



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας»

Γαϊτανάρου Αφροδίτη

Επιβλέπων:

Φλάμος Αλέξανδρος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ.

Πειραιάς, Ιανουάριος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας»

Γαϊτανάρου Αφροδίτη

Επιβλέπων:

Φλάμος Αλέξανδρος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8^η Ιανουαρίου 2021

.....
Φλάμος Αλέξανδρος
Αν. Καθηγητής ΠΑΠΕΙ

.....
Ειρηνάκης Παύλος
Επικ. Καθηγητής ΠΑΠΕΙ

.....
Κωστόπουλος Κωνσταντίνος
Αν. Καθηγητής ΠΑΠΕΙ

Πειραιάς, Ιανουάριος 2021

.....
Γαϊτανάρου Αφροδίτη

Διπλωματούχος Χημικός Μηχανικός Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

© Γαϊτανάρου Αφροδίτη, Σταύρακας Βασίλειος, Τζανή Δήμητρα, Φλάμος Αλέξανδρος,
2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και σε καμία περίπτωση δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον Μάρτιο μέχρι τον Δεκέμβριο του 2020 στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών (ΠΜΣ) του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, με κατεύθυνση «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβάλλοντος».

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση των ενεργειακών αναγκών των νοικοκυριών της Ελλάδας, ως συνεισφορά στην κατεύθυνση εξισορρόπησης της ζήτησης ενέργειας με την παραγωγή από περιβαλλοντικά φιλικές μορφές ενέργειας.

Καταρχάς, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα Δρ. Αλέξανδρο Φλάμο, Αναπληρωτή Καθηγητή Πανεπιστημίου Πειραιώς (Πα.Πει.), για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, καθώς και για την άψογη συνεργασία και την καθοδήγησή του σε κάθε βήμα εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ θερμά την κα Δήμητρα Τζανή και τον κο Βασίλη Σταύρακα, επιβλέποντες Υποψήφιους Διδάκτορες (ΥΔ) Πα.Πει., για το κλίμα συνεργασίας, την καθοδήγηση και την καθοριστική συμβολή τους, κάτω από τις πρωτόγνωρα δυσχερείς συνθήκες που χαρακτήριζαν το χρονικό διάστημα εκπόνησης της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου, τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου για τη συνεχή στήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφεραν, καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Πειραιάς, Ιανουάριος 2021

Αφροδίτη Γαϊτανάρου

Περιεχόμενα

Περίληψη	11
Abstract.....	12
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	13
1.1. Αντικείμενο και σκοπός	13
1.2. Καινοτομία της παρούσας διπλωματικής εργασίας.....	14
1.3. Φάσεις υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.....	15
1.4. Δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας	17
Κεφάλαιο 2. Κλιματική αλλαγή, ενεργειακή μετάβαση και ο ρόλος της ενεργειακής ζήτησης	18
2.1. Η Κλιματική αλλαγή	18
2.2. Ενεργειακή μετάβαση και στόχοι.....	20
2.3. Η ενεργειακή μετάβαση στην Ελλάδα.....	21
2.3.1. Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα	21
2.3.2. Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050	22
2.4. Η σημασία της μοντελοποίησης της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα	25
Κεφάλαιο 3. Ανάπτυξη υποστηρικτικού πλαισίου για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα.....	30
Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου στον οικιακό τομέα της Ελλάδας.....	35
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και Συζήτηση	46
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα	53
Βιβλιογραφία	55
Παράρτημα	58

Σχήματα

Σχήμα 1. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας	19
Σχήμα 2. Δείκτες ΑΠΕ ανά τομέα στα εναλλακτικά σενάρια ΜΣ50.....	24
Σχήμα 3. Δείκτης ενεργειακής έντασης του οικιακού τομέα ως προς την κατανάλωση στα εναλλακτικά σενάρια ΜΣ50.....	25
Σχήμα 4. Κατάσταση (ενεργός/μη-ενεργός) 50 χρηστών εντός μιας ημέρας από την Έρευνα Χρήσης Χρόνου του Ηνωμένου Βασιλείου	26
Σχήμα 5. Τα δομικά στοιχεία και η αρχιτεκτονική του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM»	31
Σχήμα 6. Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.).....	36
Σχήμα 7. Κατανομή χρόνου (%) που καταναλώνουν οι άντρες/γυναίκες κατά μέσο όρο ανά δραστηριότητα στο σύνολο του έτους	40
Σχήμα 8. Χρήση χρόνου (σε ώρες ανά ημέρα) εργαζομένων ηλικίας μεταξύ 20-74 ετών τις καθημερινές (εργάσιμες) και τα Σαββατοκύριακα.....	42

Σχήμα 9. Ετήσια καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα της Ελλάδας (Εθνικό επίπεδο)	46
Σχήμα 10. Ετήσια καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα της Ελλάδας (Εθνικό επίπεδο)	46
Σχήμα 11. Καμπύλες ετήσιας θερμικής ενέργειας ανά κλιματική ζώνη για τη διάρκεια ενός έτους ..	48
Σχήμα 12. Καμπύλες ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας ανά κλιματική ζώνη για τη διάρκεια ενός έτους	49
Σχήμα 13. Θερμική ενέργεια που απαιτείται ετησίως ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο....	50
Σχήμα 14. Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται ετησίως ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο .	50
Σχήμα 15. Καμπύλες θερμικής ενέργειας Σεναρίων 1 & 26	51
Σχήμα 16. Καμπύλες ηλεκτρικής ενέργειας Σεναρίων 1 & 26	52

Πίνακες

Πίνακας 1. Τα θερμοκρασιακά εύρη θερμικής άνεσης βάσει του δείκτη «PMV»	34
Πίνακας 2. Οι νομοί της Ελλάδας ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.)	36
Πίνακας 3. Κατοικίες Ελλάδας ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής.....	38
Πίνακας 4. Σενάρια προσομοίωσης: Τύποι κατοικιών ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής και με βάση τον αριθμό μελών ανά νοικοκυριό	39
Πίνακας 5. Χρόνος εντός και εντός οικίας ανά ηλικιακή ομάδα	41
Πίνακας 6. Κατανομή χρόνου (σε ώρες και λεπτά) πληθυσμού ηλικίας μεταξύ 20-74 ετών, ανάλογα με την εργασιακή – οικονομική τους κατάσταση.....	41
Πίνακας 7. Ονομαστική ισχύς και βαθμός κυριότητας ανά ηλεκτρική συσκευή	43
Πίνακας 8. Κατανομή ατομικού ημερήσιου χρόνου σε ενεργοβόρες δραστηριότητες αναφορικά με το φύλο	44
Πίνακας 9. Συστήματα παραγωγής θερμότητας ανά τύπο κατοικίας.....	44

Περίληψη

Η αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα και η διαχείριση της συνολικής ζήτησης ενέργειας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για την ενεργειακή μετάβαση που αναδιαμορφώνει ουσιαστικά το ηλεκτρικό σύστημα. Μια σημαντική πρόκληση στην πορεία μας τέτοιας μετάβασης είναι η ενσωμάτωση και απορρόφηση αυξημένων ποσοτήτων ενέργειας προερχόμενη από στοχαστικές, ανανεώσιμες πηγές, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια και η αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος. Για το σκοπό αυτό, η εισαγωγή τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης ζήτησης αποτελεί βασική λύση. Για να εκτιμήσουμε τον αντίκτυπο της εφαρμογής τέτοιων τεχνολογιών, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε πλήρως τις πολλαπλές πτυχές τους σε ενεργειακό επίπεδο και οποιωνδήποτε άλλων απαιτήσεων χρήσης ενέργειας στον οικιακό τομέα. Αυτή η ολιστική προσέγγιση είναι απαραίτητη για να συλλάβουμε πλήρως τις επιπτώσεις της σύμπτωσης των ενεργειακών απαιτήσεων σε διάφορες χρήσεις εντός μιας οικίας, αλλά και στο σύνολό τους. Ως αποτέλεσμα, η μοντελοποίηση της ζήτησης ενέργειας και η κατανόηση των προφίλ κατανάλωσης στον οικιακό τομέα είναι ζωτικής σημασίας για την ποσοτικοποίηση των πλεονεκτημάτων των τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης ζήτησης, ειδικά με γνώμονα τους εθνικούς στόχους, στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών προσπαθειών για επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Υπό αυτό το πρίσμα, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μοντελοποιήσει την ενεργειακή ζήτηση στον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο υψηλής ευκρίνειας «DREEM» (Dynamic high-Resolution demand-side Management), που παραμετροποιείται σύμφωνα με τα διαθέσιμα ερευνητικά και δημογραφικά δεδομένα για τον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα δείχνουν την ικανότητα του μοντέλου να απεικονίζει με ακρίβεια τα προφίλ ζήτησης για ελληνικές κατοικίες, επισημαίνοντας τις κορυφές φορτίου, για τις τέσσερις διαφορετικές κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές καιρικές συνθήκες και/ή τα διαφορετικά προφίλ συμπεριφοράς και πληρότητας των κατοίκων.

Συνολικά, η παρούσα διατριβή επιδιώκει να αποδώσει μια πρώτη εικόνα της μοντελοποίησης της ενεργειακής ζήτησης που είναι απαραίτητη σε μια σειρά προσπαθειών για τον ποσοτικό προσδιορισμό του αντίκτυπου εφαρμογής διαφορετικών μέτρων ενεργειακής απόδοσης με σκοπό την επίτευξη των αντίστοιχων εθνικών στόχων έως το 2030, παρέχοντας παράλληλα συγκεκριμένες προτάσεις και χρήσιμες πληροφορίες σε ενδιαφερόμενα μέρη από το χώρο σχεδιασμού και χάραξης πολιτικών.

Abstract

Increasing shares of renewable energy sources and managing total demand are considered pivotal for energy transitions that fundamentally re-envisage the electricity system. A challenge of such transitions is integrating and absorbing increased shares of non-dispatchable renewable energy sources, without jeopardizing the security and the reliability of the electricity system. To this end, key solutions include the introduction of demand-side management technologies and practices. To appreciate the impact of adoption of such technologies it is necessary to fully understand the multi-energy aspects of such technologies, and indeed of any other domestic energy service demands. Such holistic treatment is necessary to fully capture the effects of coincidence in various energy service demands within and across dwellings. As a result, modeling of energy demand and understanding consumption patterns in the residential sector are of crucial importance to quantify the benefits of demand-side management technologies and practices, especially towards the achievement of national targets, in the context of European efforts to achieve climate neutrality by 2050.

Building on the latter, the aim of this diploma thesis is to model the energy demand in the residential sector in Greece. To do so, the Dynamic high-Resolution dEmand-side Management (DREEM) model is used, parameterized according to existing survey and census data for the Greek residential sector. Results demonstrate the model's capacity to accurately represent demand patterns for Greek dwellings, highlighting load peaks, for the four different climate zones in Greece, attributed to the different weather boundary conditions and/or different occupancy profiles.

Overall, this thesis seeks to provide a first overview on the energy demand modeling necessary, in a series of efforts to quantify the impact of different energy efficiency measures towards the achievement of the respective national targets by 2030, also providing end-users from the field of policy and practice with specific recommendations and useful insights.

Key-words: buildings; residential sector; domestic energy use; energy demand; thermal demand; electricity demand; demand-side management; energy system modeling; High resolution building modeling; energy demand modeling; demand-side management modeling; Greece

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο και σκοπός

Η κλιματική αλλαγή έχει σημαντικά και εμφανή αποτελέσματα στην άνοδο της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας και σοβαρό αντίκτυπο στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, των υδάτινων πόρων, της δημόσιας υγείας, των γεωργικών καλλιεργειών κ.λπ. Οι δράσεις για την καταπολέμηση της απαιτούν βιώσιμα και προσαρμόσιμα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε εθνική κλίμακα. Ενδεικτικές τέτοιες δράσεις αποτελούν η προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή, η χρήση περιβαλλοντικά φιλικότερων και πιο «πράσινων» καυσίμων στις μεταφορές, αλλά και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συνολικά.

Η παραγωγή ενέργειας με συμβατές και φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους αποτελεί μια ικανοποιητική λύση, ωστόσο δεν αρκεί για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

Σημαντικό ρόλο αναμένεται να διαδραματίσει η ενεργειακή εξοικονόμηση, είτε πρόκειται για πιο αποδοτικούς κινητήρες στις μεταφορές, είτε πρόκειται για πιο αποδοτικές ενεργειακά κατοικίες, οι οποίες είναι και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ως μια από τις ευαισθητοποιημένες οικονομίες στο κομμάτι του περιβάλλοντος, πρωτοστατεί σε αυτό τον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής, υιοθετώντας πληθώρα δράσεων και πολιτικών σε όλους τους τομείς του ενεργειακού συστήματος. Σημαντικός τομέας εστίασης για τους μεσοπρόθεσμους στόχους του 2030 είναι και αυτός της ενεργειακής εξοικονόμησης και βελτίωσης της απόδοσης του κτηριακού της δυναμικού.

Σε αυτό το πλαίσιο, τεχνολογίες και πρακτικές διαχείρισης της ζήτησης σε συνδυασμό με υποδομές αποκεντρωμένης παραγωγής αναμένεται να διαδραματίσουν καίριο ρόλο την ερχόμενη δεκαετία. Παρόλα αυτά, για να είναι εφικτή η τεχνοοικονομική αξιολόγηση αυτών των τεχνολογιών και τεχνικών, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της προγενέστερης ενεργειακής ζήτησης, ώστε να ποσοτικοποιηθεί η δυνητική εξοικονόμηση που μπορούν να επιτύχουν, αλλά και τα πρόσθετα οφέλη για τους καταναλωτές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι ανάγκες του οικιακού τομέα της Ελλάδας σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση του υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης «DREEM». Στόχος είναι να προκύψουν οι καμπύλες της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας για τα νοικοκυριά της Ελλάδας, καθώς και να εντοπιστούν κορυφές στις αντίστοιχες καμπύλες, οι οποίες θα μπορούσαν να εξομαλυνθούν μέσω τεχνικών διαχείρισης της ζήτησης.

1.2. Καινοτομία της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Καινοτομία της παρούσας εργασίας αποτελεί η εφαρμογή ενός υπολογιστικού εργαλείου σαν το «DREEM» για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, το εργαλείο «DREEM» είναι υψηλής ανάλυσης, επιδέχεται μεγάλη λεπτομέρεια στην παραμετροποίηση του και εξάγει αξιόπιστα και αναλυτικά αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα, απαιτώντας χαμηλή υπολογιστική ισχύ. Η μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης αποτελεί σημαντική προϋπόθεση προκειμένου να τεθούν τα κατάλληλα θεμέλια για τη διαχείριση της ζήτησης και τους ενεργούς καταναλωτές, που θα συνεισφέρουν στην υπό εξέλιξη ενεργειακή μετάβαση.

1.3. Φάσεις υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε πέντε (5) βασικές φάσεις υλοποίησης, οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω:

Φάση 1^η : Ανασκόπηση των ενεργειακών εξελίξεων και του ρόλου της ενεργειακής ζήτησης

Παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, τον προσανατολισμό προς περιβαλλοντικά φιλικές μορφές ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και τους ενεργειακούς στόχους που τίθενται προς αυτή την κατεύθυνση. Παρατηρείται η αύξηση των ενεργειακών αναγκών και κατ' επέκταση η ανάγκη για ορθολογικότερη διαχείριση των ενεργειακών φορτίων από την πλευρά της ζήτησης.

Φάση 2^η : Συλλογή δεδομένων για την παραμετροποίηση του υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης

Το υπολογιστικό εργαλείο «DREEM» είναι υψηλής ευκρίνειας. Αυτό σημαίνει ότι για την προσομοίωση των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας λαμβάνει υπόψη δεδομένα αναφορικά με τις καιρικές συνθήκες στην υπό εξέταση περιοχή, τα δομικά στοιχεία και τους συντελεστές θερμοπερατότητας του κτηρίου, τα μέλη που κατοικούν στην οικία καθώς και τις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται από το νοικοκυριό. Η παρούσα διπλωματική σύλλεξε δεδομένα για όλα τα απαραίτητα πεδία, τα οποία και ανέλυσε περαιτέρω ώστε να χρησιμοποιηθούν από το εργαλείο προσομοίωσης «DREEM».

Φάση 3^η : Εφαρμογή για την περίπτωση του οικιακού τομέα της Ελλάδας

Για την παραμετροποίηση του μοντέλου και την εφαρμογή του στον οικιακό τομέα της Ελλάδας τα νοικοκυριά χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με τα άτομα που περιλαμβάνουν, την περίοδο κατασκευής της οικίας και την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκουν. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δημογραφικά στοιχεία, προκειμένου να καθοριστεί το πλήθος κάθε κατηγορίας νοικοκυριού. Επιπλέον, αναζητήθηκαν στατιστικά δεδομένα χρόνου-χρήσης για να μοντελοποιηθεί η συμπεριφορά των μελών των νοικοκυριών. Στη συνέχεια, αναζητήθηκαν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά του κτηρίου για τα διάφορα είδη κατοικίας και τέλος, έγινε χρήση ιστορικών στοιχείων για το κλίμα που επικρατεί σε κάθε κλιματική ζώνη.

Φάση 4^η : Συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Οι καμπύλες θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης εξετάστηκαν σε τοπική βάση, δηλαδή ανά κλιματική ζώνη, αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Έγινε σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών αναγκών που παρουσιάζονται μεταξύ διαφορετικών κλιματικών ζωνών λόγω αλλαγής καιρικών συνθηκών, αλλά και λόγω του πλήθους των νοικοκυριών σε κάθε ζώνη. Επιπλέον, εξετάστηκε η διακύμανση της ζήτησης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικές περιόδους του έτους, δηλαδή το πώς διαμορφώνεται σε περιόδους ψυχρών, ήπιων και ζεστών καιρικών συνθηκών, καθώς και σε περιόδους διακοπών.

Φάση 5^η : Εξαγωγή συμπερασμάτων και προοπτικών για περαιτέρω έρευνα

Σε τελευταία φάση, εξάγονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναδεικνύονται χρήσιμες προτάσεις για φορείς χάραξης πολιτικών και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη, και παρουσιάζονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογές.

1.4. Δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται ως εξής:

Το παρόν **Κεφάλαιο 1** αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας εργασίας, παρουσιάζοντας το σκοπό της, επισημαίνοντας την καινοτομία της και τις φάσεις υλοποίησής της, δίνοντας με τον τρόπο αυτό μια συνολική εικόνα στον αναγνώστη.

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί το θεωρητικό μέρος της εργασίας και περιλαμβάνει την ανασκόπηση των τελευταίων εξελίξεων στον τομέα της κλιματικής αλλαγής, παρουσιάζοντας τους ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς στόχους της Ε.Ε. και της Ελλάδας με σκοπό την επιτυχή ενεργειακή μετάβαση. Σε αυτό το πλαίσιο, επισημαίνεται και ο ρόλος της ενεργειακής ζήτησης, αλλά και η σημασία της ακριβούς μοντελοποίησής της.

Το **Κεφάλαιο 3** περιλαμβάνει την περιγραφή του υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης «DREEM» που χρησιμοποιήθηκε, από ποια μέρη αποτελείται και με ποιον τρόπο παραμετροποιείται, ώστε να επιφέρει λεπτομερή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Το **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζει την εφαρμογή του υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης «DREEM», χρησιμοποιώντας σαν μελέτη περίπτωσης τον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραμετροποίηση του εργαλείου, η περαιτέρω επεξεργασία τους, καθώς και οι παραδοχές που έγιναν.

Το **Κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έλαβαν χώρα, τη σύγκριση μεταξύ των αναγκών σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια των τεσσάρων κλιματικών ζωνών, όπως προέκυψαν βάσει της προσομοίωσης των διαφορετικών σεναρίων που εξετάστηκαν, αλλά και το συνολικό θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο που προκύπτει σε εθνικό επίπεδο για τον οικιακό τομέα της Ελλάδας.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία, χρήσιμες προτάσεις για φορείς χάραξης πολιτικών και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη, καθώς και τις προοπτικές για περαιτέρω έρευνα, με βάση τις κατευθύνσεις της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα.

Κεφάλαιο 2. Κλιματική αλλαγή, ενεργειακή μετάβαση και ο ρόλος της ενεργειακής ζήτησης

2.1. Η Κλιματική αλλαγή

Το κλίμα της Γης επηρεάζεται από μεταβολές στη σύσταση των αερίων και αερολυμάτων της ατμόσφαιρας, στην ηλιακή ακτινοβολία και σε ιδιότητες του εδάφους. Το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» σχετίζεται με αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και τους υδρατμούς, τα οποία υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και απορροφούν ένα μέρος της θερμικής ενέργειας του ήλιου, διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης περίπου στους 15°C. Τα αέρια αυτά (αέρια του θερμοκηπίου ή «Greenhouse gases, GHGs») είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε φυσιολογικά επίπεδα έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιβίωση των έμβιων οργανισμών της Γης. Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει συνεισφέρει στην αυξημένη παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω της υπερκατανάλωσης των φυσικών πόρων από βιομηχανικές, αγροτικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, της αποψίλωσης των δασών, της αλόγιστης διαχείρισης απορριμμάτων, της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, καθώς και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού που επιφέρει τη ζήτηση παραπάνω ενέργειας [1].

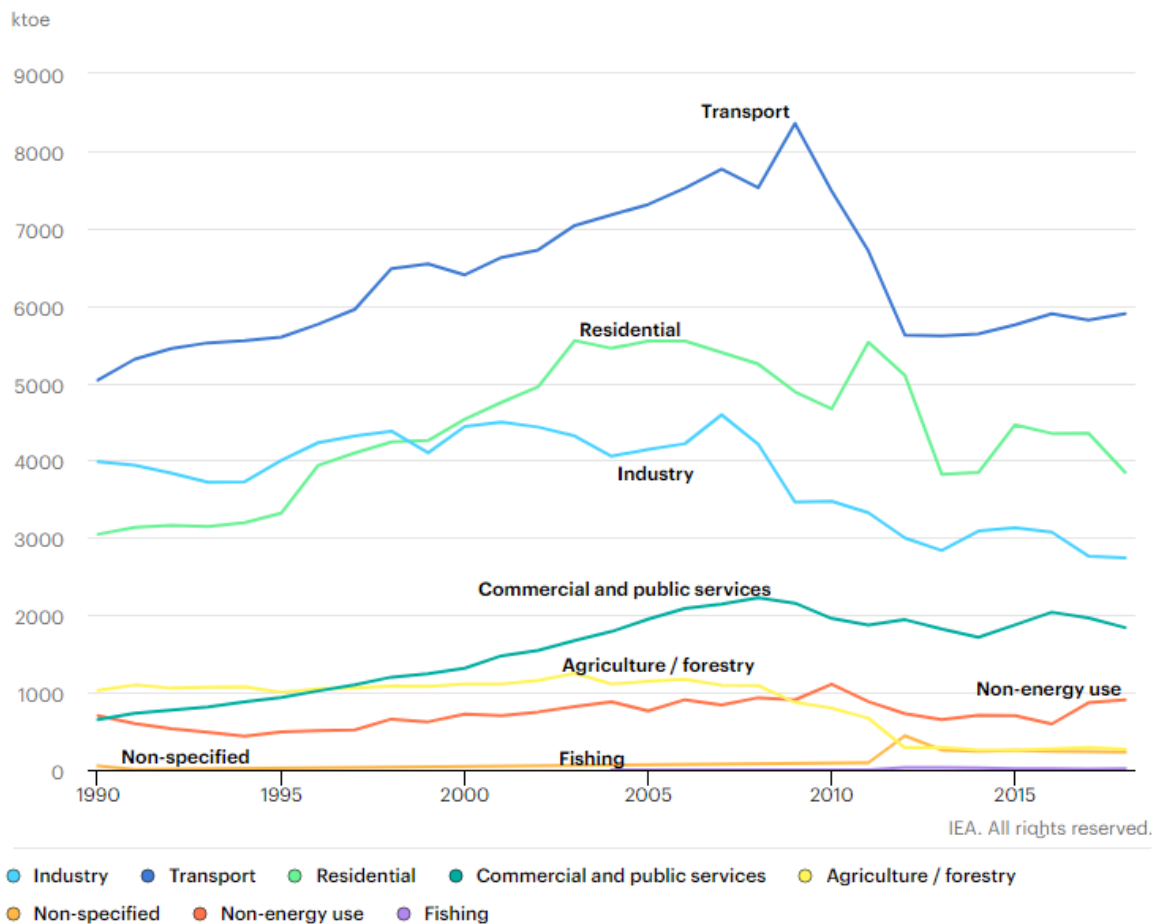
Ο όρος «κλιματική αλλαγή» σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή («Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC») αναφέρεται στο σύνολο των αλλαγών του κλίματος με την πάροδο του χρόνου [1]. Βάσει όμως της σύμβασης-πλαίσιου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή («United Nations Framework-Convention for Climate Change, UNFCCC»), ο όρος αφορά τις αλλαγές των κλιματικών συνθηκών που οφείλονται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινη δραστηριότητα και παρατηρείται συμπληρωματικά της φυσικής κλιματικής μεταβλητότητας, όταν συγκρίνονται κλιματολογικά δεδομένα μεταξύ διαφορετικών χρονολογιών [2].

Η κλιματική αλλαγή είναι πλέον εμφανής μέσα από πληθώρα δεδομένων, όπως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα και των ωκεανών σε παγκόσμιο επίπεδο, το εκτεταμένο λιώσιμο των πάγων και η παράλληλη άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Ενδεικτικά, η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης τα τελευταία 50 χρόνια ανεβαίνει κατά 0,13°C ανά δεκαετία, ενώ η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 0,17 μέτρα μέσα στον 20^ο αιώνα [1].

Ανάμεσα στα αέρια θερμοκηπίου, το CO₂ είναι αυτό στο οποίο έχει τη μέγιστη επίδραση ο ανθρώπινος παράγοντας [1]. Παράγεται στη φύση μέσω φυσικών διεργασιών όπως η αναπνοή, η αποσύνθεση οργανισμών, η διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων, οι εκρήξεις ηφαιστειών και οι φωτιές, ενώ απορροφάται κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από οργανισμούς της ξηράς και των ωκεανών και τη διάλυσή του στο νερό [3]. Η ισορροπία μεταξύ των μηχανισμών παραγωγής και κατανάλωσης CO₂ έχει διαταραχθεί τα τελευταία χρόνια και παρατηρείται ότι η συγκέντρωσή του αυξάνεται συνεχώς τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στους ωκεανούς. Σύμφωνα με ευρήματα στους πάγους, τα

τελευταία 650.000 χρόνια τα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι στο εύρος 180-300 ppm [1]. Τα τελευταία 11.000 χρόνια και πριν την εποχή της εκβιομηχάνισης, η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού CO₂ ήταν σχεδόν σταθερή στα 280 ppm, ενώ τον τελευταίο αιώνα έχει παρατηρηθεί άνοδος της τάξης του 1 ppm/έτος [3]. Ενδεικτικά, το 2005 η συγκέντρωσή του ήταν στα 379 ppm [1], ενώ πλέον έχει φτάσει τα 415 ppm, πράγμα που σημαίνει ότι ο ρυθμός αύξησής του ξεπέρασε τα ~2,5 ppm/έτος τα έτη 2017 και 2018 [3]. Παράλληλα, έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στις αρκτικές θερμοκρασίες, στην οξύτητα των υδάτων, τη συμπεριφορά των ανέμων, καθώς και αύξηση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες, καύσωνες, τροπικοί κυκλώνες και έντονες βροχοπτώσεις [1].

Ο κυριότερος παράγοντας για την αύξηση του CO₂ είναι η εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας [1], με τους τομείς των μεταφορών, τον οικιακό και το βιομηχανικό τομέα να έχουν τις μεγαλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 1** [4].



Σχήμα 1. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας. Πηγή: [4]

Για το λόγο αυτό, σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνεται προσπάθεια για στροφή σε πιο «πράσινες» μορφές ενέργειας, προκειμένου να μειωθούν οι παραγόμενοι ρύποι και να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες με πιο βιώσιμο τρόπο. Ως πράσινη μπορεί να

χαρακτηριστεί η μορφή ενέργειας η οποία έχει ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. και είναι, κατ' επέκταση, περιβαλλοντικά φιλική, ενώ προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, βιομάζα κ.λπ.) [5].

2.2. Ενεργειακή μετάβαση και στόχοι

Σε διεθνές επίπεδο, μέχρι και το 2012, η κατεύθυνση σχετικά με τους κλιματικούς και ενεργειακούς στόχους δινόταν με βάση το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997), σύμφωνα με το οποίο οι συμμετέχουσες χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν τους ρύπους τους κατά 5% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2012 [6].

Στη συνέχεια, η διάσκεψη για το κλίμα που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το Δεκέμβριο του 2015 («21st Conference of Parties, COP21») οδήγησε στη Συνθήκη των Παρισίων, βάσει της οποίας ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) όρισε ως στόχο η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης να μετριαστεί ώστε να μην ξεπερνάει τους 2°C σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία πριν την εποχή της εκβιομηχάνισης, με σκοπό να καταβληθούν οι βέλτιστες προσπάθειες ώστε να παραμείνει κάτω και από τους 1.5°C διαφορά, προκειμένου να αποφευχθούν οι περαιτέρω αρνητικές επιπτώσεις στους έμβιους οργανισμούς και στα οικοσυστήματα [7].

Η Ε.Ε., στην προσπάθεια να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, την αστάθεια των ενεργειακών τιμών, τις διαταραχές στον ενεργειακό εφοδιασμό και την απαίτηση για δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έθεσε συγκεκριμένους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους με ορίζοντα το 2030 και το 2050, με γνώμονα την ασφάλεια εφοδιασμού, την ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα [8].

Οι μεσοπρόθεσμοι στόχοι μέχρι το 2030 περιλαμβάνουν [9, 10]:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990,
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ τουλάχιστον στο 32% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας,
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά τουλάχιστον 32,5% και
- Προώθηση ηλεκτρικών διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών-μελών της Ε.Ε. σε ποσοστό 15%.

Για το 2050, ο επίσημος στόχος για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι να μειωθούν κατά 80%-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [8].

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι το Μάρτιο του 2020 προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή νέος Κλιματικός Νόμος («Climate Law») [11] που αποσκοπεί στην επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το έτος 2050. Στα πλαίσια του νόμου αυτού, το Σεπτέμβριο του 2020 προτάθηκε ένας πιο φιλόδοξος στόχος για το 2030, για τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου κατά 55% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και έχουν ξεκινήσει διαδικασίες για την πρόταση ολοκληρωμένου σχεδίου δράσης για την εφαρμογή του, πράγμα το οποίο προβλέπεται να ανακοινωθεί τον Ιούνιο του 2021 [10]. Θεωρώντας ότι μέχρι το 2030 επιτυγχάνεται μείωση εκπομπών στην Ευρώπη, έστω κατά

40-45%, δηλαδή σύμφωνα με το λιγότερο φιλόδοξο στόχο, αναλύσεις υποδεικνύουν ότι η γραμμική μείωση των εκπομπών μέχρι το στόχο του 80-85% για το έτος 2050 συνεπάγεται επίπεδα εκπομπών συμβατά με την επιδίωξη των 2°C, ενώ αντίστοιχα η μείωση κατά 95% μέχρι το 2050 συνάδει με το στόχο του 1,5°C [12].

2.3. Η ενεργειακή μετάβαση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η ενεργειακή μετάβαση παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις λόγω των επενδύσεων που απαιτούνται και οι οποίες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σε ένα δυσχερές οικονομικό περιβάλλον και με δυσκολία στην εφαρμογή αναγκαιών μεταρρυθμίσεων. Στον τομέα του ηλεκτρισμού, η μειωμένη ζήτηση και η αύξηση διείσδυσης των ΑΠΕ εντείνουν τις υπάρχουσες δομικές ανισορροπίες και οι μηχανισμοί διασφάλισης επάρκειας και εξισορρόπησης ισχύος αυξάνουν το κόστος του ενεργειακού συστήματος. Επιπλέον, η εξάρτηση της Ελλάδας κατά τουλάχιστον 70% (72,5% το 2016) από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) τα οποία υπόκεινται σε απρόβλεπτες μεταβολές στην τιμή, επιφέρει σημαντική αβεβαιότητα στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας [8]. Συνεπώς, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης στον ενεργειακό τομέα της Ελλάδας, αλλά λόγω των παραπάνω δυσκολιών θα πρέπει να γίνει προσεκτικός σχεδιασμός της στρατηγικής για τη μετάβαση στην «κλιματική ουδετερότητα».

Για κάθε κράτος-μέλος της Ε.Ε. έχουν τεθεί στόχοι ανάλογα με τις δυνατότητες και τους διαθέσιμους πόρους τους. Για την περίπτωση της Ελλάδας, για το 2020 οι στόχοι ήταν ευθυγραμμισμένοι με τους ευρωπαϊκούς κεντρικούς στόχους (20-20-20) [8].

2.3.1. Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Στα πλαίσια της εθνικής ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας για την επόμενη δεκαετία, έχει καταστρωθεί από το Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο αναδεικνύει προτεραιότητες στα θέματα ενέργειας και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, και αποτελεί ένα μείγμα ποσοτικοποιημένων στόχων, πολιτικών και μεθόδων υλοποίησής τους [13].

Η ενεργειακή μετάβαση στην Ελλάδα πραγματοποιείται μέσα από τέσσερις κύριους τομείς, τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και την απολιγνιτοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής.

Αναφορικά με το θέμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι επικαιροποιημένοι στόχοι του ΕΣΕΚ για το 2030 περιλαμβάνουν μείωση κατά 42% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 και πάνω από 55% σε σχέση με το 2005, επιχειρώντας να ξεπεράσει τον κεντρικό ευρωπαϊκό στόχο που έχει τεθεί.

Για τις ΑΠΕ, ο στόχος είναι να έχουν μερίδιο στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κατ' ελάχιστο 35%, υψηλότερο από το 32% του ευρωπαϊκού στόχου. Ο στόχος αναμένεται να επιτευχθεί μέσω του ενεργειακού μετασχηματισμού του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και διείσδυση των ΑΠΕ σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60% στον τομέα αυτό. Για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου, έχουν προβλεφθεί πολιτικές όπως

ενδεικτικά η απλοποίηση του αδειοδοτικού πλαισίου, η λειτουργία συστημάτων αποθήκευσης και η προώθηση της ηλεκτροκίνησης.

Ο στόχος για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης έχει δυο σκέλη. Αφενός, έχουμε το γενικό στόχο ότι το 2030 η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι μικρότερη από την καταγεγραμμένη για το 2017. Αφετέρου, έχουμε τον ποσοτικό προσδιορισμό της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά 38%, σε υψηλότερο επίπεδο δηλαδή από τον αντίστοιχο ευρωπαϊκό στόχο. Τα μέτρα που περιγράφονται στο ΕΣΕΚ αφορούν κατά βάση στον κτηριακό τομέα και τον τομέα μεταφορών και σκοπός είναι η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας και η προστασία των καταναλωτών [13].

Για την ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτη πρέπει να αναφέρουμε ότι, μέχρι πρόσφατα, η χρήση του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν στρατηγική επιλογή της χώρας, παρά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει, επειδή πρόκειται για εγχώριο ορυκτό καύσιμο [8]. Σήμερα όμως, η αναθεωρημένη Κυβερνητική στρατηγική βάσει ΕΣΕΚ περιλαμβάνει τη δραστική και οριστική μείωση του μεριδίου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, προκειμένου σταδιακά, μέχρι το 2028, να έχει μηδενική συνεισφορά στο εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής με την ολοκληρωτική απόσυρση των λιγνιτικών μονάδων [13]. Βάσει της βιβλιογραφίας άλλωστε [14], το 29% των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από ανθρωπογενείς πηγές προκύπτει από την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, συνεπώς, η μετάβαση στην ηλεκτροπαραγωγή από εναλλακτικές πηγές, με χαμηλότερο ανθρακικό αποτύπωμα, παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Τέλος, το ΕΣΕΚ περιλαμβάνει πολιτικές για άλλα θέματα, όπως την επίσπευση του έργου διασύνδεσης των νησιών, την επιτάχυνση της λειτουργίας του νέου μοντέλου αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, την ψηφιοποίηση των δικτύων ενέργειας και την ενίσχυση των ενεργειακών διασυνδέσεων [13].

2.3.2. Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050

Εκτός από το ΕΣΕΚ για το 2030, έχει καταστρωθεί και ένα εθνικό σχέδιο μακροχρόνιων πολιτικών («Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050, ΜΣ50») με τις ακόλουθες βασικές προτεραιότητες:

- ❖ Την ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων με στόχο τη βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση.
- ❖ Το μηδενισμό των εκπομπών CO₂ από καύση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή και υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα.
- ❖ Τον εξηλεκτρισμό του τομέα μεταφορών και θέρμανσης, παράλληλα με τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της ηλεκτροπαραγωγής.
- ❖ Την ανάπτυξη εγχώριων καυσίμων και αερίου από βιομάζα με προηγμένες τεχνικές.
- ❖ Την περαιτέρω επέκταση των διασυνδέσεων για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου.

Το ένα σενάριο που αναλύεται ονομάζεται ΕΣΕΚ-2050, θεωρείται συνέχεια του ΕΣΕΚ 2030 και ενσωματώνει τις παραπάνω βασικές προτεραιότητες με συμβατικό τρόπο, δεν

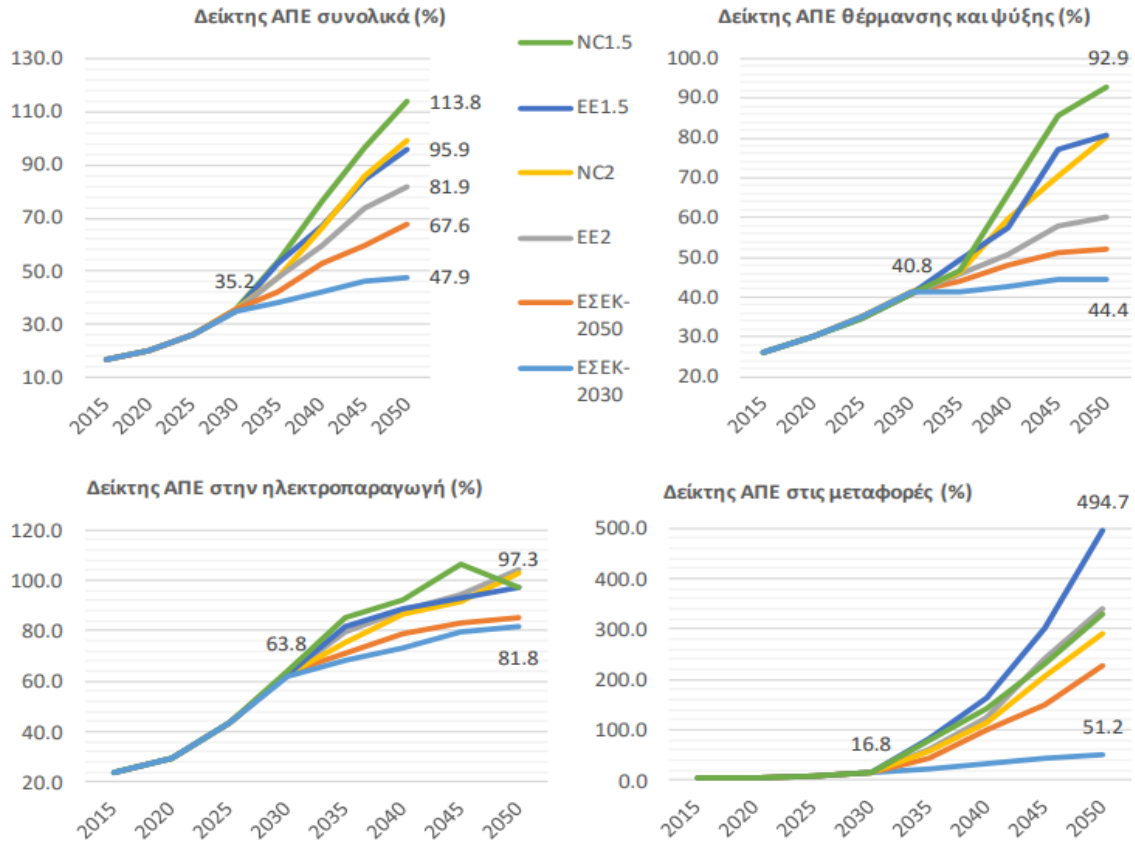
αναμένεται όμως να οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2050.

Η ΜΣ50 αναλύει επιπλέον τέσσερα πιθανά σενάρια πολιτικών, τα οποία περιλαμβάνουν τεχνολογίες και μετασχηματισμούς με ανατρεπτικά καινοτόμο χαρακτήρα, που μεταβάλλουν τις συμβατικές πρακτικές και θεωρούνται ιδιαίτερα φιλόδοξα, σύμφωνα με τα οποία το 2050 θα έχει φτάσει η χώρα να είναι «κλιματικά ουδέτερη» και ευθυγραμμισμένη με τις κατευθύνσεις της Ε.Ε. Σε ένα τόσο μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, όπου χρησιμοποιούνται εμπορικά και βιομηχανικά ανώριμες τεχνολογίες και φιλόδοξοι στόχοι είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι αβεβαιότητες στην εφαρμογή και υλοποίηση των πολιτικών που σχεδιάζονται.

Τα σενάρια που αναλύονται για εφαρμογή, ανάλογα με την εξέλιξη των παραπάνω αβεβαιοτήτων, είναι τα εξής:

1. Σενάριο EE2 (Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για τους 2°C – “Energy Efficiency and Electrification for 2°C”)
2. Σενάριο NC2 (Νέοι ενεργειακοί φορείς για τους 2°C – “New energy carriers for 2°C”)
3. Σενάριο EE1.5 (Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για τον 1.5°C – “Energy Efficiency and Electrification for 1.5°C”)
4. Σενάριο NC1.5 (Νέοι ενεργειακοί φορείς για τον 1.5°C – “New energy carriers for 1.5°C”)

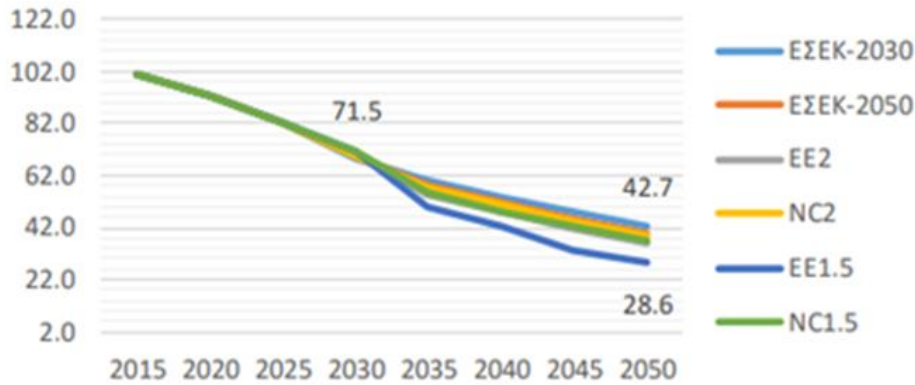
Τα σενάρια «ΕΕ» προωθούν ιδιαίτερα τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη χρήση βιοκαυσίμων και βιοαερίου, για την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων, ενώ τα σενάρια «NC» υποθέτουν τη σταδιακή ωρίμανση τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου, βιοαερίου και συνθετικού μεθανίου με κλιματικά ουδέτερες προδιαγραφές. Σε όλα τα σενάρια προωθούνται τα κτήρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ο εξηλεκτρισμός όλων των ενεργειακών τομέων και η αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, φτάνοντας σχεδόν στο 95% για το έτος 2050 [12]. Στο **Σχήμα 2** φαίνεται η εξέλιξη του δείκτη διείσδυσης ΑΠΕ στα διαφορετικά σενάρια της ΜΣ50.



Σχήμα 2. Δείκτες ΑΠΕ ανά τομέα στα εναλλακτικά σενάρια ΜΣ50. Πηγή: [12]

Λόγω της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, σε όλα τα σενάρια αναμένεται να μειωθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας. Η μείωση αυτή της ζήτησης ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος, καθώς με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών χωρίς να εξαντληθούν οι κλιματικά ουδέτεροι πόροι (ΑΠΕ και βιομάζα). Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αφενός με τη χρήση πιο ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και τεχνολογιών και αφετέρου, μέσω του εξηλεκτρισμού των τομέων θέρμανσης και μεταφοράς, μιας και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας έχει μεγαλύτερη απόδοση και λιγότερες απώλειες από τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Συγκεκριμένα για τον κτηριακό τομέα, αναμένεται ότι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 30% μέχρι το 2030 (ΕΣΕΚ), φτάνει το 40-60% μέχρι το 2050 στα διάφορα σενάρια της ΜΣ50. Η κύρια επιδίωξη είναι να φτάσουν τα κτήρια το 2050 να είναι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, είτε μέσω ενεργειακής αναβάθμισης των υφιστάμενων κτηρίων, είτε λόγω αυστηρών προδιαγραφών για την ενεργειακή επίδοση του κελύφους στα νέα κτήρια [12]. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο δείκτης ενεργειακής έντασης του οικιακού τομέα ως προς την ιδιωτική κατανάλωση στα διάφορα σενάρια της ΜΣ50 σε σχέση με το έτος 2000 (Δείκτης₂₀₀₀=100).



Σχήμα 3. Δείκτης ενεργειακής έντασης του οικιακού τομέα ως προς την κατανάλωση στα εναλλακτικά σενάρια ΜΣ50. Πηγή: [12].

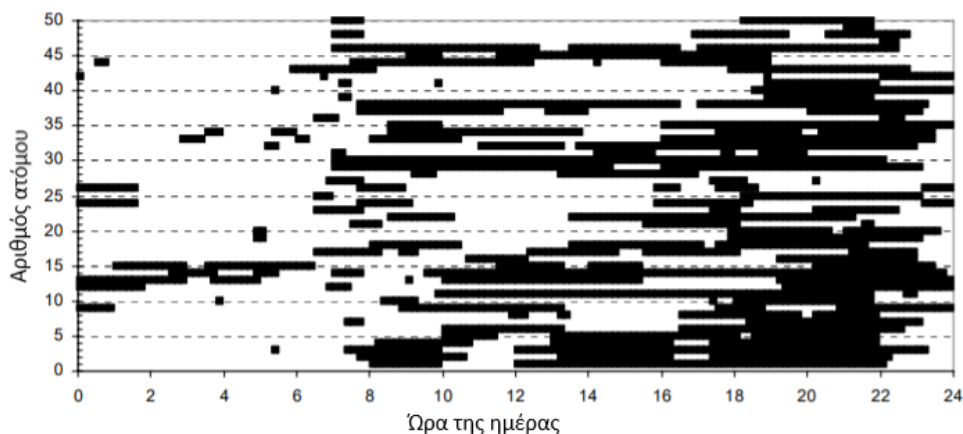
Σαν ενδιάμεσο στάδιο από την υφιστάμενη κατάσταση μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων με κλιματικά ουδέτερο τρόπο είναι διεύρυνση της χρήσης φυσικού αερίου στην τελική κατανάλωση, μιας και σε σχέση με την καύση πετρελαίου, το φυσικό αέριο έχει λιγότερους ρύπους, βελτιωμένη απόδοση και χαμηλότερο κόστος [13]. Στη συνέχεια, στόχος είναι η κάλυψη των αναγκών να γίνεται μόνο με χρήση ΑΠΕ, είτε άμεσα είτε έμμεσα, μέσω αντλιών θερμότητας, μια τεχνολογία που φαίνεται ιδιαίτερα ελκυστική θεωρώντας ότι θα έχει προηγηθεί η ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους των κτηρίων. Επιπλέον, η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας μπορεί να παρέχει επάρκεια θέρμανσης στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν, και είναι ιδιαίτερα αποδοτική για την κάλυψη των αναγκών ψύξης και ζεστού νερού στα κτήρια [12].

2.4. Η σημασία της μοντελοποίησης της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα

Στην εξέλιξη της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα, προβλέπεται να εμφανιστούν αρκετές δυσκολίες στην εφαρμογή των πολιτικών που έχουν χαραχθεί. Ο εκτεταμένος εξηλεκτρισμός του τομέα ενέργειας και η χρήση τεχνολογιών όπως οι αντλίες θερμότητας και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, παράλληλα με τη μεγάλη διεύρυνση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα, θα έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλο όγκο φορτίου που θα πρέπει να καλυφθεί και μεγάλη παραγωγή φορτίου που θα πρέπει να καταναλωθεί. Ακόμη, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να οριστεί χρονικά και τοπικά με ακρίβεια η εμφάνιση τέτοιων φορτίων, αφενός λόγω της έλλειψης εμπειρίας από την πλευρά των καταναλωτών και, αφετέρου, λόγω της στοχαστικότητας κάποιων μορφών ΑΠΕ. Συνεπώς, ελλοχεύουν προβλήματα ασφάλειας, αξιοπιστίας και αντοχής του δικτύου λειτουργίας και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος και ενδεχομένως να απαιτηθούν διόλου ασήμαντες τροποποιήσεις [15]. Για να προσπεραστούν, λοιπόν, οι παραπάνω δυσκολίες, θα πρέπει να βελτιωθεί η ικανότητα πρόβλεψης φορτίων και να τροποποιηθεί η συμπεριφορά των καταναλωτών [16], μέσω της διαχείρισης της ζήτησης («Demand-side Management, DSM»).

Η διαχείριση της ζήτησης αποτελεί ουσιαστικά την καταγραφή, την αξιολόγηση και τον προγραμματισμό των ενεργοβόρων δραστηριοτήτων των καταναλωτών με στόχο τη βελτίωση του ενεργειακού συστήματος, από πλευράς συνολικής κατανάλωσης, φορτίων αιχμής και οικονομικής αποδοτικότητας. Ο παραπάνω έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας γίνεται εφικτός μέσω έξυπνων συσκευών οι οποίες προωθούν καθορισμένα προφίλ κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας [17]. Για παράδειγμα, η ευελιξία της ζήτησης που μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω πρακτικών διαχείρισης της ζήτησης, δηλαδή ενεργούς καταναλωτές, ευφυή δίκτυα, συστήματα ζήτησης-απόκρισης, θα επιφέρει χρονικές αλλαγές στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, μέσω της χρονικής μετατόπισης της χρήσης ορισμένων ηλεκτρικών συσκευών, μεταξύ των οποίων θα συγκαταλέγονται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και οι αντλίες θερμότητας [18]. Με άλλα λόγια, μέσω της διαχείρισης της ζήτησης είναι εφικτό να αλλάξει το προφίλ ενεργειακής ζήτησης, προσφέροντας καλύτερο έλεγχο στη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Η διαμόρφωση λεπτομερών προφίλ ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα αποτελεί ένα σημαντικό προαπαιτούμενο στάδιο στο στρατηγικό σχεδιασμό και την εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών. Η ενεργειακή κατανάλωση ενός κτηρίου διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο χρήσης οικιακών συσκευών, ηλεκτρικού φωτισμού, θέρμανσης και ζεστού νερού, δηλαδή ανάλογα με τη δραστηριότητα των κατοίκων. Στον οικιακό τομέα συγκεκριμένα, δεν εξαρτάται μόνο από το πλήθος των κατοίκων, αλλά και τις ώρες κατά τις οποίες είναι εντός ή εκτός σπιτιού, καθώς επίσης και από το εάν είναι ενεργοί ή εάν κοιμούνται. Αρκετά μοντέλα πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιούν αυτή την αρχή, όπως παρουσιάζεται, για παράδειγμα, και στην έρευνα του Γαλλικού Κέντρου «Tyndall» για την κλιματική αλλαγή με τίτλο «Microgrids: distributed on-site generation» [19]. Συγκεκριμένα, από μια μεγάλη έρευνα χρήσης χρόνου που πραγματοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2000 («Time Use Survey»), προέκυψαν αποτελέσματα για τους ενεργούς χρήστες σε ένα κτήριο κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4**.



Σχήμα 4. Κατάσταση (ενεργός/μη-ενεργός) 50 χρηστών εντός μιας ημέρας από την Έρευνα Χρήσης Χρόνου του Ηνωμένου Βασιλείου. Πηγή: [19]

Οι μαύρες μπάρες υποδεικνύουν ότι ο χρήστης είναι ενεργός. Παρατηρούμε ότι οι ενεργοί χρήστες μεταξύ των ωρών 00:00–07:00 είναι ελάχιστοι, κατά τις πρωινές ώρες

είναι λίγο αυξημένοι, ενώ κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες οι χρήστες είναι ενεργοί στη συντριπτική πλειοψηφία τους. Απόρροια αυτού είναι και η ζήτηση ενέργειας να μην παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια μιας ημέρας και το απαιτούμενο φορτίο να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μέσα στο εικοσιτετράωρο. Κατ' επέκταση, γίνεται προφανές ότι η μοντελοποίηση και η πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας είναι απαραίτητες προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τεχνολογίες και πρακτικές διαχείρισης της ζήτησης.

Κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης, πρέπει, επίσης, να λαμβάνεται υπόψιν η κοινή χρήση των παραπάνω παροχών και ηλεκτρικών συσκευών. Για παράδειγμα, εάν διπλασιαστούν οι ενεργοί χρήστες σε ένα σπίτι, αυτό δε σημαίνει ότι θα διπλασιαστούν οι ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα, καθώς οι κάτοικοι θα μοιράζονται το ρεύμα στους κοινόχρηστους χώρους, ή η χρήση μιας ηλεκτρικής συσκευής που μπορεί να αξιοποιηθεί από παραπάνω χρήστες ταυτόχρονα, όπως η τηλεόραση, το ραδιόφωνο κ.λπ. Η σημασία ύπαρξης προφίλ χρηστών για τη μοντελοποίηση έχει τονιστεί σε αρκετές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία [19].

Στον οικιακό τομέα, τώρα, η μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης, της συμπεριφοράς των καταναλωτών και των προφίλ χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως, κατά τη μοντελοποίηση λαμβάνονται υπόψιν πολλοί παράγοντες, όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη συστήματος, οι κλιματικές συνθήκες, η συμπεριφορά και παρουσία των καταναλωτών, η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου, τα προφίλ παραγωγής ενέργειας στην περίπτωση που υπάρχουν ΑΠΕ στο σύστημα κ.λπ. [17].

Ανάλογα με τον τρόπο προσέγγισης της ενεργειακής ζήτησης, τα διάφορα υπάρχοντα υπολογιστικά εργαλεία μοντελοποίησης, χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες: στα εργαλεία «από πάνω προς τα κάτω» («top-down») και στα εργαλεία «από κάτω προς τα πάνω» («bottom-up»). Στα υπολογιστικά εργαλεία τύπου «top-down», οι ενεργειακές απαιτήσεις των κατοικιών αποδίδονται σε κάποια χαρακτηριστικά τους χρησιμοποιώντας μια γενικότερη εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης του οικιακού τομέα. Αντιθέτως, όταν λαμβάνονται υπόψιν λεπτομερέστερα προφίλ φορτίων τα οποία οδηγούν σε ένα συνολικό προφίλ ζήτησης, τότε τα υπολογιστικά εργαλεία χαρακτηρίζονται ως «bottom-up». Η τελευταία προσέγγιση θεωρείται ότι προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς μπορεί να προσομοιώσει είδη σπιτιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και να συμπεριλάβει πληθώρα πληροφοριών [20].

Τα περισσότερα μοντέλα στην επιστημονική βιβλιογραφία εξετάζουν τη διαχείριση της ζήτησης εν μέρει ή με απλοποιημένο τρόπο. Για παράδειγμα, η ομάδα των Mai και Chung [21] παρουσίασε το 2016 έναν απλοποιημένο τρόπο μοντελοποίησης κατανάλωσης ενέργειας μιας οικίας, μέσω ενός ρυθμιστή θέρμανσης-ψύξης που στόχο έχει την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους, αλλά χαρακτηρίζεται από μικρή ευελιξία. Την ίδια χρονιά, η ομάδα του Pradhan [22] παρουσίασε ένα μοντέλο απόκρισης της ζήτησης («Demand-Response, DR») που βάσει ιστορικών δεδομένων κατανάλωσης διαμορφώνει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης χρονισμού ζήτησης ενέργειας, χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη τη θερμική άνεση, την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ή συστήματα αποθήκευσης.

Το ίδιο μειονέκτημα παρουσιάζει και το μοντέλο της ομάδας του Gottwalt [23] το οποίο εξετάζει την ευελιξία στη χρήση διαφορετικών συσκευών των κατοικιών ενός έξυπνου δικτύου.

Το ίδιο διάστημα, η ομάδα του Croce [24] παρουσιάζει ένα μοντέλο που εξισορροπεί την προσφορά και τη ζήτηση σε μια κοινότητα έξυπνων κτιρίων, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τα σήματα τιμών ή την αποθήκευση ενέργειας. Τις μεταβολές της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας δε λαμβάνει υπόψη ούτε το μοντέλο του Martirano [25], που διαχειρίζεται τόσο ηλεκτρικά όσο και θερμικά φορτία και βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου μέσω τεχνικών απόκρισης της ζήτησης.

Από την άλλη πλευρά, οι Ren και Wang (2017) [26] παρουσιάζουν ένα υπολογιστικό εργαλείο προσομοίωσης του κτηριακού τομέα που περιλαμβάνει ΑΠΕ και αποθήκευση ενέργειας, αλλά εστιάζει μόνο σε ένα δωμάτιο. Ομοίως και η ομάδα των Hu και Xiao (2018) [27] παρουσιάζουν ένα υβριδικό μοντέλο που αποτελείται από ένα μοντέλο θερμικού ελέγχου ενός δωματίου και ένα μοντέλο κλιματισμού σταθερής κατάστασης, ενώ ο βέλτιστος προγραμματισμός των σημείων ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα διαμορφώνεται ως ένα μη γραμμικό πρόβλημα προγραμματισμού για την επίτευξη χαμηλού κόστους άνεση και μέγιστη μείωση ισχύος, λαμβάνοντας υπόψη μονάδα το φορτίο των μονάδων AC.

Η ομάδα του Sivaneasan (2018) [28] παρουσιάζει έναν αλγόριθμο διαχείρισης τεχνικών απόκρισης της ζήτησης, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό μείωσης φορτίου κλιματισμού και μηχανικού εξαερισμού, απόρριψη φορτίου βάσει προτεραιότητας και αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας για τη διαχείριση της στοχαστικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κύρια παράληψή του είναι η απουσία προφίλ κατοίκων, σημάτων τιμής και πληροφοριών για τον καιρό. Τέλος, η ομάδα του Alimohammadisagvand (2018) [29] μελέτησε την επίδραση διαφορετικών στρατηγικών απόκρισης της ζήτησης στην κατανάλωση ενέργειας και το κόστος από τη θέρμανση, με ένα μοντέλο που εξετάζει αρκετούς παράγοντες διαμόρφωσης, αλλά παραμελεί τεχνολογίες αιχμής ή κοινωνικές επιπτώσεις.

Κατ' επέκταση, κάποια μοντέλα δεν ενσωματώνουν πληροφορίες για τον καιρό ή το προφίλ πληρότητας [28] ή τον παράγοντα της θερμικής άνεσης [22]. Σε άλλα μοντέλα δεν λαμβάνεται υπόψη η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ και τα συστήματα αποθήκευσης για βελτίωση της ενσωμάτωσης ΑΠΕ και άλλες τεχνολογίες αιχμής [22–24, 29]. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα μοντέλα χαρακτηρίζονται από μικρή ευελιξία [21] ή εστιάζουν μόνο σε ένα δωμάτιο [26, 27], ή δεν είναι ευαίσθητα στις αλλαγές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας [24, 25, 28].

Η κύρια πρόκληση λοιπόν των υπολογιστικών εργαλείων διαχείρισης της ζήτησης είναι να συνδυάσουν με επιτυχία την ευελιξία της ζήτησης με όλες τις σημαντικές πτυχές της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Για να μπορεί να καθοριστεί τι πρέπει να ενσωματωθεί και τι να παραλειφθεί ή να απλουστευθεί προς όφελος της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, αναγνωρίζοντας παράλληλα την περιορισμένη διαθεσιμότητα δεδομένων, ένα υπολογιστικό εργαλείο διαχείρισης της ζήτησης πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Δομή «από κάτω προς τα πάνω» («bottom-up»)
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης με άλλα μοντέλα και εύκολη επαναχρησιμοποίηση δεδομένων.
- Δυνατότητα παραγωγής αποτελεσμάτων σε υψηλή ανάλυση (δηλαδή ένα λεπτό).
- Κατάλληλες απαιτήσεις σε δεδομένα ώστε να είναι εφικτή η αυτονομία του υπολογιστικού εργαλείου.
- Εποχιακή μεταβλητότητα που αντικατοπτρίζει το μεταβαλλόμενο επίπεδο ζήτησης μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου.
- Υπολογιστική δυνατότητα για προσομοίωση μεγάλου αριθμού κτηρίων, με την κατάλληλη ποικιλία στα προφίλ ζήτησης.
- Αρθρωτή δομή για μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας λόγω των απαιτήσεων διεπιστημονικής φύσης και δεδομένων εισαγωγής.
- Εξέταση της συμπεριφοράς των μελών του νοικοκυριού μαζί με τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων τελικής χρήσης ενέργειας για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των μοντέλων στατιστικής και μηχανικής.
- Ενσωμάτωση πρακτικών στρατηγικών ελέγχου φορτίου που θα επιτρέπουν δυναμικά σήματα απόκρισης της ζήτησης βάσει τιμής, ώστε να επιτρέπεται η ομαλή λειτουργία στην περίπτωση ενός έξυπνου δικτύου.
- Δυνατότητα σύνδεσης του ενεργειακού συστήματος με την οικονομική ανάπτυξη και με πιθανά μελλοντικά τεχνολογικά επιτεύγματα.

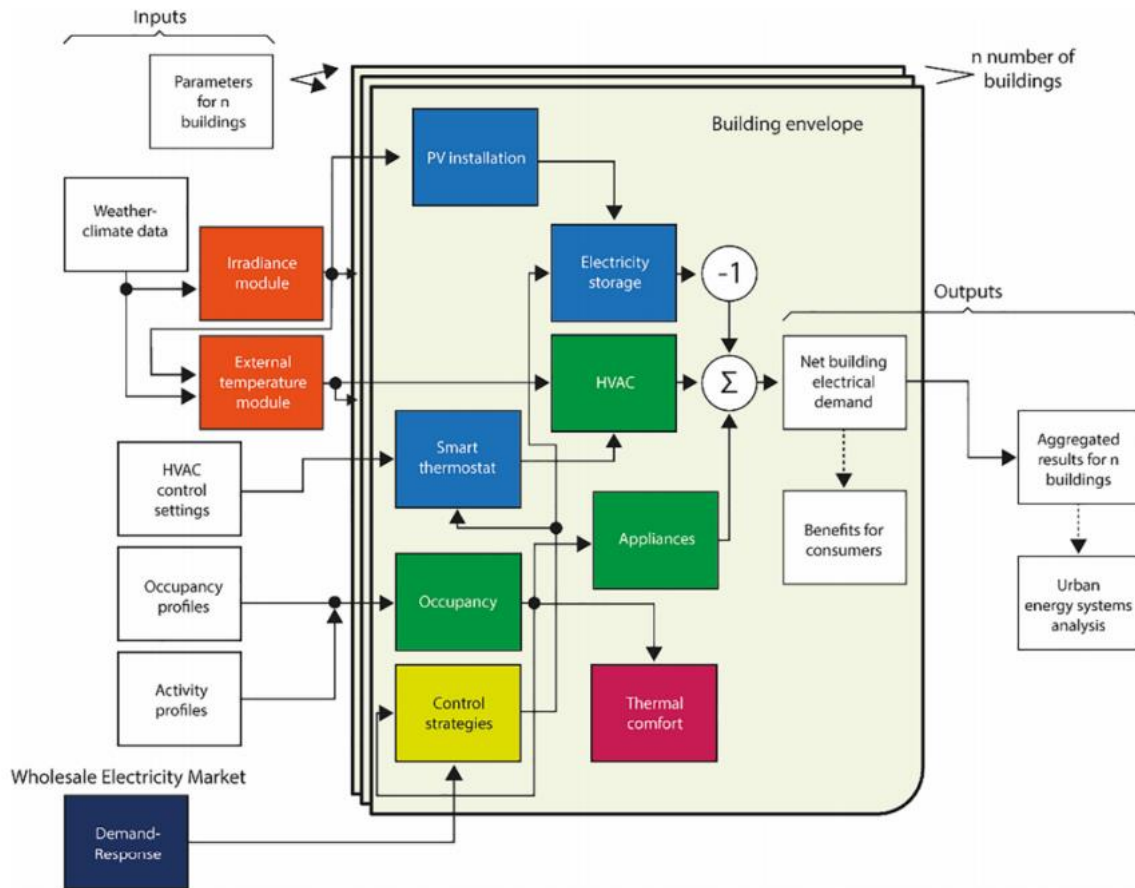
Κεφάλαιο 3. Ανάπτυξη υποστηρικτικού πλαισίου για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε ένα υποστηρικτικό πλαίσιο για τη βελτίωση της ακρίβειας της μοντελοποίησης της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα με τη χρήση του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM» (**D**ynamic **h**igh-**R**esolution **d**emand-**s**ide **E** Management) [17], το οποίο αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Τεχνοοικονομικών Ενεργειακών Συστημάτων («Technoeconomics of Energy Systems laboratory, TEESlab») του Πανεπιστημίου Πειραιώς (Πα.Πει.).

Το εργαλείο «DREEM» συνδυάζει χαρακτηριστικά υπολογιστικών μοντέλων στατιστικής και μηχανικής σε ένα πλήρως ολοκληρωμένο υβριδικό εργαλείο τύπου «bottom-up». Με αυτό τον τρόπο καθιστά εφικτή τη μοντελοποίηση της διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης στον κτηριακό τομέα, καθώς επεκτείνει τις υπολογιστικές ικανότητες των μοντέλων ενεργειακών συστημάτων κτηρίων προκειμένου να εκτιμήσει τα οφέλη και τους περιορισμούς της ευελιξίας της ζήτησης, πρωτίστως για τους καταναλωτές και δευτερευόντως για τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους παράγοντες του ενεργειακού συστήματος [17].

Η καινοτομία του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM» έγκειται ουσιαστικά στη αρθρωτή του δομή του, η οποία αποτελείται από διαφορετικές επιμέρους μονάδες και του δίνει μεγάλη ευελιξία για τη μοντελοποίηση διάφορων συστημάτων σε συνδυασμό με υπολογιστική αποδοτικότητα για τη μελέτη ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών και των διαφορετικών πτυχών της ενεργειακής κατανάλωσης. Οι μονάδες αυτές χαρακτηρίζονται από τις αρχές της ανεξαρτησίας και αυτονομίας και λειτουργούν βάσει μιας προτεραιοποίησης που πραγματοποιείται κατά τη μοντελοποίηση [30]. Επιπλέον, η αρθρωτή δομή του εργαλείου του δίνει τη δυνατότητα να ενσωματώσει λεπτομερώς καινοτόμες τεχνολογίες, όπως για παράδειγμα, αντλίες θερμότητας ή ηλεκτρικά αυτοκίνητα, στα πλαίσια ανάλυσης σεναρίων ενεργειακής μετάβασης που προβλέπουν τον πλήρη εξηλεκτρισμό των τομέων θερμότητας και μεταφορών.

Επιπλέον, το εργαλείο υποστηρίζει τη μοντελοποίηση πολλαπλών κτηρίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα, σε διαφορετικά γεωγραφικά και κοινωνικο-οικονομικά περιβάλλοντα, τόσο σε περιφερειακό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Η δομή του μοντέλου «DREEM» απεικονίζεται στο Σχήμα 5, ενώ στη συνέχεια, αναλύονται οι μονάδες/υπό-μονάδες από τις οποίες αποτελείται και οι οποίες παραμετροποιούνται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 5. Τα δομικά στοιχεία και η αρχιτεκτονική του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM». Πηγή: [17]

Μονάδα 1. Καιρικά-Κλιματικά δεδομένα («Weather-Climate data»)

Ο παράγοντας των καιρικών-κλιματικών συνθηκών επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση μιας οικίας, πράγμα το οποίο φαίνεται από τη διακύμανσή της μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Παρότι σε μερικά υπολογιστικά εργαλεία παραλείπεται ή ενσωματώνεται με πολύ απλοποιημένο τρόπο, στο «DREEM» χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα και το μοντέλο παραμετροποιείται προκειμένου να παρέχει δεδομένα για την ακτινοβολία και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για τη γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται. Λόγω του ότι συμπεριλαμβάνονται οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν ανάλογα με την εκάστοτε εποχή του έτους και τη γεωγραφική θέση υπό εξέταση, το εργαλείο μπορεί να πραγματοποιήσει λεπτομερή και ακριβή ανάλυση ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις του υπό-μελέτη συστήματος.

Μονάδα 2. Κτηριακό Κέλυφος («Building envelope»)

Η θερμική συμπεριφορά των κτηρίων κατέχει επίσης σημαντικό ρόλο στη μοντελοποίηση των ενεργειακών αναγκών τους. Το εργαλείο «DREEM» βασίζεται στη θεωρία των μοντέλων μειωμένης τάξης («reduced (low)-order») που προσομοιάζουν τη θερμοδυναμική του κτηρίου επαρκώς, χωρίς να απαιτούνται υπερβολικοί υπολογιστικοί χρόνοι [31]. Βάσει αυτών των μοντέλων, οι θερμικές ζώνες του υπό εξέταση συστήματος, αποτελούνται από θερμικές αντιστάσεις και θερμοχωρητικότητες («RC-network») [32].

Η λειτουργία τους είναι αντίστοιχη με αυτή ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, δηλαδή η θερμοκρασία αντιστοιχεί στην τάση και η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας ή συναγωγής αντιστοιχεί στο ηλεκτρικό ρεύμα. Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οι θερμικές αντιστάσεις και οι θερμοχωρητικότητες προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας κατάλληλα ιστορικά δεδομένα και πρότυπα για κάθε εξεταζόμενο κτήριο.

Μονάδα 3: Ζήτηση ενέργειας («Energy demand»)

Η χρονική μετατόπιση των ενεργειακών φορτίων η οποία θα προκύψει από τη διαχείριση της ζήτησης και την αποκεντρωμένη παραγωγή, αναμένεται να αλλάξουν σημαντικά το προφίλ καθαρής ζήτησης ενέργειας. Συνεπώς, η μοντελοποίηση των αναγκών ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων είναι σημαντική και πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια.

Τα υπολογιστικά εργαλεία τύπου «bottom-up» χρησιμοποιούν πιθανοτικές μεθόδους μέσα από τις οποίες προκύπτουν αναλυτικά αποτελέσματα για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας, τα οποία θεωρούνται ιδιαίτερα χρήσιμα στη μοντελοποίηση κτηρίων [15]. Όπως είναι λογικό, λόγω αδυναμίας πρόβλεψης της ακριβούς συμπεριφοράς των καταναλωτών και των συσκευών, κατά τη μοντελοποίηση κάποια δεδομένα λαμβάνονται προσεγγιστικά, ενώ άλλα από στατιστικές μελέτες. Από την άλλη μεριά, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υπερβολικά λεπτομερή δεδομένα, ο υπολογιστικός χρόνος των εργαλείων προσομοίωσης της ζήτησης αυξάνεται αντιστοίχως. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, το εργαλείο «DREEM» παραμετροποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτουν προφίλ ζήτησης που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, αποφεύγοντας την αχρεία υπολογιστική πολυπλοκότητα που επέρχεται με τη χρήση πολύ λεπτομερών δεδομένων (και τα οποία τις περισσότερες φορές είναι δυσεύρετα), εστιάζοντας στη βέλτιστη αξιοποίηση δεδομένων τα οποία είναι διαθέσιμα από στατιστικές μελέτες ή από βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις [17].

Υπό-μονάδα 3.1: Ποσοστό πληρότητας («Occurancy»)

Σε αυτή την υπό-μονάδα ενσωματώνεται η σύνθεση του νοικοκυριού και τα προφίλ πληρότητας που προκύπτουν από ιστορικά και στατιστικά δεδομένα. Για το πρόγραμμα του κάθε κατοίκου ενός νοικοκυριού χρησιμοποιούνται απλοποιημένα σενάρια δραστηριότητας, ανάλογα με το είδος της ημέρας, δηλαδή, ανάλογα με το αν είναι καθημερινή ή Σαββατοκύριακο, εργάσιμη ημέρα ή αργία. Τα προγράμματα αυτά προέρχονται, είτε από πρότυπα είτε από στατιστικά σημαντικό όγκο δεδομένων που προκύπτει βάσει παρατήρησης, κάτι το οποίο περιορίζει, ως ένα βαθμό, τη συμπεριφορά των καταναλωτών σε προβλέψιμη και επαναλαμβανόμενη [16].

Το εργαλείο «DREEM» αποφεύγει αυτόν τον περιορισμό διακρίνοντας τρία είδη κατάστασης για τον κάθε κάτοικο. Οι καταστάσεις περιγράφονται με όρους μιας μεταβλητής συνδυασμένης κατάστασης, η οποία αποτελείται από ένα πρώτο ψηφίο που περιγράφει την παρουσία εντός του κτηρίου (1 = «στο σπίτι», 0 = «όχι στο σπίτι») και ένα δεύτερο ψηφίο που περιγράφει την κατάσταση δραστηριότητας (1 = «ενεργός», 0 = «μη

ενεργός»). Ο δεύτερος μηχανισμός που χρησιμοποιείται είναι η δημιουργία προφίλ δραστηριότητας, τα οποία δείχνουν τις τάσεις της συμπεριφοράς των κατοίκων, βασισμένα σε στατιστικά δεδομένα, έτσι ώστε να είναι πιο ρεαλιστικά τα φορτία αναφορικά με το χρονικό διάστημα που εμφανίζονται. Επιπλέον, για να ληφθεί υπόψη η στοχαστικότητα της συμπεριφοράς των καταναλωτών, χρησιμοποιείται μια σταθμισμένη στοχαστική συνάρτηση για μερικές ημέρες ή ώρες της ημέρας [17].

Υπό-μονάδα 3.2: Ηλεκτρικές συσκευές («Appliances»)

Το κομμάτι των ηλεκτρικών συσκευών είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με πληρότητα αλλά και τον αριθμό των κατοίκων της εξεταζόμενης οικίας. Μέσα από το προφίλ δραστηριότητας του κάθε χρήστη προκύπτουν δεδομένα για τις ώρες που μπαίνει σε λειτουργία ή σβήνει κάθε ηλεκτρική συσκευή και, ανάλογα με το χρήστη στον οποίο ανήκει η κάθε συσκευή, το χρόνο χρήσης της και την ενεργειακή της απόδοση, προκύπτει η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδεται σε αυτή. Βάσει αυτής της «bottom-up» προσέγγισης, υπολογίζεται η συνολική κατανάλωση των συσκευών του εξεταζόμενου κτηρίου, χωρίς να απαιτούνται δυσεύρετα ιστορικά δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης [17].

Υπό-μονάδα 3.3: Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός («Heating, Ventilation, Air-Conditioning»)

Σε αντίθεση με τα υπολογιστικά εργαλεία τύπου «top-down» που προσεγγίζουν την ενεργειακή ζήτηση συνολικά, η λειτουργία της συγκεκριμένης υπό-μονάδας του εργαλείου «DREEM» είναι να παραμετροποιεί ξεχωριστά το σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού του εξεταζόμενου κτηρίου, έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν επιπλέον τεχνολογίες που επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στη ζήτηση ενέργειας, όπως για παράδειγμα οι έξυπνοι θερμοστάτες. Η συγκεκριμένη υπό-μονάδα λαμβάνει υπόψιν το σύστημα θέρμανσης/ψύξης που υπάρχει σε κάθε τύπο κατοικίας υπό μελέτη και τα επιμέρους χαρακτηριστικά του [17].

Μονάδα 4: Θερμική άνεση («Thermal comfort»)

Ως θερμική άνεση χαρακτηρίζεται η κατάσταση στην οποία η θερμοκρασία του χώρου είναι ικανοποιητική και έχει ευεργετική επίδραση στην παραγωγικότητα των κατοίκων [33], καθώς υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν δυσαρέσκεια. Η διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική κατανάλωση ενέργειας μιας οικίας, επομένως είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης [34]. Το εργαλείο «DREEM» βασίζεται σε διεθνή πρότυπα για να καθορίσει το αποδεκτό θερμοκρασιακό εύρος για να υπάρχει θερμική άνεση στους κατοίκους. Αυτά τα πρότυπα έχουν προκύψει κυρίως μέσω μαθηματικών μοντέλων βασισμένα σε εργαστηριακή έρευνα [35]. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη θεωρία του Fanger, υπολογίζεται το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο οι άνθρωποι ανεξαρτήτως φυλής, φύλου και ηλικίας, νιώθουν ευχάριστα, το οποίο καθορίζεται βάσει του δείκτη «PMV» («Predicted Mean Vote»). Ο δείκτης «PMV» περιλαμβάνει τέσσερις μεταβλητές του περιβάλλοντος (τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την υγρασία, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και την ταχύτητα του αέρα), καθώς

επίσης και δυο ατομικές μεταβλητές, τον μεταβολισμό και τη μόνωση λόγω ρουχισμού. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις διαφορετικές κατηγορίες θερμικής άνεσης ανάλογα με το εύρος θερμοκρασίας σε σχέση με το δείκτη «PMV».

Πίνακας 1. Τα θερμοκρασιακά εύρη θερμικής άνεσης βάσει του δείκτη «PMV». Πηγή: [17]

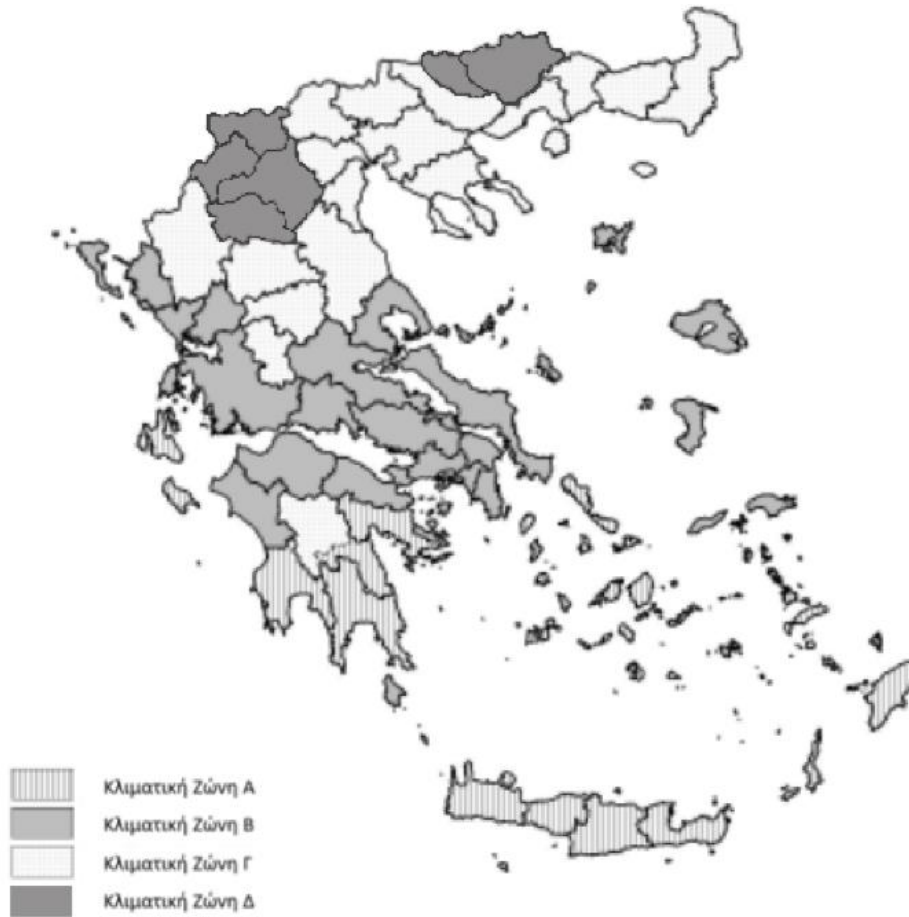
Κατηγορία	Εύρη Δείκτη «PMV»	Επεξήγηση
I	$-0,2 < PMV < +0,2$	Υψηλές προσδοκίες: προτείνεται για χώρους όπου κατοικούν ευαίσθητες ομάδες με ιδιαίτερες απαιτήσεις
II	$-0,5 < PMV < +0,5$	Κανονικές προσδοκίες: χρησιμοποιείται για νέα και ανακαινισμένα κτήρια
III	$-0,7 < PMV < +0,7$	Αποδεκτές, μέτριες προσδοκίες: χρησιμοποιείται για τα υπάρχοντα κτήρια
IV (A)	$-1 < PMV < +1$	Οριακές προσδοκίες: τιμές που είναι αποδεκτές μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα εντός μιας ημέρας
IV (B)	$PMV < -1$ ή $PMV > +1$	Μη αποδεκτές προσδοκίες: τιμές εκτός των παραπάνω κριτηρίων, γίνονται αποδεκτές για πολύ περιορισμένο χρονικό διάστημα εντός ενός έτους

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου στον οικιακό τομέα της Ελλάδας

Η Ελλάδα αποτελεί το Νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης, βρίσκεται δηλαδή σε μια γεωγραφικά στρατηγική θέση, καθώς τη συνδέει με άλλες δυο ηπείρους, την Ασία και την Αφρική. Η σπουδαιότητα της γεωγραφικής θέσης των χωρών μπορεί στις μέρες μας να είναι υποβαθμισμένη, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων. Στον ενεργειακό τομέα όμως, οι αποστάσεις, η μορφολογία, η τοποθεσία και ο γεωπολιτικός προσδιορισμός μιας χώρας κατέχουν σημαντικό ρόλο. Η Ελλάδα, λοιπόν, αποτελεί ενεργειακό κόμβο, λόγω των δικτύων φυσικού αερίου και των ηλεκτρικών διασυνδέσεων που αναπτύσσονται τώρα με τα νησιά αλλά και με τις γειτονικές χώρες [8]. Επιπλέον, χάρη στο πλούσιο αιολικό και ηλιακό δυναμικό της, αποτελεί σημαντικό παράγοντα του ενεργειακού οράματος για την παραγωγή ενέργειας με ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα και με αξιοποίηση τεχνολογιών αποθήκευσης. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η παραμετροποίηση του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM» και η εφαρμογή του στη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας.

Μονάδα 1. Καιρικά-Κλιματικά δεδομένα («Weather-Climate data»)

Το κλίμα διαφέρει αρκετά ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται η κάθε οικία. Για παράδειγμα, η Ανατολική Στερεά Ελλάδα και όλες οι περιοχές που βρέχονται από το Αιγαίο Πέλαγος έχουν μέτριες βροχές, ήπιους χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια, οι Δυτικές περιοχές που βρέχονται από το Ιόνιο Πέλαγος και η Νότια Κρήτη έχουν υγρό κλίμα, με πολλές βροχές, ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, ενώ αντίστοιχα η κεντρική και βόρεια Ελλάδα έχει πιο ψυχρούς χειμώνες και όσο αυξάνεται το υψόμετρο αυξάνονται και οι βροχοπτώσεις σε ετήσια βάση. Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν ανά περίπτωση, οι εξεταζόμενες κατοικίες κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας σύμφωνα με το Κ.Ε.Ν.Α.Κ., όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6**, βάσει του οποίου έχει καταστρωθεί ο **Πίνακας 2**.



Σχήμα 6. Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.). Πηγή: [36]

Πίνακας 2. Οι νομοί της Ελλάδας ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.). Πηγή: [36]

ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Οι συνθήκες που επικρατούν ανά κλιματική ζώνη ενσωματώθηκαν στο μοντέλο μέσω της βάσης δεδομένων του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού («World Meteorological Organisation, WMO») ¹ [37]. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις

¹ <http://climate.onebuilding.org/default.html> (29/12/2020)

Τυπικές Μετεωρολογικές Χρονιές («Typical Meteorological Years, TMY») τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες ανά ώρα για ολόκληρα έτη. Για κάθε κλιματική ζώνη επιλέχθηκαν τα δεδομένα που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη πόλη για τα έτη 2004-2018. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα δεδομένα από τις παρακάτω πόλεις:

- ❖ **Ζώνη Α:** Ηράκλειο.
- ❖ **Ζώνη Β:** Αθήνα.
- ❖ **Ζώνη Γ:** Θεσσαλονίκη.
- ❖ **Ζώνη Δ:** Κοζάνη.

Μονάδα 2. Κτηριακό Κέλυφος («Building envelope»)

Για τα χαρακτηριστικά του κτηριακού κελύφους των εξεταζόμενων κατοικιών χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τη βάση δεδομένων «TABULA»², ενός ευρωπαϊκού διαδικτυακού εργαλείου το οποίο περιέχει τις εθνικές τυπολογίες κτηρίων του οικιακού τομέα, για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Το σύνολο των χαρακτηριστικών των κτηρίων διαφοροποιούν την ενεργειακή συμπεριφορά κάθε κατοικίας και αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους κατοικιών, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναλύσεις σεναρίων, όπως στη συγκεκριμένη εργασία. Η ταξινόμηση των κτηρίων που αποτελούν την Ελληνική τυπολογία γίνεται ανάλογα με τον τύπο κατοικίας (μονοκατοικία ή πολυκατοικία), την περίοδο κατασκευής και την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκονται.

Η ηλικία της κάθε κατοικίας, δηλαδή η περίοδος κατασκευής της, καθορίζει τον τύπο του κτηριακού κελύφους, τον βαθμό θερμομόνωσής του και, έως ένα βαθμό, το είδος των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων στο κτήριο. Ανάλογα με την περίοδο κατασκευής και σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ., οι κατοικίες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Κατοικίες χτισμένες μέχρι το 1980.
2. Κατοικίες χτισμένες μεταξύ 1981-2000.
3. Κατοικίες χτισμένες μεταξύ 2000-2010.
4. Κατοικίες χτισμένες μετά το 2011.

Το 1980 έγινε η έναρξη της εφαρμογής του προγενέστερου Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ), οπότε, η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως κατοικίες που θεωρούνται στη συντριπτική τους πλειοψηφία μη μονωμένες, παρότι περιλαμβάνει και κτήρια που έχουν ενδεχομένως υποστεί ανακαίνιση. Οι κατοικίες της δεύτερης κατηγορίας, που έχουν ανεγερθεί στο διάστημα 1981-2000, θεωρούνται μερικώς μονωμένες, διότι η ενσωμάτωση της θερμομόνωσης που προέβλεπε ο ΚΘΚ του 1980 δεν εφαρμόστηκε πλήρως κατά την πρώτη δεκαετία ισχύος και, γενικά, υπήρξε μια μεγάλη περίοδος προσαρμογής ώστε η θερμομόνωση στην πλειοψηφία των κατασκευών να γίνεται κατά τον ενδεδειγμένο τρόπο, δηλαδή με τη μόνωση και του φέροντος οργανισμού, ώστε να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες. Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις κατοικίες που έχουν ανεγερθεί την περίοδο 2001-2010 και οι οποίες θεωρούνται

² <http://webtool.building-typology.eu/#bm> (29/12/2020)

πλήρως μονωμένες κατά ΚΘΚ, ενώ στην τέταρτη κατηγορία ανήκουν οι κατοικίες που έχουν ανεγερθεί από το 2011 και μετά και θεωρούνται πλήρως μονωμένες κατά Κ.Ε.Ν.Α.Κ. Στο **Παράρτημα (Πίνακες Π1 και Π2)** παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των κατοικιών (μονοκατοικίες – «single-family houses, SFH») ανά περίοδο κατασκευής, όπως βρίσκονται στη βάση δεδομένων του εργαλείου «TABULA».

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, με βάση τις παραπάνω αρχές και τα δημογραφικά στοιχεία για την Ελλάδα για το 2011³, τα νοικοκυριά σε πρώτη φάση χωρίστηκαν ανά περίοδο κατασκευής και ανά νομό και κατ' επέκταση ανά κλιματική ζώνη, όπως παρουσιάζονται παρακάτω (**Πίνακας 3**).

Πίνακας 3. Κατοικίες Ελλάδας ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής. Πηγή: [38]

Κλιματική Ζώνη	Περίοδος κατασκευής	Πλήθος νοικοκυριών
A	έως 1980	769.848
A	1981-2000	198.240
A	2001-2010	66.383
B	έως 1980	790.684
B	1981-2000	780.064
B	2001-2010	218.010
Γ	έως 1980	1.026.997
Γ	1981-2000	402.972
Γ	2001-2010	182.289
Δ	έως 1980	78.126
Δ	1981-2000	34.857

Μονάδα 3: Ζήτηση ενέργειας («Energy demand»)

Οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις προκύπτουν από την παραμετροποίηση των επιμέρους υπό-μονάδων της Μονάδας 3.

Υπό-μονάδα 3.1: Ποσοστό πληρότητας («Occurance»)

Αναφορικά με τους χρήστες στην κάθε κατοικία υπό μελέτη, υπάρχουν δυο στάδια στη διαδικασία της παραμετροποίησης με στόχο την αντιπροσωπευτική μοντελοποίηση. Το πρώτο στάδιο είναι να εντοπιστεί ο αριθμός μελών κάθε νοικοκυριού. Για το στάδιο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δημογραφικά δεδομένα δημοσιευμένα από την ΕΛΣΤΑΤ για το έτος 2011 [38] σχετικά με τα άτομα ανά νοικοκυριό και ανά γεωγραφική περιοχή. Συνεπώς, οι κατοικίες χωρίστηκαν ανά περίοδο κατασκευής με βάση τις παραπάνω 4 κατηγορίες, ανά αριθμό μελών και ανά κλιματική ζώνη και με τον τρόπο αυτό προέκυψαν 27 διαφορετικά σενάρια μοντελοποίησης, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4**). Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, ο συνολικός πληθυσμός της χώρας για την ίδια χρονιά ήταν 10.816.286 άτομα, πράγμα που σημαίνει ότι η κλιμάκωση σε εθνικό επίπεδο βάσει των δεδομένων του **Πίνακα 4**, παρουσιάζει

³ <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM05/> (29/12/2020)

ένα σφάλμα της τάξης του 3,40% και, συνεπώς, αποτελεί μια ικανοποιητική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης του οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο.

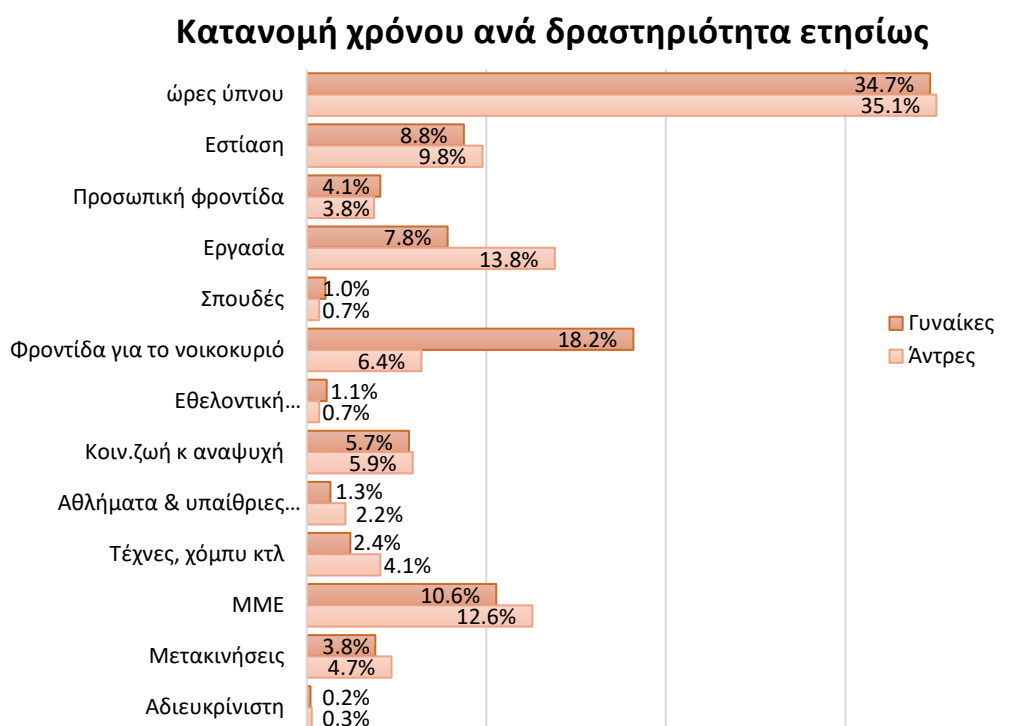
Πίνακας 4. Σενάρια προσομοίωσης: Τύποι κατοικιών ανά κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής και με βάση τον αριθμό μελών ανά νοικοκυριό. Πηγή: [38]

A/A Σεναρίου	Κλιματική Ζώνη	Περίοδος κατασκευής	Αριθμός μελών	Πλήθος νοικοκυριών	Πληθυσμός
1	A	έως 1980	1	379.074	379.074
2	A	έως 1980	2	281.066	562.133
3	A	έως 1980	3	109.708	329.124
4	A	1981-2000	1	114.053	114.053
5	A	1981-2000	4	84.187	336.746
6	A	2001-2010	3	53.988	161.965
7	A	2001-2010	4	12.395	49.580
8	B	έως 1980	3	403.291	1.209.873
9	B	έως 1980	4	308.605	1.234.419
10	B	έως 1980	5	78.788	393.939
11	B	1981-2000	1	419.264	419.264
12	B	1981-2000	3	221.524	664.572
13	B	1981-2000	4	139.276	557.105
14	B	2001-2010	1	112.696	112.696
15	B	2001-2010	2	45.769	91.539
16	B	2001-2010	3	59.545	178.634
17	Γ	έως 1980	2	454.846	909.692
18	Γ	έως 1980	3	324.125	972.375
19	Γ	έως 1980	4	248.026	992.102
20	Γ	1981-2000	2	273.702	547.404
21	Γ	1981-2000	3	97.520	292.561
22	Γ	1981-2000	5	31.750	158.750
23	Γ	2001-2010	1	90.574	90.574
24	Γ	2001-2010	2	36.785	73.570
25	Γ	2001-2010	4	54.930	219.721
26	Δ	έως 1980	1	78.126	78.126
27	Δ	1981-2000	2	34.857	69.714
Σύνολο				4.548.471	11.199.307

Το δεύτερο στάδιο του ποσοστού πληρότητας είναι να προσδιοριστεί ο χρόνος τον οποίο περνάνε οι κάτοικοι όντας ενεργοί μέσα στις οικίες τους και να διαμορφωθούν τα προφίλ δραστηριότητας των μελών κάθε κατοικίας. Για αυτό το στάδιο, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την Έρευνα Χρήσης Χρόνου της ΕΛΣΤΑΤ για το 2013-2014 [25, 26].

Η Έρευνα Χρήσης Χρόνου έχει σαν περίοδο αναφοράς το Μάρτιο του 2013 μέχρι το Φεβρουάριο του 2014 και συγκεντρώνει πληθώρα πληροφοριών για την κατανομή του χρόνου του πληθυσμού της χώρας (10 ετών και άνω), για διάφορες δραστηριότητες, όπως η εργασία, οι σπουδές, η φροντίδα του νοικοκυριού, οι μετακινήσεις, κ.ά.,

λαμβάνοντας υπόψιν και τη διάσταση του φύλου. Από επεξεργασία των στοιχείων της έρευνας προέκυψε το διάγραμμα κατανομής του χρόνου ανά δραστηριότητα για το σύνολο του πληθυσμού, κατά μέσο όρο στο έτος (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Κατανομή χρόνου (%) που καταναλώνουν οι άντρες/γυναίκες κατά μέσο όρο ανά δραστηριότητα στο σύνολο του έτους. Πηγή: [39]

Σχετικά με την ορολογία που χρησιμοποιείται στο παραπάνω διάγραμμα, σημειώνονται ορισμένες διευκρινίσεις:

1. **Ύπνος:** Περιλαμβάνει τις ώρες πραγματικού ύπνου και τις ώρες παραμονής στο κρεβάτι, πριν και μετά τον ύπνο, καθώς και σε περίπτωση ασθένειας.
2. **Εστίαση:** Αναφέρεται στην κατανάλωση φαγητού και ποτού ανεξαρτήτως τοποθεσίας.
3. **Προσωπική φροντίδα:** Αναφέρεται στο πλύσιμο και ντύσιμο (π.χ. βούρτσισμα δοντιών, αλλαγή ενδυμάτων προσωπική υγιεινή, ξύρισμα κ.λπ.)
4. **Φροντίδα για το νοικοκυριό:** Περιλαμβάνει την προετοιμασία γευμάτων, το στρώσιμο του τραπέζιου, το πλύσιμο και την τακτοποίηση των πιάτων, καθώς και οικιακές εργασίες, όπως η καθαριότητα της οικίας, το πλύσιμο, το σιδέρωμα και το δίπλωμα ειδών ένδυσης.
5. **Εθελοντική εργασία και συναντήσεις:** Αναφέρεται στην εργασία σε κάποιον οργανισμό ως εθελοντής και στην άτυπη παροχή βοήθειας σε άλλο νοικοκυριό.
6. **Κοινωνική ζωή και αναψυχή:** Αναφέρεται στην επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ των μελών του νοικοκυριού ή και άλλων νοικοκυριών, επισκέψεις, εξόδους σε κινηματογράφους, θέατρα, αθλητικούς αγώνες κ.λπ., καθώς και στις ώρες χαλάρωσης-ξεκούρασης.

7. **ΜΜΕ:** Περιλαμβάνει την ανάγνωση εφημερίδων, περιοδικών και βιβλίων, την παρακολούθηση τηλεόρασης και την ακρόαση ραδιοφώνου.

Επιπλέον, η έρευνα παρουσιάζει διαφορές μεταξύ ηλικιακών ομάδων σε σχέση με την παραμονή τους στην οικία ή εκτός αυτής. Στο χρόνο εκτός σπιτιού περιλαμβάνεται το διάστημα που περνούν στην εργασία, στο σχολείο, σε επισκέψεις σε άλλες κατοικίες, σε μετακινήσεις, σε ταξίδια και σε εξόδους σε εστιατόρια, καφετέριες κ.λπ. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιοριστεί ο χρόνος εντός ή εκτός της οικίας, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5**).

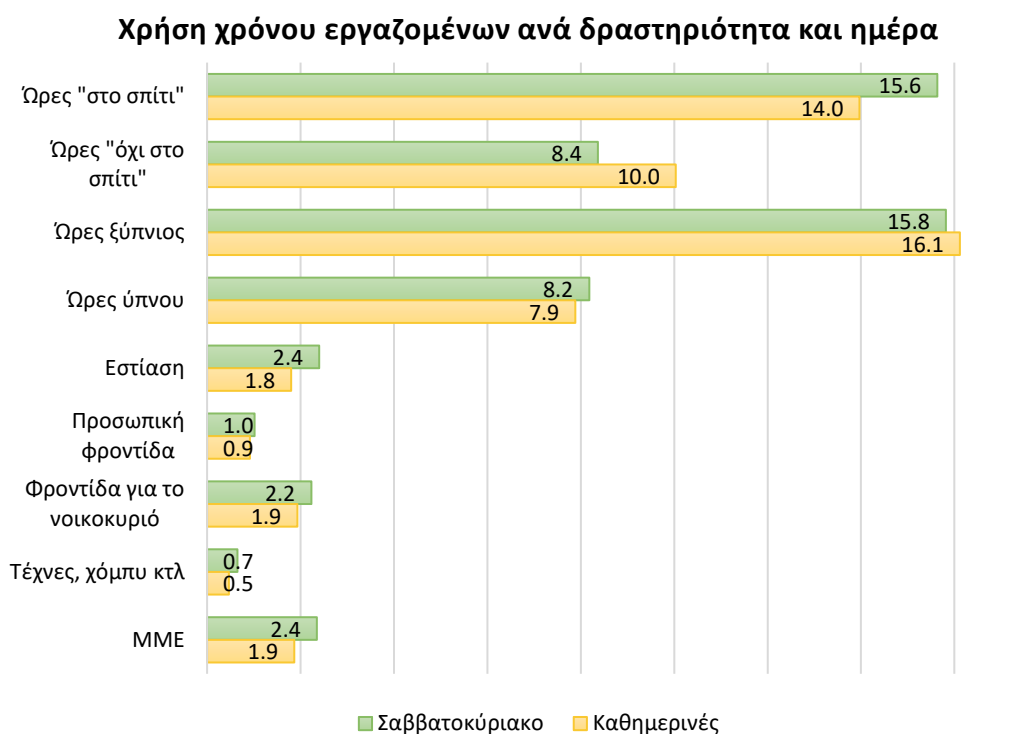
Πίνακας 5. Χρόνος εντός και εκτός οικίας ανά ηλικιακή ομάδα. Πηγή: [39]

	Ηλικία (ετών)	Ώρες στο εικοσιτετράωρο	
		Γυναίκες	Άντρες
«στο σπίτι»	15-24	17,4	16,4
«όχι στο σπίτι»		6,6	7,6
«στο σπίτι»	25-34	17,5	15,7
«όχι στο σπίτι»		6,5	8,3
«στο σπίτι»	35-44	18,4	15,3
«όχι στο σπίτι»		5,6	8,7
«στο σπίτι»	45-64	19,4	16,6
«όχι στο σπίτι»		4,6	7,4
«στο σπίτι»	65+	21,6	19,7
«όχι στο σπίτι»		2,5	4,4
«στο σπίτι»	Σύνολο	19,3	16,9
«όχι στο σπίτι»		4,7	7,2

Παράλληλα, η έρευνα παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατανομή χρόνου του πληθυσμού ανάλογα με το εάν είναι οικονομικά ενεργοί ή όχι και ειδικότερα για τους εργαζόμενους παρέχεται και η διάσταση της καθημερινής (εργάσιμης ημέρας) και του Σαββατοκύριακου (**Πίνακας 6, Σχήμα 8**).

Πίνακας 6. Κατανομή χρόνου (σε ώρες και λεπτά) πληθυσμού ηλικίας μεταξύ 20-74 ετών, ανάλογα με την εργασιακή – οικονομική τους κατάσταση. Πηγή: [40]

	Εργαζόμενοι		Άνεργοι		Μη οικονομικά ενεργοί	
	Γυναίκες	Άντρες	Γυναίκες	Άντρες	Γυναίκες	Άντρες
Ώρες «στο σπίτι»	15:27	13:59	19:17	18:12	19:22	18:17
Ώρες «όχι στο σπίτι»	8:33	10:01	4:43	5:48	4:38	5:43
Ώρες ξύπνιος	16:07	15:58	15:17	15:15	15:22	15:04
Ώρες ύπνου	7:53	8:02	8:43	8:45	8:38	8:56
Εστίαση	1:46	2:01	2:29	2:41	2:14	2:41
Προσωπική φροντίδα	1:00	0:54	1:01	0:52	0:58	0:56
Φροντίδα για το νοικοκυριό	3:15	1:04	4:13	1:54	5:17	2:09
Τέχνες, χόμπι κλπ	0:35	0:43	0:54	1:35	0:29	1:04
ΜΜΕ	1:51	2:15	3:11	3:45	2:53	3:51



Σχήμα 8. Χρήση χρόνου (σε ώρες ανά ημέρα) εργαζομένων ηλικίας μεταξύ 20-74 ετών τις καθημερινές (εργάσιμες) και τα Σαββατοκύριακα. Πηγή: [40]

Συνεπώς, με βάση την έρευνα χρήσης χρόνου του πληθυσμού της Ελλάδας μπορεί να γίνει μια αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση σε σχέση με το χρόνο που θεωρείται ότι αναλώνουν τα μέλη των νοικοκυριών μέσα στο σπίτι, ξύπνιοι κ.λπ., καθώς και σε επιμέρους δραστηριότητες οι οποίες συνεισφέρουν στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της οικίας.

Για να ενσωματωθούν τα ετήσια στοιχεία χρήσης χρόνου των μελών κάθε νοικοκυριού στο μοντέλο έπρεπε να γίνουν κάποιες παραδοχές σχετικά με την κατανομή τους σε λεπτομερέστερο βαθμό. Οι παραδοχές αυτές ήταν οι εξής:

1. Θεωρήθηκε ότι τα εργαζόμενα μέλη κάθε νοικοκυριού εργάζονται κατά τις πρωινές ώρες, Δευτέρα-Παρασκευή.
2. Θεωρήθηκαν τα εξής διαστήματα διακοπών:
 - Διακοπές Χριστουγέννων το διάστημα 24-31/12,
 - Διακοπές Πάσχα το διάστημα 1-7/5,
 - Καλοκαιρινές διακοπές το διάστημα 1-15/8.

Και για τις τρεις περιόδους διακοπών έγινε η παραδοχή ότι όλα τα μέλη του νοικοκυριού λείπουν και κατ' επέκταση δε συνεισφέρουν στην ενεργειακή κατανάλωση της υπό μελέτη κατοικίας.
3. Το διάστημα της ημέρας που αφιερώνουν τα μέλη στις επιμέρους δραστηριότητες που καταναλώνουν ενέργεια προσαρμόστηκε ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε νοικοκυριού, με κριτική σκέψη και με γνώμονα να είναι κατά το δυνατό ρεαλιστική η απεικόνιση της καθημερινότητας των μελών. Για

παράδειγμα, για τα εργαζόμενα μέλη του νοικοκυριού θεωρήθηκε ότι το Σαββατοκύριακο ξεκουράζονται 1-2 ώρες το μεσημέρι, ενώ τις καθημερινές ο ύπνος είναι συνεχόμενος (βραδινός).

Υπό-μονάδα 3.2: Ηλεκτρικές συσκευές («Appliances»)

Για την κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται στις ηλεκτρικές συσκευές, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για ονομαστική ισχύ για κάθε είδος συσκευής και για το ποσοστό κυριότητάς τους, βάσει της έρευνας για την κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά της Ελλάδας για το 2012-2013 [41] και της ανάλυσης των προφίλ κυριότητας κάθε συσκευής [42]. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζει παρακάτω ο **Πίνακας 7**.

Πίνακας 7. Ονομαστική ισχύς και βαθμός κυριότητας ανά ηλεκτρική συσκευή. Πηγή: [41]

Ηλεκτρικές Συσκευές	Κυριότητα (%)	Ονομαστική Ισχύς (W)
Μαγείρεμα		
Εστίες	91,82	1.600
Ηλεκτρική κουζίνα με φούρνο	86,89	2.150
Φούρνος μικροκυμάτων	33,33	1.150
Τοστιέρα	61,80	1.300
Μηχανή καφέ	36,91	1.100
Βραστήρας	31,41	1.250
Απορροφητήρες	89,64	108
Φωτισμός		
Λαμπτήρες πυρακτώσεως (x6)	80,54	80
Λαμπτήρες «LED» (x2)	4,75	10
Νυχτερινός φωτισμός (x1)	95,01	1
Άλλες συσκευές		
Ψυγείοκαταψύκτης	80,57	150
Πλυντήριο πιάτων	29,02	1.350
Πλυντήριο ρούχων	94,30	500
Σίδερο	94,98	1.000
Ηλεκτρική σκούπα	78,06	450
Τηλεόραση	99,03	100
DVD/VCR	37,05	40
Στερεοφωνικό	30,59	24
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	41,84	300
Περιφερειακές συσκευές (εκτυπωτής, scanner κ.ά.)	13,91	50
Διαδικτυακές συσκευές (εκτυπωτής, scanner, κ.ά.)	38,21	10
Κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών	6,36	160
Φορτιστής κινητού τηλεφώνου	99,36	1

Η ενέργεια που καταναλώνουν οι ηλεκτρικές συσκευές κατά τη χρήση τους ουσιαστικά προκύπτει από το συνδυασμό της παραπάνω πληροφορίας με τα προφίλ μελών που

προκύπτουν από τα στοιχεία της Υπό-μονάδας 3.1. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία της έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν για τις ώρες χρήσης κάθε συσκευής ήταν τα ακόλουθα (Πίνακας 8).

Πίνακας 8. Κατανομή ατομικού ημερήσιου χρόνου σε ενεργοβόρες δραστηριότητες αναφορικά με το φύλο. Πηγή: [40]

	Ώρες ανά ημέρα	
	Γυναίκες	Άντρες
Παρακολούθηση τηλεόρασης, video, dvd, κ.τ.λ.	2,3	2,7
Ακρόαση ραδιοφώνου και μέσα αναπαραγωγής ήχου	0,1	0,2
Προετοιμασία γεύματος, στρώσιμο τραπέζιου	1,4	0,2
Πλύσιμο και τακτοποίηση πιάτων	0,6	0,1
Καθαριότητα οικίας	0,8	0,1
Σιδέρωμα κ δίπλωμα ενδυμάτων	0,3	0,0
Πλύσιμο/στεγνό καθάρισμα	0,2	0,0

Υπό-μονάδα 3.3: Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός («Heating, Ventilation, Air-Conditioning»)

Αναφορικά με το σύστημα θέρμανσης κάθε κατοικίας, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τις βασικές τυπολογίες της βάσης δεδομένων «TABULA» [43] οι οποίες συνοψίζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Συστήματα παραγωγής θερμότητας ανά τύπο κατοικίας. Πηγή: [43]

Περίοδος Κατασκευής	Κλιματική Ζώνη	Σύστημα παραγωγής
έως 1980	A	Λέβητας πετρελαίου ($\eta = 0,925$)
	B	
	Γ	
	Δ	
1981 - 2000	A	Λέβητας πετρελαίου ($\eta = 0,919$)
	B	Λέβητας πετρελαίου ($\eta = 0,930$)
	Γ	Λέβητας πετρελαίου ($\eta = 0,925$)
	Δ	Λέβητας πετρελαίου ($\eta = 0,919$)
2001 - 2010	A	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου ($\eta = 0,950$)
	B	
	Γ	
	Δ	

Αναφορικά με το σύστημα ψύξης, θεωρήθηκε ότι οι κατοικίες διαθέτουν μια διαχωρισμένη μονάδα κλιματισμού ονομαστικής ισχύος 5kW με βαθμό απόδοσης («Coefficient of Performance, COP») ίσο με 3,51.

Μονάδα 4: Θερμική άνεση («Thermal comfort»)

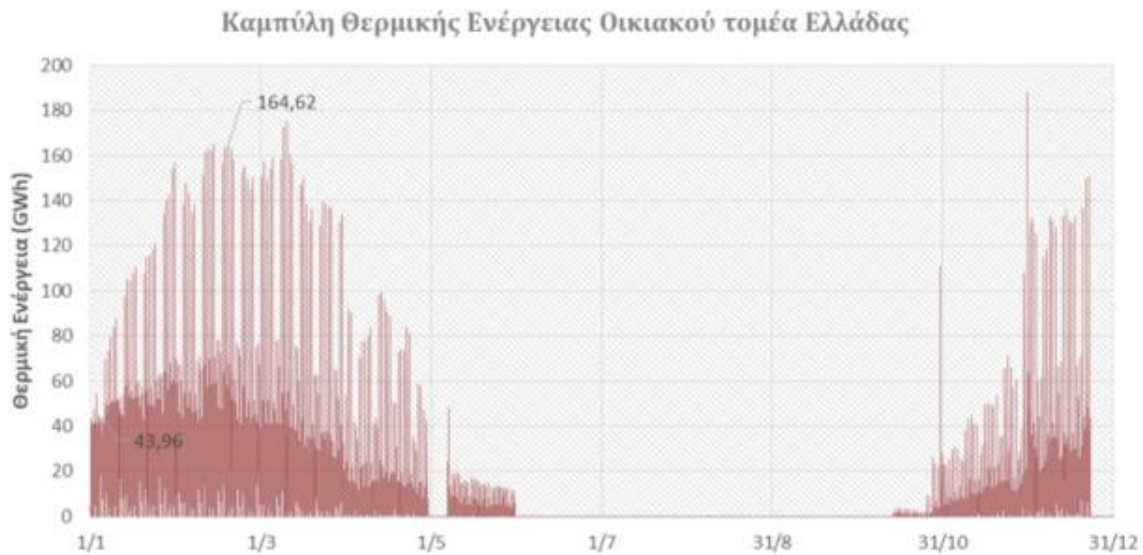
Τέλος, η προσομοίωση του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM» για κάθε ένα από τα υπό εξέταση σενάρια, έγινε υπό τον περιορισμό ότι κατά τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης η θερμική άνεση των κατοίκων δεν ξεπερνούσε τα αποδεκτά όρια, όπως αυτά

διαμορφώνονται από το θεωρητικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα αποδεκτά εύρη τιμών του δείκτη «PMV».

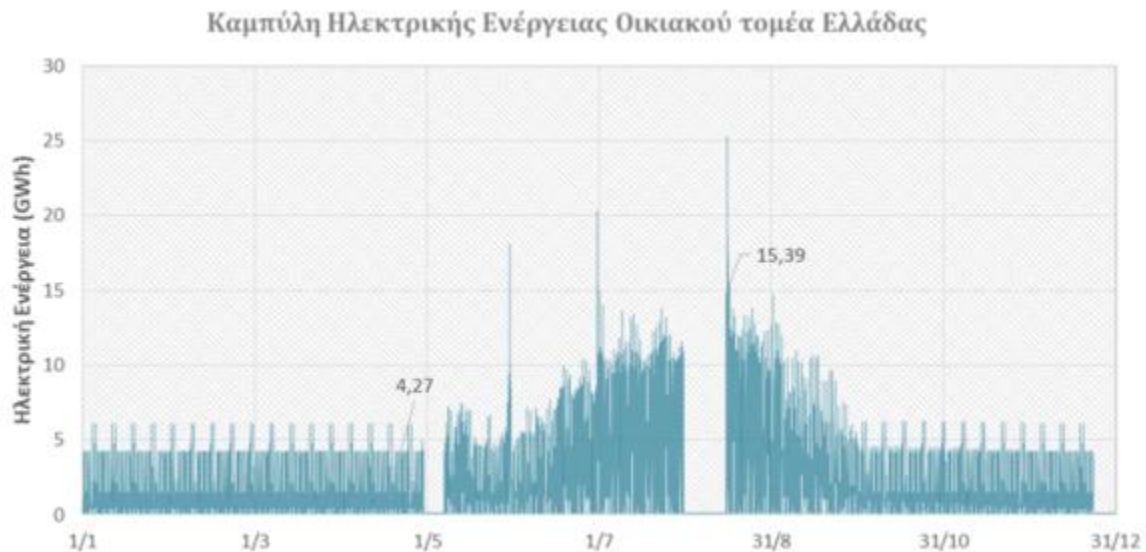
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι καμπύλες ενεργειακής ζήτησης που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που διεξήχθησαν στο υπολογιστικό εργαλείο «DREEM» των 27 σεναρίων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι καμπύλες θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας που προέκυψαν για το σύνολο των νοικοκυριών της χώρας για τη διάρκεια ενός έτους φαίνονται στο **Σχήμα 9** και στο **Σχήμα 10**.



Σχήμα 9. Ετήσια καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα της Ελλάδας (Εθνικό επίπεδο)



Σχήμα 10. Ετήσια καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα της Ελλάδας (Εθνικό επίπεδο)

Παρατηρούμε ότι οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες κατά τη χειμερινή περίοδο, όπως είναι αναμενόμενο λόγω των ψυχρότερων καιρικών συνθηκών. Οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια του οικιακού τομέα συνολικά κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 43,96 GWh

και 164,62 GWh κατά τους χειμερινούς μήνες. Στη συνέχεια, από αρχές Μαρτίου, η καμπύλη φθίνει μέχρι που μηδενίζεται τον Ιούνιο και παραμένει μηδενική μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου. Στη συνέχεια, η καμπύλη ακολουθεί ανοδική τάση φτάνοντας προς το τέλος Δεκεμβρίου σε αντίστοιχα επίπεδα με τους πρώτους μήνες του έτους.

Αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, παρατηρούμε ότι για όλο το έτος υπάρχει μία σταθερή διακύμανση στη μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας γύρω από την τιμή 4,27 GWh, η οποία οφείλεται στο φορτίο βάσης. Το φορτίο αυτό αφορά τις καταναλώσεις που λαμβάνουν χώρα σταθερά μέσα στο έτος και οι οποίες συνδέονται με την κάλυψη καθημερινών, περιοδικών αναγκών που δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες (κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών). Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούμε σημαντική αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10 GWh περίπου, κάτι το οποίο οφείλεται στη χρήση κλιματιστικών και πρόσθετων συσκευών αερισμού (ανεμιστήρες), λόγω αύξησης της θερμοκρασίας.

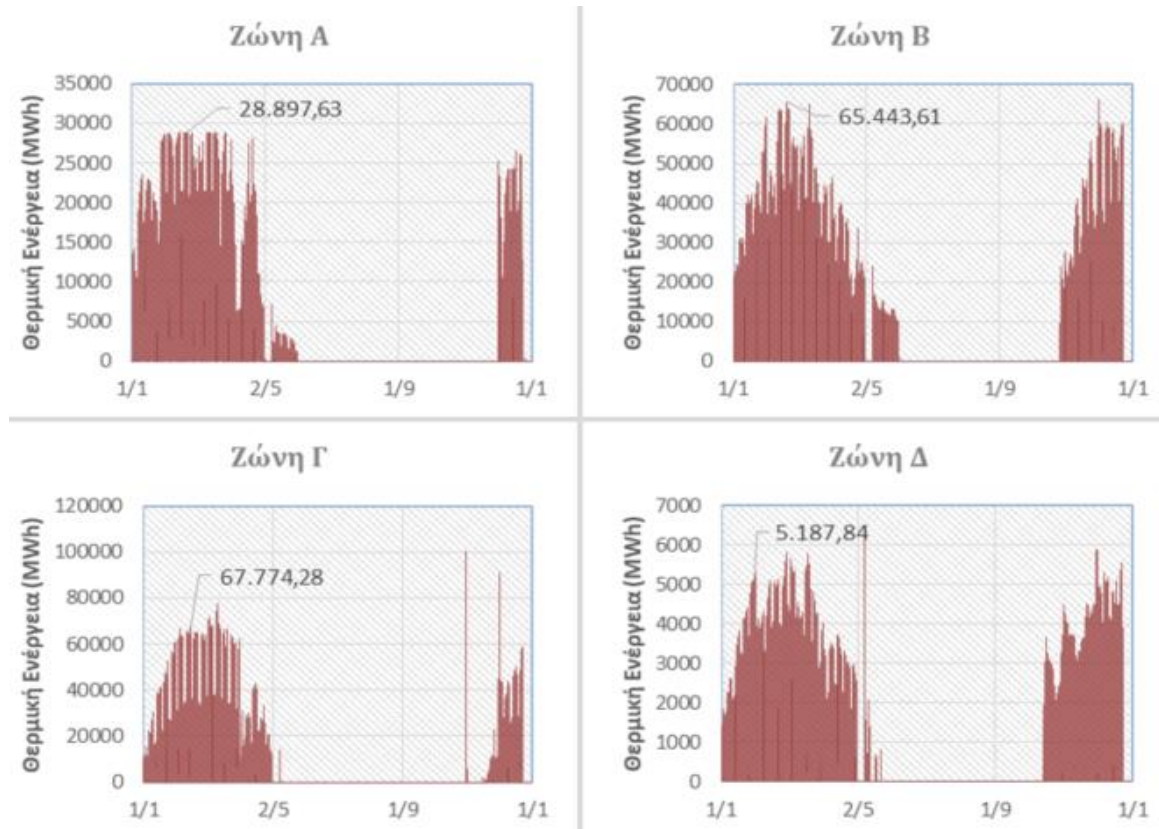
Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το διάστημα των διακοπών Πάσχα (1-7/5), των καλοκαιρινών διακοπών (1-15/8) και των διακοπών Χριστουγέννων (24-31/12), κατά τα οποία έχει θεωρηθεί ότι όλα τα μέλη του νοικοκυριού λείπουν, η θερμική ενέργεια είναι μηδενική, ενώ η ηλεκτρική κατανάλωση είναι ιδιαίτερα μικρή και οφείλεται σε καταναλώσεις συσκευών οι οποίες συνεχίζουν να λειτουργούν κατά την απουσία των μελών του νοικοκυριού, όπως το ψυγείο, ο καταψύκτης κ.λπ.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα εξετάστηκαν σε περιφερειακό επίπεδο, δηλαδή ανά κλιματική ζώνη. Βάσει του πίνακα με τα σενάρια που προσομοιώθηκαν (**Πίνακας 4**), οι τέσσερις κλιματικές ζώνες περιλαμβάνουν:

- Ζώνη Α: 1.034.472 νοικοκυριά
- Ζώνη Β: 1.788.758 νοικοκυριά
- Ζώνη Γ: 1.612.259 νοικοκυριά
- Ζώνη Δ: 112.983 νοικοκυριά

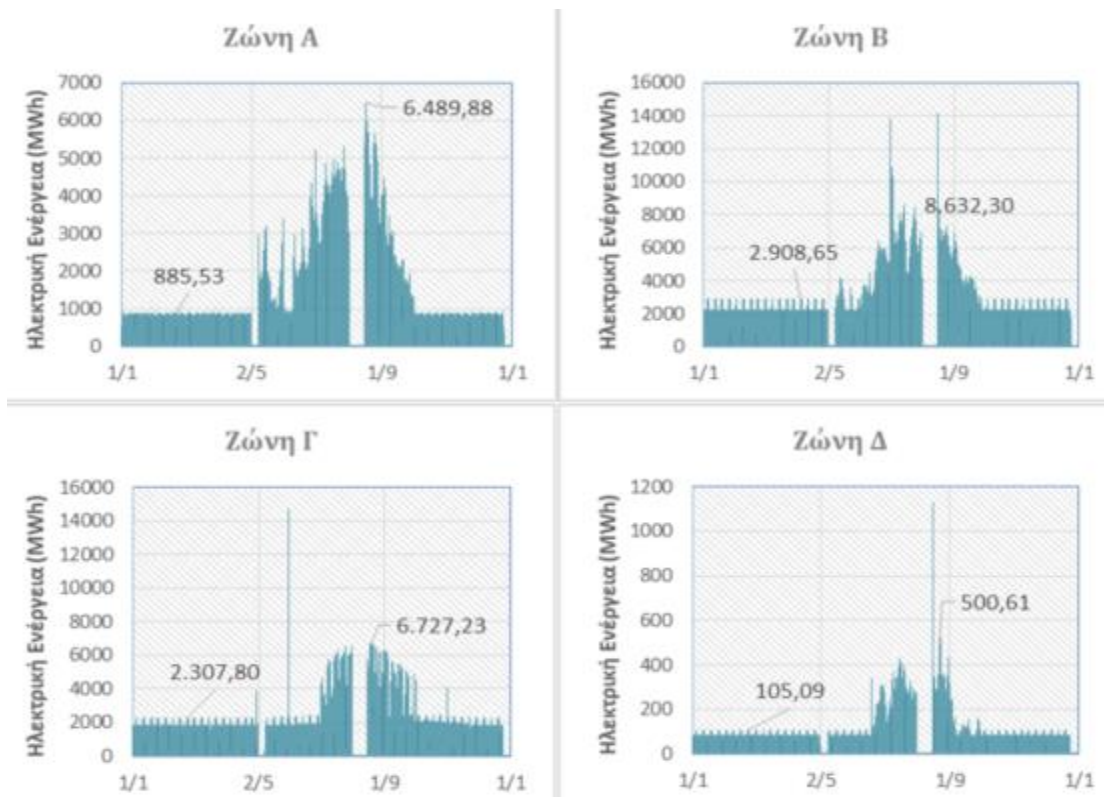
Στο **Σχήμα 11** παρουσιάζεται η θερμική ενέργεια που απαιτείται στον οικιακό τομέα ανά κλιματική ζώνη για τη διάρκεια ενός έτους, ενώ στο **Σχήμα 12** παρουσιάζονται οι αντίστοιχες καμπύλες ηλεκτρικής ενέργειας. Για περισσότερη λεπτομέρεια, στο **Παράρτημα (Διαγράμματα Π1-Π50)** βρίσκονται οι καμπύλες που καταστρώθηκαν για τη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια του οικιακού τομέα, ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο, χωρισμένες σε τρεις περιόδους, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες:

- ❖ Ψυχρός καιρός (Ιανουάριος-Μάρτιος & Δεκέμβριος)
- ❖ Ήπιος καιρός (Απρίλιος-Μάιος & Οκτώβριος-Νοέμβριος)
- ❖ Ζεστός καιρός (Ιούνιος-Σεπτέμβριος)



Σχήμα 11. Καμπύλες ετήσιας θερμικής ενέργειας ανά κλιματική ζώνη για τη διάρκεια ενός έτους

Παρατηρούμε ότι οι πιο μεγάλες καταναλώσεις προκύπτουν στις κλιματικές Ζώνες Β και Γ, όπου κατά τους χειμερινούς μήνες φτάνουν τις 65,44 GWh και 67,77 GWh, αντίστοιχα, ενώ στη ζώνη Α οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια φτάνουν τις 29 GWh και στη ζώνη Δ δεν ξεπερνούν τις 6 GWh. Στην τελευταία, θεωρητικά αναμένουμε μεγαλύτερη θερμική κατανάλωση, λόγω των δυσμενέστερων κλιματικών συνθηκών. Αυτό όμως δεν είναι εμφανές σε αυτή την περίπτωση λόγω του πλήθους νοικοκυριών ανά κλιματική ζώνη. Στην κλιματική ζώνη Δ το πλήθος νοικοκυριών αποτελεί το 6% και 6,4% του πλήθους των νοικοκυριών των ζωνών Β και Γ, αντίστοιχα. Συνεπώς, είναι λογικό στην κλιματική ζώνη Δ η θερμική ενέργεια να αποτελεί το ~7,9% της ενέργειας των ζωνών Β και Γ.



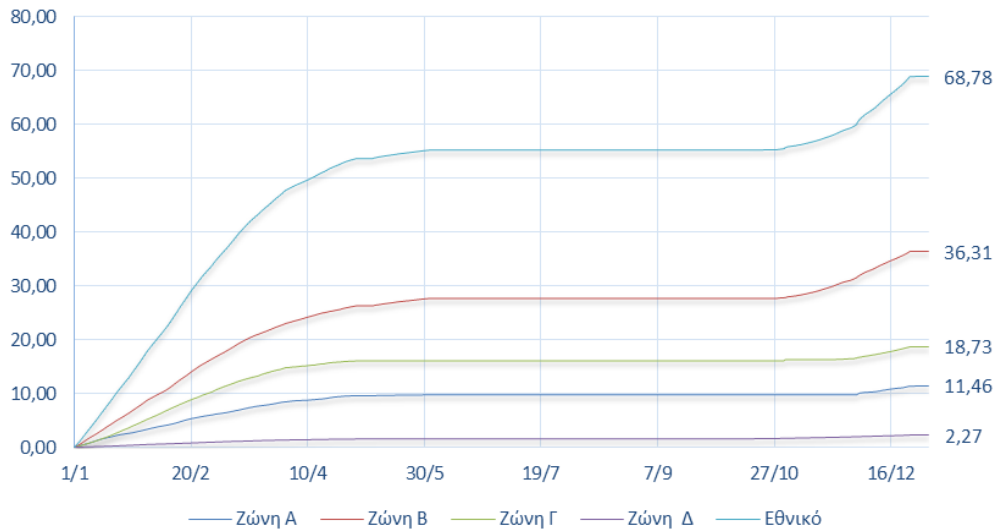
Σχήμα 12. Καμπύλες ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας ανά κλιματική ζώνη για τη διάρκεια ενός έτους

Αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, παρατηρούμε ότι υπάρχει αντιστοιχία του φορτίου βάσης της κάθε ζώνης με το πλήθος νοικοκυριών που περιλαμβάνει. Το μεγαλύτερο φορτίο βάσης παρατηρείται στην κλιματική ζώνη Β (περίπου 2,9 GWh), ακολουθεί η ζώνη Γ (2,3 GWh) και στη συνέχεια οι ζώνες Α και Δ με φορτία βάσης της τάξεως των 0,9 GWh και 0,1 GWh, αντίστοιχα. Αντίστοιχη εικόνα παρατηρούμε και για τις κορυφές που εμφανίζονται στα διαγράμματα κατά τη θερινή περίοδο. Αξιοσημείωτη είναι η σύγκριση μεταξύ της καμπύλης ενέργειας της ζώνης Α και της ζώνης Γ, όπου φτάνουν σε κοντινές κορυφές (6,5 GWh και 6,7 GWh, αντίστοιχα), παρότι το πλήθος νοικοκυριών της ζώνης Γ είναι μεγαλύτερο. Αυτό συμβαίνει επειδή στη Ζώνη Α επικρατεί πιο θερμό κλίμα, οπότε είναι μεγαλύτερες οι ανάγκες ψύξης με τη χρήση κλιματιστικών κατά τη θερινή περίοδο, σε σχέση με τη ζώνη Γ, οπότε η διαφορά των κλιματικών συνθηκών οδηγεί σε αντίστοιχη καμπύλη, παρά τη διαφορά πληθυσμού.

Στο **Σχήμα 13** και στο **Σχήμα 14** παρουσιάζονται αθροιστικά η θερμική και ηλεκτρική ενέργεια, αντίστοιχα, που καταναλώνονται ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο, στη διάρκεια ενός έτους. Παρατηρούμε ότι η κλιματική ζώνη Δ έχει τη μικρότερη συνεισφορά, γεγονός το οποίο αποδίδεται στο πλήθος των νοικοκυριών που περιλαμβάνει, ενώ για τον ίδιο λόγο τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχει η κλιματική ζώνη Β. Σε εθνικό επίπεδο, η ενέργεια που απαιτείται ετησίως για θέρμανση είναι 68,78 TWh, για ηλεκτρισμό 15,83 TWh, ενώ η συνολική ενεργειακή ζήτηση του οικιακού τομέα στη διάρκεια ενός έτους ανέρχεται συνολικά στις 84,61 TWh. Σύμφωνα με το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας («International Energy Agency, IEA») [4], το 2018 η κατανάλωση

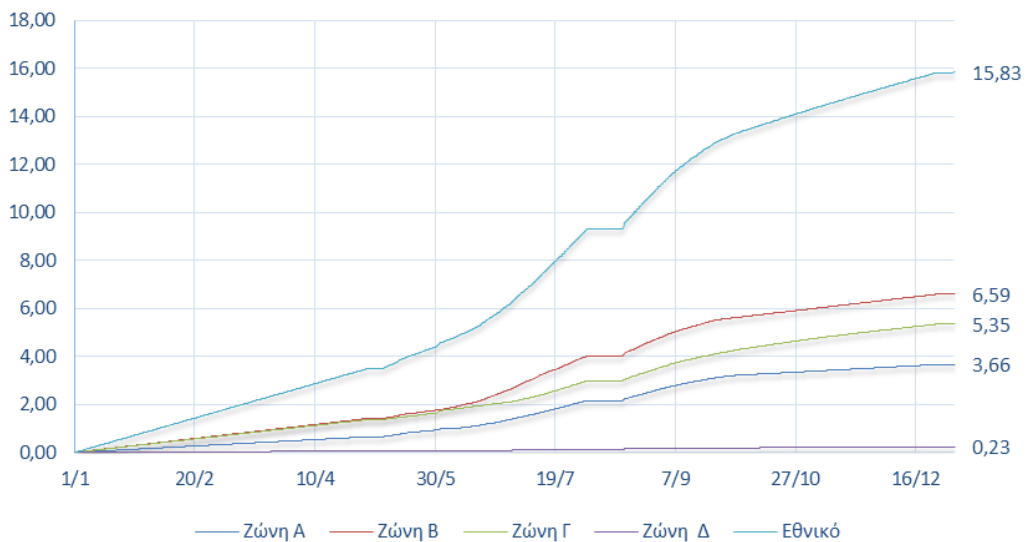
ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό τομέα της Ελλάδας ήταν 16,76 TWh, συνεπώς παρατηρούμαι ότι η προσομοίωσή μας είναι αρκετά ικανοποιητική, επιτυγχάνοντας μία απόκλιση της τάξης του 5.55%.

Ετήσια θερμική ενέργεια (TWh)



Σχήμα 13. Θερμική ενέργεια που απαιτείται ετησίως ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο

Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια (TWh)



Σχήμα 14. Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται ετησίως ανά κλιματική ζώνη και σε εθνικό επίπεδο

Επιπλέον, σύμφωνα με έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ για την ενεργειακή κατανάλωση στα νοικοκυριά για το 2011-2012 [44], η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανά νοικοκυριό ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 3.750 kWh ετησίως, ενώ η θερμική ενέργεια που απαιτείται ανά νοικοκυριό είναι 10.244 kWh, με εύρος μεταξύ 8.453 και 16.923 kWh. Στην παρούσα

εργασία τα αποτελέσματα προσομοίωσης σε 4.548.471 νοικοκυριά δείχνουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται ετησίως ανά νοικοκυριό είναι 3.480 kWh, ενώ θερμική 15.121 kWh. Συνεπώς, η κατανάλωση ενέργειας που προκύπτει από τις προσομοιώσεις που έγιναν είναι αρκετά ρεαλιστική, ιδιαίτερα εάν λάβουμε υπόψη το ρόλο που παίζουν οι αλλαγές του καιρού και της οικονομικής κατάστασης της χώρας στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση στα νοικοκυριά.

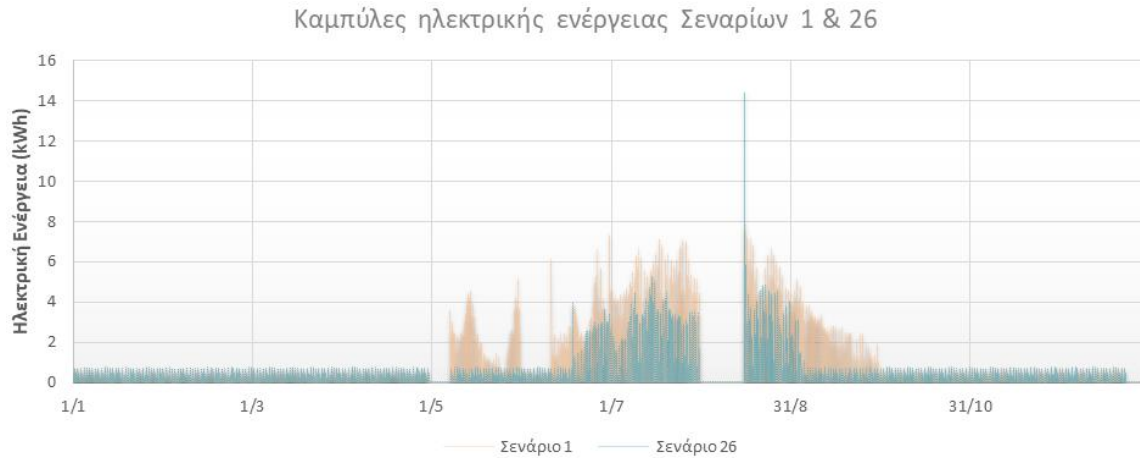
Εστιάζοντας περισσότερο στις διαφορές μεταξύ κλιματικών ζωνών, εξετάστηκαν οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων με κοινά χαρακτηριστικά. Για να είναι αντικειμενική η σύγκριση, επιλέχθηκαν σεσάρια με ίδιο αριθμό μελών, ίδιο αριθμό οικονομικά ενεργών και μη-οικονομικά ενεργών μελών και κοινή περίοδο κατασκευής κατοικίας, που να ανήκουν σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Στα παρακάτω σχήματα (**Σχήμα 15** και **Σχήμα 16**) φαίνεται η σύγκριση μεταξύ των εξής σεναρίων:

- **Σενάριο 1:** Νοικοκυριό με 1 μέλος, περίοδος κατασκευής κατοικίας έως 1980, στην κλιματική ζώνη Α.
- **Σενάριο 26:** Νοικοκυριό με 1 μέλος, περίοδος κατασκευής κατοικίας έως 1980, στην κλιματική ζώνη Δ.



Σχήμα 15. Καμπύλες θερμικής ενέργειας Σεναρίων 1 & 26

Αναφορικά με την απαιτούμενη θερμική ενέργεια, παρατηρούμε ότι στο σενάριο 26 προκύπτουν μεγαλύτερες ανάγκες. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η κατοικία βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Δ και κατ' επέκταση σε δυσμενέστερες χειμερινές καιρικές συνθήκες, σε σχέση με το σενάριο 1. Η θερμική ενέργεια στο σενάριο 26 δεν είναι μόνο αυξημένη, αλλά και έχει μεγαλύτερη διάρκεια απ' ότι στο σενάριο 1. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι από την 1^η Μαΐου μέχρι τέλος Νοεμβρίου στο σενάριο 1 δεν υπάρχει κατανάλωση θερμικής ενέργειας, ενώ στο σενάριο 26 υπάρχει θερμική ενέργεια κατά τη διάρκεια του Μαΐου, ενώ η κατανάλωση της «χειμερινής περιόδου» ξεκινάει από τις 14 Οκτωβρίου.



Σχήμα 16. Καμπύλες ηλεκτρικής ενέργειας Σεναρίων 1 & 26

Αντίστοιχα, αναφορικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούμε ότι οι καταναλώσεις κατά τη διάρκεια της χειμερινής και της «ήπιας» περιόδου είναι παραπλήσιες και στα δύο σενάρια, πράγμα αναμενόμενο βάσει των κοινών προφίλ των δυο νοικοκυριών. Κατά τη θερινή περίοδο όμως στο σενάριο 1 οι καταναλώσεις είναι υψηλότερες απ' ότι στο σενάριο 26, καθώς απαιτείται εντονότερη χρήση κλιματιστικού για να αντισταθμιστούν οι υψηλές θερμοκρασίες της κλιματικής ζώνης Α, σε σχέση με τη ζώνη Δ.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα

Στην πορεία της ενεργειακής μετάβασης με στόχο το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να επέλθουν σημαντικές αλλαγές στον τρόπο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Ο εξηλεκτρισμός του συστήματος και η παραγωγή σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές αποτελούν δυο βασικούς άξονες γύρω από τους οποίους θα κινηθούν οι πολιτικές της χώρας. Για να είναι όμως εφικτές οι αλλαγές που χρειάζονται να επέλθουν σε εθνικό επίπεδο, χωρίς να υπονομεύεται η ασφαλής διάθεση και απορρόφηση των παραγόμενων φορτίων από το σύστημα, θα πρέπει να εφαρμοστούν τεχνικές διαχείρισης ζήτησης και οι καταναλωτές να αποκτήσουν έναν πιο ενεργό ρόλο, σε αντίθεση του μέχρι τώρα παθητικού ρόλου που είχαν. Σε αυτό το πλαίσιο, η μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης του οικιακού τομέα αποτελεί ένα βασικό βήμα στην υλοποίηση του οράματος της ενεργειακής μετάβασης, καθώς προσφέρει μια απεικόνιση των ενεργειακών αναγκών των νοικοκυριών και κατ' επέκταση των καταναλωτών. Πιο ακριβείς προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης στον οικιακό τομέα μπορούν να οδηγήσουν σε πιο ακριβή αξιολόγηση τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης της ζήτησης και άρα στον καλύτερο σχεδιασμό πολιτικών και υποστηρικτικών μέτρων στο δρόμο για την επίτευξη των εθνικών κλιματικών και ενεργειακών στόχων.

Υπό αυτό το πρίσμα, στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό εργαλείο προσομοίωσης υψηλής ευκρίνειας «DREEM», το οποίο συνδυάζει επιτυχώς μεγάλη ευελιξία στην παραμετροποίηση και μικρούς υπολογιστικούς χρόνους. Το εργαλείο παραμετροποιήθηκε με τη χρήση δεδομένων και στατιστικών στοιχείων για τον οικιακό τομέα της Ελλάδας, ενώ πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για 27 διαφορετικές κατηγορίες νοικοκυριών (σενάρια) ανάλογα με την περίοδο κατασκευής τους, τα μέλη του νοικοκυριού και την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκονται.

Ως αποτέλεσμα προέκυψαν οι ετήσιες καμπύλες θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η συνολική κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά σε ετήσια βάση. Αναφορικά με τη θερμική ενέργεια εντοπίστηκαν οι αυξημένες ανάγκες κατά τους χειμερινούς μήνες, λόγω πτώσης θερμοκρασίας, η οποία παρατηρήθηκε ότι εντείνεται στις κλιματικές ζώνες όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, παρατηρήθηκαν αυξημένες ανάγκες κατά τη θερινή περίοδο, γεγονός το οποίο αποδίδεται στην αυξημένη χρήση συσκευών κλιματισμού και εξαερισμού. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ικανοποιητική συνάφεια σε σχέση με βιβλιογραφικά δεδομένα για τον οικιακό τομέα της Ελλάδας.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, πως η εφαρμογή που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς διαμορφώνεται η κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά όταν αλλάζουν παράμετροι όπως οι καιρικές συνθήκες, ο αριθμός των μελών του κάθε νοικοκυριού και η δραστηριότητα του κάθε μέλους. Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η ακρίβεια του μοντέλου "DREEM" για πρόβλεψη της

ενεργειακής ζήτησης μιας κατοικίας και κατ' επέκταση για τον οικιακό τομέα σε εθνικό επίπεδο, πράγμα το οποίο αποτελεί την καινοτομία της παρούσας μελέτης.

Αυτό σημαίνει πως η εφαρμογή μπορεί στη συνέχεια να αξιοποιηθεί από τους φορείς χάραξης ενεργειακών πολιτικών και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη για την ποσοτικοποίηση των ωφελειών εφαρμογής νέων μέτρων. Για παράδειγμα, η εφαρμογή του υπολογιστικού εργαλείου «DREEM» στον οικιακό τομέα της Ελλάδας θα μπορούσε να αξιολογήσει πιθανά μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης και εξοικονόμησης ενέργειας, οδηγώντας σε πιο εύστοχο σχεδιασμό πολιτικών με σκοπό την υλοποίηση των αντίστοιχων εθνικών στόχων.

Ακόμη, η ακριβής απεικόνιση που παρέχει το εργαλείο για τις σημερινές ανάγκες των νοικοκυριών, στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής, μπορεί να οδηγήσει σε αντιπροσωπευτική πρόβλεψη της εξέλιξης της ζήτησης στην πορεία εξηλεκτρισμού του ενεργειακού συστήματος. Τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης που χρησιμοποιούνται προς το παρόν έχουν μεγάλο περιθώριο μετατροπών ως προς αυτή την κατεύθυνση. Θα μπορούσε λοιπόν η εφαρμογή να συνεχιστεί θεωρώντας ότι τοποθετούνται αντλίες θερμότητας και μονάδες κλιματισμού στις οικίες σε αντικατάσταση καυστήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου, έτσι ώστε να ποσοτικοποιηθεί η αναμενόμενη αύξηση στις ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα και η αντίστοιχη μείωση στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων για θέρμανση.

Έπειτα, εάν αναλογιστούμε τον εξηλεκτρισμό του τομέα μεταφορών, τότε θα μπορούσε να αναλυθεί η περίπτωση εισαγωγής ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος που θα επιφέρουν κατά τη διάρκεια φόρτισής τους θα αυξήσει τις ανάγκες του νοικοκυριού, αφού στην πραγματικότητα θα μετατοπίσουν την κατανάλωση ενέργειας από τον τομέα μεταφορών προς τον οικιακό τομέα.

Τέλος, η παραπάνω εφαρμογή μπορεί να αποτελέσει εργαλείο αξιολόγησης πιθανών περιβαλλοντικών πολιτικών που προωθούν την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Θα μπορούσε δηλαδή η εφαρμογή να μελετήσει περαιτέρω την αλλαγή που θα επιφέρει στη ζήτηση η ένταξη οικιακών φωτοβολταϊκών μονάδων παραγωγής, οι οποίες θα παράγουν φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας και θα μειώσουν σημαντικά τις ανάγκες του νοικοκυριού σε ηλεκτρικό ρεύμα για εκείνο το διάστημα. Σαν επόμενο βήμα, θα μπορούσε να εξεταστεί ο συνδυασμός τους με συσσωρευτές οικιακού τύπου, έτσι ώστε η παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό να μπορεί να αξιοποιηθεί σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το νοικοκυριό.

Βιβλιογραφία

- [1] IPCC, “Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis.” *Contrib. Work. Gr. I to Fourth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor H.L. Mill. (eds.)]. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U*, p. 104, 2007, doi: 10.1256/004316502320517344.
- [2] “United Nations Framework Convention,” vol. 62220, 1992.
- [3] G. Ito, A. Romanou, N. Y. Kiang, G. Faluvegi, and I. Aleinov, “Global carbon cycle and climate feedbacks in the NASA GISS ModelE2 . 1,” pp. 0–2, 2020, doi: 10.1029/2019MS002030.
- [4] IEA, “Greece - Countries & Regions - IEA.” <https://www.iea.org/countries/greece> (accessed Sep. 29, 2020).
- [5] A. Midilli, I. Dincer, and M. Ay, “Green energy strategies for sustainable development,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3623–3633, 2006, doi: 10.1016/j.enpol.2005.08.003.
- [6] European Commission, “Kyoto 1st commitment period (2008–12),” *European Commission*, 2019. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_en (accessed Sep. 29, 2020).
- [7] European Commission, “Paris Agreement | Climate Action,” 2015. https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en (accessed Sep. 29, 2020).
- [8] Δ. Μεζαρτάσογλου, Κ. Ν. Σταμπολής, and Ι. Χατζηβασιλειάδης, “Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας - Ετήσια Έκθεση 2019,” 2019.
- [9] European Commission, “2020 climate & energy package | Climate Action,” *2020 Climate & Energy Package*, 2009. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en (accessed Sep. 29, 2020).
- [10] European Commission, “2030 climate & energy framework - Climate Action,” *2030 Climate & Energy Framework*, 2018. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en (accessed Sep. 29, 2020).
- [11] European Commission, “European Climate Law.” https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_en (accessed Dec. 29, 2020).
- [12] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Μακροχρόνια Στρατηγική 2050,” 2019.
- [13] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα,” Αθήνα, 2019.
- [14] R. Audoly, A. Vogt-Schilb, C. Guivarch, and A. Pfeiffer, “Pathways toward zero-carbon electricity required for climate stabilization,” *Appl. Energy*, vol. 225, no. November 2017, pp. 884–901, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.026.
- [15] E. McKenna, M. Krawczynski, and M. Thomson, “Four-state domestic building occupancy model for energy demand simulations,” *Energy Build.*, vol. 96, pp. 30–39, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.03.013.
- [16] I. Gaetani, P. J. Hoes, and J. L. M. Hensen, “Occupant behavior in building energy simulation: Towards a fit-for-purpose modeling strategy,” *Energy Build.*, vol. 121, pp. 188–204, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.03.038.
- [17] V. Stavrakas and A. Flamos, “A modular high-resolution demand-side management model to quantify benefits of demand-flexibility in the residential sector,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, no. November 2019, p. 112339, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112339.
- [18] I. Richardson, M. Thomson, D. Infield, and C. Clifford, “Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1878–1887, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.023.

- [19] I. Richardson, M. Thomson, and D. Infield, "A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations," *Energy Build.*, vol. 40, no. 8, pp. 1560–1566, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.02.006.
- [20] L. G. Swan and V. I. Ugursal, "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 1819–1835, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.033.
- [21] W. Mai and C. Y. Chung, "Model predictive control based on thermal dynamic building model in the demand-side management," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2016-Novem, 2016, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741437.
- [22] V. Pradhan, V. S. K. M. Balijepalli, and S. A. Khaparde, "An effective model for demand response management systems of residential electricity consumers," *IEEE Syst. J.*, vol. 10, no. 2, pp. 434–445, 2016, doi: 10.1109/JSYST.2014.2336894.
- [23] S. Gottwalt, J. Gärttner, H. Schmeck, and C. Weinhardt, "Modeling and valuation of residential demand flexibility for renewable energy integration," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 6, pp. 2565–2574, 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2529424.
- [24] D. Croce *et al.*, "Overgrid: A Fully Distributed Demand Response Architecture Based on Overlay Networks," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 471–481, 2017, doi: 10.1109/TASE.2016.2621890.
- [25] L. Martirano *et al.*, "Demand Side Management in Microgrids for Load Control in Nearly Zero Energy Buildings," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 3, pp. 1769–1779, 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2672918.
- [26] F. Wang, L. Zhou, H. Ren, X. Liu, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, "Multi-objective optimization model of source-load-storage synergetic dispatch for building energy system based on tou price demand response," *2017 IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. IAS 2017*, vol. 2017-Janua, no. 2, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1109/IAS.2017.8101713.
- [27] M. Hu and F. Xiao, "Price-responsive model-based optimal demand response control of inverter air conditioners using genetic algorithm," *Appl. Energy*, vol. 219, no. December 2017, pp. 151–164, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.03.036.
- [28] B. Sivaneasan, N. K. Kandasamy, M. L. Lim, and K. P. Goh, "A new demand response algorithm for solar PV intermittency management," *Appl. Energy*, vol. 218, no. February, pp. 36–45, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.147.
- [29] B. Alimohammadisagvand, J. Jokisalo, and K. Sirén, "Comparison of four rule-based demand response control algorithms in an electrically and heat pump-heated residential building," *Appl. Energy*, vol. 209, no. September 2017, pp. 167–179, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.088.
- [30] K. Pereverza, O. Pasichnyi, and O. Kordas, "Modular participatory backcasting: A unifying framework for strategic planning in the heating sector," *Energy Policy*, vol. 124, pp. 123–134, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.027.
- [31] E. McKenna and M. Thomson, "High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic demand model," *Appl. Energy*, vol. 165, pp. 445–461, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.089.
- [32] V. S. K. V. Harish and A. Kumar, "Reduced order modeling and parameter identification of a building energy system model through an optimization routine," *Appl. Energy*, vol. 162, pp. 1010–1023, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.137.
- [33] B. Alimohammadisagvand, S. Alam, M. Ali, M. Degefa, J. Jokisalo, and K. Sirén, "Influence of energy demand response actions on thermal comfort and energy cost in electrically heated residential houses," *Indoor Built Environ.*, vol. 26, no. 3, pp. 298–316, 2017, doi: 10.1177/1420326X15608514.

- [34] L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications - A review," *Appl. Energy*, vol. 115, pp. 164–173, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.062.
- [35] Fanger PO, *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*, Danish Tec. 1970.
- [36] Υπουργείο Οικονομικών - Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, "Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.)," *Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, pp. 5333–5356, 2010.
- [37] D. B. C. Lawrie, Linda K, "Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)," 2019. <http://climate.onebuilding.org>.
- [38] Ελληνική Στατιστική Αρχή, "Χαρακτηριστικά κατοικιών - νοικοκυριών / 2011," 2011. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM05/-> (accessed Dec. 28, 2020).
- [39] Ελληνική Στατιστική Αρχή, "Έρευνα Χρήσης Χρόνου 2013 - 2014," 2016, [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SFA30/->.
- [40] Ελληνική Στατιστική Αρχή, "Έρευνα Χρήσης Χρόνου - Χρήση Χρόνου Εργαζομένων 2013 - 2014," 2016, [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SFA30/->.
- [41] Hellenic Statistical Authority, "Development of detailed statistics on Energy Consumption in Households 2011-2012," no. April, pp. 1–45, 2013.
- [42] N. A. Spyridaki, V. Stavrakas, Y. Dendramis, and A. Flamos, "Understanding technology ownership to reveal adoption trends for energy efficiency measures in the Greek residential sector," *Energy Policy*, vol. 140, no. January, p. 111413, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111413.
- [43] E. Coordinator, "Τυπολογία Ελληνικών Κτιρίων Κατοικίας," no. March, 2016.
- [44] Ελληνική Στατιστική Αρχή, "Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά 2011-2012," 2013.

Παράρτημα

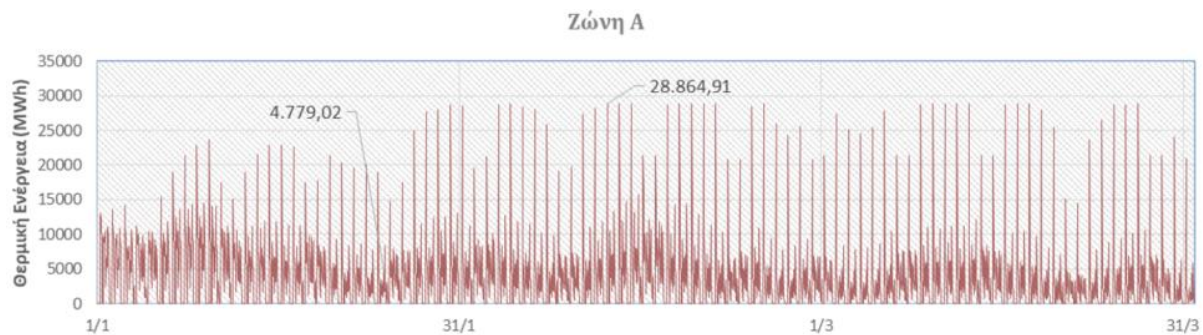
Πίνακας Π1. Χαρακτηριστικά κατοικιών σύμφωνα με το βάση δεδομένων «TABULA» για κατοικίες χτισμένες έως το 2010

Περίοδος κατασκευής	έως 1980				1981 - 2000				2001 - 2010			
	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ
Κλιματική Ζώνη												
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m2)	130	190	220	183	101	345	175	212	255	135	211	130
Θερμαινόμενος όγκος (m3)	390	570	693	549	302	1135	473	612	790	390	663	260
Τοίχοι (Οπτοπλινθοδομή με επίχρισμα)	Μονωμένοι (3cm)	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Μονωμένοι (3cm)	Μονωμένοι (3cm)	Μονωμένοι (3cm)	Μονωμένοι (5cm)	Μονωμένοι (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένοι (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένοι (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένοι (5cm)
Φέρων οργανισμός	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Χωρίς μόνωση	Μονωμένος (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένος (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένος (κατά ΚΘΚ)	Μονωμένος (5cm)
Οροφή	Συμβατικού τύπου δώμα. Χωρίς μόνωση	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Χωρίς μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Μονωμένο (5cm)	Συμβατικού τύπου δώμα. Χωρίς μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Χωρίς μόνωση	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Μονωμένη (3cm)	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Μονωμένη (3cm)	Συμβατικού τύπου δώμα. Μονωμένο (5cm)	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Μονωμένη (κατά ΚΘΚ)	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Μονωμένη (κατά ΚΘΚ)	Επικλινή, σκυρόδεμα με κεραμίδια. Μονωμένη (5cm)
Ανοίγματα	Μονοί και διπλοί υαλοπίνακες με ξύλινο πλαίσιο	Μονοί υαλοπίνακες με ξύλινο πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Μονοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Μονοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου	Μονοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου	Διπλοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου	Διπλοί υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου
Πατζούρια	Ξύλινα πατζούρια	Ξύλινα ρολά	Ρολά αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου	Πλαστικά πατζούρια	Πατζούρια αλουμινίου	Ρολά αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου	Ρολά αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου
Δάπεδο	Πάνω στο έδαφος. Χωρίς μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση (3cm)	Πάνω στο έδαφος. Χωρίς μόνωση	Πυλωτή και πάνω στο έδαφος. Χωρίς μόνωση	Πυλωτή. Χωρίς μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Χωρίς μόνωση	Πυλωτή και πάνω στο έδαφος. Χωρίς μόνωση	Πυλωτή με μόνωση (5cm). Δάπεδο προς μη θερμαινόμενο χώρο	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση (κατά ΚΘΚ)	Πυλωτή και προς μη θερμαινόμενο χώρο. Με μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση (κατά ΚΘΚ)	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση (5cm)
Συντελεστές θερμοδιαφυγής (W/m2K)												
Τοίχοι/Φέρων/Υπόγειοι τοίχοι	0.95 / 3.4	2.2-0.85 / 3.4	2.2 / 3.4	2.2 / 3.4	0.85 / 3.4	0.85 / 3.4 / 3.65	0.85 / 3.4	0.59 / 3.4	0.7 / 0.7 / 3.0	0,7	0.7 / 0.7 / 0.7	0.7 / 0.7 / 0.7
Οροφή	3,05	3,7	0,63	3,05	3,05	1,05	1,05	0,63	0,5	0,5	0,5	0,5
Δάπεδο	3,1	0,95	3,1	2.75 / 3.1	2,75	3,1	2.75 / 3.1	0.63 / 2.0	3	0.5 / 1.9	0,7	0,7
Ανοίγματα g-ανοιγμάτων (-)	4.70 / 3.10 0.58 / 0.51	4,7 0,58	4,5 0,51	6,1 0,58	6,1 0,58	4,1 0,51	6,1 0,58	4,5 0,51	4,1 0,51	4,1 0,51	4,1 0,51	4,1 0,51
Σύστημα παραγωγής	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,925)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,925)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,925)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,925)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,919)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,93)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,925)	Λέβητας πετρελαίου (η = 0,919)	Λέβητας συμπίκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Λέβητας συμπίκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Λέβητας συμπίκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Λέβητας συμπίκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)
Ετήσια ενεργειακή συμπεριφορά												
Απαιτήσεις (kWh/m2)	105,9	174,2	146,1	272,7	157,8	62,8	182,7	140,8	62,5	98,9	79,3	172,6
Θερμική ενέργεια (kWh/m2)	160	327,8	253,1	505,7	272,8	88,4	221,3	187,5	88,5	118,4	89,5	217,8
Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/m2)	19,3	14,1	9,8	17	24,8	6,6	16,6	19,4	0,2	19,8	18,4	23,8
Πρωτογενής ενέργεια (kWh/m2)	232,1	401,5	306,9	605,4	372,1	116,4	291,7	262,4	97,8	187,7	151,7	308,5
Εκπομπές CO2 (tn)	8,0	19,1	16,8	27,5	9,7	10,3	13,1	14,6	6	6,9	8,8	10,5
Πετρέλαιο (lt)	2036,1	6096,8	5450,8	9059,1	2697,2	2985,5	3791,1	3891,2	2209,2	1564,7	1848,6	2771,7
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	2509	2679	2156	3111	2504,8	2277	2905	4112,8	51	2673	3882,4	3094
Λειτουργικό κόστος (€/m2)	19,1	34,7	26,6	52,8	31,1	9,9	24,7	21,8	8,8	15	11,9	25,5

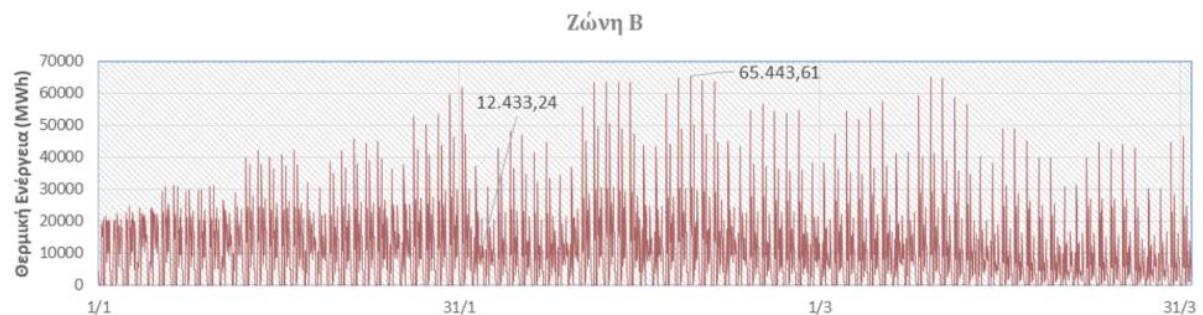
Πίνακας Π2. Χαρακτηριστικά κατοικιών σύμφωνα με το βάση δεδομένων «TABULA» για κατοικίες χτισμένες από το 2011 και μετά

Περίοδος κατασκευής	2011 και μετά									
	Aα	Aβ	Bα	Bβ	Bγ	Γα	Γβ	Γγ	Δα	Δβ
Κλιματική Ζώνη										
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m2)	150	150	300	300	300	180	180	180	131	131
Θερμαινόμενος όγκος (m3)	450	450	990	990	990	540	540	540	343	343
Τοίχοι (Οπτοπλινθοδομή με επίχρισμα)	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι	Μονωμένοι
Φέρων οργανισμός	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος	Μονωμένος
Οροφή	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Κεκλιμένη στέγη με κεραμίδια. Με μόνωση	Κεκλιμένη στέγη με κεραμίδια. Με μόνωση	Κεκλιμένη στέγη με κεραμίδια. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση	Συμβατικού τύπου δώμα. Με μόνωση
Ανοίγματα	Διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπεψιμότητας, συνθετικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπεψιμότητας, συνθετικό πλαίσιο	Δίδυμοι υαλοπίνακες με μεμβράνη χαμηλής εκπεψιμότητας με συνθετικό πλαίσιο	Δίδυμοι υαλοπίνακες με μεμβράνη χαμηλής εκπεψιμότητας με συνθετικό πλαίσιο	Δίδυμοι υαλοπίνακες με μεμβράνη χαμηλής εκπεψιμότητας με συνθετικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με συνθετικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με συνθετικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με συνθετικό πλαίσιο	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου	Διπλοί υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου
Πατζούρια	Συνθετικά πατζούρια	Συνθετικά πατζούρια	Συνθετικά πατζούρια	Συνθετικά πατζούρια	Συνθετικά πατζούρια	Συνθετικά ρολά	Συνθετικά ρολά	Συνθετικά ρολά	Πατζούρια αλουμινίου	Πατζούρια αλουμινίου
Δάπεδο	Σε επαφή με το έδαφος. Με μόνωση	Σε επαφή με το έδαφος. Με μόνωση	Σε επαφή με το έδαφος. Με μόνωση	Σε επαφή με το έδαφος. Με μόνωση	Σε επαφή με το έδαφος. Με μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση	Πάνω στο έδαφος. Με μόνωση	Πυλωτή. Με μόνωση	Πυλωτή. Με μόνωση
Συντελεστές θερμοδιαφυγής (W/m2K)										
Τοίχοι/Φέρων/Υπόγειοι τοίχοι	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4
Οροφή	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35
Δάπεδο	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9	0,75	0,75	0,75	0,35	0,35
Ανοίγματα	3,2	3,2	3	3	3	2,8	2,8	2,8	2,6	2,6
g-ανοιγμάτων (-)	0,55	0,45	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Σύστημα παραγωγής	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (COP = 3,8)	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (COP = 3,8)	Λέβητας συμπύκνωσης ΦΑ (β.α. = 0,97)	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (COP = 3,8)	Λέβητας συμπύκνωσης ΦΑ (β.α. = 0,97)	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου (β.α. = 0,95)	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (COP = 3,4)
Ετήσια ενεργειακή συμπεριφορά										
Απαιτήσεις (kWh/m2)	38,7	38,7	34,2	34,2	34,2	55,1	55,1	55,1	73,9	73,9
Θερμική ενέργεια (kWh/m2)	36	7,7	33,7	8,7	33,1	49,4	12,1	48,6	74,1	9,7
Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/m2)	0,1	8,1	0,1	7,2	0,1	0,3	10,6	0,3	0,3	18,4
Πρωτογενής ενέργεια (kWh/m2)	40,1	40,1	37,5	30,3	35,2	55,2	44,7	51,8	81,1	62,8
Εκπομπές CO2 (tn)	1,4	1,5	2,7	2,8	2	2,4	2,5	1,8	2,6	2,7
Πετρέλαιο (lt)	528,6	113,1	989,7	255,5	886,6	870,4	222	781,1	950,2	124,4
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	15	1215	30	2160	30	54	1908	54	39,3	2410,4
Λειτουργικό κόστος (€/m2)	3,6	2,1	3,3	2,1	2,1	4,9	3	3,1	7,4	4,1

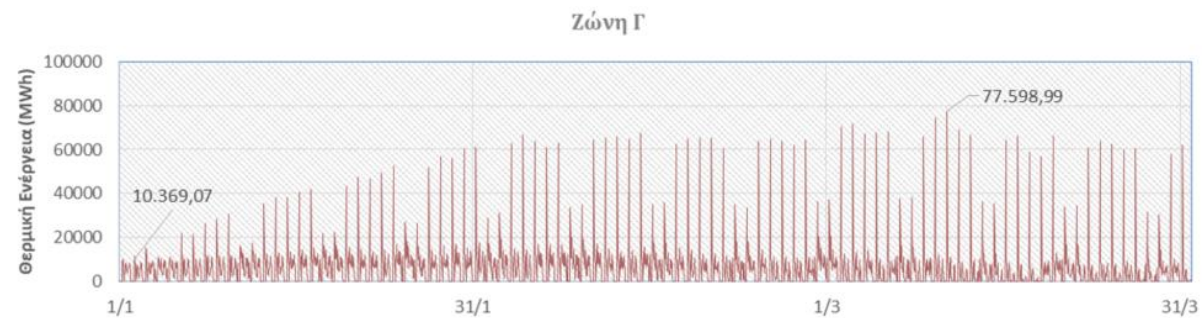
Διάγραμμα Π1. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Ιανουαρίου-Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



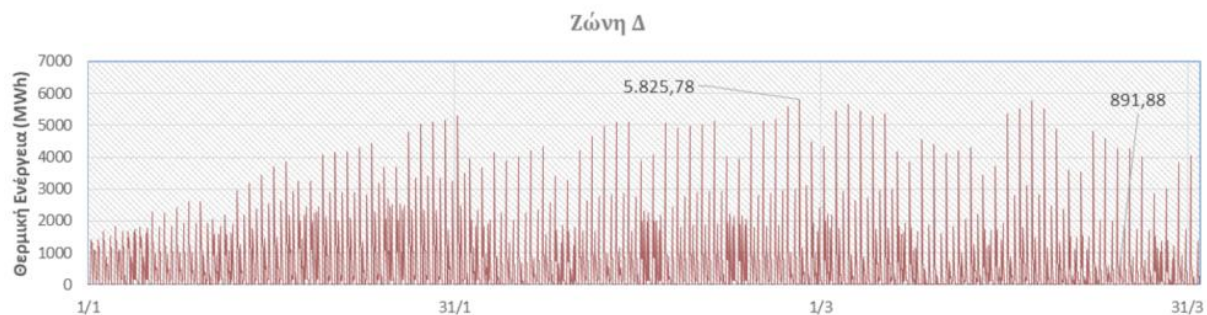
Διάγραμμα Π2. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



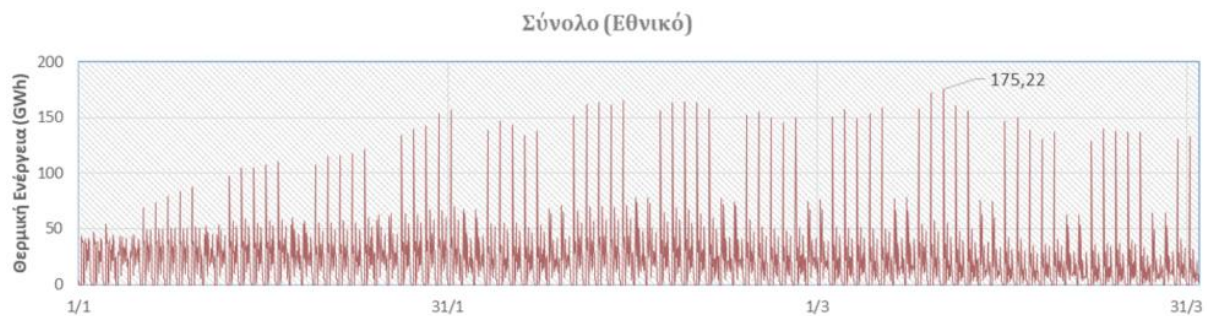
Διάγραμμα Π3. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



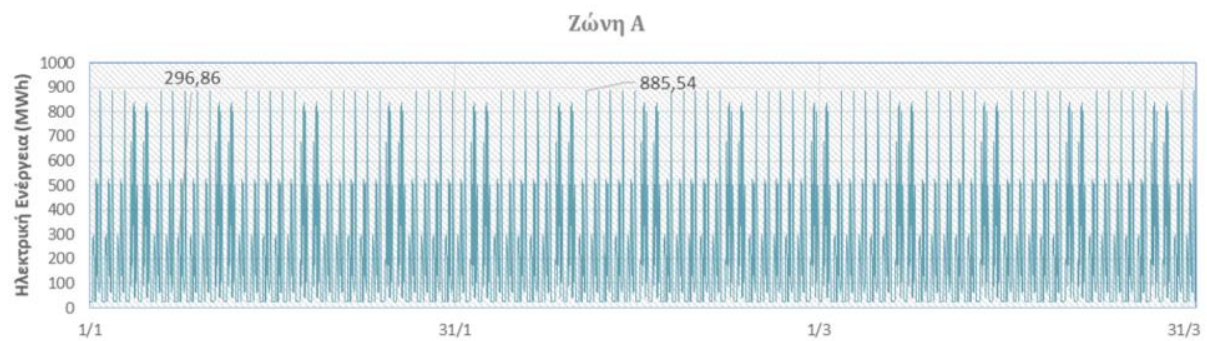
Διάγραμμα Π4. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



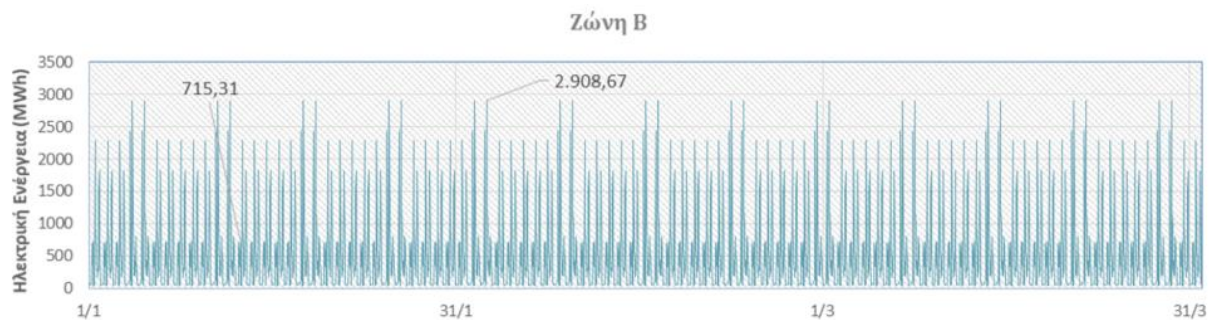
Διάγραμμα Π5. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



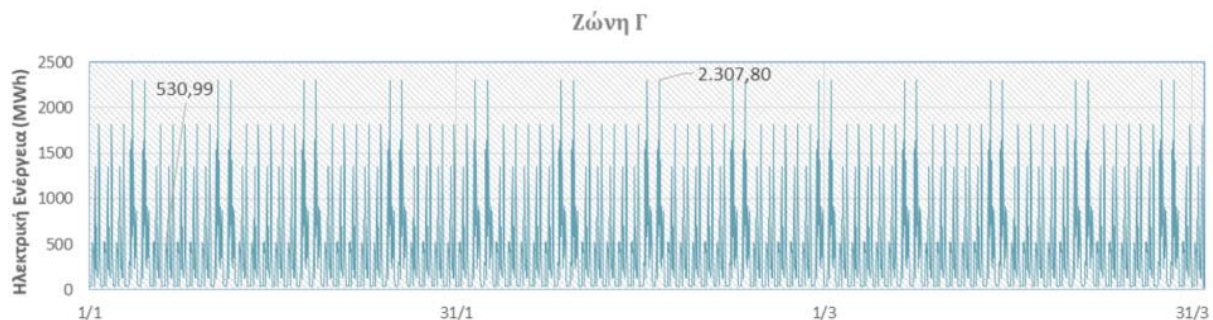
Διάγραμμα Π6. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



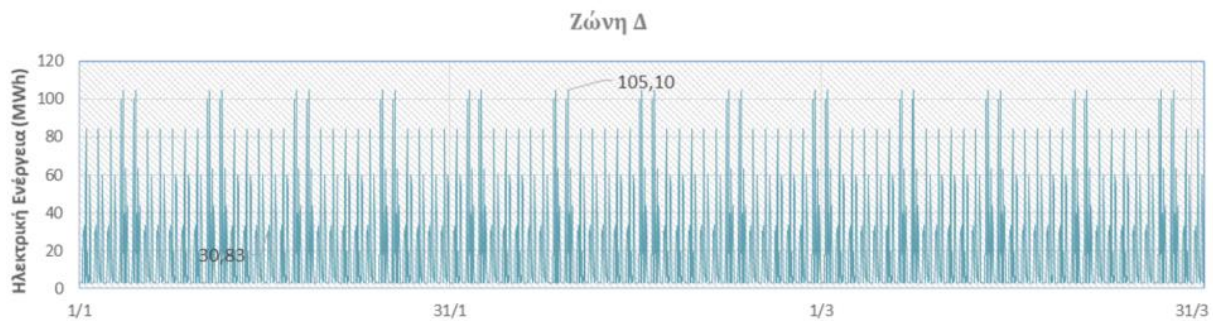
Διάγραμμα Π7. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



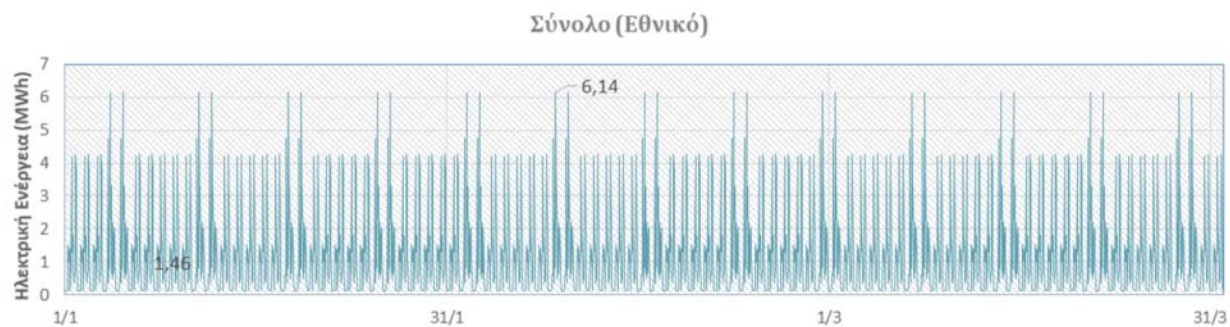
Διάγραμμα Π8. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



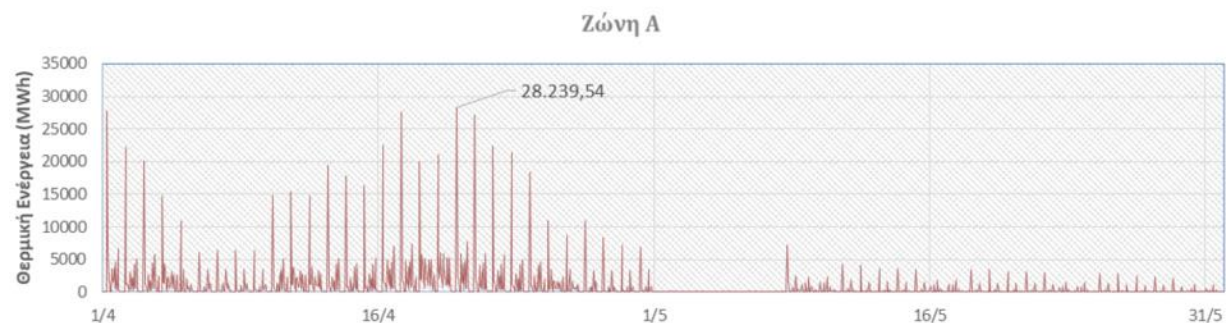
Διάγραμμα Π9. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



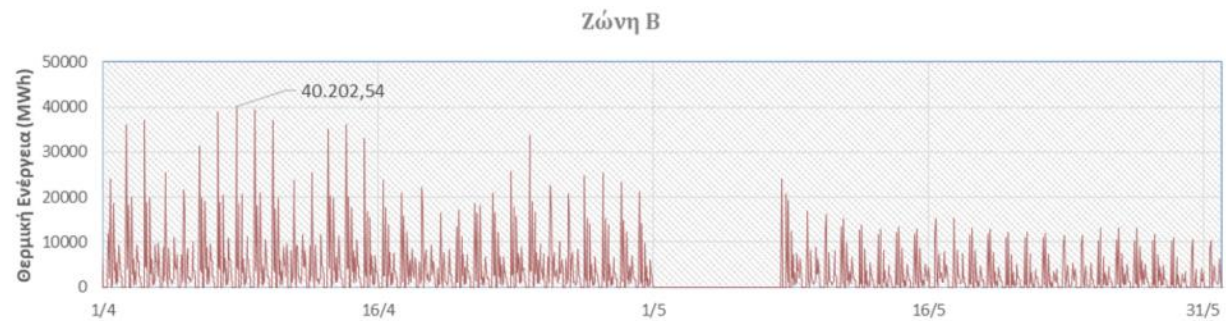
Διάγραμμα Π10. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα εθνικό επίπεδο για το διάστημα Ιανουαρίου – Μαρτίου στη διάρκεια ενός έτους



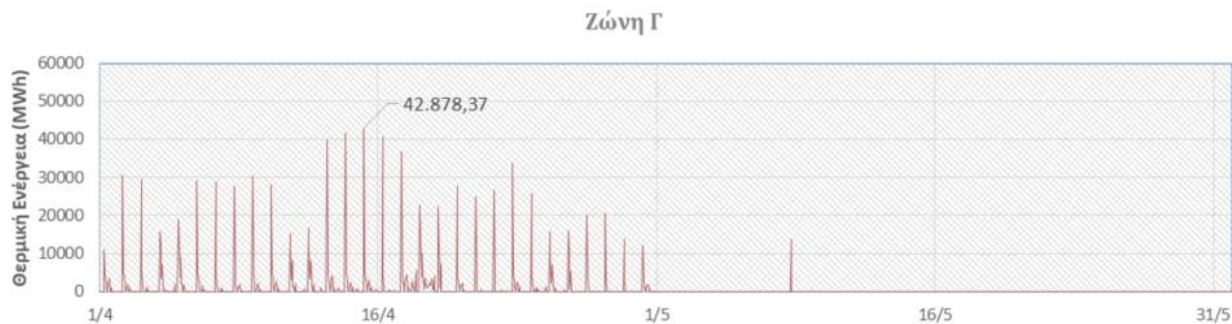
Διάγραμμα Π11. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



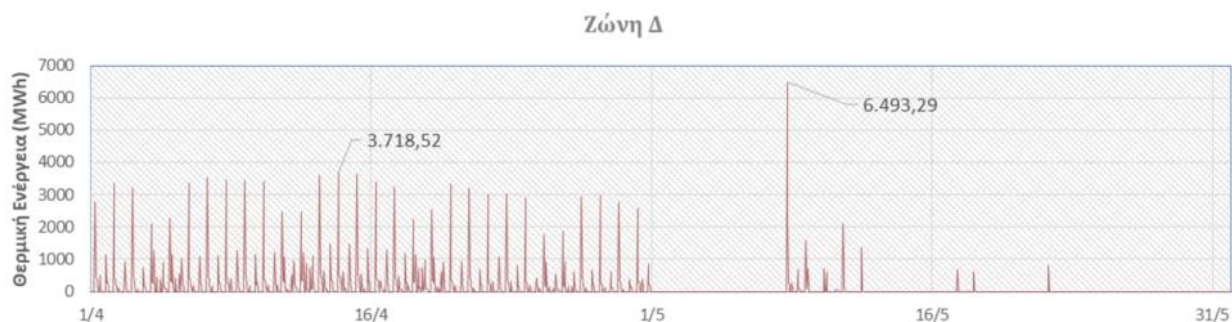
Διάγραμμα Π12. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



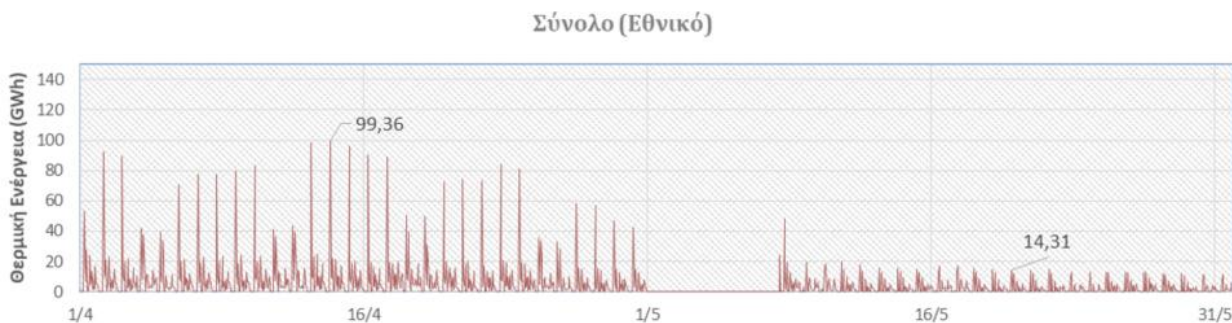
Διάγραμμα Π13. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



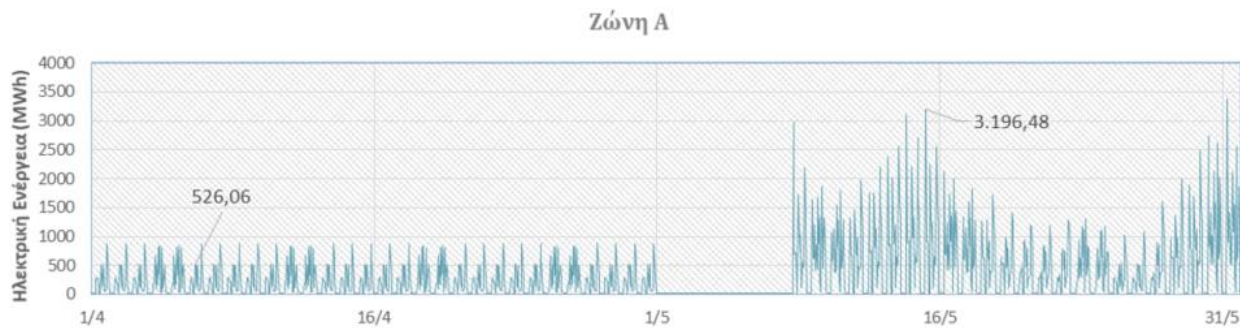
Διάγραμμα Π14. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



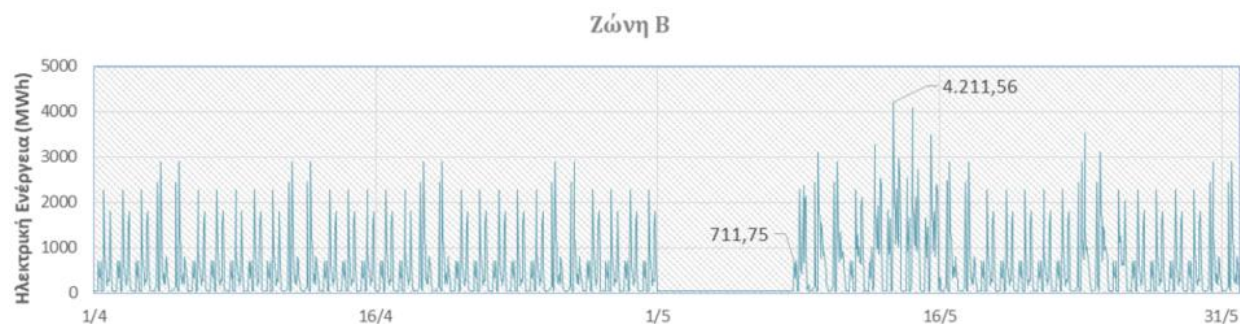
Διάγραμμα Π15. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π16. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



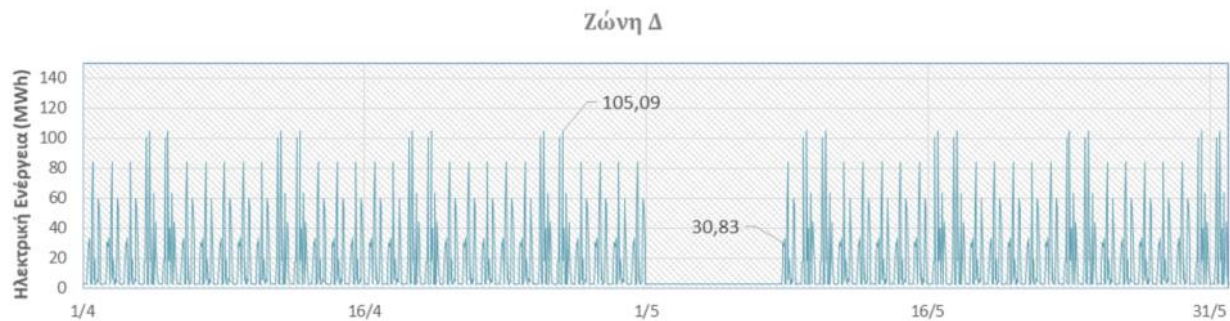
Διάγραμμα Π17. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



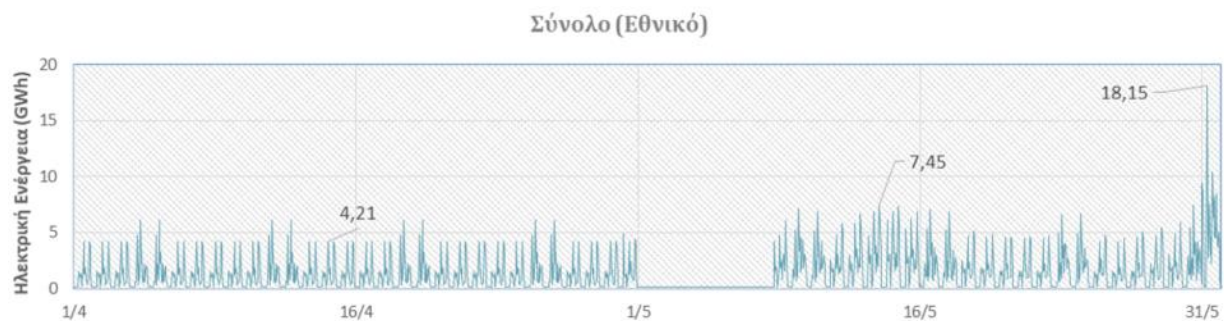
Διάγραμμα Π18. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π19. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π20. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Απριλίου – Μαΐου στη διάρκεια ενός έτους



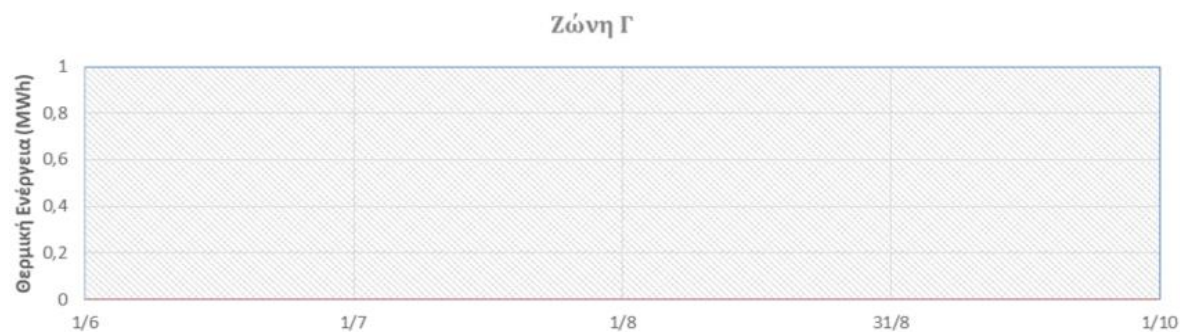
Διάγραμμα Π21. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



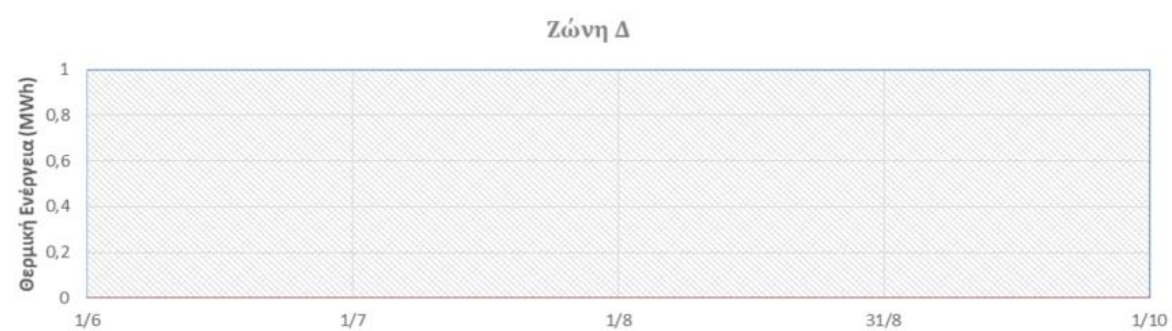
Διάγραμμα Π22. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



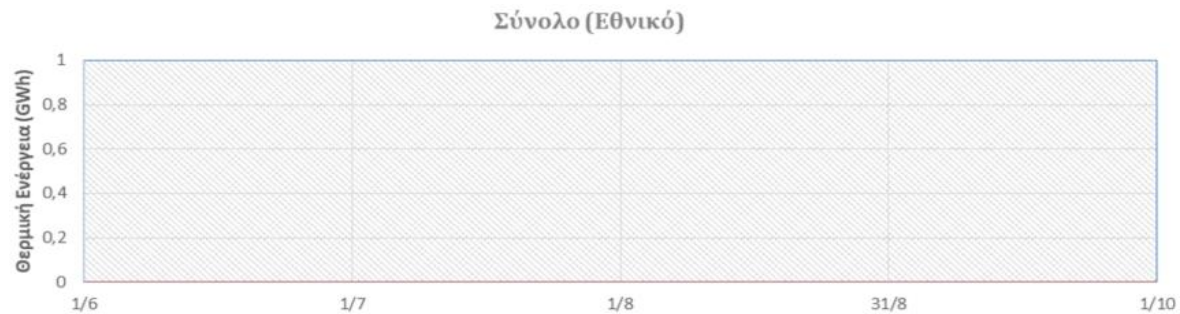
Διάγραμμα Π23. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



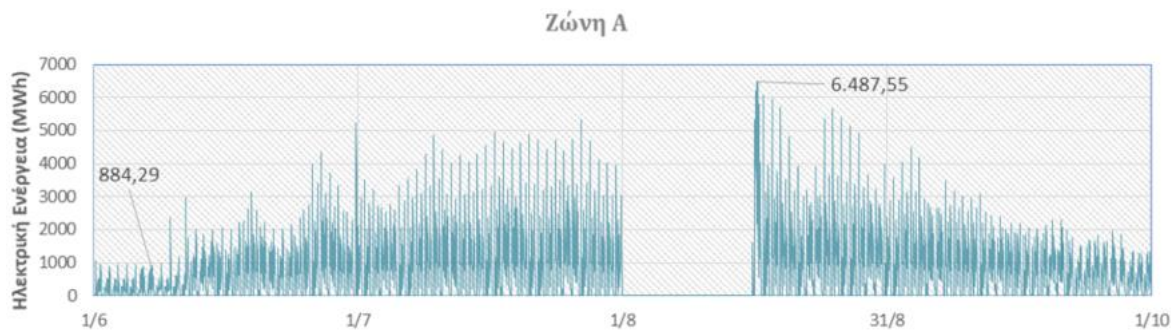
Διάγραμμα Π24. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



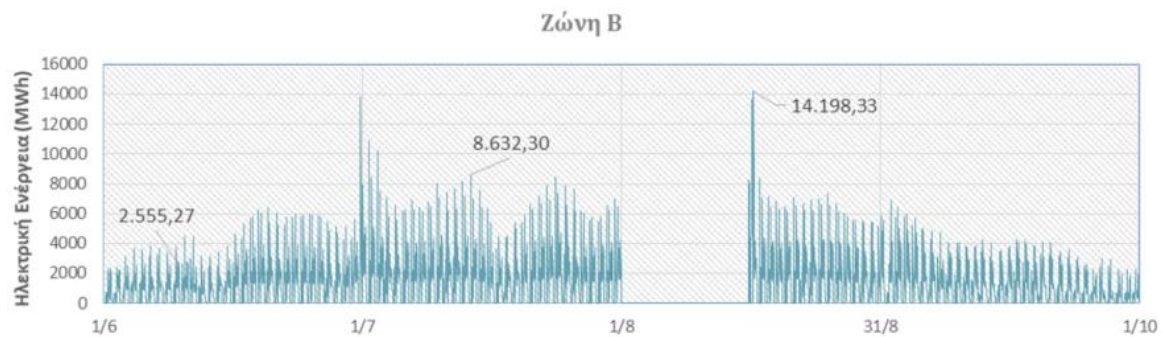
Διάγραμμα Π25. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



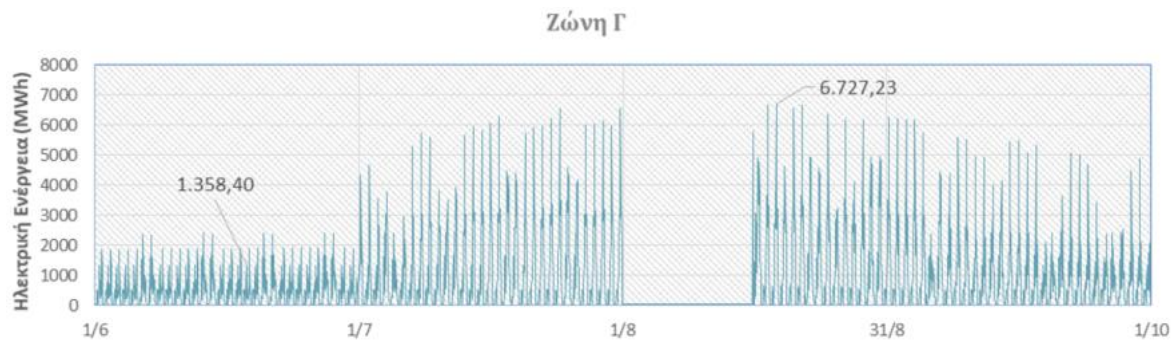
Διάγραμμα Π26. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



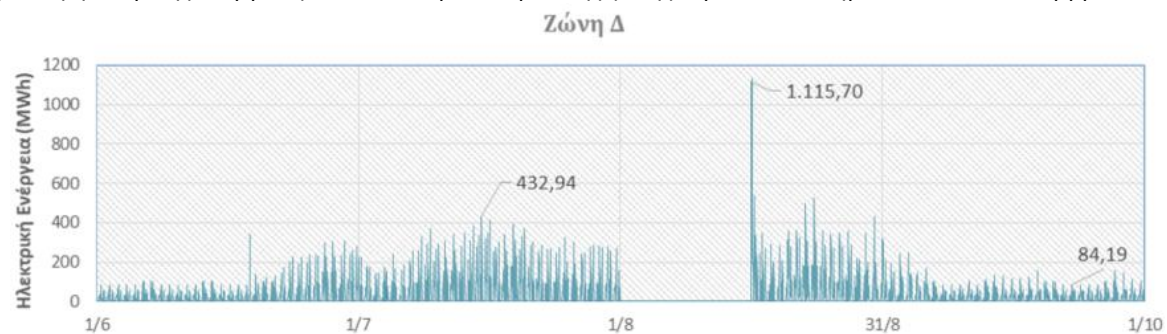
Διάγραμμα Π27. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



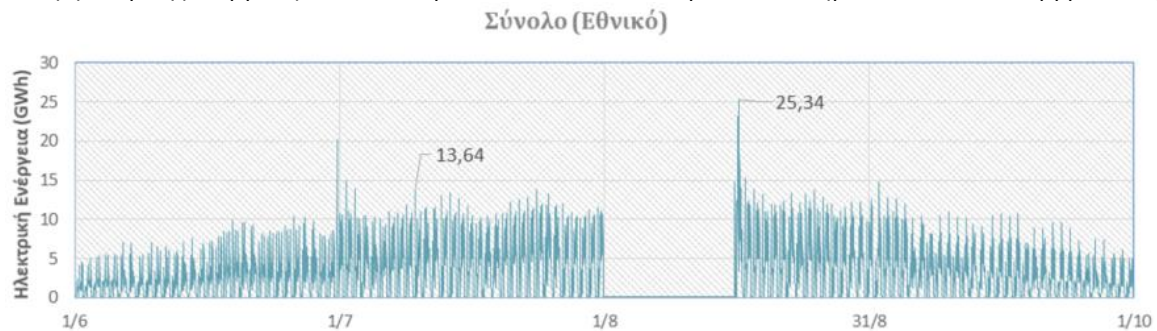
Διάγραμμα Π28. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π29. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



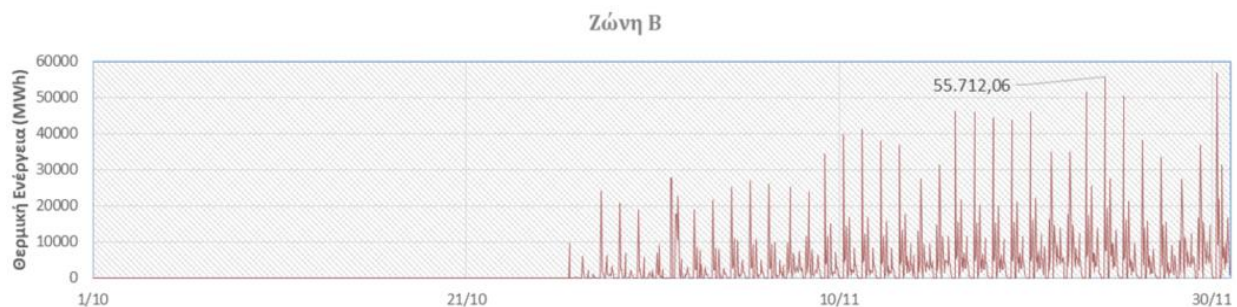
Διάγραμμα Π30. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



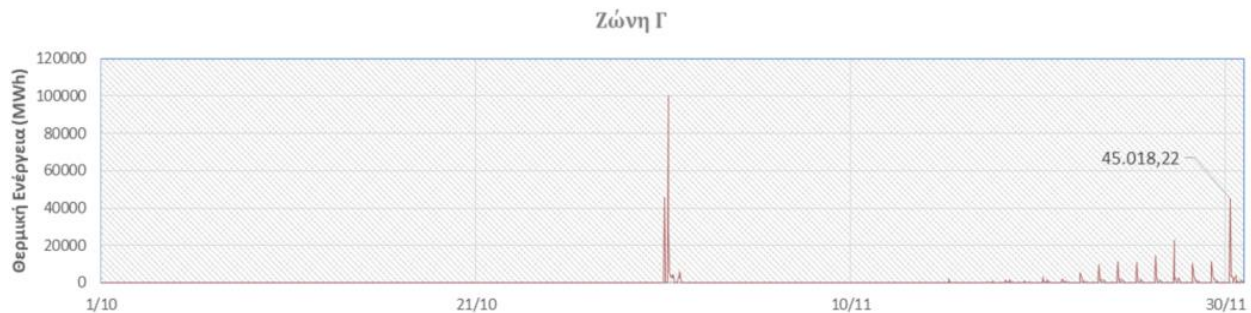
Διάγραμμα Π31. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



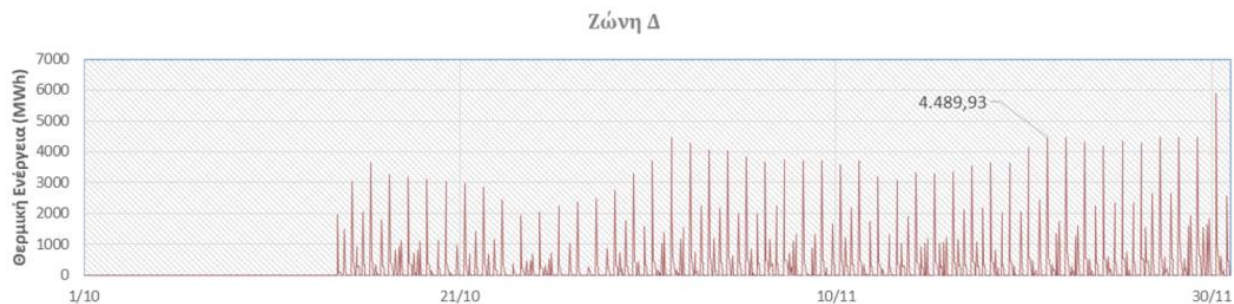
Διάγραμμα Π32. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



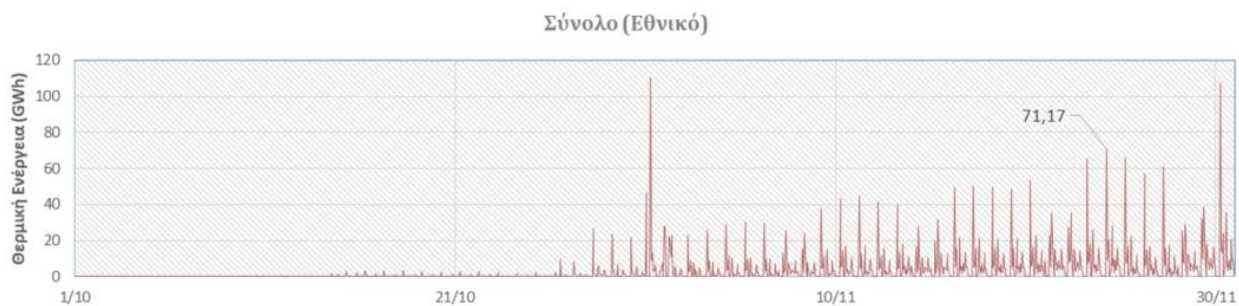
Διάγραμμα Π33. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



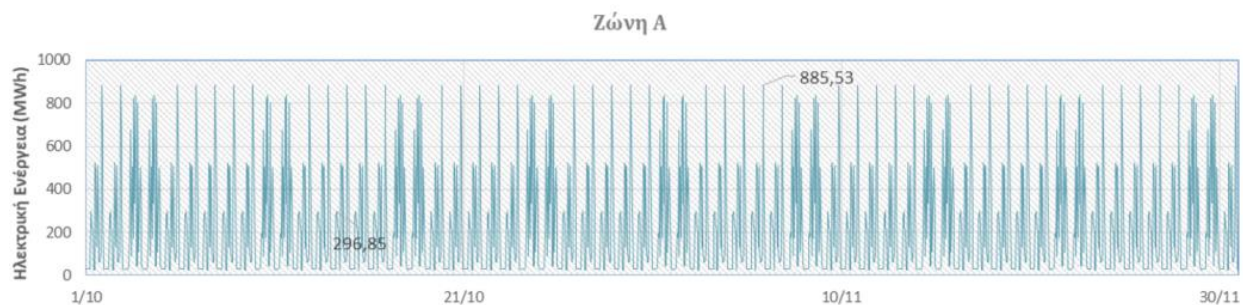
Διάγραμμα Π34. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



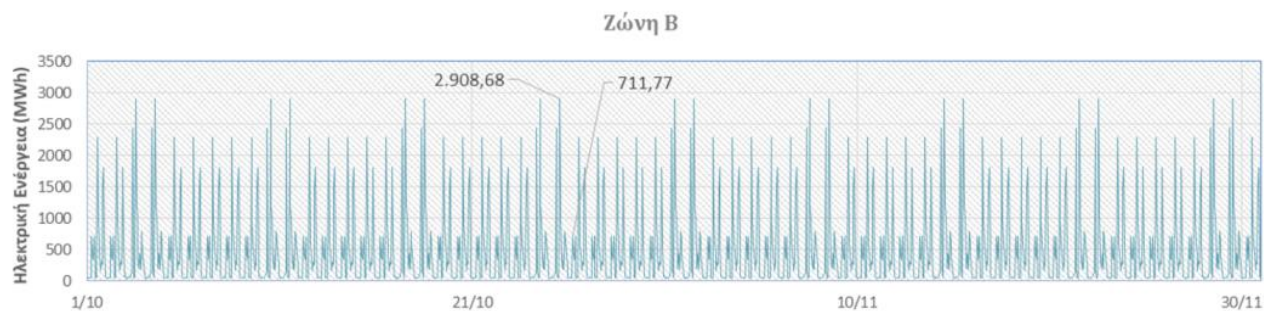
Διάγραμμα Π35. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



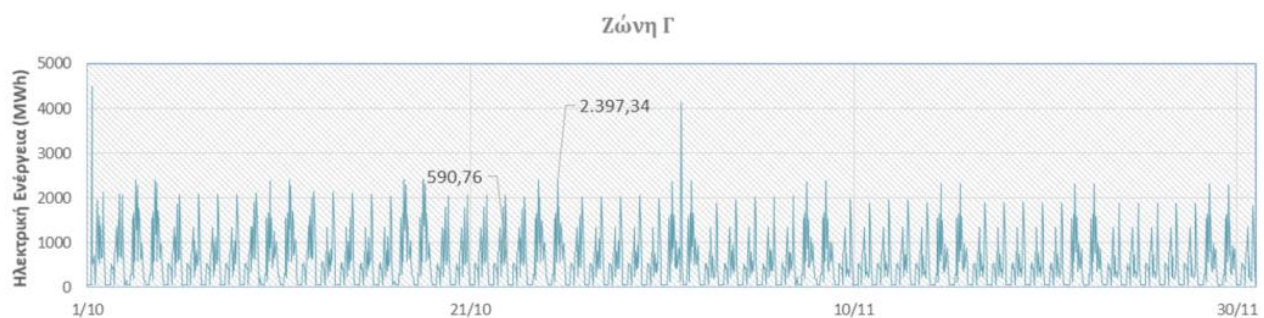
Διάγραμμα Π36. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



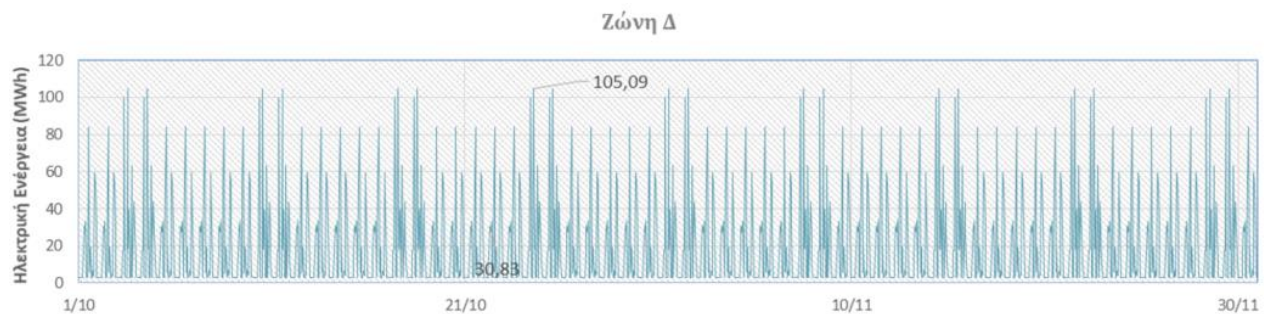
Διάγραμμα Π37. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



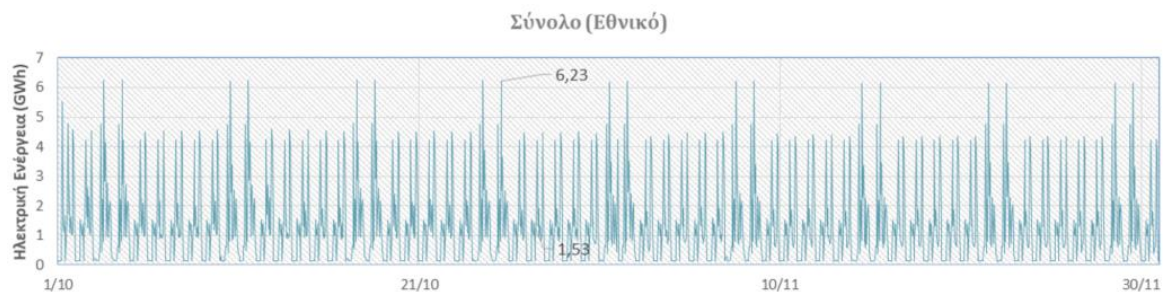
Διάγραμμα Π38. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



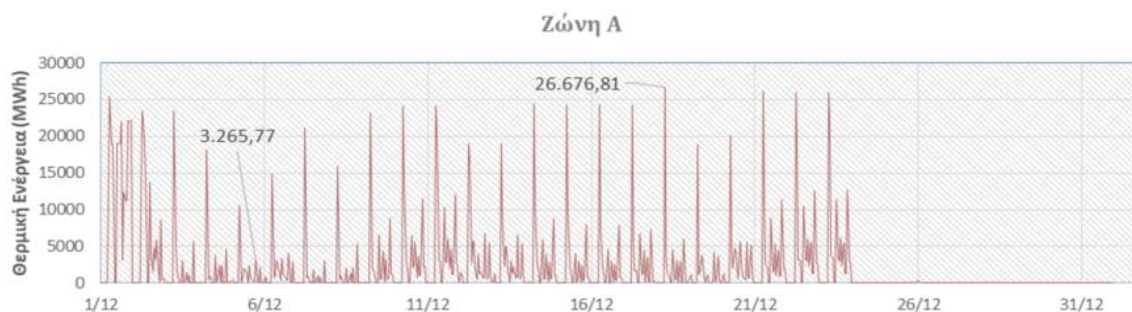
Διάγραμμα Π39. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



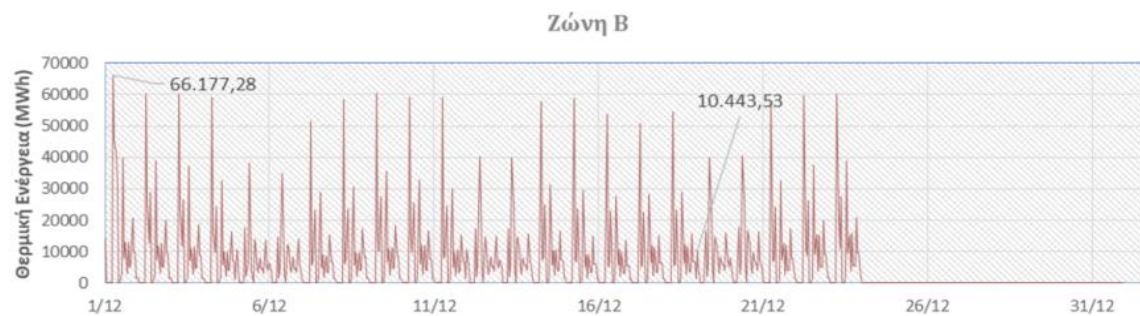
Διάγραμμα Π40. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το διάστημα Οκτωβρίου – Νοεμβρίου στη διάρκεια ενός έτους



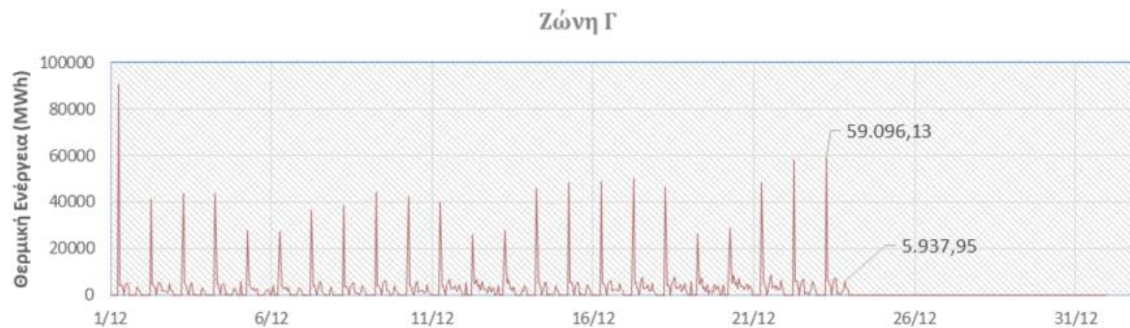
Διάγραμμα Π41. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



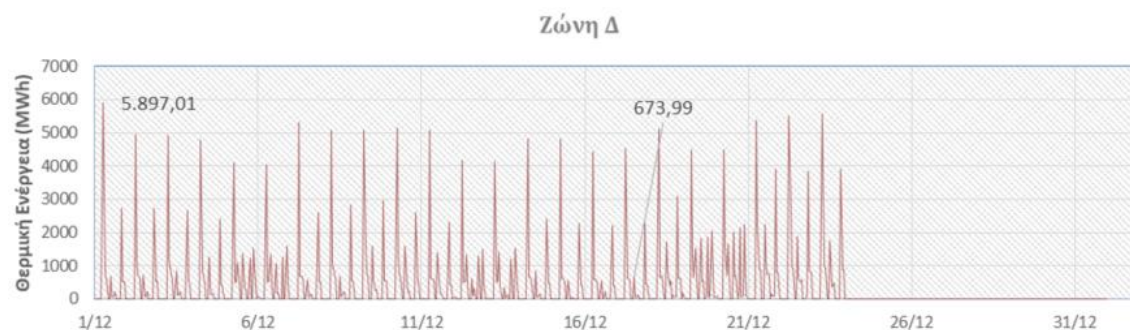
Διάγραμμα Π42. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



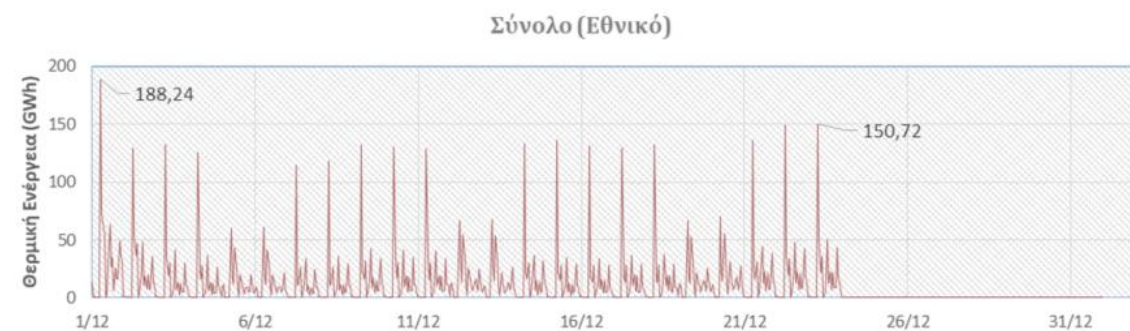
Διάγραμμα Π43. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



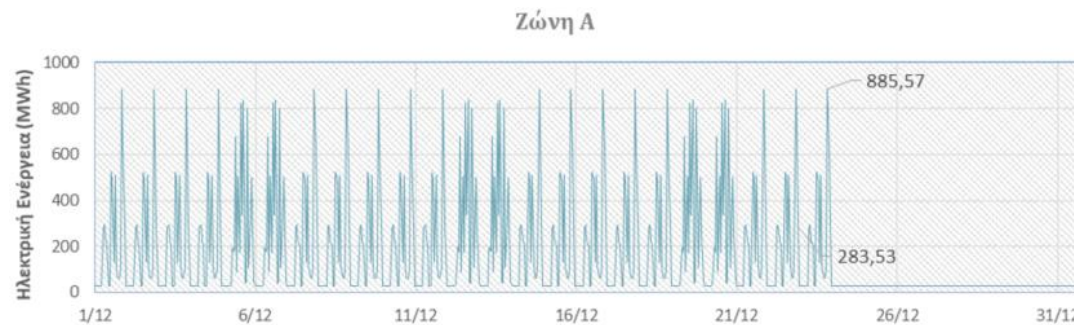
Διάγραμμα Π44. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



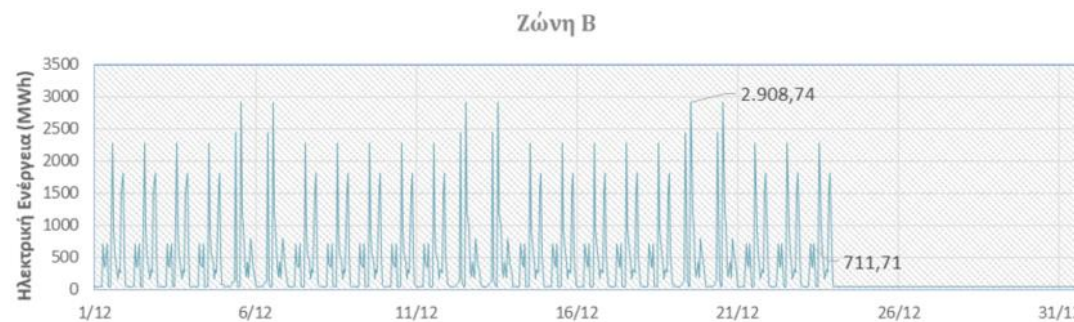
Διάγραμμα Π45. Καμπύλη θερμικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



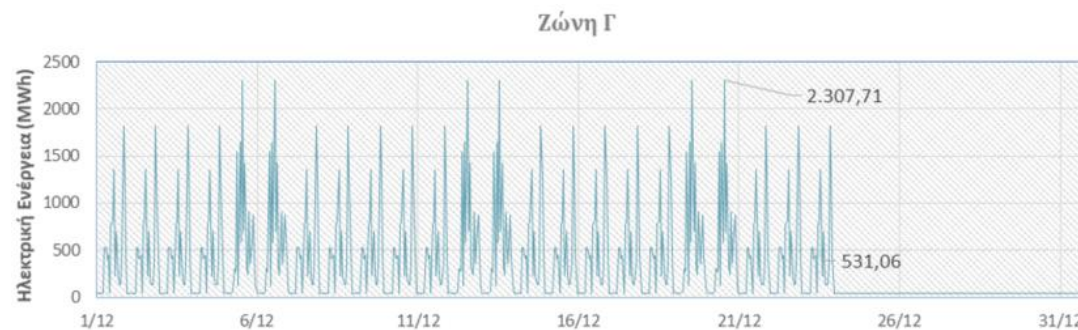
Διάγραμμα Π46. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Α για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



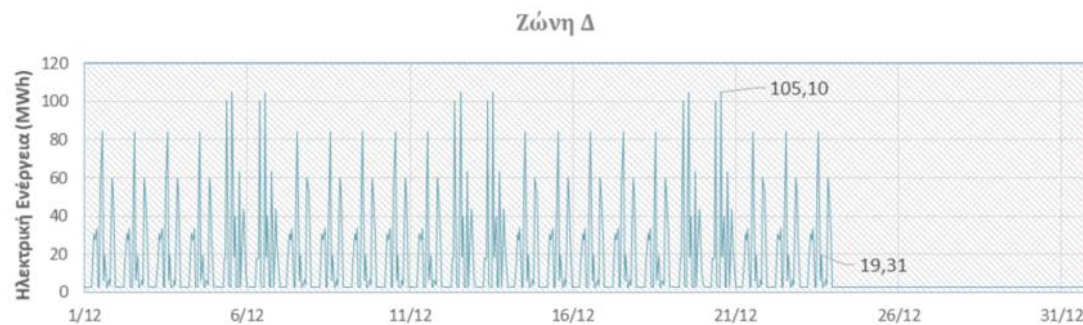
Διάγραμμα Π47. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Β για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π48. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Γ για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π49. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα κλιματικής ζώνης Δ για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα Π50. Καμπύλη ηλεκτρικής ενέργειας οικιακού τομέα σε εθνικό επίπεδο για το Δεκέμβριο στη διάρκεια ενός έτους

