:55:45****End Uses**

	Electricity [W]	Natural Gas [W]	Diesel [W]
Time of Peak	07-AUG-15:20	-	22-FEB-06:19
Heating	0.00	0.00	14205.81
Cooling	2427.94	0.00	0.00
Interior Lighting	8.14	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	384.29	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	794.27	0.00	0.00
Pumps	251.46	0.00	0.00
Heat Rejection	100.36	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	3966.46	0.00	14205.81

Εικόνα 3-8 Αναπαράσταση αποτελεσμάτων σε HTML

3.13 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης διαπιστώνουμε ότι το διαμέρισμα καταναλώνει την περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια τους θερινούς μήνες. Αυτό είναι φυσιολογικό, αφού τα φορτία που απαιτούνται για τον κλιματισμό του σπιτιού είναι πολύ υψηλά. Συγκεκριμένα τον μήνα Ιούλιο η ηλεκτρική κατανάλωση φτάνει τις 600 περίπου kWh που είναι και η μέγιστη τιμή της. Η κατανάλωση λόγω φωτισμού είναι αυξημένη τους χειμερινούς μήνες λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας. Η θερμική κατανάλωση περιορίζεται μόνο στους μήνες που λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης, που είναι και το μόνο που καταναλώνει θερμική ενέργεια στο διαμέρισμα, και φτάνει στη μέγιστη τιμή της το μήνα Δεκέμβριο (1.596 kWh).

Συνολικά, βλέπουμε ότι οι ανάγκες για θερμική ενέργεια είναι πολύ υψηλότερες από ότι για ηλεκτρική. Τους χειμερινούς μήνες μπορεί η κατανάλωση diesel να είναι μέχρι και πενταπλάσια από την κατανάλωση ρεύματος. 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

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ που αναλύσαμε στο κεφάλαιο 1.5 παρατηρούμε κάποιες ομοιότητες αλλά και κάποιες σημαντικές διαφορές. Η μέση ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση μιας κατοικίας είναι 3.750 kWh και είναι αρκετά κοντά στις 4.528 kWh του κτιρίου όπως προέκυψε από την προσομοίωση. Η διαφορά στην τιμή πιθανότατα οφείλεται στον αριθμό των ατόμων, διότι μελετήσαμε ένα σπίτι 4 ατόμων ενώ ο μέσος όρος ενός νοικοκυριού είναι 2,6 άτομα. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές συσκευές λογίζονται ως ένα ενιαίο στοιχείο από το πρόγραμμα οπότε υπολογίστηκε μια ενιαία κατανάλωση για αυτές και είναι ίσως πιθανό να υπήρξαν σφάλματα κατά τη γενίκευση αυτή. Στον κλιματισμό οφείλεται το 15% της ηλεκτρικής κατανάλωσης περίπου το οποίο είναι μεγαλύτερο από το μέσο όρο (5%) που δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ. Ωστόσο και εδώ έχουμε θεωρήσει ένα πρόγραμμα ψύξης που λειτουργεί πολλές παραπάνω ώρες ημερησίως από το μέσο όρο (τρεις με πέντε ώρες) οπότε και εδώ δεν εμφανίζεται κάποια ιδιαίτερη διαφορά.

Αντίθετα, όσον αφορά τη θέρμανση οι τιμή που έδωσε η προσομοίωση για την κατανάλωση diesel ήταν 5.833kWh ετησίως και έχει μεγάλη απόκλιση από τη μέση θερμική κατανάλωση που είναι 10.244 kWh σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ. Η διαφορά που εμφανίζεται οφείλεται στο σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιήσαμε. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει το EnergyPlus δεν συμπεριλαμβάνει στις επιλογές του το καλοριφέρ των ελληνικών σπιτιών οπότε το αντικαταστήσαμε με ένα σύστημα VAV. Ως εκ τούτου και η συνολική ετήσια κατανάλωση ήταν 10.361kWh σε αντίθεση με το μέσο όρο που είναι 13.994 kWh.

4. Τεχνικές μοντελοποίησης και πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα

4.1 Εισαγωγή

Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα αποτελεί το 30% περίπου της συνολικής κατανάλωσης. Οι κλιματικές αλλαγές, το υψηλό κόστος της ενέργειας και η ενεργειακή προσφορά και ζήτηση έχουν οδηγήσει σε ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κατανόηση και την σε βάθος μελέτη διαφόρων στοιχείων της ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο η μελέτη του οικιακού τομέα ως προς το ζήτημα αυτό είναι αρκετά δύσκολη και η οικιακή κατανάλωση είναι δύσκολο να εκτιμηθεί και να αναλυθεί εξαιτίας κάποιων σημαντικών παραγόντων. Πρώτον, ο οικιακός τομέας περιλαμβάνει μια πληθώρα κτιρίων διαφορετικού μεγέθους και γεωμετρίας καθώς και διαφορετικών κατασκευαστικών υλικών. Επιπλέον η συμπεριφορά των κατοίκων διαφέρει σε μεγάλο βαθμό και μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατανάλωση μέχρι και 100%. Πολλά δεδομένα είναι ιδιωτικά και απόρρητα οπότε είναι αρκετά δύσκολη η συλλογή σημαντικού όγκου αξιόπιστων πληροφοριών. Τέλος, η συλλογή αναλυτικών πληροφοριών σε κάποια νοικοκυριά με ιδιωτική πρωτοβουλία και όχι με χρήση γενικών στοιχείων είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία.

Γιατί όμως μας ενδιαφέρει τόσο πολύ η μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων; Αυτό που συμβαίνει σε μια τέτοια διαδικασία είναι να ποσοτικοποιηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις ως συνάρτηση κάποιων παραμέτρων εισόδου. Οι κυριότεροι από τους στόχους λοιπόν είναι ο καθορισμός των ενεργειακών απαιτήσεων σε μια περιοχή μιας χώρας ή ακόμα και σε εθνικό επίπεδο (μακροσκοπικά) και η αλλαγή στην ενεργειακή κατανάλωση ενός συγκεκριμένου σπιτιού μέσω της βελτίωσης ή /και της προσθήκης καινούριων τεχνολογιών (μικροσκοπικά). Η ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης λοιπόν καθώς και η πρόβλεψη του αντίκτυπου των νέων τεχνολογιών, υλικών και των αναβαθμίσεων μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή παροχή, να οδηγήσουν σε νέα τεχνολογικά ευρήματα και ακόμα να παρθούν αποφάσεις για την ανακατασκευή ή την κατεδάφιση ενός κτιρίου.

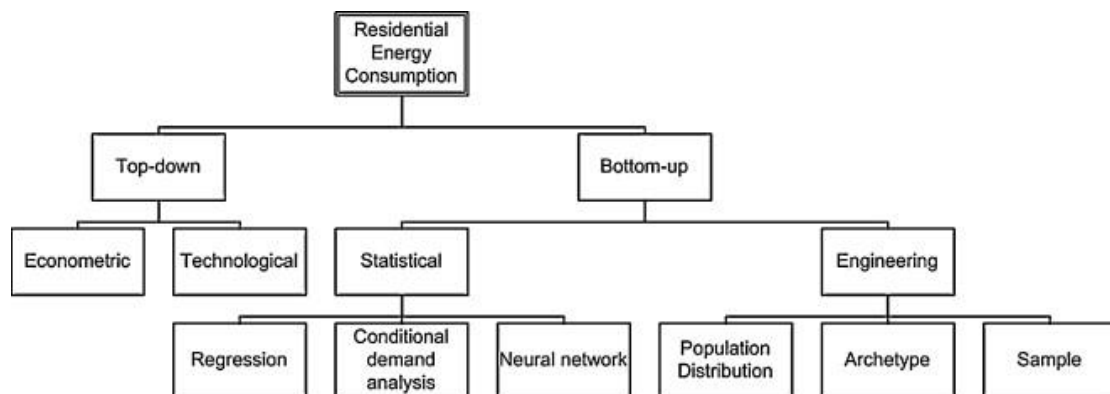
Ανάλογα με την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης αντίστοιχες είναι και οι πληροφορίες που θα πρέπει να συλλεχθούν για να χρησιμοποιηθούν. Τα φυσικά χαρακτηριστικά των κτιρίων, οι ένοικοι, οι οικιακές συσκευές, το ιστορικό της ενεργειακής κατανάλωσης, οι κλιματικές συνθήκες και κάποιοι μακροοικονομικοί δείκτες είναι ορισμένα από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου.

Η βασική μέθοδος συλλογής πληροφοριών είναι οι έρευνες και οι δημοσκοπήσεις. Μια πρώτη πηγή δεδομένων είναι οι γενικές καταναλώσεις σε εθνικό επίπεδο που δίνονται στη δημοσιότητα από τις κυβερνήσεις και είναι στοιχεία τα οποία έχουν δώσει οι πάροχοι ενέργειας. Μια πιο αναλυτική πηγή

πληροφοριών κατανάλωσης ενέργειας αποτελεί ο λογαριασμός ενέργειας που εκδίδεται σε μηνιαία, διμηνιαία είτε τετραμηνία βάση. Για ακόμα πιο λεπτομερή στοιχεία διενεργούνται δημοσκοπήσεις σε ένα αντιπροσωπευτικό του γενικού πληθυσμού της υπό εξέταση περιοχής αριθμό νοικοκυριών ώστε να προσδιοριστούν στοιχεία σχετικά με τα κτίρια, τους κατοίκους και τις οικιακές συσκευές. Αν και το επίπεδο των πληροφοριών που συλλέγονται με αυτή τη μέθοδο είναι ανώτερο των προηγούμενων εμφανίζονται δυσκολίες ως προς τη συλλογή των πληροφοριών και ως προς το κόστος της έρευνας. Επιπλέον υπάρχει η δυσκολία του να βρεθεί ένα ικανοποιητικό αντιπροσωπευτικό δείγμα ενώ και η ίδια η δημοσκόπηση σαν διαδικασία μπορεί να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει διότι η περιγραφή των ενοίκων για τις συσκευές τους είναι υποκειμενική και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα η έρευνα. Για να μειωθούν αυτές οι υποκειμενικές εκτιμήσεις μια τέταρτη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί, αυτή της επιπλέον μέτρησης στην οποία συσκευές που μετράνε την ενεργειακή κατανάλωση ενσωματώνονται σε κάθε συσκευή ενός νοικοκυριού ώστε να προσδιοριστεί τόσο η κατανάλωσή τους όσο και το προφίλ λειτουργίας τους ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτού του είδους οι πληροφορίες είναι πολύ σπάνιες λόγω του υψηλού κόστους συλλογής τους.

4.2 Τεχνικές

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιηθεί η οικιακή ενεργειακή κατανάλωση χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες τις κατωφερείς (top-down) και τις ανωφερείς (bottom-up) [23]. Το κατωφερές μοντέλο χρησιμοποιεί την γενική ενεργειακή κατανάλωση μιας περιοχής και άλλες σχετικές μεταβλητές ώστε να προσδιοριστεί η κατανάλωση σε συγκεκριμένα νοικοκυριά. Αντίθετα, το ανωφερές μοντέλο υπολογίζει την ενεργειακή κατανάλωση ενός σπιτιού ή μιας ομάδας σπιτιών που έχουμε ορίσει ως συγγενή μεταξύ τους και μετά επεκτείνει αυτά τα αποτελέσματα για να απεικονίσει μια περιοχή ή ένα ολόκληρο κράτος.



Εικόνα 4-1 Top-down και bottom-up τεχνικές πρόβλεψης τοπικής ή εθνικής οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης

4.2.1 Top-down

Στο ανωφερές μοντέλο ο οικιακός τομέας αντιμετωπίζεται ως μια γενική δεξαμενή ενέργειας και δεν διαχωρίζει την κατανάλωση κάθε χρήστη. Μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά σε αυτό το μοντέλο περιλαμβάνουν μακροοικονομικούς δείκτες (π.χ. το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, οι δείκτες απασχόλησης και ανεργίας, δείκτες τιμών), κλιματικές συνθήκες, ποσοστά κατασκευής και κατεδάφισης σπιτιών και προσεγγίσεις του ποσοστού κατοχής της κάθε συσκευής στα νοικοκυριά. Το μοντέλο αυτό χωρίζεται σε δύο γκρουπ, το οικονομικό και το τεχνολογικό. Το πρώτο βασίζεται στην τιμή (π.χ. της ενέργειας και του εισοδήματος) και στο εισόδημα. Το τεχνολογικό μοντέλο αποδίδει την ενεργειακή κατανάλωση σε γενικά στοιχεία του συνόλου των κτιρίων όπως οι τάσεις της εποχής ή της περιοχής ως προς τον τύπο των ηλεκτρικών συσκευών των νοικοκυριών. Επιπλέον υπάρχουν μοντέλα που χρησιμοποιούν τεχνικές και από τα δύο γκρουπ.

Τα κατωφερή μοντέλα έχουν ως βάση ένα πλαίσιο ισορροπίας μεταξύ της καταγεγραμμένης ενεργειακής κατανάλωσης από ιστορικά δεδομένα και μιας εκτιμώμενης που βασίζεται στα δεδομένα που εισάγουμε. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιεί μικρό όγκο πληροφοριών, κυρίως γενικά στοιχεία που έχουν αθροιστεί και είναι εύκολα προσβάσιμα, είναι αρκετά απλή και βασίζεται σε ιστορικά καταγεγραμμένες ενεργειακές τιμές. Ωστόσο το τελευταίο πλεονέκτημα τους αποτελεί ταυτόχρονα και μειονέκτημα ως προς την πιστότητα των αποτελεσμάτων αφού δεν έχουν την δυνατότητα να μοντελοποιήσουν τις μη-συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις. Επιπλέον η έλλειψη λεπτομερών στοιχείων μειώνει την δυνατότητα να προταθούν λύσεις και βελτιώσεις για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης

4.2.2 Bottom-up

Στο μοντέλο αυτό περιλαμβάνονται δεδομένα από τις ενεργειακές καταναλώσεις είτε τελικών χρηστών είτε σπιτιών είτε ομάδων σπιτιών τα οποία στη συνέχεια προεκτείνονται για να αναπαρασταθεί μια περιοχή ή ένα κράτος με βάση κάποια χαρακτηριστικά βάρη [24].

Η πρώτη κύρια κατηγορία της ανωφερούς προσέγγισης είναι οι στατιστικές μέθοδοι (statistical methods) οι οποίες βασίζονται σε ιστορικές πληροφορίες και σε μεθόδους αναδρομής (regression analysis) οι οποίες χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν την οικιακή ενεργειακή κατανάλωση σε τελικούς χρήστες. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία το μοντέλο κάνει μια εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης για τις χαρακτηριστικές κατοικίες μιας ολόκληρης περιοχής. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι μηχανικές μέθοδοι (engineering methods) οι οποίες υπολογίζουν την ενεργειακή κατανάλωση των τελικών χρηστών με βάση την ισχύ και την χρήση των οικιακών συσκευών και των συστημάτων ψύξης/θέρμανσης και κάποιων θερμοδυναμικών σχέσεων.

Τα συνήθη δεδομένα εισαγωγής αυτών των μοντέλων περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της οικείας όπως η γεωμετρία, τα υλικά κατασκευής, ο εξοπλισμός και οι συσκευές, κλιματικά δεδομένα και

εσωτερικές θερμοκρασίες κτιρίων καθώς και τα χρονοδιαγράμματα της παρουσίας των κατοίκων στο σπίτι και της χρήσης του οικιακού εξοπλισμού. Η λεπτομέρεια των δεδομένων στα ανωφερή μοντέλα δίνει την δυνατότητα να βρεθούν συγκεκριμένοι τομείς οι οποίοι επιδέχονται βελτίωσης ώστε να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση και να αναπτυχθούν συγκεκριμένες στρατηγικές ώστε να επιτευχθεί αυτό. Επιπλέον δεν χρειάζεται κανένας υπολογισμός να βασιστεί σε γενικά ιστορικά δεδομένα. Το κύριο μειονέκτημα είναι ωστόσο πως ο όγκος των δεδομένων εισαγωγής είναι πάρα πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των κατωφερών μοντέλων και οι υπολογισμοί και οι τεχνικές προσομοίωσης αρκετά πιο πολύπλοκες και χρονοβόρες. Όπως αναφέραμε, για να προεκτιμούμε το μοντέλο από τον τελικό χρήστη στην περιοχή που μας ενδιαφέρει χρησιμοποιούνται ειδικά βάρη ανάλογα με τον τύπο του σπιτιού με βάση τα στοιχεία που έχουμε για το πως συναντάται ο κάθε τύπος στην περιοχή μας.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημά της ανωφερούς προσέγγισης είναι ότι συνδυάζει δεδομένα για την παρουσία και τη συμπεριφορά των κατοίκων με δεδομένα τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών. Έχει τη δυνατότητα δηλαδή να διακρίνει την επίδραση της συμπεριφοράς των κατοίκων η οποία ωστόσο είναι δύσκολο να προβλεφθεί διότι υπάρχει μια τεράστια ποικιλία διαφορετικών συμπεριφορών που δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο.

4.3 Ηλεκτρική κατανάλωση των σπιτιών στην Ιταλία

Η συγκεκριμένη μελέτη των Caruto, Gaia και Zanotto [25] είναι κομμάτι μιας μεγαλύτερης έρευνας της Ιταλικής υπηρεσίας νέων τεχνολογιών, ενέργειας και αειφόρου οικονομικής ανάπτυξης (ENEA) με στόχο την ενεργειακή προσομοίωση και βελτιστοποίηση των κτιρίων στην Ιταλία μέσω μιας πλατφόρμας που μοντελοποιεί την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου. Η έρευνα λοιπόν αυτή είχε σαν στόχο να δημιουργήσει διάφορα στάνταρ ωριαία προφίλ για τις διαφορετικές λειτουργίες των κτιρίων. Επειδή ο τρόπος που καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που είναι χαρακτηριστικοί της περιοχής που μελετάμε όπως η οικονομική κατάσταση, το κλίμα, οι πολιτισμικές συνήθειες και η τεχνολογική εξέλιξη, αναλύθηκαν οι διαθέσιμες, σχετικές με την Ιταλία πληροφορίες από διάφορες πηγές. Ωστόσο ύστερα από μελέτη διαπιστώθηκε πως δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες στατιστικές πληροφορίες για τον ιταλικό χώρο ώστε να αναλυθούν με βάση την ανωφερή μέθοδο καθώς δεν υπάρχουν αναλυτικά ωριαία προφίλ για τα υπό μελέτη στοιχεία (κάτοικοι, ενέργεια που καταναλώνεται και συσκευές). Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν τα επίσημα στοιχεία των ελβετικών προτύπων για τα χαρακτηριστικά των κτιρίων όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο εξαερισμός, ο φωτισμός, ο κλιματισμός και άλλα που παρέχονται από το Swiss Technical Worksheet SIA 2024.

Το SIA 2024 προσδιορίζει τις χρήσεις των κτιρίων με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις για άνεση στους τομείς της θέρμανσης, της ακουστικής, του φωτισμού και της ποιότητας του αέρα. Επίσης

περιέχει πληροφορίες όσον αφορά την χρήση των οικιακών συσκευών και τις πληρότητας του κτιρίου εκφρασμένες σε τιμές (άτομο ανά τετραγωνικό μέτρο, εγκατεστημένη ισχύς κ.α) και σε ωριαία προγράμματα που περιγράφουν αναλυτικά την πληρότητα και την ενεργειακή κατανάλωση. Αυτά τα προγράμματα περιλαμβάνουν λεπτομερή στοιχεία της καθημερινότητας των ενοίκων διαφέρουν από μέρα σε μέρα. Για να ληφθούν αυτές οι πληροφορίες διενεργήθηκε μια μεγάλη δημοσκόπηση οποία για να καλύψει κάθε πιθανό τύπο κτιρίου συμπεριέλαβε 44 διαφορετικά είδη στους υπολογισμούς.

Στην παρούσα δημοσίευση μελετήθηκαν 2 διαφορετικά είδη κτιρίων ως αντιπροσωπευτικά δείγματα (case-study) των κτιρίων του ιταλικού χώρου:

- Κτίριο A : Μια μικρή δίπατη μονοκατοικία (ισόγειο και ένας όροφος) που συνήθως συναντάται στην ιταλική επαρχία ή σε πιο αραιοκατοικημένες περιοχές
- Κτίριο B : Ένα κτίριο 5 ορόφων, που αντιπροσωπεύει τις συνήθειες πολυκατοικίες των μεγαλουπόλεων και των αστικών κέντρων.

Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του κάθε κτιρίου που χρησιμοποιείται ως υπό εξέταση μοντέλο για την μελέτη αυτή. Τα παράθυρα καταλαμβάνουν περίπου το 1/8 του εμβαδού του κτιρίου. Ο όρος form factor (s/v) αναφέρεται στην αναλογία επιφάνειας ανά όγκο και είναι το ποσό του εμβαδού ανά κυβικό μέτρο και είναι ένα μέτρο για το πόσο συμπαγές είναι ένα κτίριο. Η τιμή αυτή επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία που εισχωρεί στο κτίριο, τον αερισμό και το ποσοστό των απωλειών θερμότητας και των θερμικών κερδών.

Πίνακας 4-1 Χαρακτηριστικά κτιρίων A και B

Χαρακτηριστικά	Μονάδες	Κτίριο A	Κτίριο B
Εμβαδόν ορόφου	m ²	200	1800
Όγκος ορόφου	m ³	600	5400
Επιφάνεια κελύφους	m ²	440	1980
Form factor (S/V)	m ⁻¹	0,73	0,37
Επιφάνεια παραθύρων	%	10	18

Τα στοιχεία των προτύπων της SIA 2024 αναλύθηκαν ώστε να ταιριάξουν με τα δύο προς μελέτη κτίρια και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με πραγματικές τιμές που έχουν μετρηθεί και παρουσιαστεί σε άλλες έρευνες (Alari et al, Grinden and Feilberg, Gruber et al). Η χρήση των ηλεκτρικών συσκευών περιγράφεται στη SIA 2024 με τη μορφή ημερήσιας καμπύλης, διαφορετική για τις εργάσιμες και τις μη εργάσιμες ημέρες. Επιπλέον με βάση το γεγονός ότι παρόλο που οι ημέρες αργίας και διακοπών

είναι διαφορετικές στην Ελβετία απ' ό τι στην Ιταλία, ο συνολικός αριθμός τους είναι περίπου ο ίδιος. Επομένως χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια νούμερα ώστε να γίνει η αναγωγή από τις ημερήσιες τιμές σε ετήσιες.

Η SIA 2024 προτείνει τρία σενάρια, ένα ελάχιστο στο οποίο έχουμε την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, ένα μέσο και ένα μέγιστο με τη μέγιστη κατανάλωση. Η εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών ακολουθεί και αυτή την ίδιο μοτίβο (ελάχιστη, μέση, μέγιστη) με τιμές που έχουν υπολογιστεί από μετρήσεις (Πίνακας 4-2). Όσον αφορά τον τεχνητό φωτισμό, τα σενάρια μέγιστης και μέσης κατανάλωσης έχουν απλές λάμπες ενώ της ελάχιστης λάμπες υψηλής ενεργειακής κλάσης (Πίνακας 4-3).

Πίνακας 4-2 Σενάρια SIA 2024 για την κατανάλωση συσκευών στο σπίτι

Σενάριο	Συσκευές	Εγκατεστημένη Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)	Ετήσια Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/m ²)
Ελάχιστο	Κατώτατο όριο εγκατεστημένης πυκνότητας ισχύος	3,81	9,74
Μέσο	Μέση εγκατεστημένη πυκνότητα ισχύος	5,50	14,53
Μέγιστο	Ανώτατο όριο εγκατεστημένης πυκνότητας ισχύος	7,20	19,31

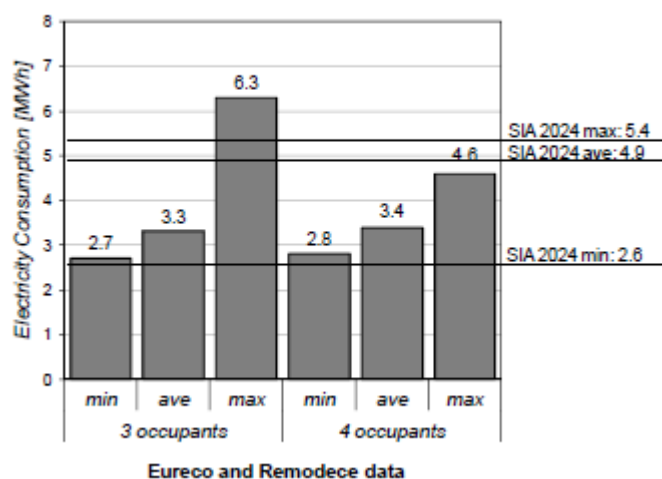
Πίνακας 4-3 Σενάρια SIA 2014 για την κατανάλωση φωτισμού στο σπίτι

Σενάριο	Φωτισμός	Εγκατεστημένη Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)	Ετήσια Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/m ²)
Ελάχιστο	Υψηλής ενεργειακής απόδοσης λαμπτήρες και βέλτιστη εκμετάλλευση ηλιοφάνειας	6,95	18,10
Μέσο	Τυπικοί λαμπτήρες και μέση εκμετάλλευση ηλιοφάνειας	10,20	37,73
Μέγιστο	Τυπικοί λαμπτήρες και μέση εκμετάλλευση ηλιοφάνειας	10,20	37,73

Το πρότυπο σπίτι που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις έχει εμβαδόν 94,5 m² και αποτελείται από τέσσερα κύρια δωμάτια (μια κουζίνα 10 m², ένα σαλόνι 20 m² και δυο δωμάτια από 20 m² το καθένα) και 3 δευτερεύοντα δωμάτια (μπάνια και αποθήκες συνολικού εμβαδού 24,5 m²).

Στο τελικό στάδιο συγκρίνονται τα δεδομένα που προκύπτουν από τα πρότυπα της SIA 2024 με τα

δεδομένα μιας άλλης μελέτης, του πρότζεκτ REMODECE (Residential Monitoring to Decrease Energy use and Carbon Emissions in Europe) η οποία διεξήχθη σε 12 ευρωπαϊκές χώρες τη χρονική περίοδο 2006-2008 σε 1300 διαφορετικά νοικοκυριά. Στις χώρες που έλαβαν μέρος σε αυτή την έρευνα συμπεριλαμβάνεται και η Ελλάδα. Οι μετρήσεις που έγιναν σε κατοικίες τριών και τεσσάρων ατόμων χρησιμοποιούνται εδώ για να συσχετιστούν με τα πρότυπα της SIA 2024.



Εικόνα 4-2 Σύγκριση αποτελεσμάτων της μελέτης με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Eureco και Remodece project

$$\text{όπου : SIA 2024 max} = (19.31 + 37.73) * 94,5 \text{ m}^2 = 5.4\text{mWh}$$

$$\text{SIA 2024 ave} = (14.53 + 37.73) * 94.5\text{m}^2 = 4.9\text{mWh}$$

$$\text{SIA 2024 min} = (9.74 + 18.1) * 94,5\text{m}^2 = 2.6\text{mWh}$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι τα περισσότερα κτίρια που μετρήθηκαν, εκτός της περίπτωσης των τριών ατόμων με τον μέγιστο αριθμό συσκευών, εμφανίζουν ηλεκτρικές καταναλώσεις μεταξύ του ελάχιστου και του μέσου σεναρίου κατά SIA 2024. Με βάση λοιπόν αυτά τα αποτελέσματα χρησιμοποιούμε για το κτίριο A το προφίλ ελάχιστης κατανάλωσης ενώ για τις οικίες του κτιρίου B οι οποίες είναι συνήθως μικρότερου μεγέθους το προφίλ μέσης κατανάλωσης. Τελικά με βάση όλες τις προηγούμενες υποθέσεις και μετρήσεις καταλήγουμε στον Πίνακα 4-4.

Πίνακας 4-4 Τελικά αποτελέσματα της μελέτης

	Συσκευές		Φωτισμός	
	Εγκατεστημένη Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)	Ετήσια Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/m ²)	Εγκατεστημένη Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)	Ετήσια Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/m ²)
Κτίριο A	3,81	9,74	6,95	18,10
Κτίριο B	5,50	14,53	10,20	37,73

4.4 Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στο Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο η οικιακή ενεργειακή κατανάλωση θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: θέρμανση χώρου, θέρμανση νερού και φωτισμός και συσκευές. Στην μελέτη αυτή των Ibbal, Rajamani και Jalboub [26] παρουσιάζεται μια μέθοδος δημιουργίας του ημερήσιου προφίλ κατανάλωσης των νοικοκυριών μόνο όσον αφορά τις οικιακές συσκευές και τον φωτισμό. Η ημερήσια καμπύλη φορτίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο καιρός, τα άτομα του νοικοκυριού, το εισόδημα, η καθημερινότητα των ατόμων καθώς και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών αλλά και η χρήση τους από τα άτομα. Η κατανάλωση λοιπόν δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά παρουσιάζει πολλές διακυμάνσεις.

4.4.1 Δεδομένα - Μεθοδολογία

Τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιεί η μέθοδος είναι:

1. Δημογραφικά στοιχεία: Πληροφορίες σχετικά με τον τύπο του νοικοκυριού, τα άτομα που το αποτελούν, τον αριθμό των ενηλίκων, των παιδιών, των εργαζόμενων κ.α.
2. Πληροφορίες σχετικά με τις ηλεκτρικές συσκευές: Ποσοστά ιδιοκτησίας συσκευών και συνολική ετήσια κατανάλωση τους
3. Ημερήσια πληρότητα του νοικοκυριού : Το προφίλ της παρουσίας των ατόμων στο σπίτι κατά τη διάρκεια της ημέρας και ο τρόπος χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού.

Όσον αφορά τα δημογραφικά στοιχεία η συλλογή τους έγινε από την εθνική στατιστική υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου. Το Η.Β. έχει πληθυσμό 61εκ. και συνολικά 25 εκ. νοικοκυριά με βάση τα στοιχεία της έρευνας που έγινε το 2008. Το μέγεθος του μέσου νοικοκυριού είναι 2,4 άτομα και όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4-5, το μεγαλύτερο ποσοστό των νοικοκυριών αποτελείται από 2 άτομα χωρίς παιδιά (24%).

Πίνακας 4-5 Ποσοστό των νοικοκυριών επί του συνόλου στο Ηνωμένο Βασίλειο

Τύπος νοικοκυριού	Ποσοστό %
1 άτομο χωρίς παιδιά	15
1 άτομο με παιδιά	6
1 συνταξιούχος	15
2 ενήλικες χωρίς παιδιά	24
2 ενήλικες με παιδιά	19
2 συνταξιούχοι	9
3 ενήλικες και πάνω χωρίς παιδιά	8
3 ενήλικες και πάνω με παιδιά	4

Οι πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές, τα ποσοστά κατοχής τους ανά νοικοκυριό και τις ετήσιες μέσες καταναλώσεις αντλήθηκαν από την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Mansouri, energy consumption in the U.K. households [27]).

Πίνακας 4-6 Ηλεκτρικές συσκευές στα νοικοκυριά του Ηνωμένου Βασιλείου

Συσκευή	Μέση ετήσια κατανάλωση ανά νοικοκυριό (kWh/day)	Μέση ετήσια κατανάλωση ανά άτομο (kWh/day)	Ποσοστό κατοχής
Ηλεκτρική εστία	1.33	0.39	55
Ηλεκτρικός φούρνος	0.74	0.22	64
Φούρνος μικροκυμάτων	0.23	0.07	74
Ψυγείο	0.82	0.33	53
Καταψύκτης	1.9	0.55	55
Ψυγειοκαταψύκτης	1.9	0.56	58
Τηλεόραση	0.91	0.27	97
Video	0.3	0.09	76
Πλυντήριο πιάτων	1.72	0.48	16
Πλυντήριο ρούχων	0.8	0.2	88
Στεγνωτήριο	0.78	0.28	49
Βραστήρας	0.78	0.28	97
Σίδερο	0.3	0.09	100
Ηλεκ. σκούπα	0.15	0.04	100
Διάφορα	1.1	0.33	100
Υπολογιστής	0.5	0.3	75

Για το ημερήσιο προφίλ των κατοίκων του σπιτιού επειδή οι διαθέσιμες πληροφορίες ήταν ελάχιστες διενεργήθηκε μια δημοσκόπηση σε 86 νοικοκυριά. Το ερωτηματολόγιο χωριζόταν σε δύο μέρη. Το πρώτο αφορούσε γενικές πληροφορίες σχετικά με το νοικοκυριό, τον τύπο του και το πότε είναι κατοικήσιμο μέσα στη μέρα. Το δεύτερο κομμάτι ζητούσε πληροφορίες για τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών για το πότε και πως τα άτομα του νοικοκυριού ανοίγουν και κλείνουν μια συσκευή κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επειδή και πάλι οι πληροφορίες για τους χρόνους παρουσίας των ατόμων ενός νοικοκυριού στο σπίτι μέσα στη μέρα δεν ήταν επαρκείς ούτε ικανοποιητικές υποτέθηκαν 8 διαφορετικά σενάρια:

1. Ένας ενήλικας που εργάζεται : Το σπίτι δεν κατοικείται από τις 8:30 ως τις 18:30
2. Ένας συνταξιούχος : Το σπίτι είναι όλη τη μέρα κατειλημμένο
3. Ένας ενήλικας με παιδιά : Το σπίτι δεν κατοικείται από τις 08:30 ως τις 13:30
4. Δύο εργαζόμενοι : Το σπίτι δεν κατοικείται από τις 8:30 ως τις 18:00

5. Δύο εργαζόμενοι με παιδιά : Το σπίτι δεν κατοικείται από τις 8:30 ως τις 13:30. Ο ένας ενήλικας δουλεύει με πλήρες ωράριο και ο άλλος με μειωμένο
6. Δύο συνταξιούχοι : Το σπίτι είναι συνεχώς κατειλημμένο
7. Τρεις ενήλικες τουλάχιστον : Το σπίτι δεν κατοικείται από τις 13:00 ως τις 18:00. Δύο μέλη του νοικοκυριού εργάζονται με πλήρες ωράριο, ο τρίτος μειωμένο σε απογευματινή βάρδια
8. Τρεις ενήλικες με παιδιά : Το σπίτι είναι συνεχώς κατειλημμένο. Ο ένας ενήλικας είναι συνταξιούχος

Η κατανάλωση ενέργειας λόγω τεχνητού φωτισμού εξαρτάται από την παρουσία των ατόμων στο σπίτι και επηρεάζεται από τις συνθήκες ηλιοφάνειας και την εποχή. Όπως είναι λογικό το χειμώνα είναι πιο πιθανό να λειτουργούν τα φώτα μέσα στη μέρα για τις δραστηριότητές τους εντός σπιτιού. Για να υπολογιστεί η ηλεκτρική κατανάλωση λόγω φωτισμού χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$E_l = N_b * E_{rb} \quad [12]$$

Όπου N_b ο αριθμός των λαμπτήρων ανά νοικοκυριό

E_{rb} η κατανάλωση λαμπτήρα ανά ώρα.

Τέλος έγιναν οι ακόλουθες υποθέσεις σχετικά με τις συσκευές:

- Κάθε νοικοκυριό έχει το πολύ 1 συσκευή από κάθε τύπο
- Η θέρμανση χώρου και νερού δεν υπολογίζεται στην μελέτη αυτή
- Η ημερήσια καμπύλη κατανάλωσης είναι ίδια για κάθε μέρα της εβδομάδας είτε εργάσιμη είτε όχι.
- Οι ψυκτικές συσκευές όπως το ψυγείο θεωρήθηκε ότι έχουν συνεχή λειτουργία μέσα στη μέρα άρα ημερήσια σταθερή πιθανότητα 1 να είναι ανοιχτές.

4.4.2 Δημιουργία του προφίλ κατανάλωσης

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν να προβλεφθεί το φορτίο μιας ολόκληρης περιοχής. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μια υποθετική κοινότητα 400 νοικοκυριών, η οποία με βάση τα ποσοστά του πίνακα 4-5 αποτελείται από 60 νοικοκυριά με ένα άτομο, 24 με έναν ενήλικα με παιδιά, 60 με έναν συνταξιούχο, 96 με ένα ζευγάρι χωρίς παιδιά, 76 με ένα ζευγάρι με παιδιά, 36 με δύο συνταξιούχους, 32 με τρεις τουλάχιστον ενήλικες και 16 με τρεις ενήλικες και παιδιά.

Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας κάθε συσκευής δίνεται από τους εξής τύπους:

$$E_a = N * \sum E_{apc} \quad [13]$$

$$E_a = \sum E_{aph} \quad [14]$$

- όπου N ο αριθμός των ενοίκων
 E_{apc} η κατανάλωση κάθε συσκευής ανά άτομο
 E_{aph} η κατανάλωση κάθε συσκευής ανά νοικοκυριό.

Το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της μεθόδου ήταν το Microsoft Excel. Με τη βοήθεια της συνάρτησης δημιουργίας τυχαίων αριθμών κατανεμήθηκαν οι συσκευές στα 400 νοικοκυριά με βάση το ποσοστό κατοχής τους στα νοικοκυριά. Η τεχνική δημιουργίας τυχαίων προφίλ μας βοηθάει να μετατρέψουμε τις πιθανότητες σε πραγματικά σενάρια. Το πότε λειτουργεί η κάθε συσκευή μέσα στη μέρα προσδιορίστηκε από τη δημοσκόπηση που αναφέραμε. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία της έρευνας υπολογίστηκε η πιθανότητα λειτουργίας κάθε συσκευής μέσα στη μέρα με χρονικό βήμα μισής ώρας. Οι επιτρεπτές τιμές ήταν μεταξύ 0 και 1, οπότε στη συνέχεια με βάση τις πιθανότητες αυτές και τη χρήση πάλι της συνάρτησης τυχαίων αριθμών δημιουργήθηκε το τυχαίο ημερήσιο προφίλ κάθε συσκευής σε κάθε νοικοκυριό. Το άθροισμα όλων των τυχαίων προφίλ για όλες τις ηλεκτρικές συσκευές θα δημιουργήσει την καμπύλη ημερήσιας κατανάλωσης ενός από τα σενάρια. Τέλος η καμπύλη φορτίου που καταναλώνει ολόκληρη η κοινότητα υπολογίζεται από την εξίσωση:

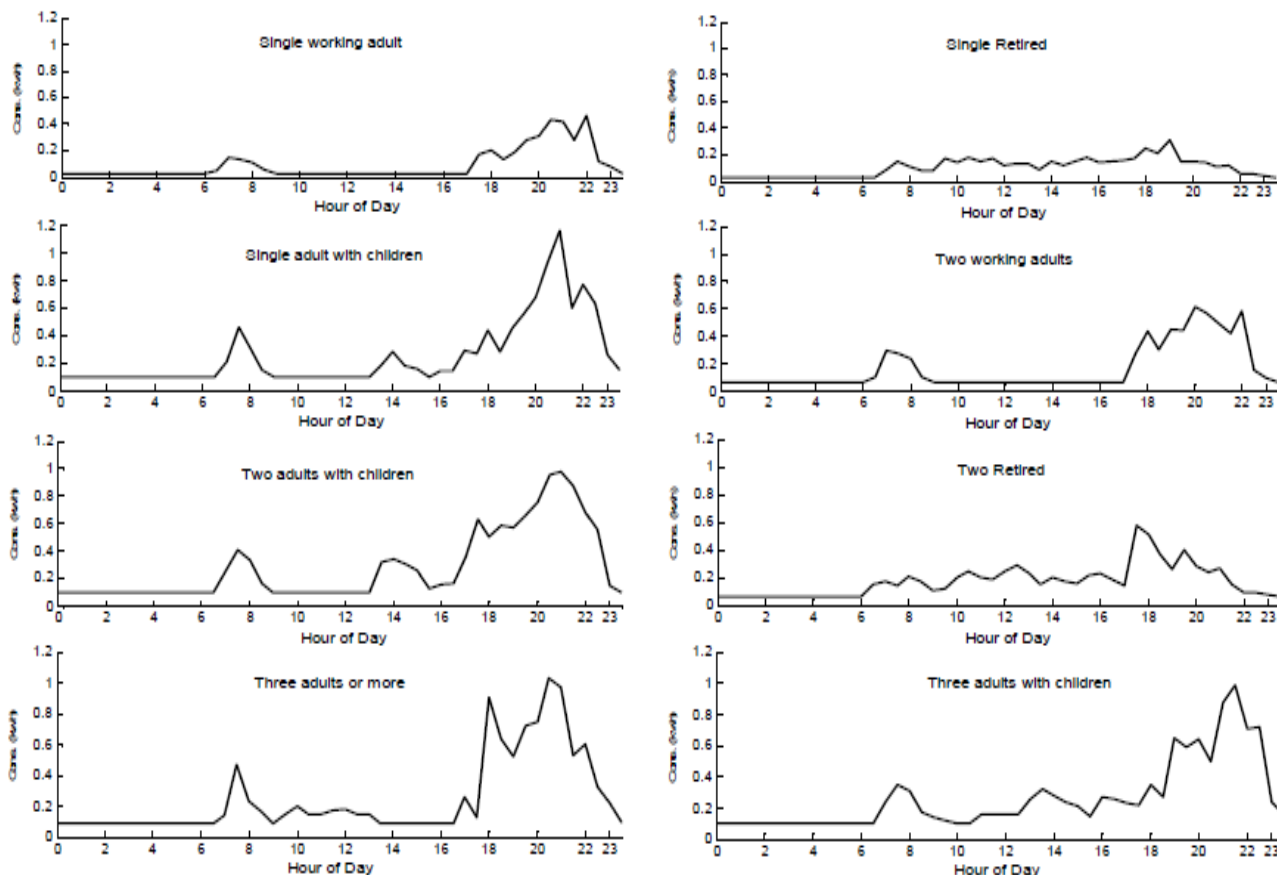
$$LOAD_{community} = \sum_{(j=1 \text{ to } 8)} E_{aj} \quad [15]$$

όπου E_{aj} το ημερήσιο προφίλ ανά μισή ώρα των νοικοκυριών του σεναρίου j .

4.4.3 Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Για τον κάθε τύπο νοικοκυριού η διαδικασία προσομοίωσης επαναλήφθηκε 23 φορές δημιουργώντας έτσι 23 διαφορετικά ημερήσια προφίλ από τα οποία υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους. Συνολικά παρατηρείται ότι σε όλα τα σενάρια σχεδόν υπάρχει μια αιχμή στο φορτίο τις πρωινές ώρες μεταξύ 6.30 και 8.30, δηλαδή μεταξύ των ωρών που τα άτομα ξυπνούν και πάνε στη δουλειά τους ενώ η μεγαλύτερη αιχμή εμφανίζεται γύρω στις 9 το βράδυ οπότε και μετά αρχίζει και σταδιακά υποχωρεί. Μια μικρότερη αιχμή εμφανίζεται τις ώρες μεταξύ 13.30 και 15.30 όταν κάποιος από τους κατοίκους έχει επιστρέψει στο σπίτι σε διάλειμμα από την εργασία του. Τις ώρες που το σπίτι μένει ακατοίκητο το φορτίο δεν μηδενίζεται διότι υπάρχουν οι συσκευές που λειτουργούν συνέχεια μέσα στη μέρα. Αν και τα τελικά αποτελέσματα δεν είναι ενδεικτικά της συνολικής κατανάλωσης αφού έχει αποκλειστεί με τη μέθοδο αυτή ο υπολογισμός των καταναλώσεων λόγω θέρμανσης χώρου και νερού, ωστόσο μας βοηθάνε να διακρίνουμε το πότε θα υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για φορτίο από ένα νοικοκυριό μέσα στη μέρα. Επίσης δείχνουν ποια κατηγορία συνεισφέρει πιο πολύ στην αιχμή του συνολικού φορτίου. Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλάνο εξοικονόμησης ενέργειας έχοντας ως στόχο την μείωση της κατανάλωσης πρώτα στα νοικοκυριά που θεωρούνται ότι συμβάλλουν πιο πολύ στο πρόβλημα. Επιπλέον η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πιθανό μέτρο πρέπει να γίνει με βάση το ότι η μεγαλύτερη αιχμή

εμφανίζεται τις απογευματινές προς βραδινές ώρες. Άρα, συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων θα ήταν ασύμφορη εκτός και αν γίνει μαζί με την κατάλληλη μπαταρία για αποθήκευση.



Εικόνα 4-3 Ημερήσια κατανάλωση των 8 τύπων νοικοκυριών στο Ηνωμένο Βασίλειο

4.5 Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στο Ηνωμένο Βασίλειο (2)

Εδώ παρουσιάζουμε μια δεύτερη μελέτη που έγινε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2005 από τους Yao και Steemers [28], η οποία υπολογίζει το ημερήσιο ενεργειακό προφίλ των νοικοκυριών μιας κοινότητας βασισμένη στην παρουσία των ατόμων στο σπίτι και στον τρόπο με τον οποίο χειρίζονται τις ηλεκτρικές συσκευές. Η μελέτη αυτή βασίζεται στα ίδια στατιστικά στοιχεία με την προηγούμενη ωστόσο υπάρχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές. Η δημοσκόπηση που διενεργήθηκε ώστε να συλλεχθούν δεδομένα για το χρονικό διάστημα που είναι ανοιχτές οι ηλεκτρικές συσκευές κατά τη διάρκεια της ημέρας εδώ παρουσιάζεται πιο αναλυτικά. Τα σενάρια περιορίζονται σε πέντε και επιπλέον υπολογίζεται και η κατανάλωση ρεύματος για τη θέρμανση του νερού.

4.5.1 Δεδομένα

Η μέθοδος αυτή όπως και η προηγούμενη προσπαθεί να προβλέψει την κατανάλωση μιας περιοχής

αναγνωρίζοντας ορισμένα τυπικά ημερήσια μοτίβα για το πως καταναλώνεται η ενέργεια στους διαφορετικούς τύπους νοικοκυριών που απαντώνται στην περιοχή αυτή. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν σε αυτή τη μελέτη ήταν τα εξής:

1. Μη-κατοικήσιμο διάστημα 9.00 - 13.00. Ένας από τους ενοίκους του σπιτιού έχει δουλειά μερικής απασχόλησης κατά την πρωινή βάρδια.
2. Μη-κατοικήσιμο διάστημα 9.00 - 16.00. Οι κάτοικοι του σπιτιού έχουν εργασία πλήρους απασχόλησης.
3. Μη-κατοικήσιμο διάστημα 9.00 – 16.00. Ένοικοι με δουλειά πλήρους απασχόλησης αλλά και παιδί ή παιδιά που πρέπει να φροντίσουν όταν τελειώσει το σχολείο
4. Το σπίτι είναι κατειλημμένο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Στην οικογένεια αυτή υπάρχει μικρό παιδί που πρέπει να φροντίσουν είτε είναι ζευγάρι ηλικιωμένων συνταξιούχων,
5. Μη-κατοικήσιμο διάστημα 13.00 – 18.00. Ένας από τους ενοίκους του σπιτιού έχει δουλειά μερικής απασχόλησης κατά την απογευματινή βάρδια.

Κατά την περίοδο που το σπίτι δεν κατοικείται θεωρήθηκε ότι οι συσκευές δεν λειτουργούν.

Οι οικιακές συσκευές κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

- i. Ηλεκτρονικές συσκευές: Τηλεόραση, βίντεο, DVDplayer κ.α.
- ii. Συσκευές ψυκτικές: Ψυγείο, καταψύκτης
- iii. Συσκευές μαγειρέματος: Ηλεκτρικός φούρνος, ηλεκτρική εστία, φούρνος μικροκυμάτων
- iv. Συσκευές πλυσίματος: Πλυντήριο πιάτων, πλυντήριο ρούχων, στεγνωτήριο
- v. Άλλες συσκευές: Ηλεκτρική σκούπα, σίδερο, ηλεκτρονικός υπολογιστής κ.α.
- vi.

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται λόγω τεχνητού φωτισμού χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$E_l = (I_{\text{mean}}/E_{\text{ff}})*H*A_{\text{floor}}*(N_p/N_r) \quad [16]$$

όπου I_{mean} το μέσο επίπεδο φωτεινότητας, όπου για τον οικιακό τομέα θεωρείται 150 Lux,

H οι ώρες που ο τεχνητός φωτισμός είναι ανοιχτός,

E_{ff} είναι η αποτελεσματικότητα φωτισμού, ένα μέτρο του πόσο καλά μια φωτεινή πηγή παράγει ορατό φως και μετριέται σε lum/W ,

A_{floor} είναι το εμβαδόν του σπιτιού,

N_p ο αριθμός των κατοίκων του σπιτιού

N_r ο αριθμός των δωματίων του σπιτιού

Ο φωτισμός εξαρτάται από την εποχή, την ώρα της ημέρας και την παρουσία των ατόμων στο σπίτι.

Η κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση νερού υπολογίζεται περίπου ότι αποτελεί το 20% της συνολικής κατανάλωσης. Οι χρήσεις του στο νοικοκυριό είναι για μπάνιο, για πλύσιμο χεριών, για πλύσιμο πιάτων και ρούχων είτε στο χέρι είτε στο πλυντήριο. Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται από τον τύπο:

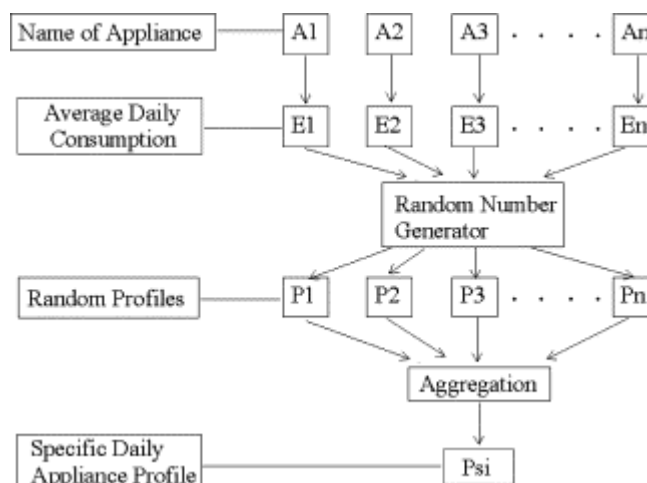
$$E_{hw} = [C_p * \rho * V * (T_{out} - T_{in})] / 3600 \quad [17]$$

- όπου C_p η ειδική θερμική χωρητικότητα του νερού (4,187 KJ/kg*K),
 ρ η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m³),
 V ο όγκος του νερού που καταναλώνεται καθημερινά (m³/day),
 T_{out} η θερμοκρασία εξόδου του νερού και
 T_{in} η θερμοκρασία εισόδου του νερού (10 °C).

4.5.2 Μεθοδολογία

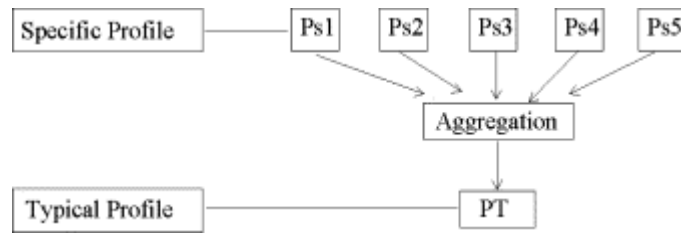
Για να μοντελοποιηθεί το ημερήσιο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το χειρότερο δυνατό σενάριο, δηλαδή θεωρήθηκε ότι όλες οι συσκευές θα λειτουργήσουν μέσα στη μέρα. Με τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών μέσω του excel κατανέμονται οι συσκευές στα νοικοκυριά της περιοχής που αναπαριστάται. Πάλι μέσω της τεχνικής αυτής δημιουργείται ένα τυχαίο ημερήσιο προφίλ για την κάθε συσκευή για ένα τύπο νοικοκυριού. Τα προφίλ των διάφορων συσκευών αθροίζονται και δημιουργούν το προφίλ ενός συγκεκριμένου τύπου νοικοκυριού. Για να δημιουργηθεί το ημερήσιο προφίλ ενός τυπικού μέσου νοικοκυριού αθροίζουμε όλα τα προφίλ των διάφορων σεναρίων. Τέλος για να υπολογιστεί το προφίλ του φορτίου μιας περιοχής ή ακόμα και μιας χώρας υπολογίζουμε το τυπικό προφίλ για νοικοκυριά που αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό ατόμων ο οποίος είναι ανάλογος της περιοχής που μελετάμε. Αναλυτικά ένα ένα τα βήματα παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.

1^ο βήμα. Δημιουργία ειδικού προφίλ για ένα τύπο νοικοκυριού



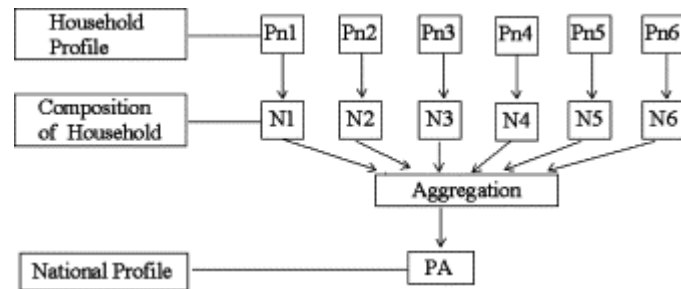
Εικόνα 4-4 Συνάθροιση συσκευών ενός νοικοκυριού

2^ο βήμα. Δημιουργία γενικού προφίλ για όλα τα νοικοκυριά



Εικόνα 4-5 Συνάθροιση νοικοκυριών ίδιου τύπου

3^ο βήμα. Δημιουργία τοπικού ή εθνικού προφίλ



Εικόνα 4-6 Συνάθροιση όλων των τύπων νοικοκυριού της περιοχής

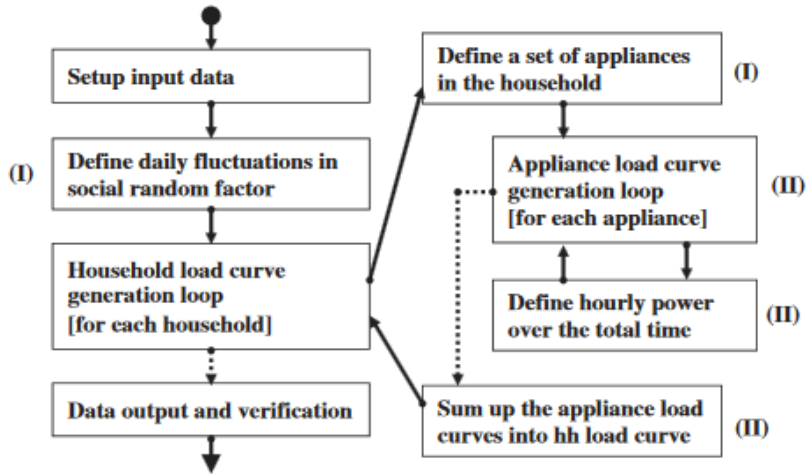
4.6 Ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών στην Φινλανδία

Σε ένα ανωφερές μοντέλο πρόβλεψης φορτίου όπως αναφέραμε είναι απαραίτητα κάποια λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τα άτομα, τις συσκευές τους και γενικά τα νοικοκυριά. Τα στοιχεία που υπάρχουν στους λογαριασμούς ρεύματος περιέχουν ελάχιστες πληροφορίες που αφορούν κυρίως καταναλώσεις που έχουν αθροιστεί. Το 2005, οι Paatero και Lund [29] έκαναν μια μελέτη σχετικά με την οικιακή κατανάλωση στην Φινλανδία στην οποία πρότειναν ένα μοντέλο δημιουργίας προφίλ οικιακών ηλεκτρικών καταναλώσεων σε ωριαία βάση αντλώντας πληροφορίες από μερικές χιλιάδες νοικοκυριά. Επιπλέον, εφάρμοσαν στα αποτελέσματα της μελέτης τους 3 στρατηγικές μείωσης της αιχμής του ημερήσιου φορτίου. Οι πληροφορίες που χρειάστηκαν για το μοντέλο αυτό ουσιαστικά δημιουργήθηκαν με τη χρήση δεδομένων από ένα δείγμα του πληθυσμού μαζί με στατιστικές προσεγγίσεις. Ο τυχαίος χαρακτήρας των καταναλώσεων προσομοιώθηκε με τη βοήθεια στοχαστικών διεργασιών και συναρτήσεων πιθανοτήτων κατά τη δημιουργία διαφορετικών προφίλ κατανάλωσης. Ο πολύ μικρός αυτός όγκος δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο αυτή ήταν το αντιστάθμισμα ως προς τις πιθανές απώλειες σε ακρίβεια που θα προέκυπταν.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου πάρθηκαν από δύο διαφορετικές έρευνες. Το πρώτο σύνολο αποτελούταν από ωριαία δεδομένα για την κατανάλωση 702 σπιτιών κατά τη διάρκεια ενός έτους (2002). Το δεύτερο σύνολο αποτελούταν από ωριαία δεδομένα για τις καταναλώσεις 1082 νοικοκυριών με συνολική χρονική διάρκεια 142 ημερών, από τον Σεπτέμβριο του 2002 έως τον Ιανουάριο του 2003. Οι μετρήσεις έγιναν απευθείας μέσα σε νοικοκυριά που στεγάζονταν αποκλειστικά σε πολυκατοικίες μεγέθους 27 έως 74 διαμερισμάτων και αφορούσαν κυρίως τις καταναλώσεις των συσκευών και του φωτισμού. Βαριά ηλεκτρικά φορτία για τη θέρμανση ή την ψύξη του χώρου και θερμοσίφωνες παραβλέφθηκαν. Η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από εξωτερικούς παράγοντες όπως η εξωτερική θερμοκρασία και οι ώρες ηλιοφάνειας. Τα δεδομένα των δύο ερευνών προσαρμόστηκαν ώστε να αποκλειστούν οι μεταβολές λόγω των ημερήσιων καιρικών φαινομένων και οι διακύμανση των τιμών να εξαρτάται από την συμπεριφορά των ατόμων στο νοικοκυριό.

4.6.1 Μεθοδολογία

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και τα στοιχεία των 2 ερευνών οι Paatero και Lund κατασκεύασαν ένα ανωφερές μοντέλο του οποίου η δομή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-6. Στο διάγραμμα αυτό η μεγάλη κουκίδα αναπαριστά την αρχή της διαδικασίας όταν και εισάγουμε τα δεδομένα ενώ το μεγάλος βέλος είναι η έξοδος των αποτελεσμάτων. Τα μέρη που περιλαμβάνουν υπολογιστικούς βρόχους έχουν στην έξοδο 2 βέλη ένα με συνεχόμενη γραμμή που οδηγεί στον βρόχο και ένα με διακεκομμένη που οδηγεί στο επόμενο βήμα όταν τελειώσει η επανάληψη.



Εικόνα 4-7 Μοντέλο υπολογισμού κατανάλωσης νοικοκυριού των Raatero και Lund

Στο πρώτο κομμάτι καθορίζεται η διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης μέσω του τυχαίου δείκτη P_{social} που σχετίζεται με την συμπεριφορά των ατόμων λόγω τυχαίων κοινωνικών και καιρικών παραγόντων. Οι ημερήσιες τιμές του δείκτη είναι ίδιες για όλα τα σπίτια και καθορίζονται από τις μετρήσεις των δύο προηγούμενων ερευνών. Οι διεργασίες στο πρώτο μέρος επαναλαμβάνονται για όλες τις οικιακές συσκευές όλων των νοικοκυριών. Οι συσκευές κατανεμήθηκαν με βάση πληροφορίες για τα επίπεδα κορεσμού τους στα σπίτια, οι οποίες αντλήθηκαν από δημόσια στοιχεία της στατιστικής υπηρεσία της Φινλανδίας (Statistics Finland - S.F). Έτσι μετά την εφαρμογή αυτών των στατιστικών κάθε σπίτι είχε το δικό του σετ ηλεκτρικών συσκευών.

Το δεύτερο κομμάτι προσομοιώνει το χρονικό προφίλ της ηλεκτρικής κατανάλωση κάθε συσκευής κάθε σπιτιού ξεχωριστά. Η ηλεκτρική κατανάλωση κάθε συσκευής καθορίζεται από τον κύκλο λειτουργίας της δηλαδή το χρονικό διάστημα που είναι ανοιχτή η συσκευή μέχρι να κλείσει. Το πότε θα ξεκινήσει αυτός ο κύκλος καθορίζεται από τη συνάρτηση πιθανότητας P_{start} με τύπο :

$$P_{start}(A,W,\Delta t_{comp}, \sigma_{flat}, h, d) = P_{season}(A, W) * P_{hour}(A, h, d) * f(a, d) * P_{step}(\Delta t_{comp}) P_{social}(\sigma_{flat}) \quad [18]$$

Όπου P_{season} είναι ο δείκτης εποχικής πιθανότητας που μοντελοποιεί της αλλαγές λόγω εποχής του χρόνου, P_{hour} ο δείκτης ωριαίας πιθανότητας που σχετίζεται με την ημερήσια λειτουργία των συσκευών, P_{step} ο δείκτης με βάση τον οποίο γίνεται η διαβάθμιση των πιθανοτήτων με βήμα Δt_{comp} , P_{social} ο δείκτης που σχετίζεται με την συμπεριφορά των ατόμων λόγω τυχαίων κοινωνικών και καιρικών παραγόντων όπως αναφέραμε, f η μέση ημερήσια συχνότητα έναρξης της συσκευής (1 day-1), A η συσκευή ή γκρουπ συσκευών, h η ώρα της ημέρας, d η ώρα της εβδομάδας, W η εβδομάδα του έτους, Δt_{comp} το υπολογιστικό βήμα (s ή min) και σ_{flat} η τυπική απόκλιση της P_{social} .

Σε κάθε βήμα Δt_{comp} λοιπόν, καθορίζεται η P_{start} , η οποία παίρνει τιμές από το 0 έως το 1. Όταν λοιπόν μια συσκευή είναι στο 0 το αν θα λειτουργήσει εξαρτάται από το αν η P_{start} εκείνη τη στιγμή είναι μεγαλύτερη από έναν συγκεκριμένο αριθμό. Τότε ένας κύκλος λειτουργίας της συσκευής θα

προστεθεί στο συνολικό φορτίο του σπιτιού. Μόλις περάσει το χρονικό διάστημα $t = t_{\text{start}} + t_{\text{cycle}}$, όπου t_{cycle} ο χρόνος του κύκλου, η συσκευή σβήνει και ο έλεγχος των πιθανοτήτων για να μπει σε λειτουργία πάλι η συσκευή ξεκινά. Εάν μια συσκευή έχει standby φορτίο θα προστεθεί και αυτό στην ημερήσια καμπύλη φορτίου.

Οι δείκτες P_{season} προσδιορίζονται από τα δεδομένα των 2 μετρήσεων που προηγήθηκαν στα 702 και στα 1082 νοικοκυριά. Οι δείκτες πιθανότητας P_{hour} έχουν αντληθεί από την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία (Ruska and Haapakoski 1998, Sidler 1996, 2002) και παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4-7.

Πίνακας 4-7 Πιθανότητα ωριαίας λειτουργίας κάθε συσκευής (P_{hour})

Appliances		Hours																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Stove and oven	we	0.20	0.20	0.40	0.40	1.78	2.59	3.19	3.83	3.70	4.13	4.29	4.15	3.89	4.46	5.79	8.76	10.0	10.3	9.24	8.15	5.82	2.79	1.51	0.36
	wd	0.37	0.05	0.00	0.00	0.00	0.17	1.72	2.65	4.37	5.94	6.97	7.86	7.92	7.15	6.39	5.89	6.78	7.41	7.32	7.23	6.93	4.09	2.30	1.02
Microwave oven and coffee maker	we	0.20	0.20	0.40	0.40	1.78	2.59	3.19	3.83	3.70	4.13	4.29	4.15	3.89	4.46	5.79	8.76	10.0	10.3	9.24	8.15	5.82	2.79	1.51	0.36
	wd	0.37	0.05	0.00	0.00	0.00	0.17	1.72	2.65	4.37	5.94	6.97	7.86	7.92	7.15	6.39	5.89	6.78	7.41	7.32	7.23	6.93	4.09	2.30	1.02
Refrigerator and freezers	we	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17
	wd	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17
Dishwasher	we	1.73	0.96	0.40	0.40	0.40	0.96	1.73	2.93	3.75	4.58	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	6.11	6.83	7.16	7.80	8.60	8.16	7.01	5.05	2.03
	wd	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.00	4.61	7.02	7.23	7.23	7.34	7.34	7.34	7.43	7.43	7.74	7.74	7.43	6.12	3.91	0.90
Clothes-washer and tumble dryer	we	1.73	0.96	0.40	0.40	0.40	0.96	1.73	2.93	3.75	4.58	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	6.11	6.83	7.16	7.80	8.60	8.16	7.01	5.05	2.03
	wd	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.00	4.61	7.02	7.23	7.23	7.34	7.34	7.34	7.43	7.43	7.74	7.74	7.43	6.12	3.91	0.90
Televisions and video recorder	we	2.40	1.20	0.70	0.60	0.70	1.30	2.10	2.45	3.35	3.20	3.20	3.84	3.84	4.00	4.80	6.39	7.99	7.99	7.99	9.59	7.99	6.39	4.80	3.20
	wd	3.40	1.94	0.87	0.77	0.87	0.97	0.97	1.46	2.43	3.40	3.88	4.85	4.85	5.93	6.13	6.80	6.80	6.80	7.77	8.25	6.80	5.34	4.85	3.88
Radio/player	we	2.40	1.20	0.70	0.60	0.70	1.30	2.10	2.45	3.35	3.20	3.20	3.84	3.84	4.00	4.80	6.39	7.99	7.99	7.99	9.59	7.99	6.39	4.80	3.20
	wd	3.40	1.94	0.87	0.77	0.87	0.97	0.97	1.46	2.43	3.40	3.88	4.85	4.85	5.93	6.13	6.80	6.80	6.80	7.77	8.25	6.80	5.34	4.85	3.88
Personal computer and printer	we	2.40	1.20	0.70	0.60	0.70	1.30	2.10	2.45	3.35	3.20	3.20	3.84	3.84	4.00	4.80	6.39	7.99	7.99	7.99	9.59	7.99	6.39	4.80	3.20
	wd	3.40	1.94	0.87	0.77	0.87	0.97	0.97	1.46	2.43	3.40	3.88	4.85	4.85	5.93	6.13	6.80	6.80	6.80	7.77	8.25	6.80	5.34	4.85	3.88
Lighting	we	1.03	0.33	0.33	0.83	1.78	2.64	3.56	3.74	3.44	3.04	3.04	3.24	3.94	4.14	4.55	4.96	5.79	6.70	8.21	9.11	9.81	8.50	4.32	2.96
	wd	2.55	1.33	1.23	1.23	1.33	1.53	2.13	4.05	5.07	4.99	4.27	3.82	3.57	4.27	4.97	5.50	6.02	6.69	7.34	7.56	6.64	6.17	4.49	3.22
Other occasional loads	we	1.03	0.83	0.83	0.83	1.03	2.04	3.06	3.24	3.44	3.54	3.64	3.74	3.94	4.14	4.55	4.96	5.79	6.70	7.71	8.51	9.01	8.10	5.67	3.66
	wd	2.55	1.33	1.23	1.23	1.33	1.73	2.13	3.55	4.07	3.99	3.77	3.97	4.07	4.47	4.97	6.00	6.32	6.84	7.34	7.56	6.79	6.67	4.84	3.22

Το ενεργό και το standby φορτίο μιας συσκευής συνδέονται με την ετήσια κατανάλωση με τον τύπο:

$$E_{\text{yearly}} = \left(3600 \times 24 \frac{s}{\text{day}} \dot{E}_{\text{standby}} + f \sum_{n=1}^{n_{\text{cycle}}} \dot{E}_{\text{cycle},n} t_{\text{cycle},n} \right) \frac{365}{3.6 \times 10^6} \frac{\text{day kWh}}{\text{W s}} \quad [19]$$

Όπου E_{yearly} είναι η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh), E_{standby} η κατανάλωση όταν οι συσκευές είναι σε αναμονή (W), E_{cycle} η κατανάλωση της συσκευής στο n-οστό βήμα του κύκλου λειτουργίας της (W), t_{cycle} το μήκος του n-οστού βήματος, n_{cycle} ο αριθμός των βημάτων στο μέσο κύκλο λειτουργίας της συσκευής. Ανάλογα με το ποια στοιχεία γνωρίζουμε μπορούμε να υπολογίσουμε τα υπόλοιπα. Ωστόσο για να υπολογιστούν οι συχνότητες έναρξης αλλά και οι διάφορες παράμετροι ενός κύκλου λειτουργίας χρειάζεται να συνδυαστούν στοιχεία από διάφορες

πηγές. Ορισμένες προσαρμογές στα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο είναι απαραίτητες για την καλύτερη δυνατή λειτουργία του όπως και στις περισσότερες ανωφερείς μεθόδους υπολογισμού. Στην συγκεκριμένη μελέτη αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της διαφοράς των δεδομένων που εισάγονται με το είδος των δεδομένων που το μοντέλο πρόκειται να αναπαραγάγει.

4.6.2 Εφαρμογή του μοντέλου και αποτελέσματα

Με βάση την μεθοδολογία που ανέπτυξαν και αναφέραμε προηγουμένως, οι Raatero και Lund δημιούργησαν ένα σύνολο δεδομένων που αποτελούταν από 10.000 νοικοκυριά, τις συσκευές τους και αναλυτικές πληροφορίες για την κατανάλωση τους για ένα χρόνο. Τα νοικοκυριά είναι σε πολυκατοικίες, χωρίς μεγάλα θερμικά φορτία όπως η θέρμανση χώρου. Οι καταναλώσεις των συσκευών καθώς και οι καταναλώσεις τους σε αναμονή και οι συχνότητες λειτουργίας τους υπολογίστηκαν συνδυάζοντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία δημιουργώντας τον Πίνακα 4-8.

Πίνακας 4-8 Καταναλώσεις ανά κύκλο λειτουργίας και συχνότητες έναρξης κάθε συσκευής

Appliances and groups	Power (W) and time (min) cycles								Stand-by (W)	Daily frequency	
	P1	T1	P2	T2	P3	T3	P4	T4		Weekday	Weekend
Stove and oven	1050	12	525	18	220	12			0	0.56	0.61
	1100	12	550	6						0.70	0.76
	2100	24	700	6	1400	6	0	6		0.20	0.21
Microwave oven	800	6							3	0.98	1.06
Coffee maker	640	6	105	18						0.98	1.06
Refrigerator	110	12	0	24						40.5	41.3
Freezer	155	12	0	12						40.5	41.3
Second freezer	190	12	0	12						40.5	41.3
Dishwasher	1800	18	220	18	1800	6	220	12		1.16	1.26
Clothes-washer	2150	12	210	24	450	6				0.31	0.33
	2150	18	210	24	450	6				0.11	0.12
Tumble dryer	2500	72								0.28	0.30
Television	105	60							8	1.95	2.12
Second television	75	60							4	0.28	0.30
Video recorder	—	—							9	—	—
Radio/player	30	60							5	4.18	4.54
Personal computer	125	60							3	0.70	0.76
Printer	30	60							4	0.14	0.15
Lighting	120	30								18.0	19.5
Other occasional loads	1000	30							3	0.14	0.15

Τελικά η μέση ημερήσια ενέργεια που κατανάλωνε ένα νοικοκυριό στην προσομοίωση των 10.000 κτιρίων ήταν 5,16 kWh/day, ελάχιστα δηλαδή υψηλότερη από την μέση ημερήσια των νοικοκυριών που είχαν μετρηθεί και ήταν 5,12 kWh/day. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα μετρούμενα μεγέθη διαπιστώθηκε επιπλέον ότι οι ωριαίες αποκλίσεις στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα ήταν λιγότερο από 3%, με εξαίρεση μόνο ορισμένες ώρες κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η τυπική απόκλιση ωστόσο ήταν αρκετά μεγάλη (σχεδόν διπλάσια της αντίστοιχης που είχα μετρηθεί) και αυτό οφειλόταν κυρίως στο ότι ήταν δύσκολο να αποτυπωθεί ακριβώς η συμπεριφορά των ενοίκων στο σπίτι.

4.6.3 Εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας

Με τον όρο Demand Side Management (DSM) εννοούμε τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και την παρακολούθηση κάποιων συγκεκριμένων ενεργειών που έχουν ως στόχο να επηρεάσουν τον τρόπο που οι πελάτες χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια ώστε να επιτευχθούν ορισμένες επιθυμητές αλλαγές στην καμπύλη φορτίου του νοικοκυριού τους. Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 2 ειδών DSM στρατηγικές : (1) μετατόπιση της χρονικής στιγμής έναρξης της λειτουργίας μιας συσκευής και (2) κλείσιμο της συσκευής. Για την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών τέθηκαν κάποιοι κανόνες. Για να εξασφαλιστεί λοιπόν η λειτουργικότητα του νοικοκυριού και η άνεση των ενοίκων του οι συσκευές χωρίστηκαν με σειρά προτεραιότητας όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-9, με βάση την οποία ξεκινάμε την εφαρμογή της στρατηγικής από τις συσκευές με προτεραιότητα 0.

Πίνακας 4-9 Προτεραιότητα συσκευών για τις στρατηγικές DSM που εφαρμόστηκαν

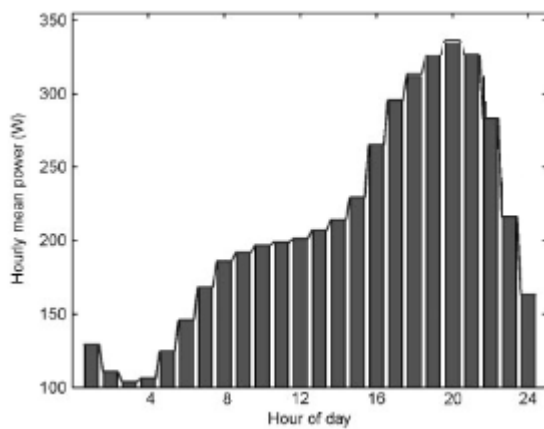
Appliances and groups	DSM strategies		
	Priority	Control	Limits
Stove and oven	1	cut	—
Microwave oven	1	cut	—
Coffee maker	1	cut	—
Refrigerator	0	post. 1 h	1 h
Freezer	0	post. 1 h	1 h
Second freezer	0	post. 1 h	1 h
Dishwasher	3	post. 6 h	—
Washing machine	2	post. 6 h	—
Tumble dryer	2	post. 6 h	—
Television	4	cut	—
Second television	4	cut	—
Video recorder	4	cut	—
Radio/player	4	cut	—
Personal computer	4	cut	—
Printer	4	cut	—
Lighting	5	cut	50%
Other occasional loads	5	cut	50%

Επιπλέον τέθηκαν κάποιοι περιορισμοί. Μόνο το 50% του φορτίου που καταναλώνεται για φωτισμό μπορεί να τροποποιηθεί και τα ψυγεία και οι καταψύκτες μπορούν να σταματήσουν να λειτουργούν κάθε φορά μόνο για μια ώρα και αφού έχει περάσει μια ώρα τουλάχιστον από την τελευταία φορά που έκλεισαν. Με βάση αυτά δημιούργησαν τρία διαφορετικά σενάρια.

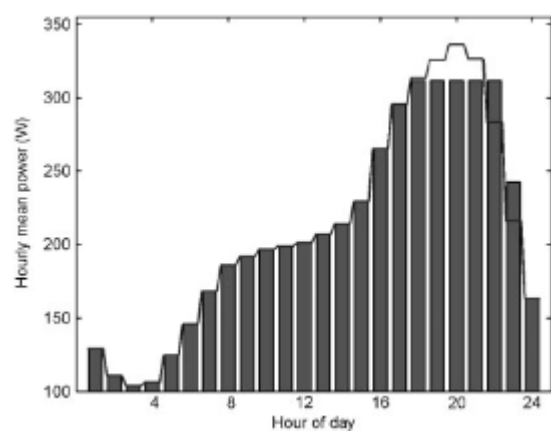
Στο πρώτο σενάριο αναπτύχθηκε μια ήπια στρατηγική μείωσης της αιχμής του φορτίου που εμφανίζεται μέσα στη μέρα. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτό ήταν να μειωθεί η κατανάλωση των συσκευών με προτεραιότητα 0 (ψυγεία και καταψύκτες) κατά το χρονικό διάστημα των ωρών αιχμής. Έτσι για 5 ώρες και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα 18:00 – 23:00 η συνολική κατανάλωση των συσκευών αυτών μειώθηκε κατά 3,1%, 27,6%, 52,9%, 47,1% και 25,5% ανά ώρα ώστε να υπάρχει ομαλή διαχείριση τους σύμφωνα με τους περιορισμούς. Το αποτέλεσμα ήταν να μειωθεί κατά περίπου 7,2% το μέσο ετήσιο φορτίο αιχμής.

Στο δεύτερο σενάριο εφαρμόστηκε μια πιο γενική στρατηγική που περιλαμβάνει την ρύθμιση όλων των συσκευών του νοικοκυριού με βάση την προτεραιότητά τους και είχε σαν στόχο τη μείωση της μέγιστης κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με αυτό τον τρόπο επηρεάστηκε η άνεση των ενοίκων μέσα στο σπίτι αφού αναβλήθηκαν οι ώρες χρήσεις των συσκευών για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων τέθηκαν κλειστά για τις ώρες 14:00 – 23:00, η χρήση των συσκευών που σχετίζονται με τη διασκέδαση των ενοίκων όπως η τηλεόραση αναβλήθηκε τις ώρες 17:00 – 23:00 και ο φωτισμός περιορίστηκε στο 50% για μία ώρα κατά τη διάρκεια του απογεύματος στο 75% των υπό μελέτη νοικοκυριών. Το αποτέλεσμα του σεναρίου αυτού ήταν να μειωθεί το φορτίο αιχμής κατά 42% αλλά ταυτόχρονα να αυξηθεί η κατανάλωση τις ώρες 23:00 – 05:00, όταν δηλαδή τέθηκαν πάλι σε λειτουργία οι συσκευές που είχε αναβληθεί η χρήση τους.

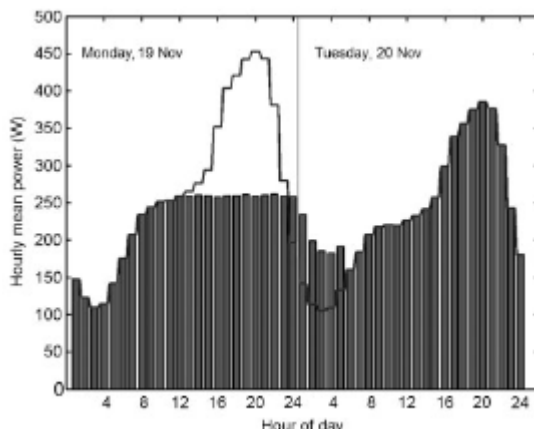
Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, εφαρμόστηκε ένα τρίωρο γενικό μπλακ-άουτ το μεσημέρι από τις 12:00 έως τις 15:00. Κατά την πρώτη ώρα εφαρμογής του όλες οι συσκευές τέθηκαν εκτός λειτουργίας. Τη δεύτερη ώρα λειτούργησαν τα ψυγεία και οι καταψύκτες σύμφωνα με τους περιορισμούς που είχαν τεθεί εξαρχής και την τρίτη ώρα πάλι όλα τα φορτία μηδενίστηκαν. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση του μέσου φορτίου κατά 61% ωστόσο η μέγιστη αιχμή φορτίου αυξήθηκε περίπου 7%.



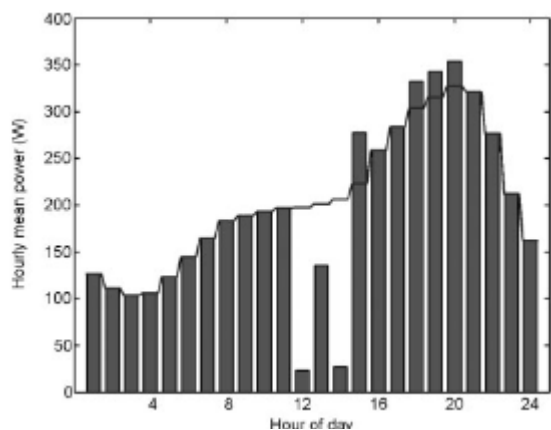
Διάγραμμα 4-1 Μέση ημερήσια κατανάλωση



Διάγραμμα 4-2 Ημερήσια κατανάλωση σεναρίου 1



Διάγραμμα 4-4 Ημερήσια κατανάλωση σεναρίου 2



Διάγραμμα 4-3 Ημερήσια κατανάλωση σεναρίου 3

5. Υπολογισμός της ηλεκτρικής κατανάλωσης μιας περιοχής

Στο κομμάτι αυτό παρουσιάζεται η μελέτη που έκανε ο συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχετικά με την ηλεκτρική κατανάλωση μιας υποθετικής περιοχής, η οποία αποτελείται από 1000 νοικοκυριά. Στόχος ήταν να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση χωρίς την ύπαρξη ακριβών και λεπτομερών δεδομένων για το κάθε σπίτι αλλά με τη χρήση στατιστικών στοιχείων και πληροφοριών που αντλήθηκαν από μετρήσεις προηγούμενων ερευνών. Το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του μοντέλου υπολογισμού της κατανάλωσης ήταν το Microsoft Office Excel.

5.1 Επεξεργασία δεδομένων

Η μελέτη αυτή έγινε ειδικά για την Ελλάδα για να προσδιοριστεί η ενεργειακή συμπεριφορά των καταναλωτών. Μη έχοντας στην διάθεση μας πραγματικά στοιχεία για μια περιοχή προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε μία που αποτελείται από 1000 διαφορετικά νοικοκυριά. Για να είναι αντιπροσωπευτική η μελέτη για τον ελληνικό χώρο, οι τύποι των νοικοκυριών και ο αριθμός τους στο δείγμα καθορίστηκε από τα επίσημα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ). Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη δημοσκόπηση [30], που διεξήχθη το 2011, το σύνολο των νοικοκυριών στην Ελλάδα ανέρχεται σε 4.134.540 ενώ το μέσο μέγεθος νοικοκυριού είναι 2,6 άτομα με το μεγαλύτερο (3,0 άτομα) να συναντάται στην Περιφερειακή ενότητα Δυτικού τομέα Αθηνών ενώ το μικρότερο (2,2 άτομα) στη Σάμο. Επειδή θέλαμε να διακρίνουμε τα νοικοκυριά όχι μόνο ως προς τον αριθμό των ατόμων που τα αποτελούν αλλά και ως προς την ιδιότητα τους (εργαζόμενος, συνταξιούχος, γονέας, παιδί κ.λπ.) συγκεντρώσαμε στοιχεία από διαφορετικές δημοσκοπήσεις από τις οποίες προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας.

Πίνακας 5-1 Αριθμός νοικοκυριών στην Ελλάδα και στην υπό μελέτη περιοχή

ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ		Ελλάδα	Υπό μελέτη περιοχή
1	1 εργαζόμενος	379.134	92
2	1 ηλικιωμένος	682.413	165
3	1 ζευγάρι χωρίς παιδιά	494.552	120
4	1 ζευγάρι ηλικιωμένων	480.357	116
5	1 γονιός με παιδι(α)	463.775	112
6	1 ζευγάρι με 1 ή 2 παιδιά	1.364.201	330
7	Πολυπληθής οικογένεια (5,4 άτομα μ.ο.)	270.108	65
		4.134.540	1000

Τα νοικοκυριά στην Ελλάδα που αποτελούνται από έναν εργαζόμενο ενήλικα είναι 379.134 (0,092% επί του συνόλου των νοικοκυριών), από έναν συνταξιούχο άνω των 65 ετών είναι 682.413 (0,165%), από ένα ζευγάρι είτε παντρεμένο είτε που συζεί χωρίς παιδιά είναι 494.552 (0,12%), από ένα ζευγάρι συνταξιούχων άνω των 65 ετών 480.357 (0,116%), από έναν γονιό (πατέρα ή μητέρα) και ένα ή δύο παιδιά είναι 463.775 (0,112%), από ένα ζευγάρι ατόμων που εργάζονται και είναι είτε παντρεμένο είτε συζεί και έχουν ένα ή δύο παιδιά 1.364.201 (0,33% - αναλυτικότερα 662.345 νοικοκυριά αποτελούνται από δύο γονείς και ένα παιδί και 701.856 από δύο γονείς και δύο παιδιά) και αυτά που αποτελούνται από πέντε άτομα και πάνω (πολύτεχνες οικογένειες, γονείς μαζί με τα παιδιά και τους παππούδες κ.α.) είναι 270.108 (0,065%).

Ανάγοντας τα στοιχεία αυτά στην περιοχή των 1000 νοικοκυριών που θέλαμε να δημιουργήσουμε για τους υπολογισμούς μας καταλήξαμε ότι αυτή αποτελείται από 92 νοικοκυριά με έναν εργαζόμενο, 165 νοικοκυριά με ένα άτομο άνω των 65 ετών, 120 νοικοκυριά με 2 άτομα που εργάζονται, 116 νοικοκυριά με ένα ζευγάρι άνω των 65 ετών, 112 νοικοκυριά με έναν γονέα και το παιδί ή τα παιδιά του, 330 με ένα ζευγάρι εργαζόμενων και ένα ή δύο παιδιά και 65 νοικοκυριά που αποτελούνται από πέντε άτομα και πάνω.

Έχοντας χωρισμένη την προς μελέτη περιοχή σε νοικοκυριά, επόμενο βήμα ήταν να βρούμε ποιες και πόσες συσκευές χρησιμοποιούνται στο κάθε νοικοκυριό ώστε να υπολογίσουμε την τελική κατανάλωσή του. Πάλι στηριζόμενοι στα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ προσδιορίστηκε αρχικά ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών με βάση τα ποσοστά κατοχής τους που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 5-2 Ηλεκτρικές συσκευές στα νοικοκυριά της υπο μελέτης περιοχής

Συσκευή	%	Αριθμός συσκευών
Ηλεκτρική εστία	93,2	932
Ηλεκτρικός φούρνος	89,1	891
Φούρνος μικροκυμάτων	38,6	386
Ψυγείο με ή χωρίς καταψύκτη	99,9	1000
Κλιματιστικό	59,5	595
Τηλεόραση	99,1	1000
Θερμοσίφωνα	74,5	745
Πλυντήριο πιάτων	33,2	332
Πλυντήριο ρούχων	95,8	958
Modem/Router	49,8	498
PC/Laptop	54,1	541
Σίδερο	95,6	956
Ηλεκτρική σκούπα	81,1	811

Όσον αφορά τον αριθμό των ψυγείων και των τηλεοράσεων, θεωρήθηκε ότι όλα τα σπίτια έχουν από μία τέτοιου είδους συσκευή. Ο συμβιβασμός αυτός έγινε για διευκόλυνση των πράξεων αφού τα ποσοστά διαθεσιμότητάς τους στα ελληνικά νοικοκυριά πλησιάζουν το 100% (99,9% και 99,1% αντίστοιχα) και δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς.

5.2 Δημιουργία του μοντέλου υπολογισμού

Μέσω του προγράμματος Excel δημιουργήθηκε ένα μοντέλο το οποίο υπολογίζει αναλυτικά τις καταναλώσεις κάθε νοικοκυριού και την συνολική για μια ολόκληρη περιοχή. Το πρώτο στάδιο ήταν να κατανεμηθούν οι συσκευές στα 1000 νοικοκυριά της περιοχής με τυχαίο τρόπο. Κάθε σπίτι το συμβολίσαμε με έναν αριθμό από το 1 μέχρι το 1000. Δηλαδή, τα νοικοκυριά με έναν εργαζόμενο που είναι 92 στον αριθμό, τα αντιστοιχίσαμε στους αριθμούς μεταξύ 1 και 92. Τα νοικοκυριά της δεύτερης κατηγορίας, που αποτελούνται από έναν συνταξιούχο τα αντιστοιχίσαμε στους αριθμούς μεταξύ 93 και $93+165=257$ διότι 165 είναι το πλήθος των νοικοκυριών της συγκεκριμένης κατηγορίας. Έτσι αντιστοιχίσαμε και τα σπίτια των υπόλοιπων κατηγοριών με ένα αριθμό. Μετά από αυτό και γνωρίζοντας τον ακριβή αριθμό συσκευών κάθε τύπου στόχος ήταν να βρούμε σε ποια νοικοκυριά ανήκουν. Κάθε διαφορετική συσκευή ονομάστηκε με ένα νούμερο από το ένα ως το n (όπου n το πλήθος των συσκευών ανά τύπο) και με τυχαίο τρόπο κατανεμήθηκε σε ένα από τα 1000 νοικοκυριά (η συνάρτηση τυχαίων αριθμών RANDBETWEENplus που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται στο παράρτημα).

Η διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε τύπο συσκευής. Τα δεδομένα προκειμένου να επεξεργαστούν ταξινομήθηκαν σε έναν πίνακα και έτσι δημιουργήσαμε το προφίλ καθενός από τα 1000 νοικοκυριά ως προς τις συσκευές. Από τα αναλυτικά στοιχεία για τις συσκευές που έχει στην κατοχή του κάθε νοικοκυριού, συγκεντρώνουμε τα στοιχεία για το πλήθος των συσκευών που ανήκει σε κάθε κατηγορία νοικοκυριού σε ένα γενικό πίνακα.

Πίνακας 5-3(α) Πλήθος συσκευών ανά τύπο νοικοκυριού

	Τύπος νοικοκυριού	Εστία	Φούρνος	Φ. Μικρ.	Πιάτα	Ρούχα	Σκούπα
1	1 εργαζόμενος	84	84	34	33	89	73
2	1 ηλικιωμένος	151	151	63	54	159	138
3	1 ζευγάρι χωρίς παιδιά	117	106	47	43	114	94
4	1 ζευγάρι ηλικιωμένων	111	96	56	39	114	98
5	1 γονιός με παιδι(α)	103	102	34	35	104	78
6	1 ζευγάρι με 1 ή 2 παιδιά	305	292	128	100	316	271
7	Πολυπληθής οικογένεια	61	60	24	28	62	59

Πίνακας 5-3(β) Πλήθος συσκευών ανά τύπο νοικοκυριού

	Τύπος νοικοκυριού	PC-Laptop	Modem	Air Cond.	Θερμοσ	Ψυγείο	Σίδερο
1	1 εργαζόμενος	48	49	55	73	92	87
2	1 ηλικιωμένος	88	88	98	118	165	159
3	1 ζευγάρι χωρίς παιδιά	61	68	72	85	120	113
4	1 ζευγάρι ηλικιωμένων	74	55	64	85	116	110
5	1 γονιός με παιδι(α)	61	58	71	93	112	106
6	1 ζευγάρι με 1 ή 2 παιδιά	172	159	193	244	330	318
7	Πολυπληθής οικογένεια	37	21	42	47	65	62

5.3 Ηλεκτρική κατανάλωση στα ελληνικά νοικοκυριά

Οι υπολογισμοί των φορτίων έγιναν με βάση 2 χαρακτηριστικά: τον αριθμό των ατόμων και τις ώρες λειτουργίας των συσκευών ανάλογα με τον τύπο του νοικοκυριού. Ο αριθμός των ατόμων ήταν απαραίτητο στοιχείο της μεθοδολογίας αφού οι καταναλώσεις των συσκευών υπολογίστηκαν με βάση την μέση κατανάλωση ανά άτομο της κάθε συσκευής. Τα στοιχεία αυτά αντλήθηκαν από τρεις διαφορετικές πηγές και συγκεκριμένα από την ΕΛΣΤΑΤ, το EURECO project και το REMODECE project.

Το REMODECE project [31],[32] ήταν μια ευρωπαϊκή έρευνα που διεξήχθη από το 2006 έως το 2008 με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στα σπίτια. Κατά τη διάρκεια της έρευνας αυτής μετρήθηκε η κατανάλωση 100 νοικοκυριών και απαντήθηκαν 500 περίπου ερωτηματολόγια σε κάθε μία από τις 12 ευρωπαϊκές χώρες που λάβανε μέρος. Η λίστα των χωρών που συμμετείχαν περιελάμβανε τις Πορτογαλία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Τσεχία, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Νορβηγία, Ρουμανία και Ελλάδα με συμμετοχή αρκετών πανεπιστημίων, οργανισμών και κέντρων ερευνών. Από την Ελλάδα συμμετείχε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις 11.500 συσκευών σε όλες τις χώρες, χρονικής διάρκειας 2 εβδομάδων περίπου για κάθε συσκευή και με χρονική απόσταση περίπου 10 λεπτών ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μετρήσεις. Παράλληλα διεξήχθη και έρευνα μέσω ερωτηματολογίου στους ενοίκους των κατοικιών με σκοπό την αποτύπωση της συμπεριφοράς τους. Επιπλέον, μελετήθηκε το σενάριο να αντικατασταθούν όλες οι συσκευές στα νοικοκυριά από τις τελευταίες τεχνολογίας αντίστοιχές τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αφορούσαν τις ετήσιες καταναλώσεις των συσκευών ανά νοικοκυριό για την Ελλάδα μόνο για όσες συσκευές γνωρίζαμε τα ποσοστά κατοχής τους από τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.

Στο EURECO project [33],[34], που διεξήχθη από το 2000 έως το 2002, συμμετείχαν 5 χώρες, η

Δανία, η Πορτογαλία, η Ιταλία, η Ελλάδα και η Γαλλία. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στις 4 πρώτες ενώ η Γαλλία συμμετείχε στην ανάλυση των δεδομένων λόγω της τεχνογνωσίας της στο συγκεκριμένο τομέα. Στόχος και αυτού του προγράμματος ήταν να μετρηθούν οι καταναλώσεις των νοικοκυριών στα νοικοκυριά με σκοπό να αναπτυχθούν στρατηγικές μείωσης του φορτίου. Από την Ελλάδα συμμετείχε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με χρηματοδότηση από το υπουργείο Ανάπτυξης. Ο κεντρικός άξονας της έρευνας αυτής περιελάμβανε 3 στάδια. Πρώτον, μέτρηση των καταναλώσεων των νοικοκυριών με σκοπό τον καθορισμό των χαρακτηριστικών των οικιακών συσκευών (κυρίως τις ημερήσιες και τις ετήσιες καταναλώσεις τους), δεύτερον υπολογισμός της κατανάλωσης αποδοτικότερων συσκευών στην θέση των υπαρχόντων μέσω αλγορίθμων και προσομοιώσεων και τρίτον εκτίμηση της πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας. Σε κάθε χώρα παρακολουθήθηκαν 100 νοικοκυριά τα οποία επιλέχθηκαν όχι ως αντιπροσωπευτικό δείγμα της χώρας αλλά με βάση τον αριθμό των συσκευών τους ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο δείγμα. Σε κάθε νοικοκυριό οι μετρήσεις διήρκεσαν ένα μήνα και το χρονικό βήμα ανάμεσα στις μετρήσεις ήταν 10 λεπτά. Λόγω του μεγάλου κόστους που θα είχε η έρευνα αν μετρούνταν όλες οι διαφορετικές συσκευές σε ένα νοικοκυριό, μετρήθηκαν λόγω προτεραιότητας τα ψυγεία, οι καταψύκτες, οι πηγές φωτός, τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων, οι οπτικοακουστικές συσκευές (τηλεοράσεις, βίντεο κ.λπ.) ως μία ενιαία κατηγορία και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Επιπλέον μετρήθηκε η κατανάλωση των συσκευών όταν βρίσκονται σε αναμονή. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στη ανάλυση μας ήταν κυρίως η ετήσια κατανάλωση κάθε τύπου συσκευής ανά άτομο και ανά νοικοκυριό καθώς και το standby φορτίο.

Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα των δύο αυτών ερευνών αν και ήταν πολύ αναλυτικά, βασίζονταν σε νοικοκυριά που δεν αποτελούσαν αντιπροσωπευτικό δείγμα των ελληνικών νοικοκυριών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέκυψαν ύστερα από σύγκριση των πληροφοριών των ευρωπαϊκών ερευνών μεταξύ τους καθώς και με τα δεδομένα των τελευταίων δημοσκοπήσεων της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Η ΕΛΣΤΑΤ διενήργησε για πρώτη φορά μια έρευνα κατανάλωσης ενέργειας σε 3600 νοικοκυριά στα νοικοκυριά κατά το χρονικό διάστημα Οκτωβρίου 2011 – Σεπτεμβρίου 2012 τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 1.5. Από τις τρεις αυτές μελέτες προέκυψαν τελικά τα στοιχεία για την ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο της κάθε οικιακής συσκευής που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-4. Επιπλέον όπως ήδη αναφέραμε, από τη συσχέτιση των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών των μελών των νοικοκυριών με την ενεργειακή τους κατανάλωση προέκυψαν δύο σημαντικά στοιχεία. Πρώτον, η μέση κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά άτομο σε μονομελή νοικοκυριά είναι κατά μέσο όρο 66 % υψηλότερη από αυτήν σε νοικοκυριά με περισσότερα μέλη και δεύτερο ότι η κατανάλωση ανά άτομο για τα νοικοκυριά με έναν ηλικιωμένο είναι 17% μικρότερη από τα μονομελή με έναν εργαζόμενο. Με βάση αυτό θεωρήσαμε στους υπολογισμούς μας ότι η κατανάλωση ανά άτομο όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5-4 για να χρησιμοποιηθεί για τα

νοικοκυριά με έναν εργαζόμενο πρέπει να αυξηθεί κατά 66 % και για τα νοικοκυριά με έναν ηλικιωμένο κατά 30%.

Πίνακας 5-4 Ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο για κάθε τύπο συσκευής [Πηγή Remodece, Eureco, ΕΛΣΤΑΤ]

Συσκευή	Ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο (kWh)
Ηλεκτρική εστία	0,83
Ηλεκτρικός φούρνος	0,49
Φουρνος μικροκυμάτων	0,06
Ψυγείο με ή χωρίς καταψύκτη	0,62
Κλιματισμός	0,40
Τηλεόραση	0,27
Θερμοσίφωνα	0,38
Πλυντήριο πιάτων	0,12
Πλυντήριο ρούχων	0,14
Standby φορτίο	0,31
Modem/Router	0,07
PC/Laptop	0,11
Σίδερο	0,09
Ηλεκτρική σκούπα	0,09

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μελέτης με ρεαλιστικά δεδομένα μετρήσεων ανατρέξαμε σε μία ακόμα έρευνα στα ελληνικά νοικοκυριά. Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού έργου PEPESec του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη – Intelligent Energy Europe » ο Δήμος Αμαρουσίου αποφάσισε να συνεργαστεί με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας και να μελετήσει τις δυνατότητες εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας στις κατοικίες των Δημοτών Αμαρουσίου. Το ΚΑΠΕ διερεύνησε τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας των Δημοτών του Δήμου Αμαρουσίου μέσω δύο οδών, της χρήσης αυτόματων συστημάτων συλλογής και ανάλυσης δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης (εκστρατεία μετρήσεων) και της καταγραφής της γενικότερης συμπεριφοράς – στάσης τους απέναντι σε ενεργειακά θέματα (κατάρτιση και διανομή σχετικών ερωτηματολογίων). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο 15 Σεπτεμβρίου 2009 μέχρι και 15 Δεκεμβρίου 2009 σε δείγμα 30 κατοικιών του Δήμου Αμαρουσίου. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε μετρητικός εξοπλισμός ο οποίος εγκαταστάθηκε στους εσωτερικούς πίνακες ηλεκτροδότησης των κατοικιών, έτσι ώστε να μετράται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του κάθε νοικοκυριού. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν με χρονικό βήμα 10 λεπτών, ενώ η συνολική χρονική περίοδος κατά την οποία ο μετρητικός εξοπλισμός παρέμενε στην κάθε κατοικία ήταν 15 ημέρες. Οι μετρητικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν την κατανάλωση ενέργειας και ισχύος. Τα δεδομένα μεταφέρονται από το σημείο μέτρησης σε μία συσκευή συλλογής (collector), η οποία εμπεριέχει ένα modem το οποίο επιτρέπει να μεταφέρεται ασύρματα το περιεχόμενο της μνήμης της, σε ένα σταθμό συλλογής δεδομένων (data logger). Στο τέλος κάθε μετρητικής περιόδου τα καταγεγραμμένα δεδομένα μεταφέρονταν σε έναν υπολογιστή με τη βοήθεια κατάλληλου υπολογιστικού προγράμματος. Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων και τη συλλογή όλων των δεδομένων έγινε επεξεργασία και ανάλυση τους με σκοπό την παραγωγή γραφημάτων και δεικτών για την ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας της κάθε κατοικίας καθώς και του συνόλου του δείγματος.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Εν συνεχεία η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι στις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μία πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με τις πρωινές δραστηριότητες των ανθρώπων πριν την αποχώρησή τους για τη δουλειά. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση παρουσιάζει μία μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 14:00 - 15:00 το μεσημέρι σε μία δεύτερη αιχμή (οφείλεται πιθανότατα στο μαγείρεμα) ώσπου να μειωθεί και πάλι μέχρι τις 16:00. Στη συνέχεια υπάρχει μία σταδιακή αύξηση κατά τη διάρκεια του απογεύματος και μέχρι τις 23:00, με τα μέγιστα να παρουσιάζονται περί της 21:00 – 22:00. Οι αιχμές που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως σε φορτία όπως για μαγείρεμα, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό και διασκέδαση. Η μέση τιμή των ατόμων ανά νοικοκυριό ήταν 2,7 άτομα και υπολογίστηκε ότι το μέσο νοικοκυριό καταναλώνει 11 kWh ημερησίως και 4.005 kWh ετησίως. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι το προφίλ ζήτησης ισχύος όπως υπολογίστηκε παραπάνω αναφέρεται σε συγκεκριμένη εποχή του χρόνου (φθινόπωρο) όπου δεν υπάρχει ανάγκη για κάλυψη ψυκτικών φορτίων.

5.4 Ημερήσια χρήση των ηλεκτρικών συσκευών

Έχοντας πλέον στοιχεία για την κατανάλωση κάθε συσκευής ανά άτομο το επόμενο βήμα της μελέτης ήταν η εύρεση ενός μοτίβου για το πως χρησιμοποιείται η κάθε ηλεκτρική συσκευή μέσα στη μέρα σε κάθε διαφορετικό τύπο νοικοκυριού. Κάποια από τα δεδομένα αντλήθηκαν από τις έρευνες της ΕΛΣΤΑΤ και αφορούσαν μόνο τις ώρες και τους μήνες χρήσης του κλιματιστικού. Λόγω των περιορισμένων στοιχείων για τα ελληνικά νοικοκυριά, καθώς και στοιχείων παραπλήσιων κλιματικών, κοινωνικών ή οικονομικών συνθηκών με την Ελλάδα χωρών, για την εύρεση της ημερήσιας καμπύλης χρήσης των συσκευών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των δύο δημοσιεύσεων που αφορούσαν το Ηνωμένο Βασίλειο (κεφάλαια 4.4, 4.5) και μιας έρευνας του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Η.Β. σε 251 νοικοκυριά για την ηλεκτρική κατανάλωση των οικιακών συσκευών [35]. Για τα δεδομένα αυτά έγινε μια προσπάθεια να τροποποιηθούν με ορισμένες υποθέσεις ώστε να προσομοιώνουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις συνθήκες στα ελληνικά νοικοκυριά. Έτσι για τους 7 διαφορετικούς τύπους νοικοκυριών προέκυψαν 3 διαφορετικά σενάρια λειτουργίας.

1^ο Σενάριο

- Εφαρμόστηκε σε τρεις τύπους νοικοκυριών: τα νοικοκυριά που αποτελούνται από έναν εργαζόμενο, τα νοικοκυριά με ένα ζευγάρι χωρίς παιδιά και τα νοικοκυριά που αποτελούνται από έναν γονέα και ένα ή δύο παιδιά.
- Κοινό στοιχείο και των τριών αυτών τύπων είναι ότι όλα τα άτομα λείπουν από το σπίτι από τις 9:00 έως τις 17:00. Στους δύο πρώτους τύπους νοικοκυριών οι ένοικοι λείπουν λόγω εργασίας ενώ στην τρίτη περίπτωση λόγω εργασίας τους γονέα και απασχόλησης των παιδιών εκτός σπιτιού.
- Πιθανές ώρες ενεργής παρουσίας στο σπίτι : 06:00 – 09:00 και 17:00 – 24:00
- Ο ημερήσιος πίνακας ωριαίων πιθανοτήτων λειτουργίας κάθε συσκευής παρατίθεται στο παράρτημα.

Πίνακας 5-5 Πρόγραμμα χρήσης ηλεκτρικών συσκευών σεναρίου 1

Συσκευή	Εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας	Αριθμός ημερήσιων χρήσεων
Ηλεκτρική εστία	06:00 – 09:00 και 17:00 - 21:00	2
Ηλεκτρικός φούρνος	17:00 – 21:00	1
Φουρνος μικροκυμάτων	6:00 – 9:00 και 17:00 – 21:00	2
Ψυγείο με ή χωρίς καταψύκτη	Όλη μέρα	24
Τηλεόραση	19:00 – 24:00	5
Θερμοσίφωνας	06:00 – 08:00 και 19:00 – 23:00	1
Πλυντήριο πιάτων	18:00 – 24:00	1
Πλυντήριο ρούχων	18:00 – 24:00	1
Standby φορτίο	Όλη μέρα	24
Modem/Router	Όλη μέρα	24
PC/Laptop	19:00 – 24:00	5
Σίδερο	18:00 – 24:00	1
Ηλεκτρική σκούπα	17:00 – 20:00	1
Κλιματιστικό	16:00 – 20:00	4
Φωτισμός	07:00 – 09:00 και 18:00 – 24:00 (χειμώνας) 20:00 – 24:00(καλοκαίρι)	8 4

2^ο Σενάριο

- Εφαρμόστηκε σε δύο τύπους νοικοκυριών: τα νοικοκυριά με έναν συνταξιούχο άνω των 65 και τα νοικοκυριά με δύο συνταξιούχους άνω των 65. Θεωρήσαμε ότι οι ανάγκες και οι

ώρες χρήσεις των συσκευών στην κατηγορία αυτή δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των ατόμων

- Το σπίτι κατοικείται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας
- Θεωρούμε ότι οι συσκευές, πλην αυτών για το μαγείρεμα, χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως μετά τις 12:00 και ως τις 22:00, με περίπου ίδια πιθανότητα.
- Ο ημερήσιος πίνακας ωριαίων πιθανοτήτων λειτουργίας κάθε συσκευής παρατίθεται στο παράρτημα.

Πίνακας 5-6 Πρόγραμμα χρήσης ηλεκτρικών συσκευών σεναρίου 2

Συσκευή	Εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας	Αριθμός ημερήσιων χρήσεων
Ηλεκτρική εστία	06:00 – 09:00, 10:00 – 14:00, 17:00 – 21:00	3
Ηλεκτρικός φούρνος	10:00 – 14:00 και 17:00 – 21:00	2
Φουρνος μικροκυμάτων	06:00 – 09:00, 10:00 – 14:00, 17:00 – 21:00	3
Ψυγείο με ή χωρίς καταψύκτη	Όλη μέρα	24
Τηλεόραση	09:00 – 11:00, 14:00 – 15:00, 16:00 – 17:00 18:00 – 19:00 και 20:00 – 22:00	7
Θερμοσίφωνας	06:00 – 08:00 και 19:00 – 23:00	1
Πλυντήριο πιάτων	18:00 – 21:00	1
Πλυντήριο ρούχων	12:00 – 21:00	1
Standby φορτίο	Όλη μέρα	24
Modem/Router	Όλη μέρα	24
PC/Laptop	14 – 16:00 και 17:00 – 22:00	2
Σίδερο	09:00 – 21:00	1
Ηλεκτρική σκούπα	09:00 – 21:00	1
Κλιματιστικό	12:00 – 14:00 και 17:00 – 20:00	5
Φωτισμός	06:00 – 09:00 και 16:00 – 24:00(χειμώνας) 20:00 – 24:00 (καλοκαίρι)	11 4

3° Σενάριο

- Εφαρμόστηκε σε δυο τύπους νοικοκυριών: αυτά που αποτελούνται από ένα ζευγάρι με ένα ή δύο παιδιά και πολυπληθή νοικοκυριά
- Το σπίτι κατοικείται από τουλάχιστον ένα άτομο που εργάζεται με πλήρες ωράριο και ένα με πρωινή ημιπασχόληση για να κρατάει τα παιδιά.

- Η περίοδος που το σπίτι δεν κατοικείται είναι μεταξύ εννιά το πρωί και μία το μεσημέρι.
- Πιθανές ώρες ενεργής παρουσίας στο σπίτι : 06:00 – 09:00 και 13:00 – 24:00
- Ο ημερήσιος πίνακας ωριαίων πιθανοτήτων λειτουργίας κάθε συσκευής παρατίθεται στο παράρτημα.

Πίνακας 5-7 Πρόγραμμα χρήσης ηλεκτρικών συσκευών σεναρίου 3

Συσκευή	Εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας	Αριθμός ημερήσιων χρήσεων
Ηλεκτρική εστία	06:00 – 09:00, 13:00 – 15:00, 17:00 – 21:00	3
Ηλεκτρικός φούρνος	13:00 – 15:00 και 17:00 – 21:00	2
Φουρνος μικροκυμάτων	06:00 – 09:00, 13:00 – 15:00, 17:00 – 21:00	3
Ψυγείο με ή χωρίς καταψύκτη	Όλη μέρα	24
Τηλεόραση	18:00 – 24:00	6
Θερμοσίφωνας	06:00 – 08:00 και 19:00 – 23:00	2
Πλυντήριο πιάτων	18:00 – 24:00	1
Πλυντήριο ρούχων	18:00 – 24:00	1
Standby φορτίο	Όλη μέρα	24
Modem/Router	Όλη μέρα	24
PC/Laptop	19:00 – 24:00	5
Σίδερο	18:00 – 24:00	1
Ηλεκτρική σκούπα	17:00 – 20:00	1
Κλιματιστικό	16:00 – 20:00	5
Φωτισμός	06:00 – 09:00 και 16:00 – 24:00(χειμώνας)	11
	20:00 – 24:00 (καλοκαίρι)	4

Οι εποχικές διαφορές στις εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας των περισσότερων συσκευών δεν λήφθηκαν υπόψη λόγω έλλειψης αντίστοιχων αναλυτικών δεδομένων στη σχετική βιβλιογραφία και λόγω μεγάλου κινδύνου σφάλματος σε περίπτωση τυχαίας υπόθεσης. Θα μπορούσε ωστόσο μια σχετική μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτό να αυξήσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Στην παρούσα μελέτη διαφορετικά εποχικά προγράμματα λειτουργίας εφαρμόστηκαν για το φωτισμό και τον κλιματισμό. Και στα τρία σενάρια, οι ώρες που είναι ανοιχτοί οι λαμπτήρες στο σπίτι το χειμώνα ήταν περισσότερες από το καλοκαίρι. Οι διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των σεναρίων το χειμώνα οφείλονται στην παρουσία των ατόμων στο σπίτι και τις ώρες ηλιοφάνειας. Έτσι, στο πρώτο σενάριο τα φώτα στο σπίτι είναι ανοιχτά τις ώρες που τα άτομα είναι στο σπίτι ενώ στα άλλα δύο σενάρια από τις ώρες που δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός στο σπίτι. Το καλοκαίρι θεωρούμε

πως η ανάγκη για τεχνητό φωτισμό είναι περίπου από τις οχτώ το βράδυ και ύστερα, ώρες που όλοι οι τύποι νοικοκυριών είναι κατελιημμένοι.

5.5 Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης

Το επόμενο βήμα της μεθόδου ήταν να βρεθεί η ημερήσια κατανάλωση για κάθε έναν από τους επτά τύπους νοικοκυριών της περιοχής. Στο σημείο αυτό εξαιρέθηκαν από τους υπολογισμούς ο κλιματισμός και ο φωτισμός. Με βάση τις ωριαίες πιθανότητες λειτουργίας και με τη βοήθεια της συνάρτησης τυχαίων αριθμών προσδιορίστηκαν οι ακριβείς ώρες χρήσης μέσα στη μέρα κάθε συσκευής που διαθέτει κάθε νοικοκυριό. Στη συνέχεια μετρήθηκε το πλήθος των συσκευών που αντιστοιχούν στον ίδιο τύπο οικιακής συσκευής και είναι σε λειτουργία την ίδια ώρα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας που παρουσιάζει το πλήθος των εν λειτουργία συσκευών για κάθε ώρα της ημέρας. Παράλληλα, τα δεδομένα του πίνακα που προέκυψαν ελέγχθηκαν για να διαπιστωθεί αν επαληθεύουν τις αρχικές πιθανότητες λειτουργίας. Ο έλεγχος εφαρμόστηκε για να βρεθούν τυχόν υπολογιστικά λάθη αλλά και επειδή έγινε χρήση στους υπολογισμούς μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών.

Τα στοιχεία του πίνακα πολλαπλασιάστηκαν με την κατανάλωση ανά χρήση της κάθε συσκευής και έτσι δημιουργήθηκε ο αναλυτικός πίνακας κατανάλωσης κάθε κατηγορίας ανά ώρα και ανά τύπο ηλεκτρικής συσκευής. Αθροίζοντας τις καταναλώσεις των συσκευών για κάθε ώρα της ημέρας ξεχωριστά προκύπτει η γενική ημερήσια κατανάλωση των νοικοκυριών που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Για την κάθε εποχή του χρόνου υπολογίζουμε την συνολική ημερήσια κατανάλωση. Για τον χειμώνα προσθέτουμε την κατανάλωση λόγω φωτισμού, για το καλοκαίρι την κατανάλωση του κλιματιστικού και των λαμπτήρων και για την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζουμε τον μέσο όρο των προηγούμενων εποχών.

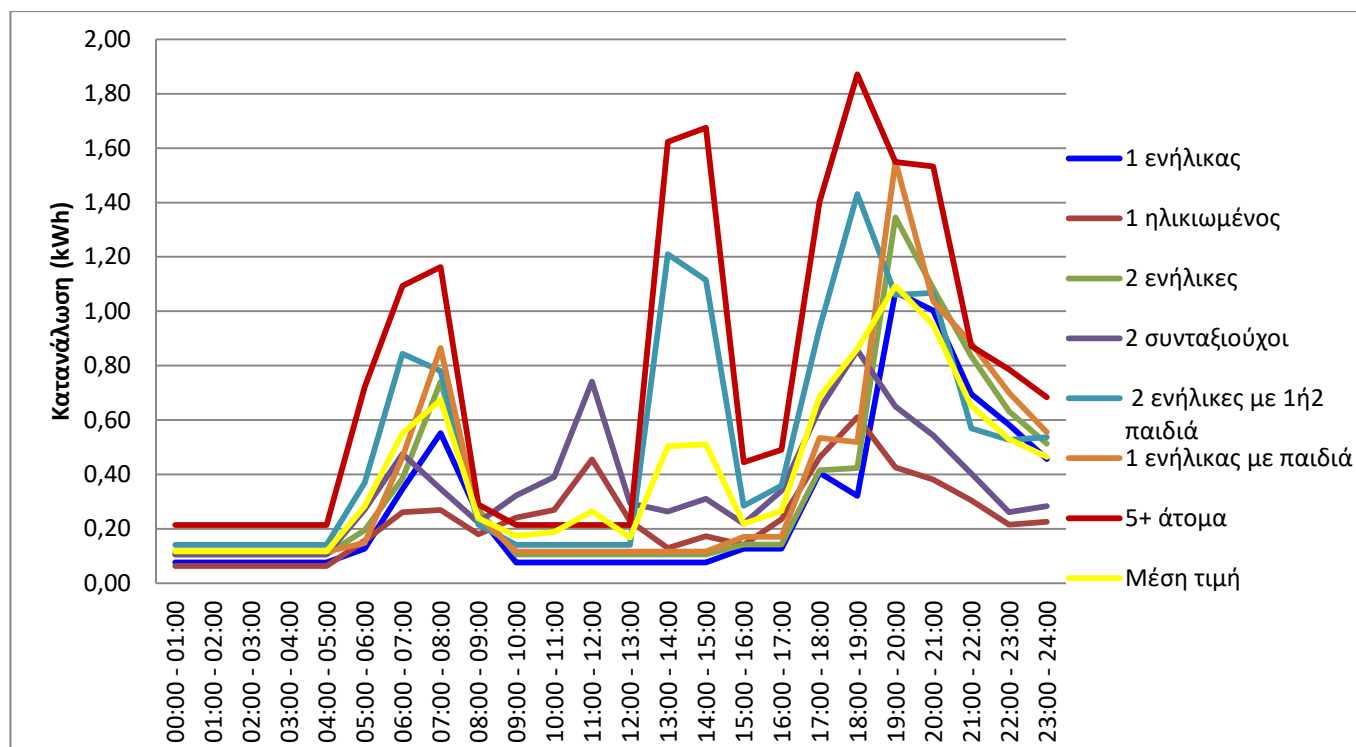
5.6 Αποτελέσματα

5.6.1 Αποτελέσματα ανά τύπο νοικοκυριού

Ένα πολυπληθές νοικοκυριό, όπως θα μπορούσαμε και εξ αρχής να υποθέσουμε, καταναλώνει μέσα στην μέρα την περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από κάθε άλλο τύπο νοικοκυριού η οποία είναι περίπου 18kWh. Τη μικρότερη κατανάλωση έχουν τα νοικοκυριά που αποτελούνται από έναν συνταξιούχο με 5,75 kWh κατανάλωση κατά μέσο όρο τη μέρα. Το αποτέλεσμα αυτό μάλιστα συμβαδίζει και με τα στοιχεία τόσο της ΕΛΣΤΑΤ όσο και των υπόλοιπων ερευνών. Για τα υπόλοιπα νοικοκυριά έχουμε ότι αυτά με έναν εργαζόμενο καταναλώνουν 6,79kWh την ημέρα, με δύο εργαζόμενους 8,33kWh, με δύο συνταξιούχους 8,37kWh, με ένα ζευγάρι και παιδιά 12,6kWh περίπου και τέλος αυτά με ένα γονιό και παιδιά 9,1kWh.

Πίνακας 5-8 Ωριαία κατανάλωση κάθε τύπου νοικοκυριού

Τύπος νοικοκυριού	1 ενήλικας	1 ηλικιωμένος	2 ενήλικες	2 συνταξιούχοι	2 ενήλικες με 1ή2 παιδιά	1 ενήλικας με παιδιά	5+ άτομα	
00:00 - 01:00	0,08	0,06	0,11	0,11	0,14	0,12	0,22	kWh
01:00 - 02:00	0,08	0,06	0,11	0,11	0,14	0,12	0,22	kWh
02:00 - 03:00	0,08	0,06	0,11	0,11	0,14	0,12	0,22	kWh
03:00 - 04:00	0,08	0,06	0,11	0,11	0,14	0,12	0,22	kWh
04:00 - 05:00	0,08	0,06	0,11	0,11	0,14	0,12	0,22	kWh
05:00 - 06:00	0,13	0,17	0,18	0,25	0,39	0,24	0,61	kWh
06:00 - 07:00	0,28	0,29	0,37	0,50	0,86	0,41	1,31	kWh
07:00 - 08:00	0,57	0,26	0,78	0,42	0,75	0,69	1,09	kWh
08:00 - 09:00	0,23	0,18	0,28	0,22	0,22	0,26	0,29	kWh
09:00 - 10:00	0,08	0,23	0,11	0,33	0,14	0,12	0,22	kWh
10:00 - 11:00	0,08	0,26	0,11	0,40	0,14	0,12	0,22	kWh
11:00 - 12:00	0,08	0,46	0,11	0,69	0,14	0,12	0,22	kWh
12:00 - 13:00	0,08	0,23	0,11	0,36	0,14	0,12	0,22	kWh
13:00 - 14:00	0,08	0,15	0,11	0,21	1,16	0,12	1,73	kWh
14:00 - 15:00	0,08	0,19	0,11	0,29	1,20	0,12	1,58	kWh
15:00 - 16:00	0,13	0,13	0,14	0,21	0,26	0,17	0,39	kWh
16:00 - 17:00	0,13	0,25	0,14	0,34	0,38	0,17	0,43	kWh
17:00 - 18:00	0,41	0,46	0,53	0,68	0,96	0,49	1,30	kWh
18:00 - 19:00	0,37	0,62	0,45	0,86	1,36	0,45	2,00	kWh
19:00 - 20:00	1,04	0,42	1,25	0,62	1,10	1,49	1,61	kWh
20:00 - 21:00	0,91	0,40	1,06	0,53	1,08	1,22	1,44	kWh
21:00 - 22:00	0,74	0,31	0,84	0,40	0,56	0,98	0,82	kWh
22:00 - 23:00	0,57	0,22	0,60	0,26	0,53	0,67	0,74	kWh
23:00 - 24:00	0,44	0,23	0,54	0,28	0,55	0,57	0,77	kWh
Ημερήσια	6,79	5,75	8,33	8,37	12,63	9,10	18,06	kWh



Διάγραμμα 5-1 Ωριαία κατανάλωση κάθε τύπου νοικοκυριού

Η κατανάλωση και στους τρεις τύπους νοικοκυριών παρουσιάζει δύο αιχμές κατά τη διάρκεια της ημέρας, μια το πρωί, και μια το βράδυ. Η μικρότερη εμφανίζεται μετά το πρωινό ξύπνημα από τις 06:00 ως τις 08:00, ενώ η μεγαλύτερη από αυτές εμφανίζεται περίπου από τις 18:00 ως τις 21:00 όταν όλα τα νοικοκυριά είναι κατειλημμένα από τους ενοίκους τους οπότε και οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι αυξημένες. Για τα νοικοκυριά με συνταξιούχους που είναι κατειλημμένα καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούμε ότι η ημερήσια καμπύλη φορτίου είναι αρκετά πιο ομαλή διότι οι καταναλώσεις των συσκευών μοιράζονται μέσα στη μέρα ενώ παρατηρείται και μία επιπλέον αιχμή γύρω στις 12:00, όταν δηλαδή θα τεθούν σε λειτουργία οι συσκευές για το μαγείρεμα του μεσημεριανού φαγητού. Για τον ίδιο λόγο εμφανίζεται μια αντίστοιχη, αλλά πολύ μεγαλύτερη, αιχμή στα νοικοκυριά με ένα ζευγάρι και τα παιδιά του και στα πολυπληθή νοικοκυριά από τις 13:00 ως τις 15:00 όταν ένας από τους εργαζόμενους ενοίκους επιστρέφει σπίτι.

Πίνακας 5-9 Μέση ημερήσια και μέση και συνολική ετήσια κατανάλωση ανά τύπο νοικοκυριού

	Νοικοκυριά	Μέση Ημερήσια(kWh)	Μέση Ετήσια(kWh)	Συνολική Ετήσια(kWh)
1	1 εργαζόμενος	6,79	2.521	231.909
2	1 ηλικιωμένος	5,75	2.078	342.913
3	1 ζευγάρι χωρίς παιδιά	8,33	3.025	362.941
4	1 ζευγάρι ηλικιωμένων	8,37	3.045	353.235
5	1 γονιός με παιδι(α)	12,63	3.328	372.743
6	1 ζευγάρι με 1 ή 2 παιδιά	9,10	4.591	1.515.102
7	Πολυπληθής οικογένεια (5,4 άτομα μ.ο.)	18,06	6.617	430.095

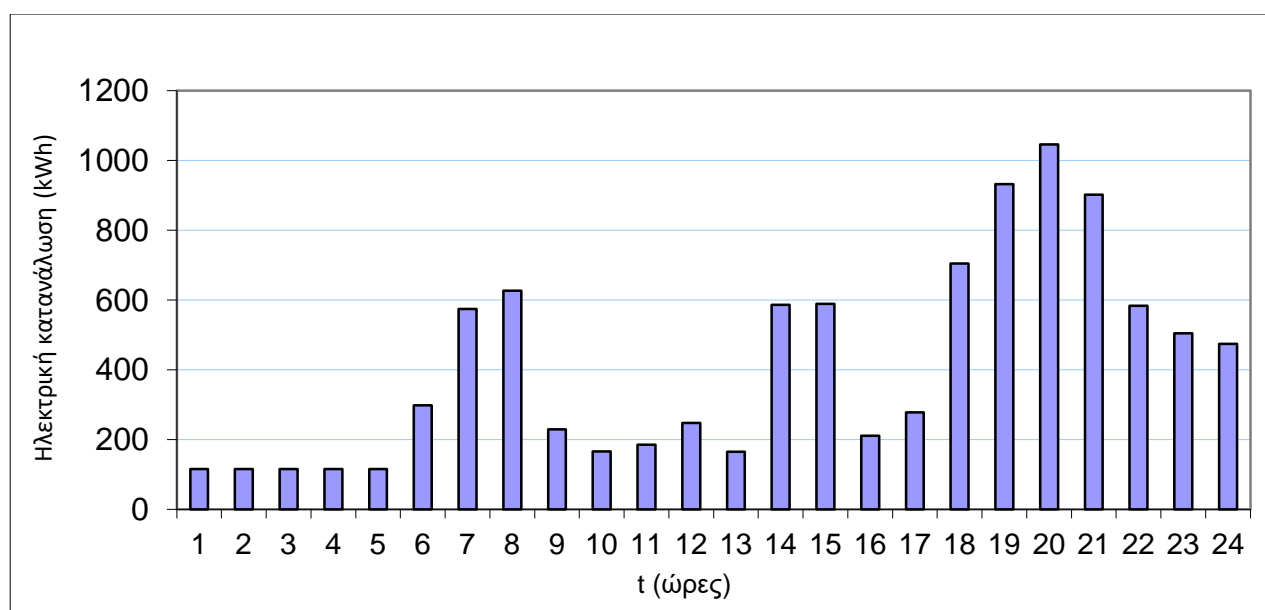
Σε ετήσια βάση τα νοικοκυριά με τη συνολική μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας είναι αυτά με ένα ζευγάρι και ένα ή δύο παιδιά, η οποία μάλιστα φτάνει το 42% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας της περιοχής που μελετάμε. Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί και τη μεγαλύτερη στην κοινότητα αφού όπως είχαμε υπολογίσει υπάρχουν 330 τέτοιου είδους νοικοκυριά. Ακολουθούν οι πολυπληθείς οικογένειες με κατανάλωση ανάλογη του 12% της συνολικής, οι οποίες αν και πολύ λιγότερες, έχουν πολύ μεγάλη μέση ετήσια κατανάλωση. Στις υπόλοιπες κατηγορίες καταναλώνεται περίπου το 10% στην κάθε μία εκτός από αυτήν με τα νοικοκυριά με ένα εργαζόμενο άτομο, που καταναλώνουν το 6% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση όλων των νοικοκυριών για την περιοχή είναι 10kWh και η ετήσια μέση κατανάλωση 3.609 kWh.

5.6.2 Συνολικά αποτελέσματα

Πίνακας 5-10 Συνολική ωριαία κατανάλωση περιοχής

Τύπος νοικοκυριού	1 ενήλικας	1 ηλικιωμένος	2 ενήλικες	2 συνταξιούχοι	2 ενήλικες με 1 ή 2 παιδιά	1 ενήλικας με παιδιά	5+ άτομα	Σύνολο
00:00 - 01:00	7,04	10,47	12,69	12,29	46,49	13,01	13,98	115,96
01:00 - 02:00	7,04	10,47	12,69	12,29	46,49	13,01	13,98	115,96
02:00 - 03:00	7,04	10,47	12,69	12,29	46,49	13,01	13,98	115,96
03:00 - 04:00	7,04	10,47	12,69	12,29	46,49	13,01	13,98	115,96
04:00 - 05:00	7,04	10,47	12,69	12,29	46,49	13,01	13,98	115,96
05:00 - 06:00	14,22	31,60	22,20	29,68	141,44	26,42	47,57	313,14
06:00 - 07:00	34,17	42,36	44,70	49,12	282,34	49,66	82,48	584,82
07:00 - 08:00	46,56	46,00	85,79	53,83	234,40	84,09	72,80	623,47
08:00 - 09:00	20,46	29,37	32,89	26,12	71,24	24,88	18,85	223,80
09:00 - 10:00	7,04	34,95	12,69	35,95	46,49	13,01	13,98	164,11
10:00 - 11:00	7,04	40,56	12,69	47,90	46,49	13,01	13,98	181,67
11:00 - 12:00	7,04	79,26	12,69	81,74	46,49	13,01	13,98	254,21
12:00 - 13:00	7,04	35,60	12,69	41,19	46,49	13,01	13,98	170,00
13:00 - 14:00	7,04	22,75	12,69	24,26	375,02	13,01	101,98	556,76
14:00 - 15:00	7,04	30,50	12,69	32,90	416,18	13,01	107,64	619,96
15:00 - 16:00	12,21	22,69	17,65	23,65	88,70	19,83	30,45	215,18
16:00 - 17:00	12,21	39,34	17,65	41,39	120,63	19,83	33,99	285,05
17:00 - 18:00	43,30	77,13	48,62	79,69	322,49	65,28	95,36	731,87
18:00 - 19:00	30,60	94,89	55,15	91,94	452,98	57,65	148,51	931,72
19:00 - 20:00	99,66	67,68	163,69	71,21	359,68	150,49	95,36	1007,77
20:00 - 21:00	83,20	69,12	134,63	68,84	344,48	127,41	84,89	912,57
21:00 - 22:00	65,12	52,03	94,62	45,60	188,84	96,22	51,21	593,64
22:00 - 23:00	51,27	35,45	80,44	30,04	178,38	75,13	48,18	498,88
23:00 - 24:00	44,43	38,15	62,69	32,16	183,37	59,36	45,13	465,29
Ημερήσια	634,79	941,78	1000,32	968,65	4178,55	999,41	1190,22	9913,73
Ποσοστό	0,06	0,09	0,10	0,10	0,42	0,10	0,12	1,00

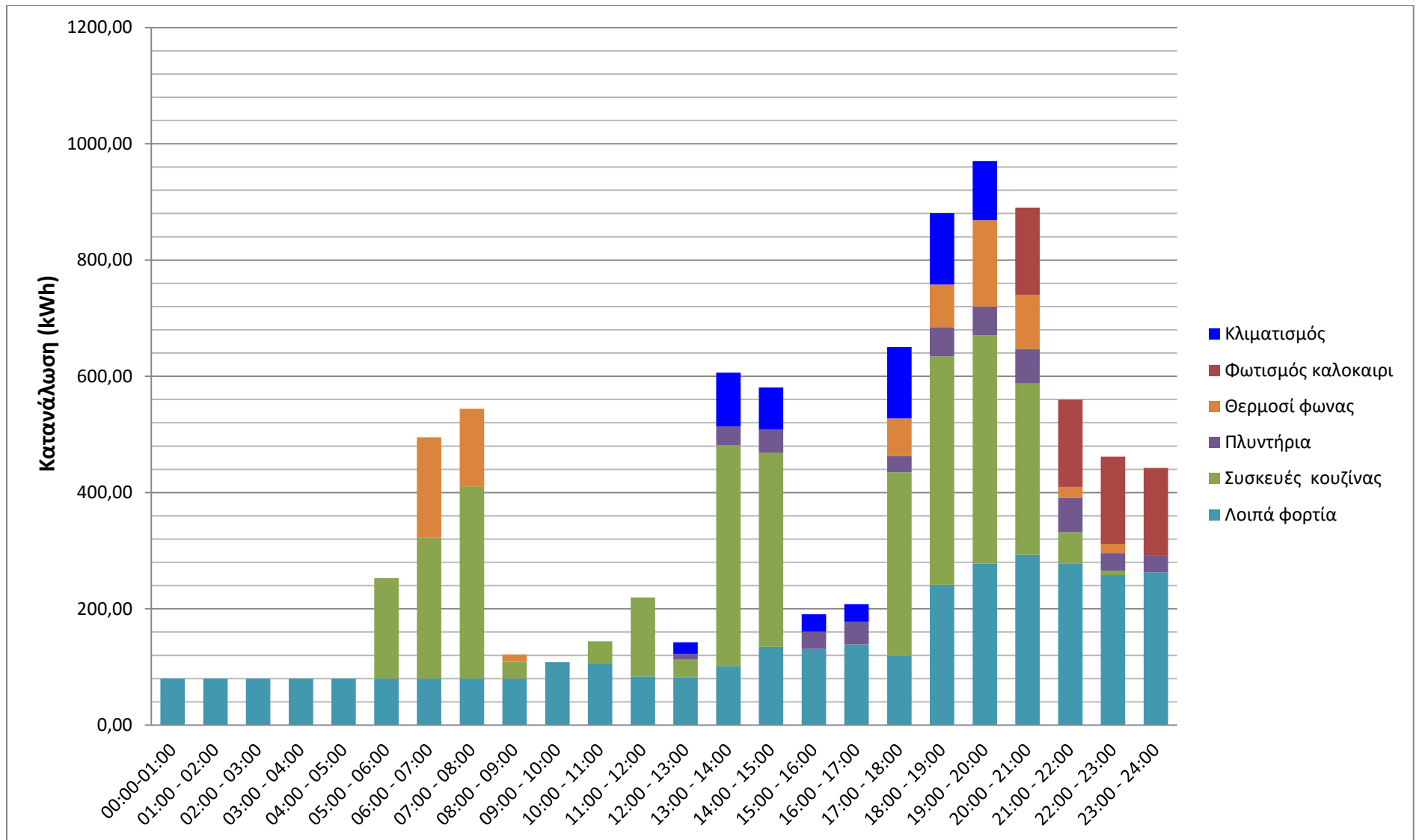


Διάγραμμα 5-2 Συνολική ωριαία κατανάλωση περιοχής

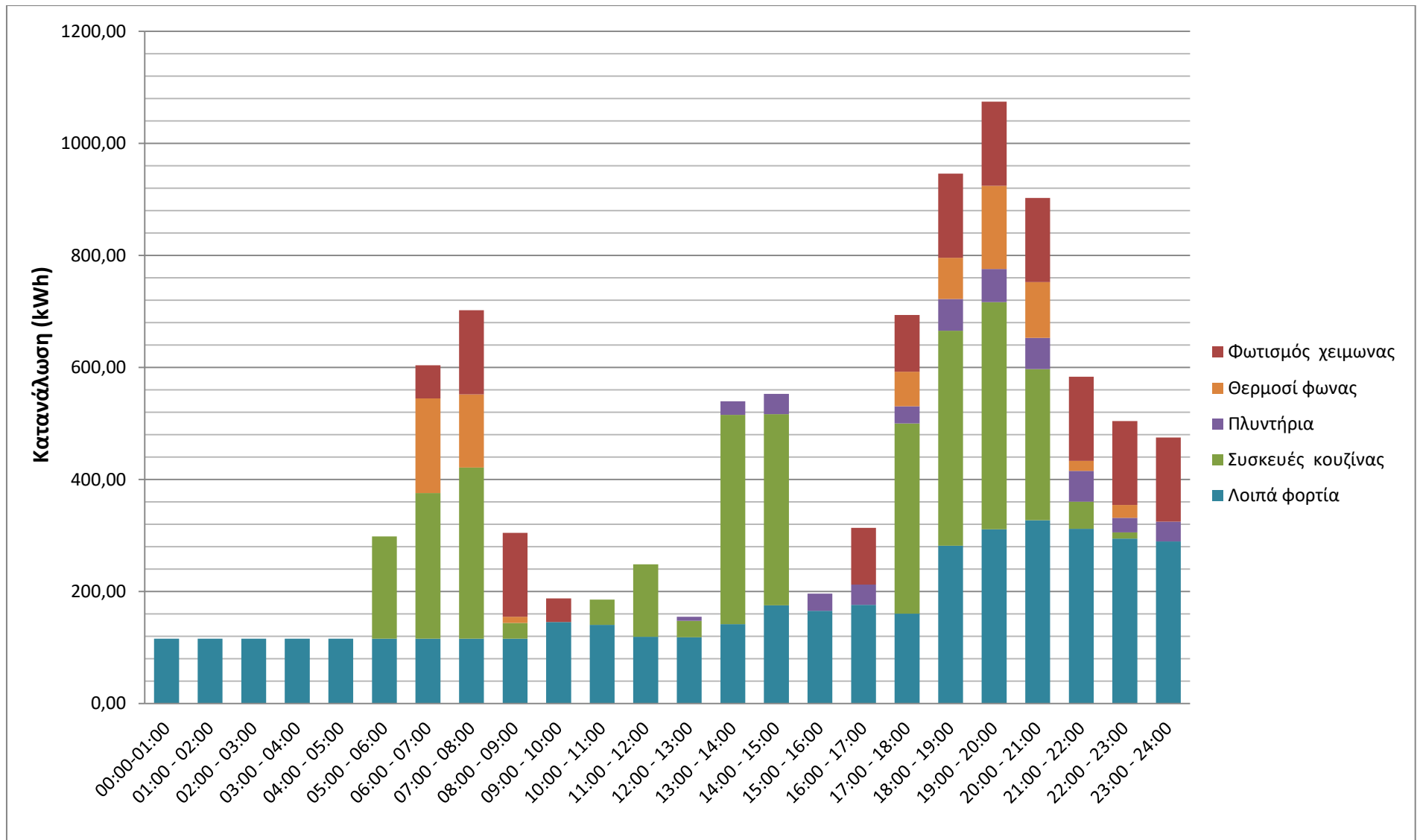
Η συνολική ημερήσια κατανάλωση της περιοχής υπολογίστηκε περίπου 9.914 kWh και η συνολική ετήσια κατανάλωση 3.609.203 kWh. Μέσα στη μέρα η κατανάλωση φτάνει τις 600 kWh από τις 06:00 ως τις 08:00 και από τη 13:00 μέχρι τις 15:00, ενώ μεταξύ 19:00 – 20:00 φτάνει πάνω από τις 1000 kWh που είναι και η μέγιστη αιχμή του ημερήσιου φορτίου. Με βάση τον Πίνακα 5-11 βλέπουμε ότι το 6% της ετήσιας ενέργειας καταναλώνεται στον κλιματισμό, το 4,5% για πλύσιμο ρούχων και πιάτων, το 32% για μαγείρεμα, το 9 % για φωτισμό, το 7,5% για ζεστό νερό χρήσης. Τα λοιπά φορτία αφορούν τις καταναλώσεις που οφείλονται στα ψυγεία, τις τηλεοράσεις τους υπολογιστές, τα modem, τις ηλεκτρικές σκούπες, τα ηλεκτρικά σίδερα και το φορτίο που καταναλώνεται όταν οι συσκευές είναι σε αναμονή. Παρατηρούμε πως η κατανάλωση ενέργειας για το μαγείρεμα είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη συσκευή στο σπίτι. Επίσης το χειμώνα καταναλώνεται πολύ περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό (σχεδόν 2,5 φορές) από ότι το καλοκαίρι, λόγω μεγάλης διαφοράς στις ώρες που υπάρχει φυσικός φωτισμός.

Πίνακας 5-11 Ωριαία κατανάλωση περιοχής ανά ηλεκτρική συσκευή

Ωριαία κατανάλωση (kWh)	Κλιματισμός	Φωτισμός καλοκαιρι	Συσκευές κουζίνας	Πλυντήρια	Λοιπά φορτία	Θερμοσί φωνας	Φωτισμός χειμωνας
00:00-01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,05	0,00	0,00
01:00 - 02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,05	0,00	0,00
02:00 - 03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,05	0,00	0,00
03:00 - 04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,05	0,00	0,00
04:00 - 05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,05	0,00	0,00
05:00 - 06:00	0,00	0,00	180,84	0,00	116,05	0,00	0,00
06:00 - 07:00	0,00	0,00	251,95	0,00	116,05	163,99	59,25
07:00 - 08:00	0,00	0,00	307,53	0,00	116,05	136,20	150,00
08:00 - 09:00	0,00	0,00	32,02	0,00	116,05	13,52	150,00
09:00 - 10:00	0,00	0,00	0,00	0,00	143,54	0,00	42,15
10:00 - 11:00	0,00	0,00	42,62	0,00	140,05	0,00	0,00
11:00 - 12:00	0,00	0,00	133,70	0,00	120,25	0,00	0,00
12:00 - 13:00	20,69	0,00	29,42	5,63	118,09	0,00	0,00
13:00 - 14:00	93,61	0,00	355,74	29,10	135,88	0,00	0,00
14:00 - 15:00	72,92	0,00	360,91	38,03	172,19	0,00	0,00
15:00 - 16:00	30,63	0,00	0,00	32,39	176,06	0,00	0,00
16:00 - 17:00	30,63	0,00	0,00	24,78	174,07	0,00	101,40
17:00 - 18:00	124,24	0,00	336,40	32,49	153,60	73,10	101,40
18:00 - 19:00	124,24	0,00	381,50	59,41	279,71	73,80	150,00
19:00 - 20:00	102,57	0,00	391,47	53,28	320,71	144,06	150,00
20:00 - 21:00	0,00	150,00	273,61	55,52	330,92	99,50	150,00
21:00 - 22:00	0,00	150,00	52,58	62,23	317,30	17,23	150,00
22:00 - 23:00	0,00	150,00	14,48	28,87	285,75	17,61	150,00
23:00 - 24:00	0,00	150,00	0,00	28,34	290,06	0,00	150,00
Σύνολο	599,52	600,00	3144,75	450,08	4202,68	739,01	1504,20



Διάγραμμα 5-3 Ωριαία κατανάλωση της περιοχής το καλοκαίρι



Διάγραμμα 5-4 Ωριαία κατανάλωση της περιοχής το χειμώνα

6. Συμπεράσματα

Με βάση τη μεθοδολογία που εφαρμόσαμε και αναλύσαμε στο κεφάλαιο 5, υπολογίσαμε ότι η μέση ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενός νοικοκυριού στην Ελλάδα είναι 3.609 kWh. Από τις προηγούμενες έρευνες που έχουν γίνει στον ελληνικό χώρο έχει υπολογιστεί ότι η μέση ηλεκτρική κατανάλωση ανά έτος είναι 3.750 kWh με βάση την ΕΛΣΤΑΤ, 4.585 kWh με βάση τα στοιχεία του Eureco project και 2.525 kWh σύμφωνα με αυτά του Remodece project. Οι αποκλίσεις ωστόσο των ευρωπαϊκών αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της παρούσας εργασίας μπορούν να αιτιολογηθούν. Οι μετρήσεις του Eureco project αφορούσαν ένα μικρό, μη αντιπροσωπευτικό δείγμα των νοικοκυριών στην Ελλάδα, του οποίου ο μέσος όρος των ατόμων ανά νοικοκυριό υπολογίστηκε ότι είναι 3,04 άτομα σε αντίθεση με τα 2,6 που υπολογίστηκαν στην παρούσα μελέτη με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ. Στα φορτία που μετρήθηκαν για το Remodece project από την άλλη, δεν συμπεριλαμβάνονταν οι καταναλώσεις των ηλεκτρικών θερμοσίφωνων (περίπου 739 kWh όπως φαίνονται στον Πίνακα 5-11). Επιπλέον, πρέπει να επισημάνουμε ότι η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει αλλάξει αρκετά τα τελευταία χρόνια λόγω των αυξήσεων στην τιμή του ρεύματος αλλά και της γενικότερης οικονομικής κρίσης στη χώρα. Επομένως είναι πολύ πιθανόν οι δύο έρευνες λόγω της παλαιότητας τους (Remodece 2006-2008, Eureco 2000 – 2002) να περιέχουν ανακριβή στοιχεία που δεν ανταποκρίνονται στα σημερινά δεδομένα.

Πρέπει να επισημάνουμε ωστόσο ότι στους υπολογισμούς μας χρησιμοποιήσαμε μόνο τις καταναλώσεις των συσκευών για τις οποίες γνωρίζαμε το ποσοστό κατοχής τους στα ελληνικά νοικοκυριά και ως εκ τούτου έχουν παραληφθεί καταναλώσεις ορισμένων ηλεκτρικών συσκευών ενός νοικοκυριού. Παράλληλα, τα σενάρια για το πως καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια μέσα στη μέρα ανάλογα τον τύπο του νοικοκυριού βασίζονται σε υποθέσεις και σε έρευνες που δεν αφορούν τον ελληνικό χώρο και δεν υπάρχει δυνατότητα ακριβούς επαλήθευσής τους. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε, οι υπολογισμοί και οι υποθέσεις που εφαρμόσαμε στην μελέτη αυτή δίνουν αποτελέσματα αρκετά κοντά στα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ. Μια σύγκριση ανάμεσα στον Πίνακα 5-11 και το Διάγραμμα 1-5 μας δείχνει ότι και στη μελέτη μας όπως και στις μετρήσεις της ΕΛΣΤΑΤ το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ένα νοικοκυριό είναι για το μαγείρεμα ενώ και οι καταναλώσεις των υπόλοιπων συσκευών είναι παρόμοιες.

Επιπλέον, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης με τα αποτελέσματα των μετρήσεων της κατανάλωσης ρεύματος στο Δήμο Αμαρουσίου μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η προσομοίωση ήταν αρκετά ρεαλιστική. Η μέση ημερήσια κατανάλωση υπολογίστηκε στις 10 kWh και η αντίστοιχη που προέκυψε από τις μετρήσεις ήταν 11 kWh. Επίσης, οι τρεις αιχμές μέσα στη μέρα, μία το πρωί, μία το μεσημέρι και μία το βράδυ, που εμφανίζει το φορτίο στα αποτελέσματα

μας διαπιστώνονται και στα πραγματικά δεδομένα. Οι υποθέσεις λοιπόν που κάναμε για τον τρόπο χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών ήταν αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε ετήσια βάση (4.005 kWh ετησίως ανά νοικοκυριό) αν και έχουν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας λόγω του ότι λήφθηκαν σε μία συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου (φθινόπωρο) και επομένως δεν περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά της κατανάλωσης τα οποία οφείλονται στις υπόλοιπες εποχές του χρόνου είναι πολύ κοντά και στους υπολογισμούς μας αλλά και στα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ.

Γενικά, ο υπολογισμός των καταναλώσεων ανά ώρα μας δίνει μια καλή εικόνα για το πως χρησιμοποιείται η ενέργεια μέσα στη μέρα. Μια μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να εστιάσει στην εύρεση τρόπων μείωσης των καταναλώσεων και ειδικότερα τις ώρες αιχμής, όπως η αντικατάσταση των συσκευών από αντίστοιχες υψηλότερης ενεργειακής κλάσης, η χρήση φωτοβολταϊκών ή η μετακίνηση των φορτίων σε άλλες ώρες που το νοικοκυριό δεν καταναλώνει μεγάλα ποσά ενέργειας.

Παράρτημα

A) Η RANDBETWEENplus (bottom; top; Lots; Horizontal) δέχεται τρία υποχρεωτικά ορίσματα. Τα bottom και top είναι οι αριθμοί που καθορίζουν το διάστημα μέσα στο οποίο αναζητούμε μοναδικούς τυχαίους ακέραιους αριθμούς, Lots είναι το πλήθος των αριθμών που αναζητούμε και Horizontal είναι ένα προαιρετικό όρισμα που παίρνει τις τιμές TRUE ή FALSE. Αν οριστεί το όρισμα σε FALSE, η συνάρτηση επιστρέφει τις τιμές σε στήλη, κάθετα. Για παράδειγμα προκειμένου να βρούμε ποια σπίτια χρησιμοποιούν ένα από τα 332 πλυντήρια πιάτων της περιοχής ορίζουμε τη συνάρτηση RANDBETWEENplus(1;1000;332;FALSE) η οποία θα μας δώσει 332 αριθμούς μεταξύ του 1 και του 1000 καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο νοικοκυριό. Η συγκεκριμένη συνάρτηση δεν περιλαμβάνεται στον κατάλογο συναρτήσεων που είναι αποθηκευμένες ήδη στο excel. Σε αντίθεση με την υπάρχουσα RANDBETWEEN, αυτή δίνει μοναδικούς ακέραιους αριθμούς και αποφεύγεται έτσι η δημιουργία διπλότυπων δεδομένων. Επιπλέον ορίζοντάς την ως πίνακα, η συνάρτηση δεν επαναυπολογίζεται αυτόματα σε κάθε μεταβολή του φύλλου εργασίας και τα αποτελέσματα της παραμένουν σταθερά για τους μετέπειτα υπολογισμούς. Για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συγκεκριμένη συνάρτηση στο Excel, τη γράψαμε σε γλώσσα Visual Basic και κατόπιν εισάγαμε τον κώδικά της στο πρόγραμμα.

Ο κώδικας της RANDBETWEENplus :

```
Function RANDBETWEENplus(bottom As Double, top As Double, Lots As Integer, _  
Optional horizontal As Boolean = True, Optional exception As Variant) As  
Variant
```

```
Application.Volatile False  
nonVolatileRand = VBA.Rnd
```

```
Dim RBWcoll As New Collection  
Dim EXCcoll As New Collection  
Dim RBWarr() As Variant  
Dim num As Double  
Dim exStr As String  
Dim item As Variant  
Dim i As Integer
```

```
If bottom - Int(bottom) > 0 Then bottom = Int(bottom) + 1  
top = Int(top)
```

```
If Not IsMissing(exception) Then  
If VBA.TypeName(exception) = "Double" Then exception = Array(exception)  
For Each item In exception  
If IsNumeric(item) Then  
If Int(item) = item And item < top + 1 And item > bottom - 1 Then  
On Error Resume Next  
EXCcoll.Add item, CStr(item)  
On Error GoTo 0  
End If  
End If
```



```

Next
End If

Select Case True
  Case bottom >= top, Lots > top + 1 - bottom - EXCcoll.Count, Lots <= 0
    RANDBETWEENplus = CVErr(xlErrValue)
    GoTo telos
End Select

Do While RBWcoll.Count < Lots
  num = Int((top - bottom + 1) * Rnd + bottom)
  On Error Resume Next
  RBWcoll.Add num, CStr(num)
  For i = 1 To EXCcoll.Count
    exStr = EXCcoll(i)
    RBWcoll.Remove (exStr)
  Next
  On Error GoTo 0
Loop

ReDim RBWarr(1 To Lots)
For i = 1 To Lots
  RBWarr(i) = RBWcoll(i)
Next i
RANDBETWEENplus = RBWarr()
If horizontal = False Then RANDBETWEENplus =
Application.Transpose(RBWarr())
telos:
End Function

```

B) Η συνάρτηση VLOOKUP η οποία εντοπίζει στοιχεία σε έναν πίνακα και τα εμφανίζει σε μια συγκεκριμένη θέση. Η VLOOKUP (lookup_value;table_array;col_index_num;) δέχεται τρία ορίσματα. Το lookup_value ορίζει την τιμή που είναι προς αναζήτηση, το table_array καθορίζει τον πίνακα στον οποίο θα αναζητηθεί το όρισμα lookup_value και το col_index_num είναι ο αριθμός της στήλης (ξεκινώντας με το 1 για την πιο αριστερή στήλη) του ορίσματος table_array..

Βιβλιογραφία

1. Τζανακάκη, Ε. and Ε. Μπάτρα, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε Οικιστικά Σύνολα*. 2002, ΚΑΠΕ: Αθήνα
2. Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout, *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 394-398.
3. Dascalaki, E., et al. *Energy certification of Hellenic buildings*. in *Proc. 4th int. conference on renewable energy sources & energy efficiency e New challenges, 199e207, Nicosia, Cyprus*. 2013.
4. Μαυρίδης, Γ. and Χ. Μιχαηλίδης, *Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων σύμφωνα με την οδηγία 2002/91/ΕΚ*. 2002, Α.Π.Θ.
5. Droutsa, K.G., et al., *Mapping the energy performance of hellenic residential buildings from EPC (energy performance certificate) data*. Energy, 2016. **98**: p. 284-295.
6. Αργυροπούλου, Α., *Κτίριο Ενέργεια, Θερμομόνωση, Περιβάλλον και η αλληλεξάρτηση μεταξύ τους*. 2009, Πολυτεχνείο Κρήτης.
7. ΣΩΜΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Δ., ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ and Β.Ν.Ε. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ, *Πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης κτιρίων: Στατιστική ανάλυση για το έτος 2015*. Μάρτιος 2016, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
8. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ, *Δελτίο τύπου: Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011-2012*. Οκτώβριος 2013, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ.
9. Σακκά, Α., *Ολιστική ενεργειακή θεώρηση κτιρίων*. 2014, Πανεπιστήμιο Πατρών.
10. Οδηγία 2010/31/ΕΕ. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
11. Οδηγία 2009/28/ΕΚ. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
12. Οδηγία 2012/27/ΕΕ. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
13. Φ.Ε.Κ. 89Α/19-5-2008, (Νόμος 3661/2008) *Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις*.
14. Φ.Ε.Κ. 407/9-4-2010, *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων-Κ.Εν.Α.Κ.*
15. Στύλλος, Σ.Β., *Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και εφαρμογή*. 2012, Ε.Μ.Π.
16. Υπηρεσία ενέργειας, *Οδηγός Θερμομόνωσης Κτιρίων, 2η έκδοση*. 2010, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού.
17. Φ.Ε.Κ. 85Α/4-6-2010, (Νόμος 3851/2010) *Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις*.
18. Σερίτογλου, Γ., *Μελέτη ενεργειακής συμπεριφοράς διπλοκατοικίας με χρήση δυναμικού και στατικού υπολογιστικού μοντέλου*. 2012, Α.Π.Θ.
19. Αναγνωστόπουλος, Α.Π., *Συμβολή του λογισμικού "EnergyPlus" στον βιοκλιματικό σχεδιασμό μικρής κατοικίας*. 2012, Ε.Μ.Π.
20. Προεστάκης, Ε., *Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου και αξιολόγηση σεναρίων μείωσης των ενεργειακών του απαιτήσεων με το λογισμικό EnergyPlus*. 2009, Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
21. Documentation, E., *Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations*. 2015, US Department of Energy.
22. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, *TOTEE 20701-1/2010 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ*. Αθήνα.
23. Swan, L.G. and V.I. Ugursal, *Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. **13**(8): p. 1819-1835.
24. Kavgić, M., et al., *A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector*. Building and Environment, 2010. **45**(7): p. 1683-1697.
25. Caputo, P., C. Gaia, and V. Zanon, *A methodology for defining electricity demand in energy simulations referred to the Italian context*. Energies, 2013. **6**(12): p. 6274-6292.
26. Ithal, A., et al., *The generation of electric load profiles in the UK domestic buildings through statistical predictions*. Journal of Energy and Power Engineering, 2012. **6**(2).

27. Mansouri, I., M. Newborough, and D. Probert, *Energy consumption in UK households: Impact of domestic electrical appliances*. Applied Energy, 1996. **54**(3): p. 211-285.
28. Yao, R. and K. Steemers, *A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK*. Energy and Buildings, 2005. **37**(6): p. 663-671.
29. Paatero, J.V. and P.D. Lund, *A model for generating household electricity load profiles*. International journal of energy research, 2006. **30**(5): p. 273-290.
30. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ, *Απογραφή πληθυσμού - κατοικιών 2011*. Νοέμβριος 2014, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ.
31. Grinden, B. and N. Feilberg, *Analysis of monitoring campaign in Europe*. REMODECE Report D, 2008. **10**: p. 2008.
32. De Almeida, A., et al. *Residential monitoring to decrease energy use and carbon emissions in Europe*. in *International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference*. 2006. Citeseer.
33. Sidler, O., B. Lebot, and L. Pagliano. *Electricity demand in European households: Major findings from an extensive end-use metering project in four individual countries*. in *American Council for Energy-Efficient Economy*. 2002.
34. Sidler, O., *EURECO project: End-use metering campaign in 400 households of the European Community. Assessment of the Potential Electricity Savings*. 2002, Commission of the European Communities.
35. Zimmermann, J.-P., et al., *Household Electricity Survey: A study of domestic electrical product usage*. Intertek Testing & Certification Ltd, 2012.

Ιστοσελίδες

<http://ec.europa.eu/eurostat/>

<http://www.statistics.gr/>

<http://bigladdersoftware.com/>

<https://energyplus.net/>

<http://www.cres.gr/pepesecc/index.html>

<http://www.ypeka.gr/>

https://www.energycodes.gov/development/residential/iecc_models

