



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ενεργειακή διαχείριση και διασφάλιση κατάλληλων εσωτερικών συνθηκών σε κτίρια κατοικιών με επίκεντρο τον χρήστη

Μαρίνα-Θεώνη Λάσκαρη

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

- 1. Ασημακοπούλου Μαργαρίτα-Νίκη**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ
(Επιβλέπουσα Καθηγήτρια)
- 2. Σανταμούρης Ματθαίος**, Καθηγητής, University of New South Wales, Sydney
- 3. Χέλμης Κωνσταντίνος**, Ομότιμος Καθηγητής, ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

11/2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στον Τομέα Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και πραγματεύεται την διερεύνηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση και στις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια κατοικιών καθώς και την εφαρμογή μεθόδων ενεργειακής διαχείρισης και διασφάλισης κατάλληλων εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών σε κτίρια κατοικιών, όταν επίκεντρο γίνεται ο χρήστης.

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της διαδρομής αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με υποστήριξαν επιστημονικά και συναισθηματικά όλο αυτά τα χρόνια.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες μου κ. Ματθαίο Σανταμούρη, τέως Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. και νυν Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας στην Αυστραλία, και την κ. Μαργαρίτα-Νίκη Ασημακοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. Ο κ. Σανταμούρης μου έδωσε την ευκαιρία να ξεκινήσω το διδακτορικό και την επαγγελματική μου καριέρα στην Ελλάδα και μου πρόσφερε αδιάλειπτα καθοδήγηση και επιστημονική υποστήριξη. Η κ. Ασημακοπούλου με υποστήριξε επιστημονικά αλλά και προσωπικά σε αυτή τη διαδρομή και ήταν αυτή που με βοήθησε να κατορθώσω την ολοκλήρωση της.

Ευχαριστώ επίσης το μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ. Κωνσταντίνο Χέλημη, Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες κατευθύνσεις του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους Κωνσταντίνο Καρτάλη, καθηγητή του Ε.Κ.Π.Α, Ντένια Κολοκοτσά, Καθηγήτρια του Πολυτεχνείου Κρήτης, Άγι Παπαδόπουλο, Καθηγητή το Α.Π.Θ. και την Έλενα Φλόκα, καθηγήτρια του Ε.Κ.Π.Α για την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην επταμελή εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ θερμά όλους τους συνάδελφους μου από την Ομάδα Μελετών Κτιριακών Περιβάλλοντος για την συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια και ειδικότερα την Μαρία. Ιδιαίτερω όμως ευχαριστώ τις φίλες μου Βίβιαν και Νίκη τόσο για την αδερφική υποστήριξη όσο και τις γόνιμες επιστημονικές συζητήσεις που είχαμε.

Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους για την υπομονή και την κατανόηση τους. Κυρίως ευχαριστώ τον Βασίλη για την παραδειγματική ανοχή και συμπαράσταση του και ζητώ συγγνώμη από αυτόν και από τη Σουζάνα για τις στιγμές που με στερήθηκαν.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω την Σταυρούλα. Είμαι πολύ τυχερή που έκανα τα πρώτα μου επαγγελματικά βήματα δίπλα της. Έμαθα πολλά και της οφείλω πολλά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί η διερεύνηση και ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση και στις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια κατοικιών και τελικώς η ανάπτυξη χρήσιμων εργαλείων για τον χρήστη για την επίτευξη βέλτιστων εσωτερικών συνθηκών και εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό μελετήθηκαν 26 κατοικίες με παρόμοια τεχνικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται σε ένα σύμπλεγμα κατοικιών στην Φλωρεντία της Ιταλίας. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν και μελετήθηκαν στην εν λόγω διδακτορική διατριβή είναι: εσωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, συγκέντρωση CO₂, κατανάλωση φυσικού αερίου, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη συλλογή, διαχείριση και επαλήθευση των μετρούμενων μεταβλητών καθώς και για την επικοινωνία των δεδομένων προς τον χρήστη χρησιμοποιήθηκε σύστημα που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η πειραματική διάταξη ήταν μέρος του Ευρωπαϊκού προγράμματος ICE-WISH (Grant Agreement number 270898). Για τον έλεγχο και την επαλήθευση των δεδομένων σε συνεχή βάση αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος που έκανε ελέγχους για: ελλιπή δεδομένα, μη λογικές τιμές, αναμενόμενο χρονικό βήμα και τάξη μεγέθους για κάθε μετρούμενη μεταβλητή.

Τα πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την αποτύπωση των μοτίβων ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών (pattern recognition). Σε αυτό το πλαίσιο σχεδιάστηκε μια μεθοδολογία αναγνώρισης μορφών που αποτελείται από δύο μέθοδους πολυμεταβλητής στατιστικής, την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA) και τη διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis). Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των ωρών μέσα στη μέρα κατά τις οποίες σημειώνονται επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές ενώ η ανάλυση κατά συστάδες χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση και μελέτη των ημερών με κοινά χαρακτηριστικά για κάθε μελετούμενη παράμετρο. Οι μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής εφαρμόστηκαν σε 5 από τις 26 κατοικίες οι οποίες βρίσκονται στον ίδιο όροφο ενός συμπλέγματος κατοικιών και άρα έχουν παρόμοια θερμικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά ενώ διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό και την θερμαινόμενη επιφάνεια και σε ότι έχει να κάνει με τον ίδιο τον χρήστη (π.χ. αριθμός χρηστών, συνήθειες και πρακτικές, επιλογή συστημάτων και συσκευών, λειτουργία των συστημάτων και συσκευών). Η επιλογή των 5 αυτών κατοικιών έγινε με σκοπό την όσο πιο αντικειμενική γίνεται σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ημερήσια προφίλ μιας κατοικίας. Ως αποτέλεσμα προέκυψαν τα πιο χαρακτηριστικά εικοσιτετράωρα προφίλ (patterns) για κάθε μελετούμενη παράμετρο σε κάθε κατοικία από τα οποία εξήχθηκαν σημαντικά συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τον αερισμό και την παρουσία χρηστών σε κάθε κατοικία και έτσι δημιουργήθηκε ένα πολύ συγκεκριμένο συνολικό προφίλ για κάθε κατοικία. Οι διαφορές που προέκυψαν στα μοτίβα συμπεριφοράς είναι σημαντικές και άρα σε συμφωνία με τις θεωρίες που υποστηρίζουν ότι η συμπεριφορά του χρήστη αποτελεί την μεταβλητή που επιφέρει την μεγαλύτερη

αβεβαιότητα στην τελική ενεργειακή κατανάλωση καθώς και ότι αυτή έχει μη αιτιοκρατική φύση. Συνεπώς τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που εισάγονται σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμα και επαναλαμβανόμενα για μια κατοικία και σαφώς δεν μπορεί να είναι κοινά για κάθε κατοικία. Ακόμη, αποδείχτηκε ότι παρόλο που η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν μπορεί να απεικονίσει τα ακριβή εικοσιτετράωρα προφίλ, όπως μπορεί η ανάλυση κατά συστάδες, μπορεί να δώσει με ακρίβεια τις ώρες της μέρας που λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης καθώς και τις ώρες της μέρας που γίνεται πιο έντονη χρήση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και του συστήματος φωτισμού δίνοντας έτσι μια συνολική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ενεργειακό μοντέλο προσομοίωσης για μια συγκεκριμένη κατοικία στο οποίο εισήχθησαν τα εικοσιτετράωρα προφίλ που εντοπίστηκαν για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τον αερισμό και την παρουσία χρηστών με σκοπό τη βαθμονόμηση του. Το βαθμονομημένο μοντέλο προσαρμόστηκε σε συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης από άλλες τέσσερις κατοικίες με σκοπό την πιο αντικειμενική σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις εσωτερικές θερμικές συνθήκες. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από το κάθε σενάριο έδειξε αξιοσημείωτες διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση και στο ποσοστό του χρόνου που επιτυγχάνονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης που ορίζουν τόσο η νομοθεσία και τα διεθνή πρότυπα όσο και ο ίδιος ο χρήστης, επιβεβαιώνοντας την απρόβλεπτη φύση του χρήστη και την μεγάλη επίδραση που μπορεί να έχει στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η εισαγωγή μεγαλύτερης λεπτομέρειας στο μοντέλο βαθμονόμησης όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (ημερήσια προφίλ αντί για μηνιαία επικρατούντα προφίλ) αξίζει να γίνεται όταν μια κατοικία έχει αρκετά ακανόνιστη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Επίσης, βρέθηκε σημαντική θετική συσχέτιση ανάμεσα στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση με την τιμή του θερμοστάτη και με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα αλλά όχι με τις φορές που το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι στην πράξη μπορεί ο χρήστης να επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης του σε αρκετά υψηλότερες ή και χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που προδιαγράφονται από την εθνική νομοθεσία ή πρότυπα, με σαφείς επιπτώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Ακολούθως, αναπτύχθηκε ένας διαγνωστικός δείκτης, ο «Δείκτης Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος» (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI), τον οποίο ο χρήστης μπορεί να συμβουλευτεί παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην κατοικία του. Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται σε μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας και των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα. Ο δείκτης DEQI εφαρμόστηκε στο σύνολο των 26 κατοικιών όπου και αποδείχθηκε η χρησιμότητα του για διαφορετικού τύπου

εφαρμογές αλλά και αναδείχθηκε η πληθώρα των πληροφοριών που κάποιος μπορεί να εξαγάγει ανάλογα με το διάστημα εφαρμογής του δείκτη. Ο δείκτης DEQI μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό κομμάτι του δείκτη ευφυούς ετοιμότητας (Smart Readiness Indicator - SRI).

Τέλος, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος για την παροχή ενεργειακών συμβουλών ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τόσο τη μοναδικότητα του χρήστη όσο και τη σχέση που υπάρχει μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο αλγόριθμος αυτός βάζει τον χρήστη στο επίκεντρο της ενεργειακής διαχείρισης προσφέροντας του την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για να δράσει ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του. Στόχος είναι η προσφερόμενη πληροφορία να βελτιώσει την ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών και ως αποτέλεσμα να οδηγήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτά. Οι συμβουλές προσφέρονται μέσα από μια υπηρεσία που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και συμπληρώνει την άμεση ανατροφοδότηση (direct feedback) και ενημέρωση (information) που προσφέρεται μέσα από αυτήν. Η επιλογή των παρεχόμενων συμβουλών έγινε μετά από διερεύνηση των αναγκών των χρηστών και εκτενή βιβλιογραφική έρευνα. Όπως προέκυψε πρώτο κριτήριο για την εφαρμογή ενεργειακών συμβουλών είναι το κόστος τους. Ως εκ τούτου οι συμβουλές που επιλέχθηκαν για το πρόγραμμα συμβουλών είναι μικρού ή μηδενικού κόστους και κάποιες φορές μεσαίου κόστους και δεν αφορούν σε καμία παρέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου. Οι συμβουλές προσφέρονται στον χρήστη σε συχνότητα 15-λεπτου και είναι εξατομικευμένες αφού καθορίζονται από τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες της κατοικίας στην οποία προσφέρονται τη στιγμή της μέτρησης, τη λειτουργία ή όχι του συστήματος θέρμανσης και την εποχή του χρόνου.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to characterise and quantify the effect of residential building users on energy consumption and indoor environmental conditions and eventually to develop empowering tools that will support them in the achievement of energy savings and improved health and comfort.

In this framework, twenty six dwellings with similar technical and architectural characteristics in a building cluster in Florence, Italy were studied. The variables monitored and considered for analysis in this thesis are: indoor Temperature, Relative Humidity, CO₂ concentration, natural gas consumption and electricity consumption. Data were collected, managed, validated and communicated to the user with the help of Information and Communication Technology (ICT). The experimental setup was part of the EU funded ICE-WISH project (Grant Agreement number 270898). The following validation checks were performed on the collected data on an ongoing basis with the help of a developed algorithm: time-step, rational check, range gate validation, graphical validation.

The experimental data were used, first of all, for the recognition of energy behaviour patterns. For this purpose a pattern recognition methodology consisting of two multivariate statistical analysis methods was developed; Principal Component Analysis (PCA) and TwoStep Cluster Analysis. Principal Component Analysis helped determine the hours during the day with recurrent activity while two step cluster analysis was used to extract and analyze the major behavioural patterns. The methods were applied on 5 out of 26 dwellings. All 5 dwellings are on the fourth floor of the same building so share similar structural and thermal characteristics while differ in orientation, size and anything that has to do with the occupants (e.g. number of occupants, habits and lifestyle, selected systems and appliances, operation of systems and appliances etc). The aim of this selection was to allow for a more objective comparison and quantification of the differences that the “user” factor can bring to the energy and environmental patterns of residential buildings. Effectively, typical 24-hour profiles for heating, electricity consumption and CO₂ concentrations for each dwelling were formed from which important conclusions about the operation of the heating system, electricity consumption, ventilation and the presence of occupants were drawn and thus a specific general profile for each dwelling was created. The identified differences in the behavioural patterns are important and in agreement with literature that supports that the behaviour of the user has a non-deterministic nature. It also verifies that people heat their homes in different ways and at different times thus questioning the standardized heating profiles and temperature settings used in energy simulation for residential buildings. Therefore, the profiles related to energy behavior that are inputted in energy simulation models cannot be fully predictable and repeatable for a household and certainly cannot be identical for all. In addition, it is demonstrated that although Principal Component Analysis is not able to produce the exact 24 hour heating profiles, as is cluster analysis, it is still capable of accurately indicating the times of day that the heating system is operated over the heating season thus offering a succinct overview of the heating practices of a household.

Next, an energy simulation model of a specific dwelling was created and calibrated according to the 24-hour profiles for heating, electricity consumption, ventilation and occupant presence identified through pattern recognition. The calibrated simulation model was adapted to a number of heating system operation scenarios from other dwellings. The aim of these adaptations was to objectively compare and quantify the differences that the user factor can bring to the energy consumption for heating and to thermal comfort. The findings add to the growing body of literature that supports that the behaviour of the user is the variable that brings major uncertainty into the results of energy simulation and in prediction methods for residential buildings and calls out for better guidance for the heating set point values and heating periods to be used in energy modeling.

A methodology for the calculation of an indoor environmental quality indicator for residential buildings, the 'Dwelling Environmental Quality Index' (DEQI) was also developed. The purpose of this index is to assist both households and property managers to identify potential problems with the indoor environment whilst ensuring that indoor environmental quality is not compromised in favour of energy savings. Based on the combined effect of three simple and commonly measured indoor environmental parameters – air temperature, relative humidity and CO₂ concentrations; the index reflects in a single value the quality of indoor environmental conditions for the monitored period, in compliance with the European standard EN15251. The application of the Dwelling Environmental Quality Index in single dwellings and in building blocks is demonstrated. The usability of the index as a communication and management tool for individual households and property managers is also shown. Such an index could form an important part of the Smart Readiness Indicator (SRI). The relevant publication in the Indoor and Built Environment Journal received the Best Paper Award for year 2017.

Finally, an algorithm for the provision of tailored energy advice without concessions with respect to health and comfort was designed. The algorithm is human-centric as it empowers the user to act according to their needs and preferences based on the information provided through the service. The aim is to improve the energy behaviour of residential building occupants through the offered information and effectively lead to energy savings. Advice is offered through an ICT service and complements the direct feedback and information offered through it. The selection of the advice to be offered through the advice programme is a result of extensive literature review and a user requirements survey. The survey showed that the primary criterion for the adoption of the proposed advice was cost. Therefore, the offered advice are mainly no- to low-cost and do not involve any investment for the improvement of the building fabric or replacement of systems. The advice is offered every 15 minutes and tailored to the household conditions as they are determined based on the indoor environmental conditions at the time of the measurement, the operation (or not) of the heating system and by the time of year.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ	29
2.1 Ο ρόλος του χρήστη στην ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση ενός κτιρίου.....	29
2.1.1 Τύποι ενεργειακών συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης.....	31
2.1.2 Αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη	32
2.1.3 Αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης.....	35
2.1.4 Μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη.....	40
2.2 Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος	48
2.2.1 Θερμική άνεση	49
2.2.2 Εσωτερική ποιότητα αέρα.....	52
2.2.3 Δείκτες αξιολόγησης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	56
3.1 Περιγραφή των μελετούμενων κατοικιών	56
3.2 Πειραματικός εξοπλισμός	57
3.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος	58
3.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	59
3.5 Πρωτόκολλο αποθήκευσης δεδομένων	59
3.6 Επαληθευση δεδομενων	60
3.6.1 Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου σε μία κατοικία	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΟΤΙΒΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ (PATTERN RECOGNITION) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ	65
4.1 Εισαγωγή.....	66
4.2 Μεθοδολογία για την αναγνώριση των μοτίβων συμπεριφοράς (patterns) των χρηστών	67
4.3 Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες.....	70
4.3.1 Χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση.....	72
4.3.2 Ηλεκτρική ενέργεια.....	79

4.3.3 Συγκεντρώσεις CO ₂	85
4.4 Εφαρμογή τεχνικών συσταδοποίησης για την αναγνώριση των μοτίβων συμπεριφοράς (patterns).....	91
4.4.1 Θέρμανση	91
4.4.2 Θερμοκρασία	93
4.4.3 Ηλεκτρική ενέργεια.....	98
4.4.4 Συγκεντρώσεις CO ₂	99
4.5 Συμπεράσματα	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ) ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	107
5.1 Η διαδικασία της βαθμονόμησης	108
5.1.1 Πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης	108
5.1.2 Χρονικό επίπεδο βαθμονόμησης.....	108
5.1.3 Δείκτες και κριτήρια βαθμονόμησης	108
5.1.4 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	110
5.1.5 Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά	111
5.1.6 Σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης-αερισμού.....	111
5.1.7 Ζεστό νερό χρήσης	111
5.1.8 Σκίαση.....	111
5.1.9 Θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων	112
5.1.10 Υαλοστάσια	113
5.2 Βαθμονόμηση ως προς την εσωτερική θερμοκρασία	113
5.2.1 Βασικό μοντέλο	113
5.3 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης ως προς την εσωτερική θερμοκρασία	116
5.3.1 Βασικό μοντέλο	117
5.3.2 Βελτιώσεις στο βασικό μοντέλο βαθμονόμησης.....	118
5.4 Επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις συνθήκες θερμικής άνεσης	121
5.4.1 Βαθμονόμηση ως προς την κατανάλωση φυσικού αερίου για θέρμανση – Το σενάριο αναφοράς.....	123

5.4.2 Σύγκριση των σεναρίων θέρμανσης με το σενάριο αναφοράς.....	124
5.5 Συμπεράσματα	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΕΙΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – “DWELLING ENVIRONMENTAL QUALITY INDEX” (DEQI).....	137
6.1 Εισαγωγή.....	137
6.2 Μεθοδολογία.....	139
6.2.1 Επιλογή των παραμέτρων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος	139
6.2.2 Βήματα υπολογισμού του DEQI	141
6.3 Έφαρμογή του DEQI	144
6.3.1 Εφαρμογή του δείκτη DEQI σε μία κατοικία	145
6.3.2 Εφαρμογή του δείκτη DEQI σε συγκρότημα κατοικιών	147
6.4 Συμπεράσματα	156
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ	158
7.1 Εισαγωγή.....	158
7.2 Η υπηρεσία ενεργειακής διαχείρισης ΤΠΕ	160
7.3 Διερεύνηση των αναγκών των χρηστών κτιρίων κατοικιών	161
7.4 Επιλογή και κατηγοριοποίηση των ενεργειακών συμβουλών	163
7.5 Εφαρμογή του αλγορίθμου Απλών συμβουλών	166
7.6 Μεθοδολογία ανάπτυξης του αλγορίθμου Σύνθετων Συμβουλών	168
7.6.1 Κριτήρια επιλογής συμβουλών για την εξασφάλιση της υγείας και της θερμικής άνεσης των χρηστών.....	169
7.6.2 Εξατομίκευση σε επίπεδο κατοικίας	169
7.6.3 Εξατομίκευση σε επίπεδο κτιρίου	171
7.6.4 Ορισμός των εποχών.....	171
7.7 Εφαρμογή του προγράμματος Σύνθετων Συμβουλών.....	172
7.7.1 Χρωματικός κανόνας	172
7.7.2 Αφιερωτική σελίδα.....	172
7.7.3 Σελίδα Σύνθετων Συμβουλών.....	176
7.8 Συμπεράσματα	180

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	184
8.1 Συνέχεια της ερευνητικής εργασίας	190
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	192
Παράρτημα Ι – Αποτελέσματα επαλήθευσης δεδομένων	201
Παράρτημα ΙΙ – Αναλυτικοί πίνακες συνδιακύμανσης Κύριων Συνιστωσών	205
Παράρτημα ΙΙΙ – Ετήσια μεταβολή μετρούμενων παραμέτρων.....	217
Παράρτημα ΙV – Αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη DEQI	222
Παράρτημα V – Αλγόριθμος παροχής Σύνθετων Συμβουλών	226

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1 Μεταβλητές που σχετίζονται με την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη και αποτελούν δεδομένα εισόδου σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων (Simone et al., 2018).....	38
Σχήμα 2 Μελετούμενο κτίριο	56
Σχήμα 3 Επικοινωνιακή υποδομή του συστήματος ενεργειακής παρακολούθησης.....	59
Σχήμα 4 Γραφική επαλήθευση των καταγεγραμμένων δεδομένων	64
Σχήμα 5 Κάτοψη του ορόφου στον οποίο βρίσκονται οι υπό μελέτη κατοικίες	68
Σχήμα 6 Κατανομή των συστάδων φυσικού αερίου σε μήνες και τύπους ημέρας	92
Σχήμα 7 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D5	94
Σχήμα 8 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D10	95
Σχήμα 9 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D14	95
Σχήμα 10 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17	96
Σχήμα 11 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D28	96
Σχήμα 12 Συστάδες ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μελετώμενη κατοικία	98
Σχήμα 13 Κατανομή των συστάδων ηλεκτρικής ενέργειας σε μήνες και τύπους ημέρας.....	99
Σχήμα 14 Κεντροειδή συστάδων συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μελετώμενη κατοικία	100
Σχήμα 15 Κατανομή των συστάδων συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα σε μήνες και τύπους ημέρας	101
Σχήμα 16 Προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας – Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο βαθμονόμησης.....	114
Σχήμα 17 Προφίλ παρουσίας χρηστών στους βασικούς χώρους - Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο βαθμονόμησης.....	115
Σχήμα 18 Ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας για το βασικό μοντέλο – Σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία και την μετρούμενη θερμοκρασία	118
Σχήμα 19 Κατανομή ΔT για το βασικό μοντέλο (διαφορά προσομοιωμένης θερμοκρασίας από την μετρούμενη).....	118

Σχήμα 20 Μεταβολή συστάδων φυσικού αερίου – Περίοδος θέρμανσης.....	119
Σχήμα 21 Μεταβολή συστάδων CO ₂	120
Σχήμα 22 Ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας για το τελικό μοντέλο – Σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία και την μετρούμενη θερμοκρασία.....	121
Σχήμα 23 Κατανομή ΔΤ για το τελικό μοντέλο (διαφορά προσομοιωμένης θερμοκρασίας από την μετρούμενη).....	121
Σχήμα 24 Ημερήσια εμφάνιση συστάδων θέρμανσης για την κατοικία D10.....	123
Σχήμα 25 Αποτελέσματα βαθμονόμησης ως προς την κατανάλωση για θέρμανση για το σενάριο αναφοράς.....	124
Σχήμα 26 Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση μετά από την εφαρμογή των επικρατούσων συστάδων για θέρμανση στο βαθμονομημένο μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης.....	126
Σχήμα 27 Ημερήσια εμφάνιση συστάδων θέρμανσης για τις κατοικίες D5, D14, D17 και D28.....	129
Σχήμα 28 Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση μετά από την εφαρμογή των λεπτομερών συστάδων για θέρμανση για κάθε σενάριο.....	130
Σχήμα 29 Ποσοστό ωρών που η θερμοκρασία στο χώρο του σαλονιού είναι εντός των κριτηρίων θερμικής άνεσης του EN 15251.....	132
Σχήμα 30 Ποσοστό ωρών που η θερμοκρασία στο χώρο του σαλονιού είναι εντός των υποκειμενικών κριτηρίων θερμικής άνεσης των χρηστών της κατοικίας D10.....	132
Σχήμα 31 Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό του DEQI (Laskari et al., 2017).....	141
Σχήμα 32 Διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων για (α) όλη την μετρούμενη χρονιά, (β) την καλοκαιρινή περίοδο, (γ) τη χειμερινή περίοδο και (δ) τις ενδιάμεσες εποχές (Κατοικία D24) ..	145
Σχήμα 33 Ιστογράμματα συχνοτήτων και αθροιστικές συχνότητες για όλες τις μελετούμενες κατοικίες (N=26) για (α) ένα ολόκληρο έτος, (β) την καλοκαιρινή περίοδο, (γ) τη χειμερινή περίοδο και (δ) τις ενδιάμεσες εποχές.....	148
Σχήμα 34 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για ένα ολόκληρο έτος για (α) τη θερμοκρασία, (β) τη σχετική υγρασία και (γ) τις συγκεντρώσεις CO ₂	151
Σχήμα 35 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τη θερμοκρασία, T, για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές.....	152
Σχήμα 36 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τη σχετική υγρασία, RH, για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές.....	153
Σχήμα 37 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τις συγκεντρώσεις CO ₂ για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές.....	154
Σχήμα 38 Κίνητρο για τη χρήση της υπηρεσίας ΤΠΕ (Laskari et al., 2016).....	161

Σχήμα 39 Ενδιαφέρον για τύπους συμβουλών (Laskari et al., 2016).....	162
Σχήμα 40 Προτιμήσεις για τη θεματολογία των απλών συμβουλών (Laskari et al., 2016)	163
Σχήμα 41 Πίνακας Απλών Συμβουλών	167
Σχήμα 42 Αφιετηριακή σελίδα της υπηρεσίας ΤΠΕ	173
Σχήμα 43 Σελίδα Σύνθετων Συμβουλών	176
Σχήμα 44 Σύνοψη της λειτουργίας της Σελίδας Σύνθετων Συμβουλών για τους Χειμερινούς μήνες	179
Σχήμα 45 Σύνοψη της λειτουργίας της Σελίδας Σύνθετων Συμβουλών για τους Καλοκαιρινούς και Ενδιάμεσους μήνες.....	179
Σχήμα 46 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D5	217
Σχήμα 47 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D10	218
Σχήμα 48 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D14	219
Σχήμα 49 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17	220
Σχήμα 50 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17	221

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Μέθοδοι κοινωνικής έρευνας (Simone et al., 2018)	41
Πίνακας 2 Μέθοδοι επιτόπιων μετρήσεων (Simone et al., 2018)	42
Πίνακας 3 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων (Simone et al., 2018).....	44
Πίνακας 4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δεικτών από αντικειμενικές μετρήσεις.....	54
Πίνακας 5 Γενικά χαρακτηριστικά πέντε τυπικών κατοικιών	57
Πίνακας 6 Πειραματικός εξοπλισμός	58
Πίνακας 7 Έλεγχος για ελλιπή δεδομένα	62
Πίνακας 8 Επαλήθευση της τάξης μεγέθους	63
Πίνακας 9 Μελετούμενες παράμετροι και ζητούμενο αποτέλεσμα.....	68
Πίνακας 10 Αριθμός ημερών που μελετήθηκαν σε κάθε περίπτωση.....	71
Πίνακας 11 Αριθμός κύριων συνιστωσών και αντίστοιχο ποσοστό διακύμανσης που επεξηγούν..	71
Πίνακας 12 Μηνιαίες μέσες, ελάχιστες και μέγιστες εξωτερικές θερμοκρασίες (Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014)	72
Πίνακας 13 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τη χρήση φυσικού αερίου κατά τους χειμερινούς μήνες	73
Πίνακας 14 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D5	74
Πίνακας 15 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D10	75
Πίνακας 16 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D14	76
Πίνακας 17 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D17	77
Πίνακας 18 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D28	78
Πίνακας 19 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	79
Πίνακας 20 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D5	80
Πίνακας 21 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D10	81
Πίνακας 22 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D14	82
Πίνακας 23 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D17	83
Πίνακας 24 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D28	84
Πίνακας 25 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τα επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα.....	85

Πίνακας 26 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D5	86
Πίνακας 27 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D10	87
Πίνακας 28 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D14	88
Πίνακας 29 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D17	89
Πίνακας 30 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D28	90
Πίνακας 31 Αριθμός συστάδων, αλλά και ημερών που αποτελούν την κάθε συστάδα, για κάθε κατοικία, χρήση φυσικού αερίου	91
Πίνακας 32 Επικρατέστερες συστάδες φυσικού αερίου για κάθε μήνα και τύπο ημέρας	93
Πίνακας 33 Χαρακτηριστικά των συστάδων φυσικού αερίου για θέρμανση για κάθε κατοικία.....	97
Πίνακας 34 Κριτήρια επιτυχούς βαθμονόμησης μοντέλου προσομοίωσης	109
Πίνακας 35 Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη κατοικίας	111
Πίνακας 36 Λειτουργία συστήματος θέρμανσης – Βασικό μοντέλο βαθμονόμησης.....	115
Πίνακας 37 Αντιστοιχία συγκεντρώσεων CO ₂ και τιμών αερισμού για κάθε κατηγορία ποιότητας αέρα – EN 15251 (2007)	116
Πίνακας 38 Εφαρμογή φυσικού αερισμού – Βασικό μοντέλο βαθμονόμησης.....	116
Πίνακας 39 Αποτελέσματα βαθμονόμησης – Δείκτες MBE και CV(RMSE).....	117
Πίνακας 40 Χαρακτηριστικά επικρατέστερων συστάδων για κάθε μήνα και τύπο ημέρας.....	125
Πίνακας 41 Μοντέλα με επικρατέστερες συστάδες θέρμανσης – Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση (kWh) με το μοντέλο αναφοράς.....	126
Πίνακας 42 Ανάλυση συσχέτισης για μεταβλητές σχετικές με την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση.....	127
Πίνακας 43 Μοντέλα με λεπτομέρεις συστάδες θέρμανσης – Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση (kWh) με το μοντέλο αναφοράς.....	130
Πίνακας 44 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης ανάμεσα στα μοντέλα με λεπτομερείς και επικρατέστερες συστάδες για κάθε σενάριο.....	131
Πίνακας 45 Κατηγορίες περιβαλλοντικής ποιότητας σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 15251 (2007)	138
Πίνακας 46 Μελετούμενες συνθήκες και αντιπροσωπευτικές παράμετροι για το δείκτη DEQI	140
Πίνακας 47 Εύρη τιμών για κάθε κατηγορία ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος	142
Πίνακας 48 Υποδείκτες και δείκτης DEQI για μία κατοικία (κατοικία D24)	146
Πίνακας 49 Αποτελέσματα για τον Minimum Operator (MO) (κατοικία D24).....	147

Πίνακας 50 Ορισμός των τριών υπο μελέτη εποχών	148
Πίνακας 51 Περιγραφική στατιστική για τον δείκτη DEQI και τους επί μέρους υποδείκτες για το σύνολο των μελετούμενων κατοικιών (N=26)	149
Πίνακας 52 Minimum operator για κάθε μελετούμενη περίοδο (N=26).....	155
Πίνακας 53 Ανάλυση ευαισθησίας για τον δείκτη DEQI (N=26).....	155
Πίνακας 54 Κατηγοριοποίηση των συμβουλών (Laskari et al., 2016)	164
Πίνακας 55 Μετρούμενες παράμετροι στα υπό μελέτη κτίρια (Laskari et al., 2016).....	165
Πίνακας 56 Κατηγοριοποίηση και διατύπωση των συμβουλών για ένα συγκεκριμένο κτίριο (Laskari et al., 2016).....	165
Πίνακας 57 Κυκλική αναπροσαρμογή συμβουλών (Laskari et al., 2016)	166
Πίνακας 58 Ημερήσιος κύκλος αναπροσαρμογής μηνυμάτων για κάθε κατηγορία συμβουλών (Laskari et al., 2016).....	167
Πίνακας 59 Κριτήρια υγείας και άνεσης για το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών».....	169
Πίνακας 60 Πρόγραμμα Σύνθετων Συμβουλών – Συνήθης τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης	170
Πίνακας 61 Λογική για τον χρωματικό κωδικό των Σύνθετων Συμβουλών για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο και εποχή του χρόνου.....	174
Πίνακας 62 Αποτελέσματα της δοκιμής τους συστήματος καταγραφής δεδομένων στις υπό μελέτη κατοικίες.....	201
Πίνακας 63 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D5	205
Πίνακας 64 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D10	205
Πίνακας 65 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D14	206
Πίνακας 66 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D17	207
Πίνακας 67 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D28	208
Πίνακας 68 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D5	209
Πίνακας 69 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D10	209
Πίνακας 70 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D14	210
Πίνακας 71 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D17	211
Πίνακας 72 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D28	212
Πίνακας 73 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D5	213
Πίνακας 74 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D10	213

Πίνακας 75 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D14	214
Πίνακας 76 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D17	215
Πίνακας 77 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D28	216

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% περίπου της ενεργειακής κατανάλωσης και το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (European Commission, n.d.). Τα κτίρια κατοικιών αντιπροσωπεύουν το 25% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ακολουθώντας τον τομέα των μεταφορών (33%) και της βιομηχανίας (26%) (eurostat, 2016). Παρόλο που το ποσοστό της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζει αυξητική τάση, η καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) συνεχίζει να καλύπτει το μεγαλύτερο μερίδιο των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων κατοικιών παγκοσμίως (Cao et al., 2016).

Οι μεταβλητές που καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας κατοικίας είναι πολλές, με κυριότερες από αυτές το μέγεθος της κατοικίας και την κλιματική περιοχή στην οποία ανήκει. Η ενέργεια καταναλώνεται κυρίως για θέρμανση και ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό, λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών και μαγείρεμα. Από αυτές τις χρήσεις το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στη θέρμανση (64,7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας) ενώ σημαντική είναι και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και χρήση οικιακών συσκευών (13,8%) και ζεστό νερό χρήσης (14,5%) (eurostat, n.d.). Ως εκ τούτου, η έρευνα για την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια και την επακόλουθη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα επικεντρώθηκε στο σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και ενεργειακά αποδοτικών συσκευών. Αντίστοιχα, η ενεργειακή πολιτική συγκροτήθηκε με κύριο γνώμονα την ενθάρρυνση της κατασκευής τέτοιων κτιρίων και την προώθηση των νέων τεχνολογιών και συσκευών. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση στην οικιακή ενεργειακή κατανάλωση. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στον αυξανόμενο αριθμό οικιακών συσκευών που διαθέτει πλέον το κάθε νοικοκυριό (Genjo et al., 2005; Pérez-Lombard et al., 2008) ενώ τα επόμενα χρόνια αναμένεται αύξηση στην ηλεκτρική κατανάλωση και λόγω της χρήσης κλιματιστικών (USEIA, 2005). Επιπροσθέτως, πολλές από τις συσκευές αφήνονται μονίμως σε κατάσταση αναμονής (stand-by) ενισχύοντας έτσι το πρόβλημα των αυξανόμενων οικιακών ενεργειακών απαιτήσεων (Fung et al., 2003).

Στις μέρες μας, τόσο η έρευνα όσο και η ενεργειακή πολιτική φαίνεται να αναγνωρίζουν τη σημαντική επίδραση που μπορεί να έχει ο χρήστης ενός κτιρίου στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση και κατατάσσουν την ενεργειακή συμπεριφορά του ως έναν από τους βασικότερους παράγοντες που πρέπει να διερευνηθεί (Delzendeh et al., 2017). Ενδεικτικός του ενδιαφέροντος πάνω στο συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο είναι ο όγκος των δημοσιεύσεων σε επιστημονικά περιοδικά κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ενώ το 1999 είχαν γίνει λιγότερες από 10 σχετικές δημοσιεύσεις τα επόμενα χρόνια σημειώθηκε σημαντική αυξητική τάση με αποτέλεσμα το 2013 να δημοσιευτούν πάνω από 65 σχετικές δημοσιεύσεις (Annex 66, 2018; Gaetani et al., 2016). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το μεγαλύτερο κομμάτι της πρόσφατης βιβλιογραφίας που αφορά στον ορισμό και την προσομοίωση της συμπεριφοράς του χρήστη σε κτίρια έχει προκύψει από την πρωτοβουλία Annex 66 και είναι αποτέλεσμα συνεργασίας εξειδικευμένων ερευνητών από όλο τον κόσμο (Annex 66, 2018). Η πρωτοβουλία του Annex 66 – *Ορισμός και Προσομοίωση της*

Συμπεριφοράς του Χρήστη σε Κτίρια (Definition and Simulation of Occupant Behaviour in Buildings) συστάθηκε το 2013 από το παράρτημα του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας για τα Κτίρια (IEA Energy in Buildings, n.d.) και ολοκληρώθηκε το 2018.

Η πραγματική ενεργειακή κατανάλωση πολύ συχνά διαφέρει, και μάλιστα σημαντικά, από αυτήν που εκτιμάται με την χρήση μοντέλων εκτίμησης ενεργειακής κατανάλωσης (Bordass et al., 2004; Gaetani et al., 2016; Hong et al., 2018). Η απόκλιση αυτή αποδίδεται κατά κύριο λόγο στο χρήστη και την ενεργειακή συμπεριφορά αυτού (Ahn et al., 2017; De Wilde, 2014; Gilani et al., 2018; Hong et al., 2016). Ο όρος «ενεργειακή συμπεριφορά» ενός χρήστη αναφέρεται σε μια συνάρτηση πολλών παραμέτρων, σχετίζεται δε με την παρουσία και την κίνηση του στο χώρο, με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που καθορίζει και την αλληλεπίδραση του με τα συστήματα του κτιρίου. Παραδείγματα αυτής της αλληλεπίδρασης αποτελούν η ρύθμιση του θερμοστάτη, η εφαρμογή φυσικού αερισμού μέσω των υφιστάμενων ανοιγμάτων, η ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού, η εφαρμογή μεθόδων σκίασης, η λειτουργία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (Hong et al., 2016). Οι παράγοντες που καθορίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός χρήστη είναι ποικίλοι με χαρακτηριστικά παραδείγματα τον τρόπο ζωής, το εισόδημα, το μορφωτικό επίπεδο, την αντίληψη της θερμικής άνεσης καθώς και την ενημέρωση του χρήστη πάνω σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. Οι παράγοντες αυτοί διαφέρουν σημαντικά από άνθρωπο σε άνθρωπο (Diao et al., 2017), και για αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να ενσωματωθούν στα μοντέλα εκτίμησης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων κατοικιών.

Συνεπώς, η συμπεριφορά του χρήστη είναι πολύπλοκη και καθορίζεται από στοχαστικές αποφάσεις. Είναι αντικείμενο μελέτης πολλών κλάδων της επιστήμης όπως είναι η ψυχολογία, η κοινωνιολογία, η οικονομία, η μηχανική κ.α. Αυτό το γεγονός από μόνο του είναι ενδεικτικό της πολυπλοκότητας του συγκεκριμένου αντικειμένου μελέτης. Στο πλαίσιο αυτό, και επειδή ο ρόλος του χρήστη στην ενεργειακή διαχείριση ενός κτιρίου είναι καθοριστικός, η έρευνα εστιάζει σήμερα αφενός στην κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών (Gunay et al., 2013; Wei et al., 2014), αφετέρου στην διερεύνηση των δυνατοτήτων και μεθόδων αλλαγής της συμπεριφοράς αυτής προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας (Abrahamse et al., 2005; Pan et al., 2017). Σε αυτό συντελεί το γεγονός ότι η αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών των κτιρίων αποτελεί μια εκ των οικονομικότερων βιώσιμων λύσεων, ειδικά αν συνυπολογιστεί το κόστος και η μειωμένη δυνατότητα μεγάλης εξοικονόμησης μέσω τεχνικών λύσεων λόγω της ήδη υψηλής τους ενεργειακής απόδοσης.

Κατά συνέπεια, έχει σχεδιαστεί πληθώρα προγραμμάτων τα οποία εστιάζουν στην μελέτη και την αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών (Abrahamse et al., 2007; Darby, 2001; Fischer, 2008; Karatasou et al., 2014). Τα προγράμματα αυτά ουσιαστικά προωθούν την ενεργειακή διαχείριση των κτιρίων βάζοντας τον χρήστη στο επίκεντρο και παρέχοντας του σαφή, άμεση και συγκεκριμένη πληροφορία για τις συνθήκες και τις πρακτικές που χρειάζεται να αλλάξει ή να υιοθετήσει προκειμένου να μειώσει τα λειτουργικά έξοδα του και να επιτύχει παράλληλα ικανοποιητικές εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αποτελεσματικότητα τέτοιων

προγραμμάτων αποδεικνύεται από το μέγεθος της εξοικονόμησης ενέργειας που επιφέρουν. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία η εξοικονόμηση αυτή μπορεί να φτάσει και το 30% (Darby, 2006; Fischer, 2008; Mullaly, 1998; Palmborg, 1986).

Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν μόνο μια γενική αντίληψη του πόσο καταναλώνουν για διαφορετικές λειτουργίες της κατοικίας τους και του τι χρειάζεται να αλλάξουν στις καθημερινές τους συνήθειες και πρακτικές προκειμένου να μειώσουν τα κόστη λειτουργίας της κατοικίας τους. Η παροχή άμεσης και σωστής πληροφορίας πάνω σε αυτά τα θέματα μπορεί να βοηθήσει τον χρήστη να κατανοήσει τι χρειάζεται να κάνει και να αλλάξει τις συνήθειες και τις πρακτικές του προς όφελος του (Darby, 2006). Τα προγράμματα αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς βοηθούν τους χρήστες να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες εξοικονόμησης στην κατοικία τους προσφέροντας τους ενημέρωση (information), ανατροφοδότηση (feedback) και συμβουλές (advice). Πολλά από τα προγράμματα αυτά βασίζονται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ), γνωστή ως Information and Communications Technology (ICT), ως το μέσον για την επικοινωνία της πληροφορίας προς τον χρήστη και την επίτευξη της αλλαγής της ενεργειακής του συμπεριφοράς.

Η αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη προϋποθέτει τις περισσότερες φορές παροχή εξατομικευμένων ενεργειακών συμβουλών (Abrahamse et al., 2007; Gifford, 2014; Guy and Shove, 2000). Υπάρχουν πολλοί τύποι συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που οι χρήστες κτιρίων κατοικιών μπορούν να υιοθετήσουν και να εφαρμόσουν για να εξοικονομήσουν ενέργεια. Η κατηγοριοποίηση των συμπεριφορών μπορεί να γίνει με πολλά κριτήρια τα πιο συνηθισμένα εκ των οποίων έχουν να κάνουν με το σχετιζόμενο κόστος τους, τον χρόνο για τη μελέτη και την υλοποίηση τους και τη συχνότητα εφαρμογής τους. Οι διάφορες κατηγορίες ενεργειακών συμπεριφορών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των τύπων συμβουλών που θα δοθούν μέσα από προγράμματα παροχής συμβουλών ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη ενώ τα μέτρα εξοικονόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οι ίδιες οι συμβουλές που θα δοθούν μέσα από το πρόγραμμα (Laskari et al., 2016)

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας καταναλώνεται στα κτίρια για την διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι παράμετροι της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος με την μεγαλύτερη εξάρτηση από την ενεργειακή κατανάλωση είναι η θερμική άνεση, η ποιότητα εσωτερικού αέρα και τα επιπέδα φωτισμού. Η αλληλοσυσχέτιση της ενεργειακής κατανάλωσης και των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος δεν πρέπει να παραβλέπεται κατά την ανάπτυξη νέων μεθόδων για εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη επιθυμητής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, αντίστοιχα, καθώς προσπάθειες για βελτίωση της μίας συνθήκης μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την άλλη. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD, 2010) αναγνωρίζει την σχέση μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και του εσωτερικού κλίματος των κτιρίων και την λαμβάνει υπόψιν στη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Το πρότυπο EN15251 (2007) είναι ένα από τα πρότυπα που συντάχθηκαν για να βοηθήσουν τα κράτη μέλη στην εφαρμογή της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ. Το Πρότυπο προσδιορίζει τις κύριες παράμετρους από τις οποίες εξαρτάται η ποιότητα εσωτερικού

περιβάλλοντος και καθορίζει τις προδιαγραφές για το σχεδιασμό των συστημάτων ενός κτιρίου καθώς και την μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής του απόδοσης (CEN/TR15615, 2008). Το Πρότυπο EN15251 (2007) καθορίζει επίσης τις μεθόδους για την μακροπρόθεσμη αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου βάσει μετρήσεων ή υπολογισμών. Το πρότυπο αναφέρεται σε κτίρια στα οποία τα κριτήρια για την αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος καθορίζονται από την ανθρώπινη παρουσία και το εσωτερικό περιβάλλον δεν επηρεάζεται σημαντικά από κάποια παραγωγική ή άλλη διαδικασία. Ως εκ τούτου το πρότυπο EN15251 (2007) μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση και κατηγοριοποίηση του εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια κατοικιών, στα οποία αρκεί να λαμβάνεται υπόψη το θερμικό περιβάλλον και η ποιότητα εσωτερικού αέρα.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μελέτες με προτεινόμενες μεθόδους και δείκτες για την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Heinzerling et al., 2013). Το αποτέλεσμα των μεθόδων αυτών είναι μια βαθμολογία ή κατάταξη η οποία προκύπτει από μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, είτε αντικειμενικές (π.χ. πειραματικές μετρήσεις) είτε υποκειμενικές (π.χ. ερωτηματολόγια). Οι περισσότεροι από τους δείκτες αυτούς βασίζονται σε εκτενή αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια είναι πολύπλοκοι στον υπολογισμό τους. Απαιτούν δε τη γνώση πλήθους παραμέτρων, γεγονός που αυξάνει το πειραματικό κόστος και την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων με την ακρίβεια/βαθμονόμηση των οργάνων (ASHRAE/CIBSE/USGBC, 2010). Εντούτοις, ένας δείκτης αξιολόγησης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που απευθύνεται στους χρήστες των κτιρίων θα πρέπει να πληροί τρία βασικά κριτήρια: να σχετίζεται με τα συμπτώματα των χρηστών, να είναι εύκολα κατανοητός και να υπολογίζεται εύκολα (Sofuoglu and Moschandreas, 2003).

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί η διερεύνηση και ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση και στις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια κατοικιών και τελικώς η ανάπτυξη χρήσιμων εργαλείων για τον χρήστη για την επίτευξη βέλτιστων εσωτερικών συνθηκών και εξοικονόμησης ενέργειας. Οι επί μέρους στοχοί της διατριβής είναι:

1. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αποτύπωση μοτίβων ενεργειακής συμπεριφοράς με χρήση μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής
2. Ενσωμάτωση της συμπεριφοράς του χρήστη σε μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου για την ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης της στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και των εσωτερικών θερμικών συνθηκών
3. Ανάπτυξη ενός διαγνωστικού δείκτη για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος τον οποίο ο χρήστης μπορεί να συμβουλευτεί παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην κατοικία του
4. Ανάπτυξη αλγορίθμου για την παροχή ενεργειακών συμβουλών λαμβάνοντας υπόψη τη μοναδικότητα του χρήστη και την σχέση που υπάρχει μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Τα κεφάλαια στα οποία διαρθρώνεται η παρούσα διατριβή συνοψίζονται παρακάτω:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στο ρόλο του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση σε κτίρια και παρουσιάζονται οι τρόποι αποτύπωσης της συμπεριφοράς του σε μοντέλα εκτίμησης της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων. Παρουσιάζονται ακόμη οι βασικότερες μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για την αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη σε μετρούμενες μεταβλητές καθώς και βασικές μέθοδοι αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη. Τέλος παρουσιάζεται μια επισκόπηση των βασικότερων συνιστωσών ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος για κτίρια κατοικιών αλλά και δείκτες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και βασίζονται σε μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που σχεδιάστηκε για τη συλλογή, διαχείριση και επαλήθευση των μετρούμενων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διατριβή. Η πειραματική διάταξη ήταν μέρος του Ευρωπαϊκού προγράμματος ICE-WISH (Grant Agreement number 270898). Οι κατοικίες που μελετώνται είναι συνολικά είκοσι έξι και βρίσκονται σε ένα σύμπλεγμα κατοικιών στην Φλωρεντία της Ιταλίας και συνεπώς έχουν παρόμοια τεχνικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά. Οι μεταβλητές που μελετώνται είναι: εσωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, συγκέντρωση CO₂, κατανάλωση φυσικού αερίου, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται απότυπωση της συμπεριφοράς του χρήστη (pattern recognition) σε πέντε διαφορετικές κατοικίες. Οι κατοικίες αυτές βρίσκονται στον ίδιο όροφο του συμπλέγματος κατοικιών και άρα έχουν παρόμοια θερμικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά ενώ διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό και την θερμαινόμενη επιφάνεια και σε ότι έχει να κάνει με τον ίδιο τον χρήστη (π.χ. αριθμός χρηστών, συνήθειες και πρακτικές, επιλογή συστημάτων και συσκευών, λειτουργία των συστημάτων και συσκευών). Η επιλογή των 5 αυτών κατοικιών έγινε με σκοπό την όσο πιο αντικειμενική γίνεται σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ημερήσια προφίλ μιας κατοικίας. Οι μεταβλητές που μελετώνται στο κεφάλαιο αυτό είναι η κατανάλωση του φυσικού αερίου, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και η εσωτερική θερμοκρασία. Για την ποσοτική αποτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη εφαρμόστηκαν μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής. Αρχικά εφαρμόστηκε ανάλυση σε κύριες συνιστώσες και στη συνέχεια, πάνω στις βασικές κύριες συνιστώσες, εφαρμόστηκε διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis). Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των ωρών μέσα στη μέρα κατά τις οποίες σημειώνονται επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές. Η ανάλυση κατά συστάδες χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση και μελέτη των ημερών με κοινά χαρακτηριστικά για κάθε μελετούμενη παράμετρο. Οι συστάδες αποτελούνται από εικοσιτετράωρα προφίλ και άρα ημέρες του χρόνου με κοινά χαρακτηριστικά ως προς την συμπεριφορά του χρήστη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο οι αποτυπώσεις της συμπεριφοράς του χρήστη (patterns) πάνω στις εξεταζόμενες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου με απώτερο στόχο την ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στην θερμική άνεση. Οι αποτυπώσεις της συμπεριφοράς του χρήστη που εισήχθησαν στο ενεργειακό μοντέλο βαθμονόμησης είναι τα εικοσιτετράωρα προφίλ για: χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογή τεχνικών φυσικού αερισμού, παρουσία των χρηστών στους διαφορετικούς χώρους της κατοικίας και τέλος η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Για τη βαθμονόμηση επιλέχθηκε η κατοικία με την πιο άστατη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και άρα με την μεγαλύτερη δυσκολία ακριβούς ενσωμάτωσης στο μοντέλο βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου έγινε με βάση τις οδηγίες του πρότυπου ASHRAE Guideline 14 (2014).

Στο έκτο κεφάλαιο προτείνεται ένας διαγνωστικός «Δείκτης Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος» (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI) και παρουσιάζεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του. Τον δείκτη αυτόν μπορεί να συμβουλευτείται ο χρήστης παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην κατοικία του. Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος προσδιορίζεται αρχικά για κάθε μία από τις τρεις περιβαλλοντικές παραμέτρους που αποτελούν τον δείκτη DEQI: τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία και την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Για κάθε μία παράμετρο υπολογίζεται ένας υποδείκτης ο οποίος ενημερώνει τον χρήστη για την απόδοση της κατοικίας του όσον αφορά διαφορετικές πτυχές της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα τη θερμική άνεση και την ποιότητα εσωτερικού αέρα. Ο DEQI είναι ο αριθμητικός μέσος των τριών υποδεικτών και άρα προσφέρει μια συνολική εικόνα για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο δείκτης δοκιμάστηκε πάνω σε δείγμα 26 κατοικιών.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για την παροχή ενεργειακών συμβουλών με στόχο την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών κτιρίων κατοικιών και την εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτά. Οι συμβουλές προσφέρονται μέσα από μια υπηρεσία που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και συμπληρώνει την άμεση ανατροφοδότηση (direct feedback) και ενημέρωση (information) που προσφέρεται μέσα από αυτήν. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν τόσο τη μοναδικότητα του χρήστη όσο και την σχέση που υπάρχει μεταξύ ενεργειακής κατανάλωσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και διασφαλίζει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας δεν επιτυγχάνεται εις βάρος της υγείας και της θερμικής άνεσης των χρηστών.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής συμβάλλουν ουσιαστικά στην σύγχρονη ανάγκη και χώρο ενδιαφέροντος της έρευνας και της ενεργειακής πολιτικής για κατανόηση και ποσοτική αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη στις σύγχρονες προδιαγραφές ενεργειακού σχεδιασμού και μεθόδους εκτίμησης της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων. Η συμβολή αυτή προκύπτει από την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε αλλά και από την ίδια την απότυπωση της πολύ διαφορετικής συμπεριφοράς του χρήστη (pattern recognition) που έγινε σε διαφορετικές κατοικίες

καθώς και από την ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης των χρηστών αυτών των κατοικιών στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στην θερμική άνεση. Ο διαγνωστικός δείκτης για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος τον οποίο ο χρήστης μπορεί να συμβουλευέται παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην κατοικία του είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο με πολλές εφαρμογές. Η αξία και πρωτοτυπία αυτού του δείκτη υπογραμμίζεται και από την βράβευση της δημοσίευσης της εν λόγω μεθοδολογίας στο επιστημονικό περιοδικό Indoor and Built Environment με το SAGE best paper award για το έτος 2017. Τέλος, ο αλγόριθμος για την παροχή ενεργειακών συμβουλών είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο καθώς λαμβάνει υπόψιν όλες τις σημαντικές πτυχές ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση (εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, εποχή του χρόνου, λειτουργία ή όχι του συστήματος θέρμανσης, ανάγκες και προτιμήσεις του χρήστη) πριν την παροχή οποιασδήποτε συμβουλής και έχει και αυτός πολλές εφαρμογές στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας και αλλαγής ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Και τα δύο εργαλεία που αναπτύχθηκαν με στόχο να επιτρέψουν στον χρήστη να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις για την επίτευξη βέλτιστων εσωτερικών συνθηκών και εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσαν να έχουν συμπληρωματική σχέση με τα σύγχρονα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης μέσα από τον δείκτη ευφυούς ετοιμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ

2.1 Ο ρόλος του χρήστη στην ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση ενός κτιρίου

Ο όρος «ενεργειακή συμπεριφορά» ενός χρήστη αναφέρεται σε μια συνάρτηση πολλών παραμέτρων, σχετίζεται δε με την παρουσία και την κίνηση του στο χώρο, με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που καθορίζει και την αλληλεπίδραση του με τα συστήματα του κτιρίου. Παραδείγματα αυτής της αλληλεπίδρασης αποτελούν η ρύθμιση του θερμοστάτη, η εφαρμογή φυσικού αερισμού μεσω των υφιστάμενων ανοιγμάτων, η ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού, η εφαρμογή μεθόδων σκίασης, η λειτουργία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και τέλος η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (Hong et al., 2016). Οι βασικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός χρήστη είναι ο τρόπος ζωής, το εισόδημα, το μορφωτικό επίπεδο, η αντίληψη της θερμικής άνεσης καθώς και η ενημέρωση του χρήστη πάνω σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και διαφέρουν σημαντικά από άνθρωπο σε άνθρωπο (Diao et al., 2017).

Καθώς τα κτίρια και τα συστήματα τους βελτιστοποιούνται, οι νομοθεσίες και οι κανόνες ενεργειακής απόδοσης γίνονται πιο αυστηρά και τα συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης γίνονται πιο διαδεδομένα η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου γίνεται όλο και πιο καθοριστική (Clevenger and Haymaker, 2006; Gaetani et al., 2016). Η επίδραση αυτή είναι ακόμα πιο σημαντική σε κτίρια κατοικιών όπου οι εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες διαμορφώνονται από τον ίδιο τον χρήστη χωρίς τη συμβολή πολύπλοκων συστημάτων διαχείρισης κτιρίου όπως συμβαίνει για άλλους τύπους κτιρίων. Μάλιστα ο τρόπος που η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά των χρηστών επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας μπορεί να διαφέρει για κάθε τελική χρήση (Karatasou et al., 2018).

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια κατοικιών εξαρτάται από τον τύπο της κατοικίας (διαμέρισμα, μονοκατοικία κλπ), την τοποθεσία, την ιδιοκτησία, το μέγεθος, τον τύπο και αριθμό των συσκευών και τα χαρακτηριστικά των χρηστών συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των χρηστών, του εισοδήματος, της ηλικίας και των διαστημάτων παρουσίας στην κατοικία (Karatasou et al., 2018; Yohanis et al., 2008). Η επίδραση που έχει κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους στην ηλεκτρική κατανάλωση είναι διαφορετική αλλά παρόλα αυτά σημαντική. Τα χαρακτηριστικά όμως των χρηστών είναι αυτά που καθορίζουν τις ώρες έντονης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στη μέρα και δίνουν ένα μοναδικό χαρακτήρα στα εικοσιτετράωρα προφίλ χρήσης (Aragon et al., 2017).

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης δεν παρουσιάζει τυχαία διακύμανση αλλά εξαρτάται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των χρηστών (UoS, 2016): αριθμός των χρηστών, ηλικία, καθεστώς απασχόλησης, εισόδημα και σχετικές συνήθειες. Από τη μελέτη της σχέσης μεταξύ των μοτίβων λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με το εισόδημα και την ηλικία οι Huebner et al. (2015) κατέληξαν στο ότι τα εικοσιτετράωρα προφίλ με δύο αιχμές μέσα στη μέρα αντιστοιχούν σε νοικοκυριά με τα υψηλότερα εισοδήματα. Οι Yohanis et al. (2008) έδειξαν ότι τα μοτίβα θέρμανσης

εξαρτώνται από τον αριθμό των μελών που αποτελούν ένα νοικοκυριό, τη σύσταση του νοικοκυριού και το εισόδημα. Τέλος, οι (Kane et al., 2015) βρήκαν σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στα μοτίβα χρήσης του συστήματος θέρμανσης και του αριθμού των χρηστών, της ηλικίας και του καθεστώτος απασχόλησης τους.

Η έρευνα που έχει γίνει μέχρι σήμερα έχει συμβάλει στην αποτύπωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε διάφορες εκφάνσεις της ενεργειακής διαχείρισης ενός κτιρίου όπως είναι η λειτουργία των ανοιγμάτων, η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και οι επιθυμητές θερμοκρασιακές ρυθμίσεις, ο φωτισμός και η σκίαση.

Σύμφωνα με ένα μεγάλο κομμάτι της βιβλιογραφίας που ανέλυσαν οι Frontczak et al. (2012) η ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη επηρεάζεται μόνο από τις φυσικές συνθήκες που βιώνει την προκειμένη χρονική στιγμή ή έχει βιώσει σε προηγούμενο χρόνο. Οι Andersen et al. (2009) κατέληξαν στο ότι το φύλο και η ιδιοκτήσια της κατοικίας επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης διαμορφώνει το εσωτερικό του περιβάλλον. Οι Guerra-Santin και Itard (2010) βρήκαν ότι ο χρόνος λειτουργίας των θερμαντικών σωμάτων σχετίζεται με τον τύπο του θερμοστάτη, την παρουσία ηλικιωμένων και με συνήθειες που ο χρήστης έχει αποκτήσει από προηγούμενες κατοικίες. Ο Brundrett (1977) κατέληξε στο ότι ο αριθμός των ανοικτών παραθυρών ήταν μεγαλύτερος σε κατοικίες όπου ο ένας γονιός έμενε στο σπίτι και αυξανόταν με τα μέλη της οικογένειας. Η μελέτη των Schweiker και Shukuya (2009) έδειξε ότι η χρήση συστημάτων κλιματισμού εξαρτάται από την καταγωγή του χρήστη, την εμπειρία του από την παιδική ηλικία καθώς και από την στάση του απέναντι στα συστήματα αυτά.

Ένα άλλο κομμάτι της βιβλιογραφίας υποστηρίζει ότι η ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη μπορεί να επηρεαστεί και από το επίπεδο της γνώσης και εμπειρίας στη χρήση συστημάτων ρύθμισης του συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος (Frontczak et al., 2012). Σε μία μελέτη που έκαναν στο Βέλγιο οι Peeters et al. (2008) βρήκαν ότι οι χρήστες δεν ήξεραν πως να λειτουργήσουν τη θερμοστατική βαλβίδα των θερμαντικών σωμάτων της κατοικίας τους με αποτέλεσμα πολύ συχνά να βιώνουν συνθήκες υπερθέρμανσης. Στην Κίνα και στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι Xu et al. (2009) και οι Gill et al. (2010), αντίστοιχα, διαπίστωσαν ότι οι χρήστες είχαν δυσκολία να καταλάβουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης τους. Μία μελέτη της Gram-Hanssen (2010) στη Δανία έδειξε ότι οι χρήστες ένιωθαν ότι είχαν ανεπαρκή γνώση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης τους και ότι χρειάζονται περισσότερη ενημέρωση πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Προβλήματα με τη χρήση άλλων συστημάτων όπως είναι τα κλιματιστικά αναφέρθηκαν και από χρήστες στις Η.Π.Α. (Kempton et al., 1992; Lutzenhiser, 1992), ενώ η μελέτη των Fujii και Lutzenhiser (1992) στην Ιαπωνία έδειξε ότι οι χρήστες χρησιμοποιούσαν μόνο ένα περιορισμένο αριθμό λειτουργιών του κλιματιστικού τους. Αντιθέτως, στη Φινλαδία οι χρήστες εμφανίστηκαν σίγουροι σε μεγάλο βαθμό για το επίπεδο της γνώσης λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και μηχανικού αερισμού της κατοικίας τους (Karjalainen, 2009).

2.1.1 Τύποι ενεργειακών συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης

Υπάρχουν πολλοί τύποι συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που οι χρήστες κτιρίων κατοικιών μπορούν να υιοθετήσουν για να εξοικονομήσουν ενέργεια. Οι Rahman et al. (2010) κατηγοριοποιούν τα μέτρα εξοικονόμησης με βάση το σχετιζόμενο επίπεδο επένδυσης σε: μέτρα μηδενικής επένδυσης, μέτρα μικρής επένδυσης, μέτρα σημαντικής επένδυσης. Παρόμοια κατηγοριοποίηση γίνεται και από το Chartered Institution of Building Services Engineers ("CIBSE Guide F," 2004) όπου τα μέτρα εξοικονόμησης διαχωρίζονται σε Χαμηλού-Μηδενικού κόστους, Μέτριου κόστους και Υψηλού κόστους. Τα μέτρα Χαμηλού-Μηδενικού κόστους χρειάζονται αμελητέα επένδυση, δεν απαιτούν τεχνικές μελέτες και περιλαμβάνουν δράσεις όπως: προσαρμογή του θερμοστάτη, εφαρμογή φυσικού αερισμού για δροσισμό, μεταφορά δραστηριοτήτων σε ώρες εκτός αιχμής κλπ. Τα μέτρα Μέτριου κόστους απαιτούν κάποιο επίπεδο επένδυσης σε μορφή εργατικών δαπανών και άρα και περισσότερο χρόνο για την υλοποίησή τους, παρόλα αυτά όμως δεν χρειάζονται κάποια απαιτητική μελέτη ή σχεδιασμό. Τα μέτρα Υψηλού κόστους χρειάζονται λεπτομερή μελέτη και σχεδιασμό. Ως αποτέλεσμα χρειάζεται και σημαντική χρηματική και χρονική επένδυση για την υλοποίησή τους. Πριν την υλοποίησή τους συνίσταται η αξιολόγηση της διάρκειας αποπληρωμής και της προβλεπόμενης εξοικονόμησης ενέργειας (Rahman et al., 2010).

Οι Abrahamse et al. (2007) κατηγοριοποιούν τις αλλαγές στη συμπεριφορά με βάση το κόστος τους έτσι όπως αυτό διαμορφώνεται από τον χρόνο και τον κόπο που απαιτείται και τον περιορισμό στην άνεση που μπορούν να επιφέρουν. Πιο συγκεκριμένα, μια συμπεριφορά σχετικά χαμηλού κόστους μπορεί να περιλαμβάνει την αλλαγή στον θερμοστάτη και την αποδοτική χρήση των συσκευών, ενώ μια συμπεριφορά σχετικά υψηλού κόστους μπορεί να είναι η μείωση του αριθμού των διαδρομών με το αυτοκίνητο.

Στο βιβλίο τους "Environmental problems and human behaviour" οι Gardner και Stern (2002) κατηγοριοποιούν τις συμπεριφορές που σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας σε συμπεριφορές αποδοτικότητας και σε συμπεριφορές περικοπής. Οι συμπεριφορές αποδοτικότητας περιλαμβάνουν την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού ενώ οι συμπεριφορές περικοπής περιλαμβάνουν την λιγότερο εκτεταμένη χρήση του ήδη αποκτημένου εξοπλισμού (Gardner and Stern, 2002; Steg, 2005).

Οι van Raaij και Verhallen (1983) χωρίζουν την ενεργειακή χρήση ενός νοικοκυριού σε τρεις ενεργειακές συμπεριφορές: Αγοράς, Χρήσης και Συντήρησης. Η συμπεριφορά αγοράς έχει να κάνει με τις 'ενεργειακά αποδοτικές επιλογές' κατά την αγορά οικιακών συσκευών ή συστημάτων όπως: ψυγείο, σύστημα θέρμανσης, κλιματιστικό κλπ. Σύμφωνα με τους Barr et al. (2005) η συμπεριφορά αγοράς μπορεί να περιλαμβάνει και μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις στο κέλυφος ή στα συστήματα του κτιρίου που χρειάζονται τη χρήση οικονομικών ή/και τεχνικών πόρων. Η συμπεριφορά χρήσης αφορά στη συχνότητα, τη διάρκεια και την ένταση της χρήσης των οικιακών συσκευών (Van Raaij and Verhallen, 1983). Τέτοιου τύπου συμπεριφορές σχετίζονται με αποφάσεις που χρειάζεται να παίρνουν οι χρήστες σε καθημερινή βάση και βασίζονται σε συνήθειες και προηγούμενη εμπειρία

(Barr et al., 2005). Αυτές περιλαμβάνουν μέτρα αμελητέου κόστους όπως: φυσικό στέγνωμα των ρούχων αντί για χρήση στεγνωτηρίου, καλύτερη ρύθμιση του θερμοστάτη, πλήρη απενεργοποίηση των συσκευών και σβήσιμο των φώτων σε αχρησιμοποίητους χώρους. Η συμπεριφορά συντήρησης αφορά την στη συντήρηση που πρέπει να γίνεται στα συστήματα και στις συσκευές προκειμένου να διατηρηθεί η βέλτιστη απόδοση τους.

Οι Dietz et al. (2009) προτιμούν τον διαχωρισμό των ενεργειακών συμπεριφορών Χρήσης ανάμεσα σε αυτές που αφορούν τις ρυθμίσεις στις συσκευές και τα συστήματα και σε αυτές που αφορούν τον τρόπο χρήση τους. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο υποκατηγορίες βρίσκεται στην ευκολία διατήρησης της επίδρασης τους αφού στην περίπτωση του τρόπου χρήσης των συσκευών και συστημάτων ο χρήστης πρέπει να επαναλαμβάνει την συμπεριφορά σε καθημερινή βάση προκειμένου να είναι αποτελεσματική ενώ στην περίπτωση των ρυθμίσεων η αποτελεσματικότητα εξασφαλίζεται αυτόματα.

Οι Dietz et al. (2009) διαχωρίζουν και τις ενεργειακές συμπεριφορές Αγοράς σε επενδύσεις της μίας φοράς για ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους ή των συστημάτων και στις αγορές ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και εξοπλισμού. Η δεύτερη υποκατηγορία έχει οφέλη και γνωρίσματα επιπλέον της εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων για τον χρήστη.

Οι διάφοροι τύποι ενεργειακών συμπεριφορών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των τύπων συμβουλών που θα δοθούν μέσα από προγράμματα παροχής συμβουλών ανάλογα με τον τύπο του χρήστη ενώ τα μέτρα εξοικονόμησης μπορούν να θεωρηθούν ως οι ίδιες οι συμβουλές που θα δοθούν μέσα από το πρόγραμμα.

2.1.2 Αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη

Οι τεχνολογίες υψηλής ενεργειακής απόδοσης δεν εγγυώνται από μόνες τους την χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση σε ένα κτίριο, ειδικά σε κτίρια κατοικιών όπου η χρήση αυτοματισμών δεν είναι τόσο συνηθισμένη όπως είναι τα κτίρια κατοικιών. Σε τέτοιους τύπους κτιρίων, η πιο αποδοτική προσέγγιση για εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι η εγκατάσταση καινοτόμων συστημάτων αλλά η αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη (Hong et al., 2018).

Οι περισσότεροι άνθρωποι όμως έχουν μόνο μια γενική αντίληψη του πόσο καταναλώνουν για διάφορες λειτουργίες της κατοικίας τους και του τι χρειάζεται να αλλάξουν στις καθημερινές τους συνήθειες και πρακτικές προκειμένου να μειώσουν τα λειτουργικά τους έξοδα. Για αυτό και είναι απαραίτητη η παροχή σαφούς, άμεσης και συγκεκριμένης πληροφορίας πάνω σε αυτά τα θέματα ώστε ο χρήστης να κατανοήσει τι είναι αυτό χρειάζεται να αλλάξει στις συνήθειες και τις πρακτικές του προς όφελος του (Darby, 2006).

Η βιβλιογραφία για την ανθρώπινη συμπεριφορά και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί αλλαγή της συμπεριφοράς αυτής είναι τεράστια. Μια επιμελής επισκόπηση των θεωριών αλλαγής συμπεριφοράς, μοντέλων και πλαισίων έχει γίνει από τον Darnton (2008a). Στη βιβλιογραφία τα μοντέλα συμπεριφοράς διαχωρίζονται από τις θεωρίες αλλαγής συμπεριφοράς

(Darnton, 2008). Οι θεωρίες και τα μοντέλα συμπεριφοράς προσδιορίζουν και αναλύουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά ενώ οι θεωρίες αλλαγής της συμπεριφοράς εξηγούν πως μπορεί η συμπεριφορά να αλλάξει με τον χρόνο. Τα πλαίσια για την αλλαγή σχεδιάζονται γύρω από μοντέλα και θεωρίες και προσφέρουν μια πρακτική προσέγγιση για τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και την αξιολόγηση παρεμβάσεων. Τα προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της αλλαγής στην συμπεριφορά των χρηστών είναι προγράμματα που χρησιμοποιούν παρεμβάσεις που ως στόχο έχουν να επηρεάσουν την ενεργειακή συμπεριφορά των καταναλωτών για την επίτευξη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης ή/και του φορτίου αιχμής (Karatasou et al., 2014). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σαφής τάση προς τέτοια προγράμματα που εφαρμόζουν τις κοινωνικές επιστήμες και την επιστήμη της συμπεριφοράς στην ενεργειακή έρευνα (Abrahamse et al., 2005; Ehrhardt-Martinez, 2008; Ehrhardt-Martinez and Laitner, 2010; Karatasou et al., 2014; National Research Council, 2010; Ueno et al., 2006; Wilson and Dowlatabadi, 2007).

Τα τρία βασικά κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας είναι τα οικονομικά οφέλη, η θερμική άνεση και ο αντίκτυπος στο περιβάλλον. Σε κτίρια κατοικιών και ειδικότερα σε νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος τα οικονομικά οφέλη και η θερμική άνεση αποτελούν βασική προτεραιότητα (Darby, 1999). Ως εκ τούτου, προκειμένου να είναι πιο αποτελεσματικά τα προγράμματα αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς που απευθύνονται σε χρήστες κτιρίων κατοικιών θα πρέπει να προσφέρουν κυρίως πληροφορία σχετική με τη μείωση των λειτουργικών εξόδων της κατοικίας και την βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών (Bordass et al., 2004).

Τα προγράμματα αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς βοηθούν τους χρήστες να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες εξοικονόμησης της κατοικίας τους προσφέροντας τους ανατροφοδότηση (feedback), ενημέρωση (information) και συμβουλές (advice). Πολλοί από αυτούς τους μηχανισμούς βασίζονται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ), γνωστή ως Information and Communications Technology (ICT), ως το μέσον για την επίτευξη πιο άμεσης και αποδοτικής επικοινωνίας της πληροφορίας προς τον χρήστη. Μέσα από αυτή την πληροφορία ο χρήστης μπορεί άμεσα να καταλάβει τους τρόπους με τους οποίους η συμπεριφορά του επηρεάζει την ενεργειακή του κατανάλωση και τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και κατά συνέπεια να πυροδοτήσει σε αυτόν συμπεριφορές που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας και πιο άνετο και υγιές εσωτερικό περιβάλλον.

Οι έξυπνοι μετρητές είναι ένα από τα βασικά στοιχεία των συστημάτων ΤΠΕ. Έχουν την ικανότητα να συνδέονται με οθόνες απεικονίσεων μέσω τοπικού δικτύου επιτρέποντας έτσι την ενίσχυση της ενεργειακής επίγνωσης, την κατανόηση της κατανάλωσης κατά την τελική χρήση, και την βελτίωση της ανάγνωσης και διαχείρισης της παρακολουθούμενης ενεργειακής κατανάλωσης (Darby, 2012). Όταν αυτή η πληροφορία συνδυαστεί και με άλλες υπηρεσίες όπως η παροχή συμβουλών μπορεί να αυξήσει περαιτέρω την προοπτική για εξοικονόμηση ενέργειας (Darby, 2012) και τον βαθμό ικανοποίησης των χρηστών με την έκβαση της προσπάθειας του και κατά συνέπεια την ίδια την υπηρεσία ΤΠΕ (Fischer, 2008).

Ενημέρωση (information)

Η ενημέρωση μπορεί να αφορά σε ευρύτερα θέματα όπως οι επιπτώσεις στο περιβάλλον της καύσης ορυκτών καυσίμων για ενέργεια και το κλίμα αλλά μπορεί και να είναι κάτι πιο συγκεκριμένο για κτίρια όπως γενικές συμβουλές για εξοικονόμηση ενέργειας.

Έχει άρα θεματολογία αρκετά ευρεία και καθόλου συγκεκριμένη και δεν είναι εξατομικευμένη για κάθε κατοικία ή χρήστη. Για αυτό το λόγο συνήθως δεν έχει κάποια σημαντική επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη και κατά συνέπεια δεν βοηθά ούτε και στη μείωση της ενεργειακής του κατανάλωσης. Εκεί που μπορεί να έχει κάποια αξιοσημείωτη επίδραση είναι στα επίπεδα γενικής γνώσης του χρήστη πάνω σε ενεργειακά θέματα (Abrahamse et al., 2007).

Ανατροφοδότηση (feedback)

Η ανατροφοδότηση είναι μια μορφή ενημέρωσης που περιέχει πληροφορία σχετική με την ενεργειακή κατανάλωση του νοικοκυριού στο οποίο απευθύνεται. Η Fischer (2008) διαχωρίζει τα προγράμματα ανατροφοδότησης σε αυτά που έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για την παροχή ανατροφοδότησης στον τελικό χρήστη (π.χ. λογαριασμοί κοινής ωφέλειας και οθόνες ενεργειακών μετρητών) και σε πιο ευρείες προσεγγίσεις όπου η ανατροφοδότηση συμπληρώνεται από άλλα στοιχεία όπως είναι η παροχή συμβουλών για εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση του ενεργειακού κόστους και βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η ανατροφοδότηση μπορεί να πάρει διάφορες μορφές (Hargreaves et al., 2010). Μία μορφή της είναι οι αναλυτικοί λογαριασμοί κοινής ωφέλειας όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο. Άλλη μορφή είναι η ενεργειακή ετικέτα στις συσκευές ή τα ενεργειακά πιστοποιητικά για τις κατοικίες. Η παροχή γενικών συμβουλών μέσω φυλλαδίων, ιστοσελίδων ή ακόμα και κατ'ιδίαν μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ανατροφοδότηση. Ένας ανερχόμενος τρόπος ανατροφοδότησης είναι και η παροχή πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο μέσα από οθόνες προβολής ή ηλεκτρονικές συσκευές μέσα στο κτίριο. Η τελευταία μέθοδος υπάγεται στον τομέα Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (Information and Communications Technology (ICT)).

Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι μέσω της ανατροφοδότησης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας έως και 15% όταν η πληροφορία αυτή είναι σαφής, άμεση και συγκεκριμένη (Darby, 2006).

Συμβουλές (advice)

Όταν οι χρήστες είναι ήδη πολύ προσεκτικοί με το τι καταναλώνουν, η ανατροφοδότηση από μόνη της δεν αρκεί (Darby, 2010). Σε τέτοιες περιπτώσεις, μαζί με την ανατροφοδότηση, είναι αναγκαία και η παροχή συμβουλών, εξειδικευμένης μελέτης αλλά και χρηματοδότησης (Darby, 2010). Από μια ανασκόπηση 38 προγραμμάτων ανατροφοδότησης που εφαρμόστηκαν από το 1975 μέχρι το 2000 σε κατοικίες χαμηλού εισοδήματος, προέκυψε ότι για τέσσερα προγράμματα όπου μαζί με άμεση ανατροφοδότηση δόθηκαν και σύμβουλές ή έγινε κάποια επιπλέον ενημέρωση η εξοικονόμηση που επιτεύχθηκε ήταν της τάξης του 10% κάτι που υποδηλώνει και την δυναμική της ενσωμάτωσης

συμβουλών και επιπλέον ενημέρωσης σε προγράμματα ανατροφοδότησης σε τακτική βάση (Darby, 2001).

Σύμφωνα με τις Green et al. (1998) οι ενεργειακές συμβουλές είναι «συμβουλές που είναι συγκεκριμένες για άτομα και την κατάσταση τους, που ως στόχο έχουν την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της δυνατότητας που έχει ένα νοικοκυριό να επιτύχει θερμική άνεση που είναι οικονομικά προσιτή».

Ως αποτελεσματική ενεργειακή συμβουλή ορίζεται αυτή που είναι συγκεκριμένη, δίνεται από κοντά, βοηθάει τον χρήστη να αλλάξει τη συμπεριφορά του και είναι αποτελεσματική ως προς την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας (BRESCU, 1996).

Σε αντίθεση με την γενική και τυποποιημένη ενημέρωση (information) οι ενεργειακές συμβουλές είναι πιο εξειδικευμένες. Ειδικά για κτίρια κατοικιών οι ενεργειακές συμβουλές εστιάζουν σε δύο διακριτές κατηγορίες (Boardman and Darby, 2000):

1. Μείωση των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου από μεταφορά δραστηριοτήτων σε ώρες της μέρας με χαμηλότερη χρέωση, αλλαγή παρόχου και πιο σωστή λειτουργία των συστημάτων και συσκευών
2. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου μέσα από παρεμβάσεις στο κέλυφος και αγοράς πιο αποδοτικών συστημάτων και συσκευών

Η ενεργειακή συμπεριφορά ενός νοικοκυριού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που το αποτελούν (Aragon et al., 2017). Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικό να εξετάζονται και να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν κατά το σχεδιασμό ενός προγράμματος συμβουλών. Ειδικά η παροχή συμβουλών σε νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος έχει πολλαπλές τεχνικές, οικονομικές και συμπεριφορικές διαστάσεις (Boardman and Darby, 2000). Τα μειονεκτούντα νοικοκυριά που δέχονται συμβουλές πάνω σε κάποιο συγκεκριμένο θέμα είναι πολύ πιθανό να αντιμετωπίζουν δυσκολίες να εφαρμόσουν τις συμβουλές που χρειάζονται κάποια οικονομική επένδυση όπως είναι κάποια παρέμβαση στο κέλυφος ή αγορά κάποιου συστήματος, να διαμένουν σε κατοικία που ενοικιάζουν και άρα να έχουν περιορισμένες επιλογές παρέμβασης σε αυτήν, να έχουν ελλιπή μόρφωση ή αριθμητικές δεξιότητες και άρα να χρειάζονται σημαντική απλοποίηση ή επεξήγηση των συμβουλών, να προτιμούν να λαμβάνουν τις συμβουλές προφορικά αντί σε έντυπη μορφή και να εμπιστεύονται αυτόν που θα τους παρέχει τις συμβουλές (Boardman and Darby, 2000).

2.1.3 Αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης

Τα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων είναι χρήσιμα εργαλεία κατά τη σχεδιαστική φάση ενός κτιρίου καθώς επιτρέπουν τη μελέτη και τη βελτιστοποίηση ενός συνδυασμού σχεδιαστικών λύσεων και συστημάτων (Lindner et al., 2017). Είναι ικανά να παράξουν ωριαίες τιμές

για την κατανάλωση κάθε τελικής χρήσης (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός κλπ) ακόμα και για ένα ολόκληρο ημερολογιακό έτος. Προκειμένου να καταλήξουν σε αυτό το αποτέλεσμα ο χρήστης του προγράμματος πρέπει να εισαγάγει ως δεδομένα εισόδου συγκεκριμένες πληροφορίες για τη γεωμετρία και το μέγεθος του κτιρίου, τον προσανατολισμό, τα υλικά κατασκευής, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, τον φωτισμό και άλλες φυσικές παραμέτρους που μπορούν εύκολα να εξαχθούν από αρχιτεκτονικά και μηχανολογικά σχέδια. Υπάρχουν όμως και δεδομένα εισόδου που μεταβάλλονται με τον χρόνο όπως είναι η εφαρμογή σκίασης, η λειτουργία των ανοιγμάτων, η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης κλπ. Κάποιες από αυτές τις μεταβλητές επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, άλλες από τον χρήστη και άλλες και από τα δύο (Duarte et al., 2013).

Σε υφιστάμενα κτίρια κατοικιών όπου η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση είναι καθοριστική η ενεργειακή προσομοίωση συμβάλλει στην ποσοτική μελέτη της επίδρασης της συμπεριφοράς του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση του μελετούμενου κτιρίου και κατ' επέκταση στον προσδιορισμό των δράσεων στις οποίες θα πρέπει να εστιάζει ένα πρόγραμμα αλλαγής της συμπεριφοράς του χρήστη προς όφελος του είτε αυτό σημαίνει βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών είτε μείωση των λειτουργικών εξόδων.

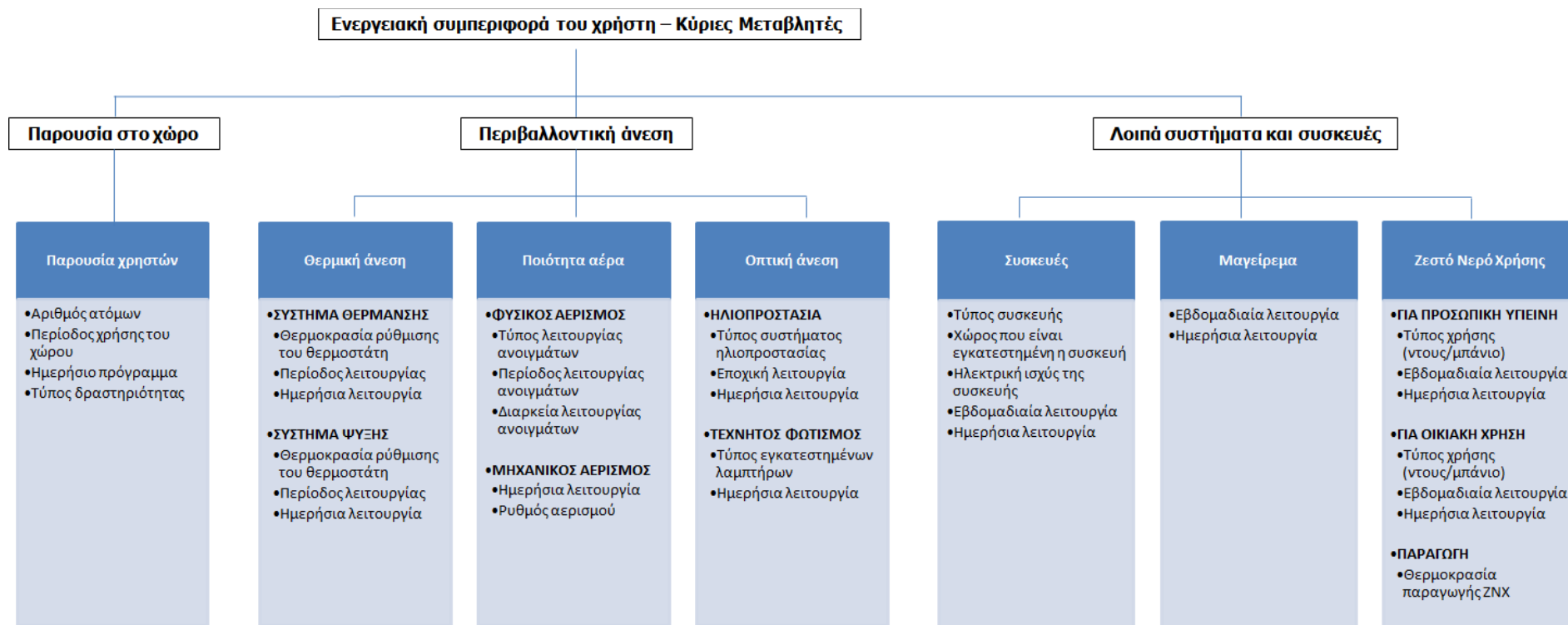
Οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη και αποτελούν δεδομένα εισόδου στις ενεργειακές προσομοιώσεις κτιρίων κατοικιών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: παρουσία του χρήστη στο χώρο, επίτευξη περιβαλλοντικής άνεσης, λειτουργία λοιπών συσκευών και συστημάτων (Σχήμα 1). Η πρώτη κατηγορία έχει να κάνει με τον αριθμό των χρηστών στο χώρο, την δραστηριότητα τους και το χρόνο παρουσίας του στο χώρο. Όλοι αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν το μέγεθος της έκλυσης αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας και κατά συνέπεια τα αναγκαία ψυκτικά και θερμικά φορτία για την επίτευξη επιθυμητών συνθηκών άνεσης. Η δεύτερη κατηγορία έχει να κάνει με τον τρόπο που οι χρήστες λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού προκειμένου να επιτύχουν τις επιθυμητές εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Τέλος η λειτουργία των λοιπών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, το μαγείρεμα και η χρήση ζεστού νερού χρήσης είναι και αυτοί παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου κατοικιών.

Πολλές φορές, λόγω έλλειψης μετρούμενων δεδομένων για τη συμπεριφορά του χρήστη, η πληροφορία που εισάγεται στο μοντέλο βασίζεται σε υποθέσεις και γενικεύσεις (Pan et al., 2017). Σε αυτό το πλαίσιο είναι σημαντική η παραδοχή της Αμερικάνικης Ένωσης Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) ότι η απόδοση ενός κτιρίου που προκύπτει από ενεργειακές προσομοιώσεις κτιρίου δεν μπορεί να είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου (ASHRAE, 2007). Υψηλά στη λίστα των παραγόντων που συμβάλλουν στην ασυμφωνία πραγματικής και εκτιμώμενης ενεργειακής κατανάλωσης η ASHRAE τοποθετεί την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη και πιο συγκεκριμένα την παρουσία και την κίνηση του στο χώρο καθώς και τον τρόπο που αυτός επιλέγει να λειτουργεί το κτίριο και τα συστήματά του.

Ένας βασικός λόγος για τον οποίο ο παράγοντας «χρήστης» παίζει τόσο κρίσιμο ρόλο στη σωστή πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου είναι γιατί οι αιτιοκρατικοί παράγοντες όπως είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, τα συστήματα φωτισμού και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός έχουν μελετηθεί εκτενώς στο παρελθόν και αποτυπωθεί ικανοποιητικά πλέον στα κτιριακά μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης (Hong et al., 2018). Η συμπεριφορά του χρήστη όμως έχει στοχαστική φύση. Ως αποτέλεσμα σε κτίρια όπου δεν υπάρχει σύστημα διαχείρισης κτιρίου, ή υπάρχει αλλά ο χρήστης μπορεί να παρακάμψει τη λειτουργία του, τότε και εκεί μπορεί να σημειωθεί πολύ μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική και την προβλεπόμενη ενεργειακή κατανάλωση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου κτιρίων είναι τα κτίρια κατοικιών.

Τα προφίλ της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη εκφράζουν την πιο πιθανή συμπεριφορά που θα έχει ο χρήστης μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο (Aragon et al., 2017) σχετικά με την παρουσία του στο χώρο, τις δράσεις για επίτευξη περιβαλλοντικής άνεσης και τη λειτουργία των λοιπών συσκευών και συστημάτων (Σχήμα 1). Συνεπώς, αυτά τα προφίλ είναι και ο καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση των ημερήσιων, εβδομαδιαίων, μηνιαίων ή εποχιακών ενεργειακών αναγκών του κτιρίου (Aragon et al., 2017; Marshall et al., 2016; Yohanis et al., 2008). Ως εκ τούτου τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς βρίσκουν εφαρμογή στην ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων ως δεδομένα εισόδου σε μοντέλα που ακολουθούν «εκ των κάτω προς τα άνω» προσέγγιση (bottom up approach).

Σχήμα 1 Μεταβλητές που σχετίζονται με την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη και αποτελούν δεδομένα εισόδου σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων (Simone et al., 2018)



Η απλούστερη και πιο διαδεδομένη απεικόνιση της συμπεριφοράς του χρήστη μέσα σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου είναι μέσα από ωριαίους πολλαπλασιαστές που παίρνουν τιμές από 0 έως 1 (χρονικό πρόγραμμα) (Ahn et al., 2017; ASHRAE, 2016; Cowie et al., 2017). Με τις τιμές αυτές δημιουργούνται εικοσιτετράωρα προφίλ τα οποία ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και τις ανάγκες της μελέτης μπορεί να διαφέρουν από εποχή σε εποχή και από μέρα σε μέρα. Για τους περισσότερους τύπους κτιρίων εισάγεται συνήθως ένα κοινό προφίλ για τις καθημερινές μέρες της εβδομάδας (Δευτέρα-Παρασκευή) και ένα κοινό για τα Σαββατοκύριακα όμως μπορεί να εισαχθούν διαφορετικά προφίλ και για κάθε μέρα της εβδομάδας. Η τιμή μηδέν εκφράζει είτε πλήρη απουσία χρηστών από ένα χώρο είτε μηδενική λειτουργία/χρήση ενός συστήματος ή συσκευής. Η μονάδα εκφράζει τη μέγιστη παρουσία χρηστών στο χώρο ή μέγιστη χρήση/λειτουργία ενός συστήματος ή συσκευής.

Υπάρχουν τυποποιημένα εικοσιτετράωρα προφίλ τα οποία μπορεί ο ερευνητής να χρησιμοποιήσει αλλά μπορεί και ο ίδιος να καθορίσει τα προφίλ που θα χρησιμοποιήσει βασιζόμενος σε προηγούμενη εμπειρία για τον υπό μελέτη τύπο κτιρίου ή σε μετρήσεις και παρατηρήσεις για το ίδιο το υπό μελέτη κτίριο. Τα προφίλ αυτά συνήθως βασίζονται σε αιτιοκρατικούς κανόνες που θεωρούν ότι η συμπεριφορά του χρήστη καθορίζεται από έναν ή περισσότερους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή η μεταβολή της θερμοκρασίας. Λόγω της αιτιοκρατικής τους φύσης τα προφίλ αυτά δεν αντικατοπτρίζουν παρά μόνο μια μέση κατάσταση για τα χαρακτηριστικά του χρήστη, τη θέση του στο χώρο και στο κτίριο καθώς και τη χρονική στιγμή και διάρκεια εφαρμογής μιας δράσης δίνοντας έτσι καταστάσεις όπου η συμπεριφορά του χρήστη είναι πλήρως προβλέψιμη και επαναλαμβανόμενη (Gaetani et al., 2016).

Για τα κτίρια κατοικιών, όταν δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία για τους χρήστες, τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών που εισάγονται στο μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης επιλέγονται με την παραδοχή ότι στην κατοικία διαμένει οικογένεια με παιδιά όπου οι ενήλικες εργάζονται με πλήρη απασχόληση τις καθημερινές μέρες ενώ τις ίδιες μέρες και ώρες τα παιδιά βρίσκονται στο σχολείο. Αν και έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες που τονίζουν την ανάγκη δημιουργίας συγκεκριμένων προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς για νοικοκυριά με διαφορετική κοινωνική σύσταση (Aragon et al., 2017; Gupta and Gregg, 2013; Mavrogianni et al., 2014) δεν έχει υπάρξει ακόμα συμφωνία ανάμεσα στον επιστημονικό κόσμο για το ποιες θα είναι οι κατηγορίες σύστασης και ποια προφίλ θα τις αποτελούν (UoS, 2016).

Η επιλογή των προφίλ που θα εισαχθούν στο μοντέλο προσομοίωσης έχουν συνήθως να κάνουν με το αντικείμενο της έρευνας. Τρία είναι τα σχετικά αντικείμενα έρευνας που έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία από τους Aragon et al. (2017): μελέτη ηλεκτρικού φορτίου, μελέτη απαιτούμενης θέρμανσης και μελέτη υπερθέρμανσης. Κάθε μία από αυτές τις μελέτες έχει διαφορετικές ανάγκες σε τύπους δεδομένων που θα μελετηθούν. Η μελέτη ηλεκτρικού φορτίου χρειάζεται καλή γνώση του πότε ο χρήστης βρίσκεται στην κατοικία και είναι ενεργός. Η ταυτόχρονη γνώση των ωρών μέσα στη μέρα που

ο χρήστης είναι ενεργός μέσα στην κατοικία και της μεταβλητότητας του ηλεκτρικού φορτίου για εκείνο το διάστημα δίνει χρήσιμη πληροφορία για τις ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας στην κατοικία. Η μελέτη της απαιτούμενης θέρμανσης επίσης χρειάζεται γνώση του πότε ο χρήστης βρίσκεται στην κατοικία για τον καθορισμό του ωραρίου λειτουργίας καθώς και των χαρακτηριστικών των χρηστών για τον καθορισμό της κατάλληλης θερμοκρασίας ρύθμισης του θερμοστάτη. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τη θερμική ιστορία του κάθε χρήστη, το πόσο ευάλωτος είναι (π.χ. βρέφος, ηλικιωμένοι, βαριά ασθενείς) και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους (ύψος, βάρος, ηλικία, φύλο). Οι μελέτες υπερθέρμανσης χρειάζονται γνώση όχι μόνο του αν οι χρήστες βρίσκονται στην κατοικία αλλά και του ακριβούς χώρου στον οποίο βρίσκονται κάθε στιγμή. Ο λόγος γι αυτό είναι τα διαφορετικά κριτήρια για θερμική άνεση για διαφορετικούς χώρους της κατοικίας ανάλογα με τον τύπο δραστηριότητας που διεξάγεται σε κάθε χώρο.

Με τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για τον χρήστη υφιστάμενου κτιρίου μπορεί να προκύψουν προφίλ αντιπροσωπευτικά των πραγματικών πρακτικών που αυτός εφαρμόζει στην καθημερινότητα του και άρα ένα πιο ακριβές μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου. Για παράδειγμα, η σωστή εισαγωγή προφίλ λειτουργίας του συστήματος σκίασης το χειμωνα σε κτίρια γραφείων μπορεί να δώσει πιο αντιπροσωπευτικά επίπεδα ηλιακών κερδών καθώς και φυσικού φωτός και άρα πιο αντιπροσωπευτικές συνθήκες θέρμανσης και τεχνητού φωτισμού (Daum and Morel, 2010; Gunay et al., 2014; Koo et al., 2010; Lindner et al., 2017). Ακόμα, η εισαγωγή ενός πιο ακριβούς προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης καθώς και της επιθυμητής θερμοκρασίας λειτουργίας του θερμοστάτη στο μοντέλο μπορεί να συμβάλει μετέπειτα στη μείωση της κατανάλωσης της τάξης του 10% και παράλληλη βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών (Klein et al., 2012; Lindner et al., 2017; Yang and Becerik-Gerber, 2016).

2.1.4 Μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη

Τα δεδομένα για τον χρήστη που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες: παρουσία στον υπό μελέτη χώρο (κατηλειμμένος/κενός), αριθμός χρηστών στο χώρο, ακριβές σημείο παρουσίας μέσα στο χώρο και δραστηριότητα. Τα δεδομένα αυτά δίνουν χρήσιμη πληροφορία για το πως ο χρήστης κινείται στο χώρο και πως λειτουργεί το κτίριο και τα συστήματά του (Simone et al., 2018).

Η συλλογή δεδομένων για τη συμπεριφορά του χρήστη μπορεί να γίνει είτε με επιτόπιες μετρήσεις είτε μέσα από κοινωνική έρευνα είτε με συνδυασμό των δύο (Aragon et al., 2017; Simone et al., 2018). Κάθε μέθοδος επιτόπιων μετρήσεων και κοινωνικής έρευνας έχει πλεονεκτήματα αλλά και περιορισμούς τα οποία ο ερευνητής πρέπει να ζυγίζει προσεκτικά πριν την τελική επιλογή για κάθε μελέτη.

Μέσα από την κοινωνική έρευνα (Πίνακας 1) συλλέγονται κυρίως δεδομένα υποκειμενικής φύσης με πληροφορία για τα κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των χρηστών καθώς και για τον τρόπο και τον λόγο που λειτουργούν το κτίριο, τα συστήματα και τις συσκευές με τον τρόπο που τα λειτουργούν (Aragon et al., 2017). Πολλές φορές ο ερευνητής είναι παρών κατά τη συλλογή των δεδομένων είτε ως ενεργός συνεντευξιάζων είτε ως παθητικός παρατηρητής. Οι περιορισμοί των μεθόδων κοινωνικής έρευνας σχετίζονται κυρίως με το σφάλμα που εισάγει ο ίδιος ο χρήστης είτε γιατί δεν θέλει να αποκαλύψει κάποια πληροφορία είτε γιατί θέλει να παρουσιάσει συγκεκριμένη εικόνα για τον εαυτό του. Παρόλα αυτά, η κοινωνική έρευνα σε αντίθεση με τις επιτόπιες μετρήσεις βοηθάει στην κατανόηση του τι είναι σημαντικό για τους χρήστες και του σκεπτικού ή του κινήτρου πίσω από συγκεκριμένες συμπεριφορές. Η κατανόηση αυτών των γνωρισμάτων και της ενσωμάτωσης σου σε προγράμματα αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών είναι βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητά τους.

Πίνακας 1 Μέθοδοι κοινωνικής έρευνας (Simone et al., 2018)

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Συνέντευξη: προσωπική συνάντηση για συζήτηση πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα (κατ'ιδίαν ή όχι). Δομημένη (προκαθορισμένες ερωτήσεις) ή μη δομημένη (ελεύθερη συνέντευξη)	Δεν υπάρχει περιορισμός στις απαντήσεις που θα δώσει ο ερωτώμενος. Ο ερευνητής που παίρνει την συνέντευξη μπορεί να επιβεβαιώσει ότι οι ερωτώμενοι κατανοούν τις ερωτήσεις και να δώσει διευκρινήσεις όπου χρειάζεται.	Πιθανό σφάλμα λόγω της επιρροής του συνεντευξιάζων. Δύσκολο να αναπαραχθεί.
Ομάδα εστιασμένης συζήτησης: ομαδική συνάντηση ανάμεσα στους συμμετέχοντες και τον ερευνητή για συζήτηση πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα	Ευέλικτη, το περιεχόμενο καθοδηγείται από τους ερωτώμενους.	Πιθανό σφάλμα λόγω της επιρροής του ερευνητή που συντονίζει τη συζήτηση. Δύσκολο να αναπαραχθεί.
Ημερολόγιο: αυτοσυμπληρούμενα ερωτηματολόγια με δομημένες απαντήσεις, μελέτη διάθεσης χρόνου (Time Use Survey (TUS))	Ευκολία αναπαραγωγής της έρευνας και συγκρίσιμα αποτελέσματα όταν η δομή του ημερολογίου διατηρείται ίδια για διαφορετικές χρονικές ζώνες (π.χ. Harmonised European Time Use Survey (HETUS))	Απαιτεί τη δέσμευση του συμμετέχοντα στην έρευνα. Η συμπλήρωση του ημερολογίου μπορεί να επηρεάσει τις δραστηριότητες που καταγράφονται.
Ερωτηματολόγιο: δομημένες ερωτήσεις και απαντήσεις	Ευκολία αναπαραγωγής της έρευνας. Πολλαπλοί τρόποι επικοινωνίας: συνάντηση, τηλεφωνικά, ταχυδρομικά. Ελάχιστη παρέμβαση του ερευνητή.	Δεν υπάρχει δυνατότητα για συμπληρωματικές ερωτήσεις. Πιθανή υποδειγματολήψια από την αποστολή με ταχυδρομείο ή ηλεκτρονικά (email). Περιορισμένες απαντήσεις.
Παρατηρήσεις: ο ερευνητής παρατηρεί τους συμμετέχοντες είτε επί τόπου είτε εξ αποστάσεως με τη βοήθεια συστημάτων παρακολούθησης π.χ. κάμερα	Δεν εξαρτάται από το τι θα δηλώσουν οι συμμετέχοντες στην έρευνα αφού η συμπεριφορά τους παρακολουθείται άμεσα. Μεγάλη ευελιξία στο περιεχόμενο της παρατήρησης.	Πιθανό σφάλμα λόγω του συνδρόμου του Hawthorne ('Hawthorne effect'). Υποκειμενική ερμηνεία της παρατήρησης από διαφορετικούς ερευνητές.

Στις επιτόπιες μετρήσεις συλλέγονται δεδομένα απαραίτητα για τον προσδιορισμό του τύπου, της διάρκειας και της συχνότητας εμφάνισης διαφόρων συμπεριφορών που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση και την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι μέθοδοι κυμαίνονται από πιο απλές τεχνολογίες όπως είναι οι αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα και οι ενεργειακοί μετρητές έως και πολύπλοκα δίκτυα καταγραφής δεδομένων (Πίνακας 2). Ο πειραματικός εξοπλισμός μπορεί να είναι ακόμα και φορητός από τους χρήστες, όμως λόγω διεισδυτικότητας της εν λόγω μεθόδου τις περισσότερες φορές προτιμούνται μέθοδοι που περιέχουν σταθερό εξοπλισμό (Aragon et al., 2017).

Οι περιορισμοί των μεθόδων επιτόπιων μετρήσεων έχουν να κάνουν κυρίως με το κόστος και τη διάρκεια της μελέτης (Aragon et al., 2017). Για το λόγο αυτό συνήθως προτιμάται η χρήση προ-εγκατεστημένου εξοπλισμού που υπάρχει για παράδειγμα στα συστήματα ενεργειακής παρακολούθησης και διαχείρισης κτιρίου και στα συστήματα ασφαλείας. Οι έξυπνοι μετρητές που υπάρχουν πλέον εγκατεστημένοι σε πολλά κτίρια είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα μη διεισδυτικού εξοπλισμού που μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτες μεγάλης κλίμακας.

Στα κτίρια κατοικιών συναντώνται αρκετές προκλήσεις και δυσκολίες στην εκτέλεση επιτόπιων μετρήσεων. Για παράδειγμα, ο πειραματικός εξοπλισμός που χρειάζεται για να γίνουν οι μετρήσεις μπορεί να είναι ογκώδης ή ενοχλητικός οπτικά για τον χρήστη. Μπορεί επίσης η βαθμονόμηση και συντήρηση του να είναι κουραστική για τον χρήστη αλλά και για τον ερευνητή καθώς χρειάζεται συχνές και χρονοβόρες επισκέψεις στην κατοικία. Επίσης, η γνώση του χρήστη για το γεγονός ότι η συμπεριφορά του παρακολουθείται μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση της συμπεριφοράς του («σύνδρομο Hawthorne»). Λόγω αυτών των δυσκολιών και των προκλήσεων που συναντώνται κατά την εκτέλεση επιτόπιων μετρήσεων σε κτίρια κατοικιών πολλοί ερευνητές προτιμούν την εφαρμογή κοινωνικής έρευνας για την μελέτη του πως ο χρήστης κινείται στο χώρο και πως λειτουργεί το κτίριο και τα συστήματά του (Simone et al., 2018).

Πίνακας 2 Μέθοδοι επιτόπιων μετρήσεων (Simone et al., 2018)

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Παθητικός ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας (PIR): ανίχνευση θερμικών κυμάτων που εκλύονται από θερμά σώματα. Οι αισθητήρες PIR ανιχνεύουν την κίνηση.	Οικονομική και απλή στην υλοποίηση και συντήρηση. Εύκολη επεξεργασία δεδομένων.	Δεν επιτρέπει τον διαχωρισμό ανάμεσα σε πολλούς χρήστες. Μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα όταν ο χρήστης είναι ακίνητος για μεγάλο χρονικό διάστημα ή από την παρουσία κατοικιδίων.
Αισθητήρας CO ₂ : καταγραφή των μεταβολών στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα	Οικονομική και απλή στην υλοποίηση.	Χρειάζεται τροφοδοσία από το κεντρικό δίκτυο. Οι μετρήσεις μπορεί να επηρεαστούν από τις πρακτικές αερισμού, τη δραστηριότητα στο χώρο και την διείσδυση του αέρα.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Ενεργειακοί μετρητές: επαγωγικός λογισμός για την παρουσία χρηστών από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	Μη διεισδυτική. Τεχνολογία που είναι ήδη εγκατεστημένη.	Είναι απαραίτητη η προύπαρξη έξυπνου μετρητή.
Device-free Localisation (DfL): ανίχνευση μεταβολών σε περιβάλλον εκπομπής ραδιοσημάτων λόγω της απορρόφησης από τα ανθρώπινα σώματα.	Μη διεισδυτική, δεν χρειάζεται αναμεταδότης. Επιτρέπει την παρακολούθηση της κίνησης μεμονωμένων ατόμων. Δεν περιορίζεται από δομικά στοιχεία.	Χρειάζεται ακριβής τοποθέτηση του εξοπλισμού. Πιθανότητα παρεμβολών από άλλες πηγές.
Φορητοί καταγραφείς δεδομένων: σύστημα γεωεντοπισμού όπως GPS ή αδρανειακής πλοήγησης	Τεχνολογία που είναι ήδη εγκατεστημένη (π.χ. κινητό τηλέφωνο του χρήστη).	Πιθανό σφάλμα λόγω του συνδρόμου του Hawthorne ('Hawthorne effect'). Θέματα ιδιωτικότητας.
Φορητοί καταγραφείς δεδομένων με στάσιμους αισθητήρες: συνδυασμός φορητών αναμεταδοτών Bluetooth	Ακριβής εντοπισμός.	Οι συμμετέχοντες πρέπει να φοράνε ή να μεταφέρουν αναμεταδότες. Πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία εγκατάστασης και συντήρησης.

Παρόλα αυτά οι επιτόπιες μετρήσεις θεωρούνται πιο αξιόπιστες και κατάλληλες για τη συλλογή δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου (Annex 66, 2017). Οι μετρήσεις αυτές είναι φυσιοτροπικές και δεν βασίζονται στη μνήμη του χρήστη ή στην προθυμία του να απαντάει σε κάποιο ερωτηματολόγιο ή να συμμετέχει σε κάποια άλλη δραστηριότητα σε τακτική βάση. Λόγω της μεγάλης διάρκειας και της διακριτικής τους φύσης οι επιτόπιες μετρήσεις είναι λιγότερο πιθανό να καταγράψουν αλλοιωμένες συμπεριφορές εξαιτίας του γεγονότος ότι οι χρήστες γνωρίζουν ότι παρακολουθούνται («σύνδρομο Hawthorne»). Επίσης, η συλλογή δεδομένων μπορεί να διαρκέσει για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως μήνες ή χρόνια, επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία μιας πολύ μεγάλης χρονοσειράς. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να αναλυθούν με ποικίλους τρόπους ανάλογα με τον τύπο, τον όγκο και τη λεπτομέρεια τους. Σκοπός της ανάλυσης μπορεί να είναι η δημιουργία προφίλ, συστάδων και κατηγοριών ενεργειακών συμπεριφορών, η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης ενεργειακής συμπεριφοράς ή ακόμα και προφίλ που είναι σύνθεση πληροφορίας από διαφορετικές πηγές (UoS, 2016).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου είτε σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου είτε σε συστήματα ενεργειακής διαχείρισης. Οι μέθοδοι ανάλυσης μπορεί να κυμαίνονται από περιγραφική και επαγωγική στατιστική μέχρι ανάπτυξη μοντέλων και εξόρυξη δεδομένων. Οι πιο διαδεδομένοι μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων και συνήθεις εφαρμογές τους συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Οι μέθοδοι εξόρυξης δεδομένων επιτρέπουν τη μελέτη προτύπων (patterns) και τάσεων που μπορεί να υπάρχουν σε ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων. Συχνά αναφέρεται ως «ανακάλυψη γνώσης σε βάσεις δεδομένων» καθώς επιτρέπει την εξόρυξη χρήσιμης πληροφορίας από βάσεις δεδομένων της οποίας η ύπαρξη δεν ήταν εξ αρχής γνωστή (Wang and Kuo, 2004). Η Ανάλυση Συσταδών είναι μια από τις πιο

διαδεδομένες μέθοδους εξόρυξης δεδομένων και χρησιμοποιείται ευρέως για τον εντοπισμό των χαρακτηριστικών προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών (Abreu et al., 2012; D’Oca and Hong, 2015; Liang et al., 2016; Pan et al., 2017).

Πίνακας 3 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων (Simone et al., 2018)

Μέθοδος		Συνήθης εφαρμογή
Περιγραφική στατιστική	Ανάλυση δεδομένων, περιγραφή και περίληψη των βασικότερων χαρακτηριστικών.	Δεδομένα ενεργειακών μετρητών. Μετρήσεις από απλούς αισθητήρες ή δίκτυα.
Επαγωγική στατιστική	Γενίκευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από ένα δείγμα του πληθυσμού στον πληθυσμό.	Δεδομένα ενεργειακών μετρητών. Μετρήσεις από απλούς αισθητήρες ή δίκτυα.
Ανάπτυξη μοντέλων	<p>Χρονικό πρόγραμμα: ως δυαδικό ημερήσιο προφίλ παρουσίας του χρήστη σε ένα χώρο.</p> <p>Αιτιοκρατικά μοντέλα: για τον καθορισμό των αιτιακών σχέσεων στην ανθρωπίνη συμπεριφορά.</p> <p>Απιθανοτικά και στοχαστικά μοντέλα συμπεριλαμβανομένων και των μοντέλων αλυσίδας Markov που βασίζονται σε τυχαία μετάβαση από μια κατάσταση σε άλλη.</p> <p>Ανάλυση χρονοσειρών: στατιστική ανάλυση που εξηγεί τις τάσεις και την εποχικότητα. Μοντέλο πρόβλεψης που περιλαμβάνει: αυτοπαλινδρόμηση, κινητούς μέσους όρους, κρυφό μοντέλο Markov.</p> <p>Με συστήματα πρακτόρων (agent-based): Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς σε ατομικό επίπεδο, κάθε άτομο είναι ένα αυτόνομος πράκτορας με τη δικιά του συμπεριφορά, κοινωνικούς κανόνες κλπ που αλληλεπιδρά με τους υπόλοιπους χρήστες σε ένα δυναμικό περιβάλλον.</p> <p>Μηχανική μάθηση: αλγόριθμοι που μπορούν να μάθουν από δεδομένα χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς. Μπορεί να είναι επιβλεπόμενοι (δέντρο αποφάσεων, Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM), Κ εγγύτερη γείτονες) ή χωρίς επίβλεψη (ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες, νευρωνικά δίκτυα).</p>	<p>Κοινωνική έρευνα</p> <p>Μετρήσεις από απλούς αισθητήρες ή δίκτυα. Κοινωνική έρευνα.</p> <p>Εκτενής χρήση σε μελέτες διάθεσης χρόνου όπου οι πιθανότητες κατάστασης προκύπτουν από ημερολόγια.</p> <p>Δεδομένα ενεργειακών μετρητών. Μετρήσεις από απλούς αισθητήρες ή δίκτυα. Πρόβλεψη παρουσίας και κίνησης των χρηστών στο χώρο από το Κέντρικο Σύστημα Ελέγχου Κτιρίου (BMS).</p> <p>Δεδομένα τόσο από μετρήσεις όσο και από κοινωνική έρευνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου.</p> <p>Δίκτυο αισθητήρων μέτρησης. Δεδομένα ενεργειακών μετρητών. Κοινωνική έρευνα.</p>
Εξόρυξη δεδομένων	Εντοπισμός προτύπων (patterns) σε σύνολο δεδομένων (παραγοντική ανάλυση, πολυδιάστατη κλιμακοποίηση, ανάλυση συστάδων, κλπ).	Δεδομένα ενεργειακών μετρητών. Μετρήσεις από απλούς αισθητήρες ή δίκτυα.

2.1.4.1 Διβηματική ανάλυση σε συστάδες (Two-Step Cluster Analysis)

Συσταδοποίηση είναι η διαδικασία με την οποία ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων διαμερίζεται σε υποσύνολα με κοινά χαρακτηριστικά. Τα αντικείμενα που ομαδοποιούνται σε κάθε υποσύνολο είναι

περισσότερο όμοια μεταξύ τους και διαφορετικά με τα αντικείμενα των άλλων υποσυνόλων (Aldenderfer and Blashfield, 1984).

Οι πιο κοινές μέθοδοι συσταδοποίησης είναι η ιεραρχική ανάλυση (hierarchical clustering) και η ανάλυση των k-μέσων (k-means clustering). Η ιεραρχική ανάλυση εφαρμόζεται καλύτερα σε μικρό αριθμό παρατηρήσεων και σε μεταβλητές ίδιου τύπου, ενώ η μέθοδος k-μέσων, που είναι μια μη ιεραρχική μέθοδος, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλου μεγέθους δείγματος παρατηρήσεων και για ποσοτικές μεταβλητές μόνο.

Η ιεραρχική ομαδοποίηση μπορεί να είναι είτε συσσωρευτική (agglomerative) είτε διαιρετική (divisive) με πιο συνηθισμένη την συσσωρευτική. Στην συσσωρευτική ανάλυση οι παρατηρήσεις ομαδοποιούνται σε όλο και μεγαλύτερες ομάδες έως ότου όλες οι παρατηρήσεις ομαδοποιηθούν σε μία μόνο ομάδα. Αντιθέτως, στη διαιρετική (ή αλλιώς επιμεριστική) ανάλυση όλες οι παρατηρήσεις ξεκινάνε να επιμερίζονται από μια κοινή ομάδα σε μικρότερες ομάδες έως ότου οι ομάδες γίνουν τόσες όσες και οι παρατηρήσεις. Τα κριτήρια που καθορίζουν πως οι παρατηρήσεις ή ομάδες θα συνδυαστούν σε κάθε βήμα της συσσωρευτικής ανάλυσης είναι πολλά αλλά όλα στηρίζονται σε πίνακα αποστάσεων μεταξύ ζευγών-παρατηρήσεων (Βερούκιος et al., 2015). Κάθε κριτήριο μπορεί τελικά να δώσει διαφορετικές ομάδες.

Η ανάλυση των k-μέσων είναι μια μη ιεραρχική μέθοδος που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που το ζητούμενο είναι η συσώρευση των στοιχείων σε συγκεκριμένο αριθμό ομάδων k. Το πλήθος k των ομάδων καθορίζεται πριν την εκτέλεση του αλγορίθμου. Στόχος της ανάλυσης k-μέσων είναι η ανεύρεση των κέντρων k ομάδων και κατανομή των στοιχείων στο πλησιέστερο κέντρο ομάδας με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το τετράγωνο των αποστάσεων των στοιχείων από την ομάδα (Βερούκιος et al., 2015). Ο αλγόριθμος k-means δεν μπορεί να υπολογίσει αριθμό συστάδων αλλά είναι σε θέση να παράγει καλύτερης ποιότητας ομαδοποίηση. Για το λόγο αυτό, μέχρι και πρόσφατα, η μεθοδολογία της ανάλυσης συστάδων προέβλεπε τη χρησιμοποίηση μιας ιεραρχικής μεθόδου για την επιλογή του πλήθους των συστάδων πριν την επανάληψη της ανάλυσης μέσω μιας μη ιεραρχικής μεθόδου, όπως είναι η k-means, για την διαμόρφωση των συστάδων (Παναγιώτου, n.d.).

Η διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis) είναι μια νεότερη τεχνική συσταδοποίησης κατάλληλη για μεγάλου μεγέθους δείγμα παρατηρήσεων η οποία σε σχέση με άλλες μεθόδους υπερτερεί σημαντικά καθώς μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα τόσο ονομαστικές όσο και ποσοτικές μεταβλητές (Βερούκιος et al., 2015). Είναι δηλαδή μια υβριδική μέθοδος που εξυπηρετεί τους στόχους τόσο των ιεραρχικών όσο και των μη ιεραρχικών μεθόδων καθώς μπορεί αρχικά να αναγνωρίσει το πλήθος των συστάδων –κάτι που θα γινόταν με την εφαρμογή μιας ιεραρχικής μεθόδου- και στη συνέχεια να διαμορφώσει τις συστάδες τοποθετώντας σε αυτές τις παρατηρήσεις βάσει του επιλεγμένου μέτρου απόστασης –κάτι που θα γινόταν με την εφαρμογή μιας μη ιεραρχικής μεθόδου-

(Παναγιώτου, n.d.). Άρα η διβηματική ανάλυση συστάδων αποτελεί περισσότερο ένα επεξεργαστικό εργαλείο παρά μία απλή τεχνική συσταδοποίησης (Σιάρδος, 2015).

Η διβηματική ανάλυση σε συστάδες χρησιμοποιεί ως μέτρο ομοιότητας μεταξύ των συστάδων το λογάριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας των αποστάσεων και την Ευκλείδεια απόσταση όταν όλες οι μελετώμενες μεταβλητές είναι αποκλειστικά ποσοτικές (Βερούκιος et al., 2015).

Στο πρώτο βήμα της διβηματικής ανάλυσης, μέσα από εφαρμογή αλγορίθμων ιεραρχικής ανάλυσης προς σχηματισμό δένδρογράμματος συστάδων, δημιουργούνται προσυστάδες (pre-clusters) οι οποίες περιορίζουν το εύρος της μήτρας των αποστάσεων μεταξύ των παρατηρήσεων και χρησιμοποιούνται στη θέση των αρχικών παρατηρήσεων (Βερούκιος et al., 2015).

Στο δεύτερο βήμα, οι προσυστάδες διερευνώνται ως προς την καταλληλότητα του αριθμού της τελικής σύστασης της συσταδοποίησης, με βάση τον αλγόριθμο της συσσωρευτικής ιεραρχικής διασύνδεσης. Η επιλογή του άριστου αριθμού των συστάδων γίνεται με βάση το κριτήριο πληροφόρησης Bayes του Schwarz (BIC) ή του Akaike (AIC) (Βερούκιος et al., 2015). Όταν ο αριθμός του επιθυμητού αριθμού των συστάδων δεν είναι γνωστός ο αλγόριθμος μπορεί να τον υπολογίσει αυτόματα (SPSS, 2002).

Όταν ο αριθμός των μελετούμενων μεταβλητών είναι πολύ μεγάλος ή όταν το μέγεθος της χρονοσειράς πολύ μεγάλο, τότε η μετατροπή σε μικρότερο αριθμό μεταβλητών έχει πολλά θετικά όπως τη διαχείριση και αιγιστικής πληροφορίας και την απόσπαση ανώτερων και πιο ερμηνεύσιμων αποτελεσμάτων (Rajabi et al., 2019). Για το λόγο αυτό πολλές φορές πριν την ανάλυση κατά συστάδες γίνεται Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Abreu et al., 2012; Lam et al., 2008; Motlagh et al., 2015).

2.1.4.2 Η μέθοδος της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών PCA

Η μέθοδος των Κυρίων Συνιστωσών είναι μια τεχνική ανάλυσης δεδομένων που ως στόχο έχει τη δημιουργία καινούργιων μεταβλητών, οι οποίες είναι γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών μεταβλητών. Οι καινούριες μεταβλητές που παράγονται ονομάζονται Κύριες Συνιστώσες. Οι πρώτοι που εισήγαγαν αυτή την μέθοδο ήταν ο Pearson (1901) και στη συνέχεια, ανεξάρτητα, ο Hotelling (1933).

Παρόλο που η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες έχει πολλές εφαρμογές, η πιο διαδεδομένη παραμένει η περιγραφή και μείωση των διαστάσεων ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών. Όταν εφαρμοζέται σε συνδυασμό με ανάλυση κατά συστάδες ο σκοπός είναι συνήθως είτε ο υπολογισμός του μεγέθους της αποστασης των μεταβλητών (distance measure) είτε η γραφική απεικόνιση των δεδομένων. Αυτή η γραφική απεικόνιση των δεδομένων ονομάζεται 'κλιμακοποίηση' ('scaling' ή 'ordination') και χρησιμεύει στον εντοπισμό ή την επαλήθευση της δομής των συστάδων (Jolliffe, 2002).

Στόχος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες είναι η μείωση ενός μεγάλου αριθμού (p) μεταβλητών σε ένα πολύ μικρότερο αριθμό (m) κύριων συνιστωσών που διατηρεί όσο γίνεται μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών p μεταβλητών (Jolliffe, 2002). Μέσα από αυτή τη μέθοδο ο ερευνητής

καταλήγει από ένα σύνολο συσχετισμένων μεταβλητών σε ένα σύνολο ασυσχέτιστων μεταβλητών. Κάθε συνιστώσα μας επιτρέπει τον προσδιορισμό των μεταβλητών, στην περίπτωση μας τις ώρες της μέρας, που συνεισφέρουν περισσότερο στο σχηματισμό της. Σύμφωνα μάλιστα με τον Solow (1994) όταν σε μια χρονοσειρά υπάρχει κάποια συγκεκριμένη τάση είναι συνήθως σημαντική πηγή διακύμανσης και εμφανίζεται σε κάποια από τις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Η μεγαλύτερη ιδιοτιμή και το ιδιοδιάνυσμα της αντιστοιχούν στην πρώτη Κύρια Συνιστώσα, η δεύτερη μεγαλύτερη ιδιοτιμή και το ιδιοδιάνυσμα της στη δεύτερη Κύρια Συνιστώσα και ούτω καθ' εξής. Η διακύμανση της κάθε κύριας συνιστώσας ισούται με την αντίστοιχη ιδιοτιμή της, ενώ η συνολική διακύμανση των κύριων συνιστωσών είναι ίδια με τη συνολική διακύμανση των αρχικών μεταβλητών.

Ο πίνακας συνδιακύμανσης χρησιμοποιείται συνήθως όταν όλες οι μεταβλητές έχουν την ίδια μονάδα μέτρησης. Όταν όμως οι μεταβλητές παρόλο που έχουν την ίδια μονάδα μετρήσης, μετράνε κάτι διαφορετικό (π.χ. συνολικό ύψος ανθρώπου, μήκος χεριού, περιφέρεια κλπ) τότε μπορεί να είναι θεμιτό να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας συσχέτισης. Ο λόγος για αυτό είναι γιατί ο πίνακας συνδιακύμανσης δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα σε μεγαλύτερες τιμές με μεγαλύτερη διακύμανση και μικρότερη σε μικρότερες τιμές (Jolliffe, 2002).

Αφού εφαρμοστεί η μέθοδος πρέπει στη συνέχεια να επιλεγεί ο αριθμός των κύριων συνιστωσών που θα διατηρηθούν. Οι βασικές κύριες συνιστώσες που θα διατηρηθούν στην πορεία της μελέτης είναι αυτές που καταφέρνουν να εξηγήσουν ένα σημαντικό ποσοστό της αρχικής διακύμανσης ενώ ταυτόχρονα διατηρούν όσο το δυνατό περισσότερη από την πληροφορία των αρχικών μεταβλητών. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλοί κανόνες που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των πρώτων κύριων συνιστωσών. Οι πιο διαδεδομένοι παρουσιάζονται πιο κάτω:

- Διατήρηση των συνιστωσών που επεξηγούν ένα ορισμένο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης: Σύμφωνα με αυτό τον κανόνα, επιλέγονται οι συνιστώσες που αθροιστικά εξηγούν το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας. Το κριτήριο είναι συνήθως το 70% με 90% της αρχικής διακύμανσης. Σε κάποιες εφαρμογές όμως, όπως για παράδειγμα σε κλιματολογικές εφαρμογές, πολλές φορές επιλέγεται χαμηλότερο κατώφλι προκειμένου να αποκλειστούν συνιστώσες που είναι ανεπιθύμητες, ανεξέλεγκτες ή και δύσκολο να ερμηνευτούν.
- Κριτήριο του Kaiser: Αν χρησιμοποιείται ο πίνακας συνδιακύμανσης, επιλέγονται οι συνιστώσες που έχουν ιδιοτιμή I^* μεγαλύτερη από τη μέση ιδιοτιμή \bar{l} του συνόλου των συνιστωσών (Kaiser, 1960). Ο Jolliffe (2002) παρόλα αυτά υποστηρίζει ότι ο κανόνας του Kaiser είναι πολύ αυστηρός και προτείνει ως κατώτατη τιμή ιδιοτιμής το $I^* = 0,7\bar{l}$. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο πίνακας συσχέτισεων, επιλέγονται οι συνιστώσες με ιδιοτιμή I^* μεγαλύτερη της μονάδας.
- Γραφική απεικόνιση ιδιοτιμών (scree plot): Το γράφημα scree έχει στον οριζόντιο άξονα τη σειρά και στον κάθετο άξονα την τιμή κάθε ιδιοτιμής (Cattell, 1966). Οι συνιστώσες επιλέγονται

ξεκινώντας από τα αριστερά του οριζόντιου άξονα μέχρι το γράφημα να δημιουργήσει «αγκώνα», δηλαδή να αλλάζει αισθητά κλίση.

- Διάγραμμα LEV (Log EigenValue): μοιάζει με το scree plot αλλά απεικονίζει τις ιδιοτιμές σε λογαριθμική κλίμακα (Farmer, 1971). Χρησιμοποιείται κυρίως στην ατμοσφαιρική φυσική καθώς σε πολλές εφαρμογές οι συνιστώσες που εμπεριέχουν θόρυβο ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο. Η συνιστώσα μετά την οποία η γραφική απεικόνιση διαγράφει ευθεία πορεία επιλέγεται ως η τελευταία σημαντική συνιστώσα.
- Φυσική ερμηνεία: Βασίζεται στο γεγονός ότι οι κύριες συνιστώσες που δεν διατηρούν κάποιο ουσιαστικό ποσοστό της συνολικής διακύμανσης περιλαμβάνουν στην ουσία απλά μαθηματικά υπόλοιπα που δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη φυσική ερμηνεία. Γενικά αναγνωρίζεται ότι μία κύρια συνιστώσα που εξηγεί λιγότερο από το 5% της αρχικής διακύμανσης μπορεί να απορριφθεί. Ο κανόνας αυτός όμως είναι αυθαίρετος και υποκειμενικός και θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν όλοι οι άλλοι κανόνες έχουν εφαρμοστεί και κριθεί μη ικανοποιητικοί.

Το πιο δύσκολο κομμάτι της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες είναι η ερμηνεία τους αφού πολλές φορές μπορεί να μην υπάρχει μόνο μία «σωστή» ερμηνεία των Κύριων Συνιστωσών (Jolliffe, 2002). Ενώ κάθε κύρια συνιστώσα είναι κατά μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες, μέσα σε κάθε συνιστώσα οι μεταβλητές- στην περίπτωση της δικής μας μελέτης οι ώρες της μέρας-, συσχετίζονται η μία με την άλλη. Η μελέτη λοιπόν των συντελεστών που αποτελούν τα βάρη της κάθε συνιστώσας (component loadings) μπορεί να βοηθήσει στην ερμηνεία των κύριων συνιστωσών και στον εντοπισμό των αρχικών μεταβλητών που έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις κυρίες συνιστώσες.

2.2 Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος

Σύμφωνα με το ASHRAE Terminology (n.d.) ως ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος ορίζεται «*μια υποκειμενική εμπειρία του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου που περιλαμβάνει πτυχές σχεδιασμού, ανάλυσης και λειτουργίας κτιρίων που είναι ενεργειακά αποδοτικά, υγιή και άνετα*». Παίζει καταλυτικό ρόλο στην υγεία, την παραγωγικότητα και την άνεση των χρηστών ενός κτιρίου.

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος αποτελείται από τέσσερις βασικές συνιστώσες: τη θερμική άνεση, την ποιότητα αέρα, τον φωτισμό και την ακουστική. Το φως είναι αυτό που επιτρέπει στον άνθρωπο να βλέπει και για κάθε τύπο δραστηριότητας σε ένα κτίριο υπάρχουν και διαφορετικά προτεινόμενα επίπεδα και τύποι φωτισμού. Ένας ήχος μπορεί να έχει διάφορα χαρακτηριστικά όπως να έχει υψηλή ένταση, να είναι παρατεταμένος ή και διακεκομμένος. Ένας ήχος μπορεί να αποσπάσει την προσοχή του χρήστη από την εργασία του, τη μελέτη, την ξεκούραση του αλλά μπορεί ακόμα και να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στη σωματική ή την πνευματική του υγεία και στη γενικότερη ευημερία του. Οι θερμικές συνθήκες καθώς και η ποιότητα αέρα μπορούν και αυτές να επηρεάσουν την παραγωγικότητα του χρήστη, την άνεση του αλλά και την υγεία του με ποικίλους τρόπους.

Οι χρήστες θεωρούν τη θερμική άνεση ως την πιο σημαντική από τις τέσσερις αυτές συνιστώσες (Frontczak and Wargocki, 2011). Και η ποιότητα εσωτερικού αέρα όμως είναι πολύ κρίσιμη γιατί μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την υγεία του χρηστή χωρίς να γίνεται αντιληπτή η επίδραση της. Οι παρακάτω ενότητες εμβαθύνουν περισσότερο στη θερμική άνεση και την ποιότητα εσωτερικού αέρα.

2.2.1 Θερμική άνεση

Ως θερμική άνεση ορίζεται «η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατέστερες συνθήκες» (ASHRAE 55, 2017). Η θερμική άνεση κρίνεται από τους χρήστες ως η πιο σημαντική περιβαλλοντική συνθήκη (Frontczak and Wargocki, 2011). Οι συνθήκες θερμικής άνεσης για ένα χώρο θεωρείται ότι επιτυγχάνονται όταν το 80% των χρηστών εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον.

Ο βαθμός της άνεσης καθορίζεται από περιβαλλοντικούς και από ατομικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το θερμικό ισοζύγιο του σώματος του ανθρώπου. Οι ατομικοί παράγοντες είναι η δραστηριότητα του χρήστη και ο τύπος ρουχισμού του. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα και η ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών. Οι παράγοντες αυτοί επεξηγούνται πιο αναλυτικά παρακάτω.

2.2.1.1 Θερμοκρασία αέρα

Ως θερμοκρασία του αέρα, T_a , ορίζεται «η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου που περιβάλλει τους χρήστες ενός χώρου». Η θερμοκρασία του αέρα είναι από μόνη της ικανή να δώσει μια καλή εκτίμηση για τη θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους αλλά είναι και ο καθοριστικός παράγοντας για την απόφαση λειτουργίας ή όχι των συστημάτων θέρμανσης ή δροσισμού σε ένα κτίριο. Μάλιστα είναι ο παράγοντας με την πιο κοινή χρήση στην αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Cui et al., 2013). Ο κύριος λόγος για αυτό είναι το γεγονός ότι η θερμοκρασία του αέρα καθορίζει στο μεγαλύτερο βαθμό το ποσοστό της θερμότητας που το ανθρώπινο σώμα θα αποβάλει προς το περιβάλλον προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη θερμική άνεση.

2.2.1.2 Σχετική Υγρασία

Η σχετική υγρασία είναι το ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία στο εσωτερικό των κτιρίων καθορίζεται από τα την σχετική υγρασία και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αλλά και από εσωτερικές πηγές ή συλλέκτες υγρασίας. Η σχετική υγρασία παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον στα κτίρια κατοικιών επειδή σχετίζεται με την υγεία των χρηστών αλλά και με προβλήματα στο ίδιο το κτίριο, όπως σχηματισμό συμπύκνωσης και μούχλας όταν η έκθεση είναι μακροπρόθεσμη.

Μέσα στα κτίρια οι υδρατμοί παράγονται κυρίως από τους ανθρώπους και τα ζώα λόγω των διεργασιών του μεταβολισμού, από δραστηριότητες όπως το μπάνιο, το μαγείρεμα και το πλύσιμο και σιδέρωμα ρούχων και σε μικρότερες ποσότητες από καύσεις (Health Canada, 2006).

Στα κτίρια κατοικιών η περιεκτικότητα του εσωτερικού αέρα σε υγρασία μειώνεται με αραίωση με ξηρότερο εξωτερικό αέρα, με υγρασία από επαφή με κρύες επιφάνειες και με απορρόφηση ή προσρόφηση νερού από υλικά (Health Canada, 2006). Σε χώρους καθιστικής δραστηριότητας, όπως είναι τα κτίρια κατοικιών, η επίδραση της υγρασίας στη θερμική άνεση και στην αισθητή ποιότητα εσωτερικού αέρα σε χώρους θεωρείται μικρή. Παρόλα αυτά, η σχετική υγρασία θεωρείται μια μεταβλητή μεγάλης σημασίας για τα κτίρια κατοικιών καθώς συνδέεται με την υγεία των χρηστών αλλά και με προβλήματα στο ίδιο το κτίριο όπως υγρασία συμπύκνωση και μούχλα (EN 15251, 2007; Health Canada, 2006).

Τα επιτρεπτά όρια σχετικής υγρασίας μπορούν να έχουν μεγάλο εύρος εάν το ζητούμενο είναι μόνο η επίτευξη θερμικής άνεσης (EN 7730, 2005). Ιδανικά, τα επίπεδα σχετικής υγρασίας πρέπει να διατηρούνται μεταξύ 40% και 50% ούτως ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος λοιμώξεων του ανώτερου αναπνευστικού και δυσμενείς επιπτώσεις για άτομα που υποφέρουν από άσθμα και αλλεργίες. Για τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης-ψύξης η τυπική τιμή για τους καλοκαιρινούς μήνες είναι 40% και για τους χειμερινούς 60% (EN 7730, 2005). Για χώρους που κατοικούνται από άτομα αυξημένης ευαισθησίας όπως παιδιά, ηλικιωμένοι και βαριά ασθενείς το εύρος τιμών που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό των συστημάτων αυτών είναι 30-50%, ενώ για υφιστάμενα κτίρια που κατοικούνται από άτομα χωρίς ιδιαίτερες ευαισθησίες το εύρος τιμών είναι 20-70% (EN 15251, 2007).

Υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές είναι δύσκολο να επηρεάσουν την υγεία των περισσότερων υγείων ανθρώπων παρόλα αυτά κάποιες ομάδες ανθρώπων θα μπορούσαν να επηρεαστούν (Health Canada, 2006). Τα πολύ χαμηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας (<15-20%) μπορούν να προκαλέσουν ξηρότητα στα μάτια και τους αεραγωγούς (EN 15251, 2007) αλλά και ξηρότητα στο δέρμα και στους βλεννογόνους οδηγώντας έτσι σε σκάσιμο και ερεθισμό (Health Canada, 2006). Η έκθεση σε υψηλές υγρασίες μαζί με υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί σε έντονη εφίδρωση και απώλεια ηλεκτρολυτών από το αίμα ενώ η μακροπρόθεσμη έκθεση σε τέτοιες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση του οργανισμού ή και σε θερμοπληξία (Health Canada, 2006). Οι υψηλές υγρασίες μπορεί να επηρεάσουν τους ανθρώπους που πάσχουν από καρδιαγγειακά νοσήματα, πρόωρα βρέφη και ηλικιωμένους. Κάτω από ειδικές συνθήκες τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορεί να επηρεάσουν άτομα που πάσχουν από αρθρίτιδα ενώ τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας μπορεί να επηρεάσουν αυτούς που υποφέρουν από άσθμα (Health Canada, 2006). Τόσο οι υψηλές όσο και οι χαμηλές υγρασίες διευκολύνουν την ανάπτυξη μικροβίων, ενώ οι υψηλές υγρασίες αυξάνουν τον πληθυσμό της μούχλας, των μυκητών και των ακαρέων που μπορεί να προκαλέσουν αλλεργίες (Health Canada, 2006).

2.2.1.3 Ταχύτητα του αέρα

Η ταχύτητα του αέρα σε ένα χώρο επηρεάζει τη μετάδοση θερμότητας με μεταφορά (συναγωγή) ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον. Επηρεάζει τόσο τη γενική θερμική άνεση του σώματος όσο και την τοπική έλλειψη θερμικής άνεσης λόγω ρεύματος αέρα (EN 7730, 2005).

Ελάχιστη επιτρεπτή τιμή για την μέση ταχύτητα του αέρα δεν υπάρχει, υπάρχει όμως μέγιστη επιτρεπτή τιμή η οποία είναι συνάρτηση της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα και της έντασης της τύρβης (EN 7730, 2005).

Η αυξημένη ταχύτητα του αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιστάθμιση της θερμής αίσθησης λόγω υψηλών θερμοκρασιών. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι φυσικής ενίσχυσης της ταχύτητας του αέρα σε κτίρια είναι το άνοιγμα των παραθύρων και η χρήση ανεμιστήρων. Τα οφέλη από την ενίσχυση της ταχύτητας του αέρα επηρεάζονται από τα επίπεδα ρουχισμού, τη δραστηριότητα του χρήστη, καθώς και από τη διαφορά ανάμεσα στην επιφανειακή θερμοκρασία του ρουχισμού/δέρματος και της θερμοκρασίας του αέρα (EN 7730, 2005).

2.2.1.4 Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία

Ως μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, $\overline{T_r}$, ορίζεται «η θερμοκρασία ενός ομοιόμορφου μαύρου κελύφους, που ανταλλάσσει το ίδιο ποσό θερμότητας με ακτινοβολία με τον χώρο όσο και ο περιβάλλοντας χώρος» (ANSI/ASHRAE, 2017). Παίρνει μία τιμή για ολόκληρο το σώμα και περιλαμβάνει τόσο την μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία μεγάλου ($\overline{T_{rlw}}$) όσο και μικρού μήκους κύματος ($\overline{T_{rsw}}$).

Ο ρόλος της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντικός στις μέletes θερμικής καταπόνησης καθώς αποτελεί μία από τις μεταβλητές που χρειάζονται για τον υπολογισμό διαφόρων θερμικών δεικτών όπως είναι ο Universal Thermal Climate Index (UTCI), ο Perceived Temperature (PT), ο Predicted Mean Vote (PMV) και ο Physiologically Equivalent Temperature (PET) (Walikewitz et al., 2015).

Παρόλα αυτά ο προσδιορισμός της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας είναι ένα κλασσικό πρόβλημα στον τομέα της βιοκλιματολογίας. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για τον υπολογισμό ή την μέτρηση της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας. Μερικά παραδείγματα είναι α) πολύπλοκες μετρήσεις ακτινοβολίας και από τις έξι κατευθύνσεις και β) θερμόμετρο σφαιρικού δοχείου σε συνδυασμό με παρατηρήσεις για θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα (Walikewitz et al., 2015).

Η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα από τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία σε εσωτερικούς χώρους είναι μικρή συγκριτικά με τη διαφορά που μπορεί να έχουν οι δύο θερμοκρασίες σε εξωτερικούς χώρους. Η παραδοχή αυτή για την περίπτωση των εσωτερικών χώρων προϋποθέτει ότι οι περιβάλλουσες εσωτερικές επιφάνειες έχουν ομοιόμορφες θερμοκρασίες και ροές ακτινοβολίας (VDI,

2008; Walikewitz et al., 2015). Ως αποτέλεσμα πολλές μελέτες του εσωτερικού περιβάλλοντος συχνά θεωρούν ότι η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία είναι ίση με τη θερμοκρασία του αέρα (Kántor and Unger, 2011; Langner et al., 2014; Matzarakis and Amelung, 2008).

2.2.1.5 Λειτουργική θερμοκρασία

Ως λειτουργική θερμοκρασία, T_o , ορίζεται «η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού μαύρου κελύφους και του αέρα μέσα σε αυτό, στο οποίο κάποιο άτομο θα αντάλλαζε το ίδιο ποσό θερμότητας από ακτινοβολία και από μεταφορά, όπως στο πραγματικό ανομοιόμορφο περιβάλλον» (ANSI/ASHRAE, 2017). Προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot \overline{T_r} \quad \text{Εξίσωση 1}$$

όπου:

T_o : η λειτουργική θερμοκρασία

T_a : η μέση θερμοκρασία του αέρα

$\overline{T_r}$: η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία

A : συντελεστής που καθορίζεται από τη μέση ταχύτητα του αέρα V_a ως εξής:

V_a	<0,2 m/s	0,2 - 0,6 m/s	0,6 - 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

Σε μακροπρόθεσμες εσωτερικές μετρήσεις, η λειτουργική θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί κατ'εκτίμηση από τη θερμοκρασία του αέρα μετά από διόρθωση για μεγάλες θερμές ή ψυχρές επιφάνειες (EN 15251, 2007). Όπως αναφέρεται και στον Οδηγό A του Βρετανικού Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE Guide A, 2015) όταν ένα κτίριο είναι καλά μονωμένο και θερμαίνεται κύριως από συστήματα μεταφοράς θερμότητας, η διάφορα ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα και της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας είναι μικρή. Το Πρότυπο EN 15251 επιτρέπει τη χρήση της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα, αντί της λειτουργικής, για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας σχεδιασμού των συστημάτων όταν οι θερμοκρασίες μεγάλων επιφανειών δεν διαφέρουν σημαντικά από τη θερμοκρασία του αέρα.

2.2.2 Εσωτερική ποιότητα αέρα

Το πρότυπο ASHRAE 62.1 (ANSI/ASHRAE, 2007) ορίζει την αποδεκτή ποιότητα αέρα ως «τον αέρα στον οποίο δεν υπάρχει κανένας γνωστός ρύπος σε βλαβερές συγκεντρώσεις όπως καθορίζονται από

εξειδικευμένες αρμόδιες αρχές και με τον οποίο η σημαντική πλειοψηφία (80% οι περισσότεροι) των ατόμων που εκτίθενται σε αυτόν δεν εκφράζουν δυσαρέσκεια». Η αποδεκτή ποιότητα εσωτερικού αέρα δεν είναι πάντοτε δυνατό να επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο λόγω της ποικιλότητας των πηγών και των ρύπων στον εσωτερικό αέρα, άλλων παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την αντίληψη και αποδοχή των χρηστών για την ποιότητα εσωτερικού αέρα, τις διαφορές στην ευπάθεια του πληθυσμού και την ανεπαρκή ποιότητα εξωτερικού αέρα.

Όπως αναφέρεται στο Πρότυπο ASHRAE 62.1 (2007) [p.23], *“δεν υπάρχει ποσοτικός ορισμός για την αποδεκτή ποιότητα αέρα που να μπορεί να επιτευχθεί με τη μέτρηση ενός ή και περισσοτέρων ρύπων».* Η πληθώρα αερίων, σωματιδίων και ρύπων που μπορεί να υπάρχει στον αέρα κάνει την άμεση μέτρηση τους ακατόρθωτη ενώ σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει και απουσία επαρκούς πληροφορίας για τις τυπικές συγκεντρώσεις. Αντιθέτως, η ποιότητα εσωτερικού αέρα αξιολογείται έμμεσα μέσα από μετρήσεις συχνότητας ανανέωσης του αέρα. Οι μετρήσεις συγκεκριμένων ρύπων συστήνονται μόνο για την περίπτωση που δεν επιτυγχάνονται οι απαραίτητες αλλαγές αέρα και όταν οι χρήστες κάνουν συγκεκριμένα παράπονα.

2.2.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Μέσα σε εσωτερικούς χώρους το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) παράγεται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό αλλά και από άλλες μεταβολικές πηγές και από την καύση ορυκτών καυσίμων. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι συστατικό και του καπνού από το τσιγάρο. Μόνο με αερισμό μπορούν οι συγκεντρώσεις του να μειωθούν σημαντικά. Για το λόγο αυτό, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα θεωρούνται ο σημαντικότερος δείκτης επάρκειας αερισμού και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος σε τύπους κτιρίων όπου ο άνθρωπος είναι η κύρια πηγή διοξειδίου του άνθρακα, όπως είναι για παράδειγμα τα κτίρια κατοικιών (EN 15251, 2007; Health Canada, 2006; Schieweck et al., 2018).

Οι συγκεντρώσεις CO₂ μπορούν να θεωρηθούν και σαν υποκατάστατο για τις ανθρώπινες οσμές (odorous bioeffluents) (ANSI/ASHRAE, 2007). Μάλιστα, η διατήρηση των συγκεντρώσεων CO₂ στα 700 ppm πάνω από τα εξωτερικά επίπεδα υποδηλώνει ότι η σημαντική πλειοψηφία των επισκεπτών του χώρου θα είναι ικανοποιημένη όσον αφορά στις σωματικές οσμές. Ο εξωτερικός αέρας θεωρείται αποδεκτός όταν γενικά οι συγκεντρώσεις του σε CO₂ είναι μεταξύ 300 και 500 ppm. Οι συγκεντρώσεις CO₂ στον εξωτερικό αέρα μπορεί να είναι αυξημένες λόγω καύσεων ή άλλων πηγών ρύπων.

Τα υποκειμενικά συμπτώματα που μπορεί να προκληθούν από αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ είναι: πονοκέφαλος, κόπωση, δυσάρεστες οσμές, εντύπωση αποπνικτικότητας και δυσάρεστη θέρμη (Health Canada, 2006). Παρόλα αυτά, τα συμπτώματα αυτά δεν οφείλονται πάντοτε στις συγκεντρώσεις CO₂ αλλά στην αυξημένη παρουσία άλλων ουσιών με το CO₂ να δρα σαν αντιπροσωπευτικός δείκτης ανεπαρκούς αερισμού (Health Canada, 2006). Στα δυσμενή φυσιολογικά συμπτώματα περιλαμβάνονται οι αλλαγές στην οξεοβασική ισορροπία και η απελευθέρωση ασβεστίου από τα οστά. Τέτοια

συμπτώματα εμφανίζονται μετά από χρόνια έκθεση (μετά από μερικές βδομάδες συνεχούς έκθεσης) σε τουλάχιστον 7000 ppm. Τα 3500 ppm θεωρούνται ένα καλό όριο για την προστασία των ευαίσθητων ομάδων από τα δυσμενή συμπτώματα στην υγεία τους.

2.2.3 Δείκτες αξιολόγησης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μελέτες με προτεινόμενες μεθόδους και δείκτες για την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Heinzerling et al., 2013). Το αποτέλεσμα των μεθόδων αυτών είναι μια βαθμολογία ή κατάταξη η οποία προκύπτει από μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, είτε αντικειμενικές (π.χ. πειραματικές μετρήσεις) είτε υποκειμενικές (π.χ. ερωτηματολόγια). Οι περισσότεροι από τους δείκτες αυτούς βασίζονται σε εκτενή αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια είναι πολύπλοκοι στον υπολογισμό τους. Απαιτούν δε την γνώση πλήθους παραμέτρων, γεγονός που αυξάνει το πειραματικό κόστος και την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων με την ακρίβεια/βαθμονόμηση των οργάνων (ASHRAE/CIBSE/USGBC, 2010). Εντούτοις, ένας δείκτης αξιολόγησης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που απευθύνεται στους χρήστες των κτιρίων θα πρέπει να πληροί τρία βασικά κριτήρια: να σχετίζεται με τα συμπτώματα των χρηστών, να είναι εύκολα κατανοητός και να υπολογίζεται εύκολα (Sofuoglu and Moschandreas, 2003).

Πίνακας 4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δεικτών από αντικειμενικές μετρήσεις

Μελέτη	Πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας	Μειονεκτήματα όσον αφορά τα κτίρια κατοικιών και τους χρήστες των κτιρίων αυτών
(Ralegaonkar and Sakhare, 2014)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ευελιξία στον αριθμό των παραμέτρων και συνιστώσων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που μπορούν να μελετηθούν 2. ανεξάρτητοι υποδείκτες για κάθε συνιστώσα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος 	<ol style="list-style-type: none"> 1. όταν ο στόχος είναι η συγκριτική αξιολόγηση ή η ταξινόμηση, τα κτίρια είναι μη συγκρίσιμα λόγω διαφορετικών παραμέτρων εισόδου
(Marino et al., 2012)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ευελιξία στον αριθμό των παραμέτρων και συνιστώσων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που μπορούν να μελετηθούν 2. συντελεστές βαρύτητας για τις μετρούμενες παράμετρους 	<ol style="list-style-type: none"> 1. όταν ο στόχος είναι η συγκριτική αξιολόγηση ή η ταξινόμηση, τα κτίρια είναι μη συγκρίσιμα λόγω διαφορετικών παραμέτρων εισόδου 2. δεν παράγονται ανεξάρτητοι υποδείκτες για κάθε συνιστώσα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, άρα υπάρχει αυξημένο ρίσκο παρανόησης των τιμών του συνδιαστικού δείκτη
(Chiang et al., 2001; Chiang and Lai, 2002)	<ol style="list-style-type: none"> 1. μελέτη όλων των συνιστώσων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, φωτισμός, ακουστική, ηλεκτρομαγνητικά πεδία) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. πολύπλοκη πειραματική διαδικασία 2. δύσκολη κατανόηση του δείκτη από μη επιστήμονες 3. αυξημένο πειραματικό κόστος λόγω του μεγάλου αριθμού μετρούμενων παραμέτρων

Στην αντικειμενική-υποκειμενική διαδικασία, αντικειμενικές και υποκειμενικές μετρήσεις συνδιάζονται για να δώσουν ένα συνολικό δείκτη ο οποίος εκφράζει την ικανοποίηση του χρήστη με το εσωτερικό περιβάλλον (Cao et al., 2012; Heinzerling et al., 2013; Lai et al., 2009; Li et al., 2015; Moschandreas and Sofuoglu, 2004; Mui and Chan, 2005; Ncube and Riffat, 2012; Roulet et al., 2002; Wong et al., 2008). Η υποκειμενική διαδικασία είναι συνήθως πιο απλή και πιο οικονομική (ASHRAE/CIBSE/USGBC, 2010). Παρόλα αυτά, η υποκειμενική διαδικασία δέχεται περισσότερη κριτική (Heinzerling et al., 2013). Οι Nicol και Wilson (2011) αναφέρουν δυσκολία στην εύρεση κατάλληλης περιόδου για την απάντηση του ερωτηματολογίου και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι Heinzerling et al. (2013) συμπληρώνουν τη λίστα των κριτικών με το εύρος και την υποκειμενικότητα των απόψεων για παρόμοιες εσωτερικές συνθήκες και περιορισμένη διαγνωστική δυνατότητα. Στην περίπτωση των κτιρίων κατοικιών η επιλογή της κατάλληλης περιόδου για αξιολόγηση γίνεται πιο πολύπλοκη καθώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες (Lai et al., 2009) και η χρήση έχουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα.

Στην αντικειμενική διαδικασία η παραγωγή ενός συνολικού δείκτη βασίζεται μόνο σε πειραματικές μετρήσεις. Ακόμα και αν πραγματοποιούνται υποκειμενικές μετρήσεις, αυτές δεν λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό του συνολικού δείκτη. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται μια σύνοψη των σχετικών μελετών. Κάποιες από αυτές αφορούν δείκτες που περιλαμβάνουν όλες τις συνιστώσες του εσωτερικού περιβάλλοντος ενώ άλλες προσφέρουν ευελιξία στον αριθμό και τον τύπο των μετρούμενων παραμέτρων και των συνιστωσών της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, φωτισμός, ακουστική, ηλεκτρομαγνητικά πεδία). Όταν ο στόχος είναι η συγκριτική αξιολόγηση ή η ταξινόμηση κτιρίων η ευελιξία στην επιλογή παραμέτρων και συνιστωσών ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος κάνει τα κτίρια μη συγκρίσιμα όταν οι μετρούμενες παράμετροι ή οι συνιστώσες διαφέρουν. Επίσης, όταν ένας δείκτης καλύπτει όλες τις συνιστώσες της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος ή πάρα πολλές παράμετρος τότε η πειραματική διαδικασία γίνεται πολύπλοκη και μη πρακτική αλλά και με αυξημένο κόστος, ως επίσης ο δείκτης είναι δύσκολο να γίνει κατανοητός από τον οποιονδήποτε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στόχος της διατριβής αυτής είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων ενεργειακής διαχείρισης σε κτίρια κατοικιών, όταν επίκεντρο γίνεται ο χρήστης ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζεται η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει το σύστημα καταγραφής και επικοινωνίας των δεδομένων προς τον χρήστη που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της μελέτης αυτής. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και ήταν μέρος του Ευρωπαϊκού προγράμματος ICE-WISH (Grant Agreement number 270898). Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία που σχεδιάστηκε για τη συλλογή, διαχείριση και επαλήθευση των μετρούμενων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στα κεφάλαια 4, 5 και 6 καθώς και για την επικοινωνία προς τον χρήστη των ενεργειακών συμβουλών που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7, αντίστοιχα.

3.1 Περιγραφή των μελετούμενων κατοικιών

Το σύστημα που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό εγκαταστάθηκε σε 241 κατοικίες σε 10 διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος ICE-WISH (Grant Agreement number 270898). Το πρόγραμμα ICE-WISH ήταν ένα πρόγραμμα Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνίας (Information and Communication Technology (ICT)) που ως βασικό στόχο είχε τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών κτιρίων κατοικιών και χαμηλού εισοδήματος.



Σχήμα 2 Μελετούμενο κτίριο

Είκοσι έξι από αυτά τα διαμερίσματα βρίσκονται στην Ιταλία και αποτελούν το βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Τα είκοσι έξι αυτά διαμερίσματα βρίσκονται σε δύο όμοια κτίρια που βρίσκονται λίγο έξω από την πόλη της Φλωρεντίας της Ιταλίας σε ημιαστική περιοχή. Κάθε κτίριο αποτελείται από τέσσερις όροφους με ιδιόκτητα διαμερίσματα. Τα δύο κτιριακά συγκροτήματα βρίσκονται σε απόσταση 180 m μεταξύ τους. Όλες οι κατοικίες βρίσκονται σε ένα σύμπλεγμα κατοικιών και συνεπώς έχουν παρόμοια τεχνικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά.

Το μέγεθος των κατοικιών κυμαίνεται από 57 έως 82 m², και έχουν από ένα έως τρία υπνοδωματία (Πίνακας 5). Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από τούβλο, διάκενο και θερμομόνωση. Το σύστημα θέρμανσης είναι αυτόνομο επιτρέποντας στους χρήστες να το λειτουργούν ανάλογα με τις ανάγκες και προτιμήσεις τους και λειτουργεί με φυσικό αέριο. Οι λέβητες είναι τοποθετημένοι έξω από την κατοικία σε μπαλκόνι. Οκτώ από τις υπό μελέτη κατοικίες έχουν εγκατεστημένες κλιματιστικές μονάδες (split units). Ο αερισμός επιτυγχάνεται με ανοικτά παράθυρα. Το ζεστό νερό χρήσης είναι μέρος του συστήματος θέρμανσης (με φυσικό αέριο) και δεν έχει μονάδα αποθήκευσης.

Πίνακας 5 Γενικά χαρακτηριστικά πέντε τυπικών κατοικιών

Κατοικία	Καθαρή επιφάνεια δαπέδου (m ²)	Αριθμός χρηστών	Προσανατολισμός
D5	81,1	3	ΒΔ
D10	61	5	ΝΑ
D14	59	2	ΝΑ
D17	81,5	3	ΒΔ
D28	56,9	4	Δ

3.2 Πειραματικός εξοπλισμός

Το σύστημα ενεργειακής παρακολούθησης κατέγραφε δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και νερού καθώς και εσωτερικών περιβαλλοντικών παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα κατέγραφε, για κάθε μελετούμενη κατοικία, τις έξης παράμετρους:

1. Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)
2. Φυσικό αέριο (m³)
3. Νερό (m³)
4. Θερμοκρασία αέρα (°C)
5. Σχετική υγρασία (%)
6. Συγκεντρώσεις CO₂ (ppm)

Οι καταναλώσεις ενέργειας και νερού μετρήθηκαν σε επίπεδο κατοικίας (όχι υπομετρητές) ενώ η παρακολούθηση των εσωτερικών συνθηκών έγινε για το χώρο του σαλονιού της κατοικίας, το χώρο δηλαδή που είναι κοινός για όλους τους χρήστες της κατοικίας και στον οποίο περνάνε τον περισσότερο τους χρόνο. Η επιλογή του χώρου εγκατάστασης των αισθητήρων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και συγκεντρώσεων CO₂ έγινε με βάση τα κριτήρια που ορίζει το πρότυπο EN 15251 (2007).

Ο εξοπλισμός που εγκαταστήθηκε σε κάθε κατοικία συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 Πειραματικός εξοπλισμός

Μετρητικός εξοπλισμός	Συσκευή, Τύπος επικοινωνίας
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	EICT EI Meter, Modbus
Νερό (m3)	Itron Aquadis+, Wired M-bus
Φυσικό αέριο (m3)	BK-G4 (AE2+ACM), Wireless M-bus
Θερμοκρασία (°C), Σχετική Υγρασία (%) και CO2 (ppm)	Syxthsense HDH-AL3, Modbus
Λοιπός εξοπλισμός	Συσκευή
Set-Top-Box (STB)	GVT-300
Data concentrator	WebRTU® Z3
Modem	NET-3G-434T

Η συχνότητα μέτρησης ήταν τα 15 λεπτά. Ο καθορισμός της συχνότητας μέτρησης βασίστηκε στο κόστος και τις δυνατότητες του εξοπλισμού καταγραφής δεδομένων, τη λεπτομέρεια της ανάλυσης που χρειάστηκε για την υλοποίηση των στόχων της πειραματικής διαδικασίας και τον ορισμό των χρήσιμων και πρακτικών χρονικών περιόδων για τους χρήστες.

Η καταγραφή σε συχνότητα 15 λεπτών επέτρεψε επίσης την αποθήκευση των καταγεγραμμένων τιμών για διάστημα τριμήνου στον συγκεντρωτή δεδομένων (data concentrator), μειώνοντας έτσι το ρίσκο της απώλειας δεδομένων από πιθανά προβλήματα επικοινωνίας στο σύστημα.

3.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Το Σχήμα 3 απεικονίζει τον μετρητικό εξοπλισμό και τον τρόπο επικοινωνίας των μετρούμενων δεδομένων με τον data concentrator. Από τον data concentrator τα δεδομένα επικοινωνούνταν στον μετατροπέα-αποκωδικοποιητή (set-top-box (STB)) μέσω wi-fi και στον κεντρικό διακομιστή (server) μέσω GPRS.

Οι χρήστες μπορούσαν να δουν τα δεδομένα για την κατοικία τους στο set-top-box από την τηλεόραση τους με τη χρήση ειδικού τηλεχειριστηρίου. Η ανανέωση των τιμών στο set-top-box γινόταν ανά 15-λεπτο, κάθε φορά δηλαδή που υπήρχε καινούρια μέτρηση. Η οθόνη διεπαφής παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 7.

Τα δεδομένα από όλες τις κατοικίες συγκεντρώνονταν σε κεντρικό διακομιστή σε ημερήσια βάση και μπορούσαν να μεταφορτωθούν από ασφαλή διαδικτυακό τόπο ftp.

Οι ενημερώσεις του λογισμικού και του υλικολογισμικού για το set-top-box και τον data concentrator μπορούσαν να γίνουν εξ αποστάσεως μέσω σύνδεσης GPRS.

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

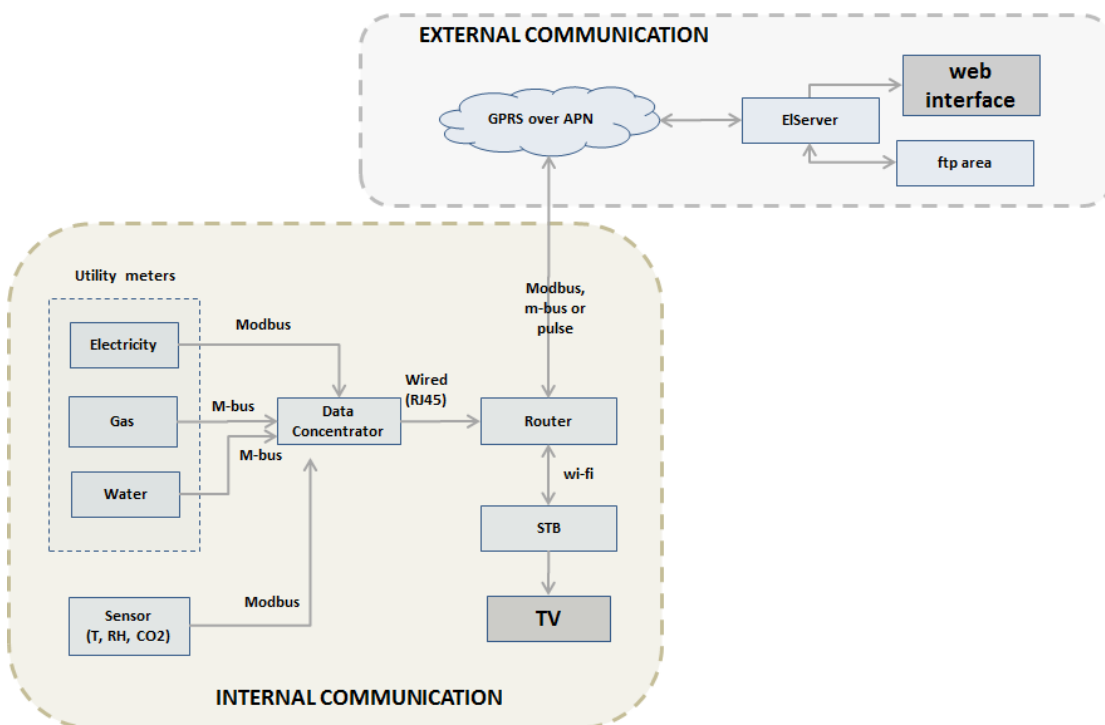
3.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Ο μετρητικός εξοπλισμός επικοινωνούσε τα δεδομένα των μετρήσεων στον data concentrator με διαφορετικές μεθόδους: Modbus, m-bus και pulse.

Το Set-Top-Box επικοινωνούσε με τον data concentrator με τη βοήθεια του router και λάμβανε τις μετρήσεις από τους μετρητές και τους αισθητήρες σε μορφή XML ανά 15 λεπτά.

Ο κεντρικός διακομιστής, που αποτελούσε και τη βάση δεδομένων για όλες τις κατοικίες, συνέλεγε τα δεδομένα από τον data concentrator κάθε 24 ώρες μέσω ενός ασφαλούς Ονόματος Σημείου Πρόσβασης (Access Point Name (APN)) και τα αποθήκευε σε τοπικό αρχείο.

Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει την επικοινωνιακή υποδομή του συστήματος.



Σχήμα 3 Επικοινωνιακή υποδομή του συστήματος ενεργειακής παρακολούθησης

3.5 Πρωτόκολλο αποθήκευσης δεδομένων

Τα δεδομένα από τους μετρητές και τους αισθητήρες αποθηκεύονταν στον data concentrator για διάστημα τριών μηνών περίπου.

Οι μετρούμενες τιμές λαμβάνονταν από το set-top-box μέσω του συγκεντρωτή δεδομένων ανά 15 λεπτά. Τα δεδομένα λαμβάνονταν σε μορφή XML και αποθηκεύονταν στην εσωτερική μνήμη του STB σε μία βάση δεδομένων MySQL.

Η κεντρική βάση δεδομένων ανακτούσε τα δεδομένα από τον data concentrator κάθε 24 ώρες μέσω ενός ασφαλούς APN και τα αποθήκευε σε τοπικό αρχείο. Τα δεδομένα αυτά μπορούσαν να μεταφορτωθούν για επεξεργασία και ανάλυση από ασφαλή διαδικτυακό τόπο ftp (Σχήμα 3).

Το μεταφορτωμένο αρχείο είχε μορφή .csv (comma separated values) και την ακόλουθη δομή:

Αναγνωριστικό	Ημερομηνία/Ωρα	Μετατόπιση GMT	Μετρούμενη τιμή
ESH_ITA_D1_005E5F/Temperature	6/10/2012 20:30	0	22,5
ESH_ITA_D2_005E61/Electricity	6/10/2012 2:15	0	1,2

Όπου για το *Αναγνωριστικό*:

- *ESH* = Ονομασία συστήματος
- *ITA* = Χώρα
- *D1* και *D2* = Κατοικία αναφοράς
- *005E5F* και *005E61* = Κωδικός μετρητικής συσκευής

Temperature/Electricity = Μετρούμενη παράμετρος

Ημερομηνία/Ωρα: η ημέρα και η ώρα καταγραφής της συγκεκριμένης τιμής.

Μετατόπιση GMT: η χρονική μετατόπιση GMT (η πιλοτική τοποθεσία είχε προσαρμοστεί σε μέση ώρα Greenwich).

Μετρούμενη τιμή: η τιμή που είχε καταγραφεί από τη συσκευή.

Οι μονάδες μέτρησης για κάθε μετρούμενη παράμετρο ήταν οι ακόλουθες:

1. Ηλεκτρική ενέργεια: kWh
2. Φυσικό αέριο: m³
3. Νερό: m³
4. Θερμοκρασία αέρα: °C
5. Σχετική υγρασία: %
6. Συγκεντρώσεις CO₂: ppm

3.6 Επαλήθευση δεδομένων

Η επαλήθευση των δεδομένων γινόταν σε συνεχή βάση πάνω στα ανεπεξέργαστα δεδομένα που περιείχονταν στα μεταφορτωμένα αρχεία του διαδικτυακού τόπου ftp. Οι έλεγχοι που γίνονταν ήταν σε συμφωνία με την προτεινόμενη μεθοδολογία του οδηγού ASHRAE Guideline 14 (ASHRAE, 2002). Αυτοί οι έλεγχοι είχαν ως στόχο τον εντοπισμό σημαντικών αποκλίσεων των μετρούμενων τιμών από τις αντίστοιχες αναμενόμενες τιμές και άρα πιθανών προβλημάτων με το σύστημα ενεργειακής παρακολούθησης που έπρεπε να επιλυθούν πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.

Όταν μια κατοικία περνούσε όλους του ελέγχους για 15 συνεχόμενες μέρες τότε εθεωρείτο ότι είχε περάσει επιτυχώς τον έλεγχο. Παρόλα αυτά χρειάζεται να σημειωθεί πως αυτές οι 15 μέρες μπορεί να μην ήταν κοινές για όλες τις κατοικίες καθώς η εγκατάσταση του εξοπλισμού σε κάθε κατοικία δεν γινόταν ταυτόχρονα αλλά και επειδή σε κάποιες κατοικίες μπορεί να εμφανίζονταν προβλήματα κατά την εγκατάσταση που χρειάζονταν χρόνο για να επιλυθούν.

Προκειμένου να γίνουν όλοι οι έλεγχοι γρήγορα και αξιόπιστα αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος. Ο αλγόριθμος περιγράφεται ως εξής:

Αρχικά τα ανεπεξέργαστα δεδομένα ελέγχονταν για τα ακόλουθα:

- ✓ **Ελλιπή δεδομένα:** ο ημερήσιος αριθμός καταγεγραμμένων τιμών (αριθμός σειρών μέσα στο αρχείο) μέσα στο μεταφορτωμένο αρχείο .csv θα έπρεπε να είναι 576 για κάθε κατοικία.
 - $\text{τιμές/ώρα} \times 6 \text{ μετρούμενες παράμετρος} \times 24 \text{ ώρες} = 576 \text{ τιμές/μέρα}$.
- ✓ **Λογικές τιμές:** Τα δεδομένα θα έπρεπε να είναι αριθμητικά σωστά και άρα να μην περιέχουν περιττούς χαρακτήρες, δεκαδικά, αρνητικές ή σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. συγκεντρώσεις CO₂) μηδενικές τιμές.

Στην συνέχεια υπολογίζονταν οι μέσες ωριαίες τιμές για τις T, RH και CO₂ και οι συνολικές ωριαίες τιμές για την ενέργεια και το νερό. Παράλληλα με τον υπολογισμό των ωριαίων τιμών εφαρμόζονταν ο ακόλουθος έλεγχος:

- ✓ **Χρονικό βήμα.** Οι ωριαίες τιμές έπρεπε να προκύπτουν από 4 συνεχόμενες τιμές σε βήμα 15-λεπτου (π.χ. η ωριαία τιμή για τις 13:00 υπολογίζεται από τις αντίστοιχες τιμές για τις 13:00, 13:15, 13:30 και 13:45).

Τέλος, επάνω στις ωριαίες τιμές εφαρμόζονταν οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- ✓ **Επαλήθευση της τάξης μεγέθους:** εξέταση του αν οι τιμές για κάθε μετρούμενη παράμετρο βρίσκονται σε ένα αναμενόμενο εύρος τιμών για κάθε παράμετρο. Πιο συγκεκριμένα:
 - Μέση ημερήσια τιμή
 - **Θερμοκρασία αέρα:** 15-25 °C
 - **RH:** 30-70 %
 - **CO₂:** 500-1500 ppm
 - Συνολική ημερήσια τιμή
 - **Ηλεκτρική ενέργεια:** 5-15 kWh περίπου.
 - **Φυσικό αέριο:** 2-4 m³ περίπου για τη χειμερινή περίοδο και 1-3 m³ για τις ενδιάμεσες εποχές.
 - **Νερό:** 0.2m³ / άτομο περίπου.
- ✓ **Γραφική επαλήθευση:** η γραφική απεικόνιση των δεδομένων θα έπρεπε να παρουσιάζει μεταβολή με το χρόνο.

Η επιτυχής επαλήθευση δεδομένων για κάθε μία από τις μετρούμενες παράμετρος σηματοδοτούσε και την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας στη συγκεκριμένη κατοικία. Η επαλήθευση ξεκινούσε μόνο όταν εξαλείφονταν τα παρακάτω από τις μετρούμενες τιμές:

- Όλες οι μετρούμενες τιμές ήταν μηδενικές
- Η τάξη μεγέθους ήταν λανθασμένη
- Δεν υπήρχαν 15 συνεχόμενες μέρες από δεδομένα λόγω χάσματος δεδομένων.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα του ελέγχου των δεδομένων παρουσιάζονται εδώ για μία κατοικία. Τα αποτελέσματα του τελικού ελέγχου για τις 26 υπό μελέτη Ιταλικές κατοικίες με βάση τα οποία το σύστημα καταγραφής δεδομένων κρίθηκε έτοιμο να συμπεριληφθεί στην πειραματική διαδικασία συνοψίζονται στο Παράρτημα Ι.

3.6.1 Αναλυτικά αποτελέσματα ελέγχου σε μία κατοικία

Η πρώτη επιτυχής επικοινωνία του συστήματος με την κεντρική βάση δεδομένων έγινε στις 25/3/2013. Διαθέσιμα δεδομένα υπάρχουν στον διαδικτυακό τόπο ftp απο τις 25/03/2013 όμως οι πρώτες 15 συνεχόμενες μέρες δεδομένων στον διαδικτυακό τόπο ftp για τη συγκεκριμένη κατοικία ήταν οι 04/04-18/04/2013. Αυτές αποτέλεσαν και την πρώτη περίοδο ελέγχου. Σε αυτό το διάστημα όλες οι μετρούμενες παράμετροι πέρασαν τον έλεγχο επαλήθευσης δεδομένων. Εάν το σύστημα δεν είχε περάσει τον έλεγχο για το διάστημα αυτό θα ακολουθούσε και δεύτερη και τρίτη κοκ έως ότου ο έλεγχος είναι επιτυχής για όλες τις παραμέτρους.

Ελλιπή δεδομένα. Η μία τιμή που λείπει για την περίοδο ελέγχου είναι η πρώτη μέτρηση για τις 04/04 (για τις 00:00) η οποία θεωρείται ότι ανήκει στην προηγούμενη μέρα (03/04). Εκτός αυτού είχε μετρηθεί ο αναμενόμενος αριθμός τιμών. Το προηγούμενο διάστημα (25/03-03/04) δεν συμπεριλήφθηκε στον έλεγχο λόγω ελλειπών δεδομένων έως και τις 03/04 (Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Έλεγχος για ελλιπή δεδομένα

Κατοικία D5		ημερομηνίες	ημέρες	αναμενόμενος αριθμός 15-λεπτων τιμών	μετρούμενος αριθμός 15-λεπτων τιμών
Electricity (kWh)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	580
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439
Gas (m3)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	580
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439
Cold Water (m ³)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	587
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439
Temperature (°C)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	580
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439
RH (%)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	580

Κατοικία D5	ημερομηνίες	ημέρες	αναμενόμενος αριθμός 15-λεπτών τιμών	μετρούμενος αριθμός 15-λεπτών τιμών	
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439
CO ₂ (ppm)	Πριν το διάστημα ελέγχου	25/03-03/04	10	960	580
	Διάστημα ελέγχου 1	04/04-18/04	15	1440	1439

Λογικές τιμές. Όλες οι τιμές που μετρήθηκαν ήταν αριθμητικά σωστές.

Χρονικό βήμα. Τα δεδομένα ήταν σε συχνότητα τετάρτου.

Επαλήθευση της τάξης μεγέθους. Όλες οι μετρούμενες τιμές ήταν μέσα στο αναμενόμενο εύρος τιμών για κάθε παράμετρο (Πίνακας 8).

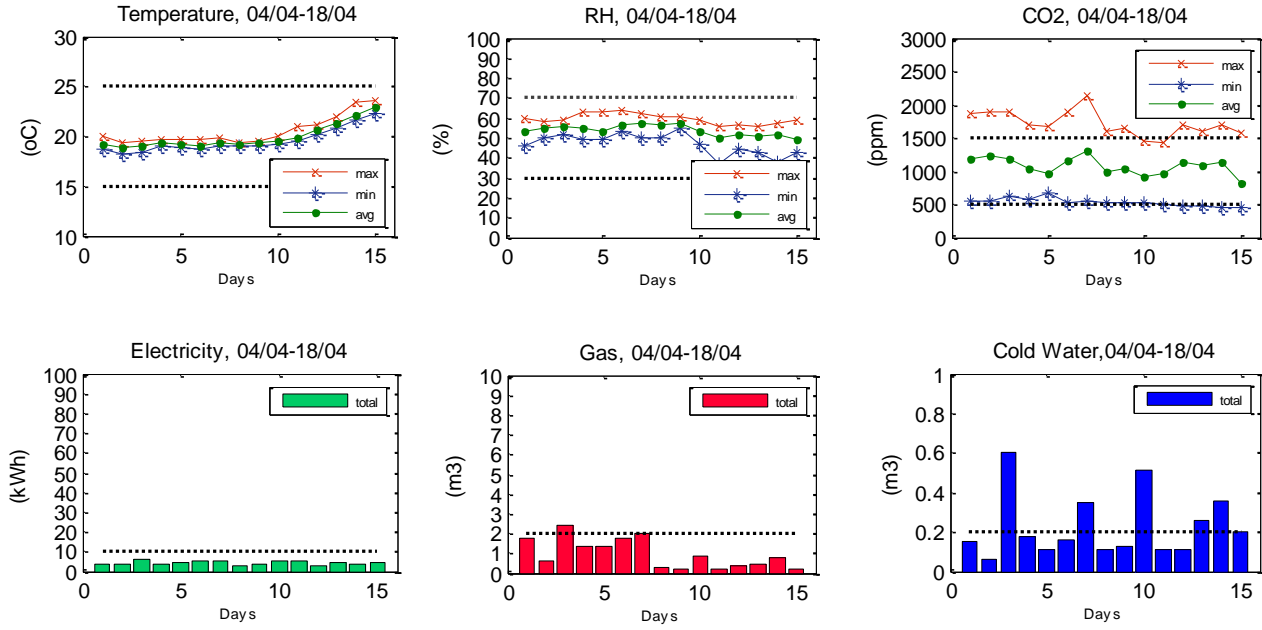
Πίνακας 8 Επαλήθευση της τάξης μεγέθους

Κατοικία D5	Διάστημα ελέγχου	Μέγιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Ελάχιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Μέση ημερήσια μέση*/ συνολική**
Electricity (kWh)	04/04-18/04	6,2	3,1	4,42
Gas (m ³)	04/04-18/04	2,38	0,17	0,97
Cold Water (m ³)	04/04-18/04	0,59	0,08	0,23
Temperature (°C)	04/04-18/04	22,9	18,8	19,9
RH (%)	04/04-18/04	57,6	49,54	53,8
CO ₂ (ppm)	04/04-18/04	1315,1	822,5	1076

*μέση τιμή για T, RH και CO₂

**σύνολο για ενέργεια και νερό

Γραφική επαλήθευση. Όλες οι παράμετροι παρουσίαζαν διακύμανση κάθε μέρα αλλά και μέσα στη μέρα.



Σχήμα 4 Γραφική επαλήθευση των καταγεγραμμένων δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΟΤΙΒΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ (PATTERN RECOGNITION) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η ποσοτικοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών κτιρίων κατοικιών και η μελέτη των διαφορών που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα στα μοτίβα συμπεριφοράς διαφορετικών χρηστών. Βασικός σκοπός ήταν η επαλήθευση της μοναδικότητας της επίδρασης του χρήστη παρά η εύρεση αντιπροσωπευτικών και άρα κοινών μοτίβων συμπεριφοράς για όλες τις μελετούμενες κατοικίες.

Στη μελέτη συμπεριλήφθηκαν 5 από τις 26 κατοικίες οι οποίες βρίσκονται στον ίδιο όροφο ενός συμπλέγματος κατοικιών και άρα έχουν παρόμοια θερμικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά ενώ διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό και το μέγεθος και σε ότι έχει να κάνει με τον ίδιο τον χρήστη (π.χ. αριθμός χρηστών, συνήθειες και πρακτικές, επιλογή συστημάτων και συσκευών, λειτουργία των συστημάτων και συσκευών). Η επιλογή των 5 αυτών κατοικιών έγινε με σκοπό την όσο πιο αντικειμενική γίνεται σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ημερήσια προφίλ μιας κατοικίας.

Για τον προσδιορισμό των προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς (patterns) εφαρμόστηκε αρχικά η μέθοδος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis PCA) και στη συνέχεια η μέθοδος διβηματικής ανάλυσης συστάδων (Two Step Cluster Analysis). Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των ωρών της ημέρας στη διάρκεια των οποίων σημειώνονται επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές. Η ανάλυση κατά συστάδες χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την ομαδοποίηση των ημερών (εικοσιτετράωρα προφίλ) με κοινά χαρακτηριστικά. Και οι δύο μέθοδοι εφαρμόστηκαν ανεξάρτητα για κάθε μελετούμενη παράμετρο και κατοικία.

Τα εικοσιτετράωρα προφίλ που προέκυψαν από την ανάλυση συστάδων βοήθησαν στον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών κάθε κατοικίας. Τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν είναι η ωριαία ημερήσια μεταβολή που παρουσιάζουν η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, το φυσικό αέριο για θέρμανση και οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και η περιοδικότητα εμφάνισης αυτών των εικοσιτετράωρων προφίλ σε ημέρες της εβδομάδας ή μήνες του χρόνου.

Τα εικοσιτετράωρα προφίλ που προέκυψαν από την ανάλυση κατά συστάδες χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου για το μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.1 Εισαγωγή

Η συμπεριφορά των χρηστών αναγνωρίζεται ως μια από τις καθοριστικότερες μεταβλητές στην εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά σε κτίρια κατοικιών, η αβεβαιότητα που επιφέρει η μεταβλητή αυτή τόσο στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς όσο και στις μεθόδους πρόγνωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική (Hong et al., 2016). Γι αυτό και τα τελευταία χρόνια η συμπεριφορά των χρηστών αποτελεί πεδίο εντατικής έρευνας και μελέτης ως ένας από τους καθοριστικότερους παράγοντες για την ενεργειακή απόδοση και την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από βελτιώσεις σε αυτήν (Gaetani et al., 2016; Hong et al., 2016; Ouyang and Hokao, 2009; Yu et al., 2011).

Η ελλιπής κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών οδηγεί σε λανθασμένες απλοποιήσεις στον σχεδιασμό και την λειτουργία ενός κτιρίου (Hong et al., 2016) και θεωρείται η κύρια αιτία απόκλισης της προβλεπόμενης από την πραγματική ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων (Gaetani et al., 2016). Για το λόγο αυτό πολλοί ερευνητές πλέον εστιάζουν στην όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση της παρουσίας των χρηστών και της επίδρασης τους τόσο στο κτίριο όσο και στα συστήματα του (Gaetani et al., 2016).

Υπάρχουν τυποποιημένα εικοσιτετράωρα προφίλ τα οποία μπορεί ο ερευνητής να χρησιμοποιήσει σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου. Μπορεί επίσης ο ίδιος να καθορίσει τα προφίλ που θα χρησιμοποιήσει βασιζόμενος σε προηγούμενη εμπειρία για τον υπό μελέτη τύπο κτιρίου ή σε μετρήσεις και παρατηρήσεις για το ίδιο το υπό μελέτη κτίριο. Τα προφίλ αυτά συνήθως βασίζονται σε αιτιοκρατικούς κανόνες που θεωρούν ότι η συμπεριφορά του χρήστη καθορίζεται από έναν ή περισσότερους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή η μεταβολή της θερμοκρασίας. Λόγω της αιτιοκρατικής τους φύσης τα προφίλ αυτά δεν αντικατοπτρίζουν παρά μόνο μια μέση κατάσταση για τα χαρακτηριστικά του χρήστη, τη θέση του στο χώρο και στο κτίριο καθώς και τη χρονική στιγμή και διάρκεια εφαρμογής μιας δράσης δίνοντας έτσι καταστάσεις όπου η συμπεριφορά του χρήστη είναι πλήρως προβλέψιμη και επαναλαμβανόμενη (Gaetani et al., 2016).

Για τα κτίρια κατοικιών, όταν δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία για τους χρήστες, τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών που εισάγονται στο μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης επιλέγονται με την παραδοχή ότι στην κατοικία διαμένει οικογένεια με παιδιά όπου οι ενήλικες εργάζονται με πλήρη απασχόληση τις καθημερινές μέρες ενώ τις ίδιες μέρες και ώρες τα παιδιά βρίσκονται στο σχολείο. Αν και έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες που τονίζουν την ανάγκη δημιουργίας και υιοθέτησης διαφορετικών προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς για κτίρια κατοικιών με διαφορετική κοινωνική σύσταση (Aragon et al., 2017; Gupta and Gregg, 2013; Mavrogianni et al., 2014) δεν έχει υπάρξει ακόμα συμφωνία στην επιστημονική κοινότητα για το ποιες θα είναι οι κατηγορίες σύστασης και ποια προφίλ θα τις αποτελούν (UoS, 2016).

Με τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για τον χρήστη ενός υφιστάμενου κτιρίου μπορεί να προκύψουν προφίλ (patterns) αντιπροσωπευτικά των πραγματικών πρακτικών που αυτός εφαρμόζει στην καθημερινότητα του και κατα συνέπεια ένα πιο ακριβές μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου. Για παράδειγμα, η σωστή εισαγωγή προφίλ λειτουργίας του συστήματος σκίασης το χείμωνα σε κτίρια γραφείων μπορεί να δώσει πιο αντιπροσωπευτικά επίπεδα ηλιακών κερδών καθώς και φυσικού φωτός και άρα πιο αντιπροσωπευτικές συνθήκες θέρμανσης και τεχνητού φωτισμού (Daum and Morel, 2010; Gunay et al., 2014; Koo et al., 2010; Lindner et al., 2017).

Μία από τις πιο διαδεδομένες μέθοδους εντοπισμού των χαρακτηριστικών προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς χρηστών σε κτίρια είναι η ανάλυση κατά συστάδες (D'Oca and Hong, 2015; Liang et al., 2016; Pan et al., 2017; Ren et al., 2015). Όταν ο αριθμός των μελετούμενων μεταβλητών είναι πολύ μεγάλος ή όταν το μέγεθος της χρονοσειράς πολύ μεγάλο, τότε η μετατροπή σε μικρότερο αριθμό μεταβλητών έχει πολλά θετικά όπως τη διαχείριση καταγιστικής πληροφορίας και την απόσπαση ανώτερων και πιο ερμηνεύσιμων συμπερασμάτων (Rajabi et al., 2019). Για το λόγο αυτό πολλές φορές πριν την ανάλυση κατά συστάδες γίνεται Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Abreu et al., 2012; Lam et al., 2008; Motlagh et al., 2015).

Κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η εύρεση των αντιπροσωπευτικών προφίλ (patterns) ενεργειακής συμπεριφοράς χρηστών πέντε κτιρίων κατοικιών και η μελέτη των διαφορών που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες. Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στο κεφάλαιο αυτό η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν γίνεται μόνο για την μετατροπή σε λιγότερες συνιστώσες, και άρα για την υποστήριξη της ανάλυσης κατά συστάδες όπως γίνεται συνήθως στη βιβλιογραφία, αλλά έχει και ως στόχο την παρουσίαση μιας εναλλακτικής μεθόδου απόσπασης χρήσιμης πληροφορίας για την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη.

Τα ευρήματα αυτού του κεφαλαίου θα χρησιμοποιηθούν για την βαθμονόμηση ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου. Σε συνδιασμό με προηγούμενη δουλειά των Laskari et al. (2016, 2017) το μοντέλο βαθμονόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί από την εφαρμογή συμβουλών μηδενικού ή χαμηλού κόστους σε κατοικίες. Αυτές οι συμβουλές αφορούν αλλαγές στις καθημερινές συνήθειες και συμπεριφορές των χρηστών.

4.2 Μεθοδολογία για την αναγνώριση των μοτίβων συμπεριφοράς (patterns) των χρηστών

Για τη μελέτη των μοτίβων συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές για ενεργειακές και περιβαλλοντικές παράμετρους που μετρήθηκαν το διάστημα Οκτώβριος 2013 - Σεπτέμβριος 2014 (Πίνακας 9). Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με μεθόδους πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (multivariate statistics).

Πίνακας 9 Μελετούμενες παράμετροι και ζητούμενο αποτέλεσμα

Μελετούμενη παράμετρος	Περίοδος Μελέτης	Ζητούμενο
φυσικό αέριο (m ³)	Νοέμβριος 2013 - Μάρτιος 2014 (χειμερινή περίοδος)	Προσδιορισμός των προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης
ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Οκτώβριος 2013 - Σεπτέμβριος 2014 (1 έτος)	Προσδιορισμός των προφίλ χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας
επίπεδα CO ₂ (ppm)	Οκτώβριος 2013 - Σεπτέμβριος 2014 (1 έτος)	Προσδιορισμός των προφίλ αερισμού
εσωτερική θερμοκρασία (°C)	Νοέμβριος 2013 - Μάρτιος 2014 (χειμερινή περίοδος)	Προσδιορισμός των θερμοκρασιών λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (συνδιαστικά με τα προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης)

Και οι 5 κατοικίες που μελετώνται σε αυτή την ενότητα βρίσκονται στον 4ο όροφο του ίδιου κτιρίου (Σχήμα 5). Έχουν παρόμοια αρχιτεκτονικά και θερμικά χαρακτηριστικά καθώς είναι μέρος του ίδιου κτιρίου. Οι βασικές τους διαφορές είναι στον προσανατολισμό, στη θερμαινόμενη επιφάνεια και σε ότι έχει να κάνει με τον ίδιο τον χρήστη (π.χ. αριθμός χρηστών, συνήθειες και πρακτικές, επιλογή συστημάτων και συσκευών, λειτουργία των συστημάτων και συσκευών) (Πίνακας 5).

Για την απομάκρυνση των ακραίων τιμών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis. Η μέθοδος Mahalanobis εντοπίζει πολυμεταβλητές ακραίες περιπτώσεις, μελετώντας τη σχέση πολλών μεταβλητών μεταξύ τους παρά την κάθε μεταβλητή ανεξάρτητα (Franklin et al., 2001). Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ήταν για να βοηθήσει στην απομάκρυνση των παρατηρήσεων που μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στις κύριες συνιστώσες. Για την εφαρμογή της μεθόδου Mahalanobis χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics.



Σχήμα 5 κάτοψη του ορόφου στον οποίο βρίσκονται οι υπό μελέτη κατοικίες

Η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες εφαρμόστηκε στο περιβάλλον του λογισμικού MATLAB. Ως μεταβλητές θεωρήθηκαν οι τιμές για κάθε μία από τις 24 ώρες της μέρας και ως παρατηρήσεις (cases) οι μέρες του χρόνου που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη (Πίνακας 9). Εφαρμόστηκε περιστροφή Varimax

και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας συνδιακύμανσης καθότι οι μεταβλητές έχουν την ίδια μονάδα μέτρησης.

Για την επιλογή των βασικών κύριων συνιστωσών ακολουθήθηκε ο προσαρμοσμένος κανόνας του Kaiser για την περίπτωση που χρησιμοποιείται πίνακας συνδιακύμανσης (Jolliffe, 2002) που ορίζει ως όριο για την επιλογή των πιο αντιπροσωπευτικών συνιστωσών τη μέση ιδιοτιμή $\bar{\lambda}$.

Για την ερμηνεία των Κύριων Συνιστωσών παρατηρήσαμε το γενικό μοτίβο των συντελεστών και όχι τις ίδιες τις τιμές των συντελεστών καθώς σε αυτή τη μελέτη είναι το γενικό μοτίβο που μας ενδιαφέρει ουσιαστικά. Κατασκευάστηκε μια απλοποιημένη απεικόνιση των κυρίων συνιστωσών ακολουθώντας μια μέθοδο που προτείνει ο Jolliffe (2002). Αυτή η απλή απεικόνιση θεωρείται βοηθητική για την ερμηνεία των κύριων συνιστωσών ειδικά όταν η ανάλυση εφαρμόζεται πάνω σε μεγάλο αριθμό μεταβλητών. Οι συντελεστές κάθε κύριας συνιστώσας κανονικοποιήθηκαν έτσι ώστε η μέγιστη τιμή να είναι το ± 1 και μόνο οι συντελεστές των οποίων οι απόλυτες τιμές, στρογγυλοποιημένες σε ένα δεκαδικό ψηφίο, ήταν μεγαλύτερες από μία τιμή λήφθηκαν υπόψιν για την ερμηνεία των κύριων συνιστωσών. Οι τιμές αποκοπής ορίζονται αυθαίρετα από τον ερευνητή κάθε φορά. Σε αυτή την μελέτη ως τιμές αποκοπής ορίστηκαν οι τιμές που προτείνονται από τον Jolliffe (2002) ως ακολούθως:

- τιμές μικρότερες από $|0.5|$: μη σημαντικοί συντελεστές. παρουσιάζονται ως κενές στους απλοποιημένους πίνακες αποτελεσμάτων.
- τιμές μεταξύ $|0.5|$ και $|0.7|$: συντελεστές μέτριας σημασίας. παρουσιάζονται σαν αστερίσκος μέσα σε παρένθεση στους απλοποιημένους πίνακες αποτελεσμάτων.
- τιμές μεγαλύτερες του $|0.7|$: πολύ σημαντικοί συντελεστές. παρουσιάζονται σαν αστερίσκος στους απλοποιημένους πίνακες αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια, προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν και να ομαδοποιηθούν τα πρότυπα συμπεριφοράς σε 24ωρα προφίλ, εφαρμόστηκε διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis) πάνω στις βασικές κύριες συνιστώσες. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics.

Η ανάλυση κατά συστάδες εφαρμόστηκε πάνω στο προβαλλόμενο μειωμένο σύνολο δεδομένων (reduced projected dataset) που προέκυψε από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες:

$$Y = XW$$

Εξίσωση 2

Όπου

X: το αρχικό σύνολο δεδομένων (μέρες x ώρες)

W: ο πίνακας μετασχηματισμού με τις βασικές Κύριες Συνιστώσες (ώρες x βασικές Κύριες Συνιστώσες)

Άρα ο πίνακας Y περιλαμβάνει τις μέρες x βασικές Κύριες Συνιστώσες.

Ως μέτρο ομοιότητας μεταξύ των συστάδων χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδεια απόσταση ενώ η επιλογή του άριστου αριθμού των συστάδων έγινε με βάση το κριτήριο πληροφόρησης του Akaike (AIC).

Η βασική διαφορά της ανάλυσης συστάδων από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες είναι ότι στην πρώτη ομαδοποιούνται οι παρατηρήσεις ενώ στη δεύτερη ομαδοποιούνται οι μεταβλητές σε γραμμικούς συνδυασμούς. Η ανάλυση κατά συστάδες συνέβαλε στην ομαδοποίηση και απεικόνιση των ημερών με κοινά χαρακτηριστικά για κάθε μία από τις μετρούμενες μεταβλητές: κατανάλωση φυσικού αερίου, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα.

Επάνω στη θερμοκρασία δεν εφαρμόστηκε ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες ή σε Συστάδες καθώς δεν ήταν στόχος της μελέτης αυτής να γίνει ανεξάρτητη μελέτη της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία μελετήθηκε μόνο συνοδευτικά με το φυσικό αέριο. Προκειμένου να σχηματιστεί καλύτερη εικόνα για τις ρυθμίσεις του συστήματος θέρμανσης, για τις πιο κοινές συστάδες σε κάθε κατοικία δημιουργήθηκαν οι καμπύλες εσωτερικής θερμοκρασίας για τις αντίστοιχες καμπύλες φυσικού αερίου για θέρμανση.

Οι διαμορφωμένες συστάδες είναι ουσιαστικά τα χαρακτηριστικά 24ωρα προφίλ (patterns) για κάθε μελετούμενη παράμετρο και κατοικία και είναι αυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα εισόδου σε μοντέλα ενεργειακής κατανάλωσης. Τα 24ωρα προφίλ που σχηματίζονται για κάθε συστάδα αποτελούνται από τις μέσες τιμές για κάθε ώρα της μέρας.

4.3 Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες

Για την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας και των συγκεντρώσεων CO₂ χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των δεδομένων για το πλήρες έτος. Τα πλήρη δεδομένα απεικονίζονται στο Παράρτημα III. Για την περίπτωση του φυσικού αερίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για τους 5 ψυχρούς μήνες (Νοέμβριος - Μάρτιος) κατά τους οποίους το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία (Πίνακας 12).

Ο αριθμός των ημερών που χρησιμοποιήθηκαν τελικά για κάθε μία από τις 3 μετρούμενες παραμέτρους συνοψίζεται στον Πίνακα 10. Αυτές προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου Mahalanobis για τον εντοπισμό των ακραίων περιπτώσεων. Από την ανάλυση αφαιρέθηκαν και οι μέρες με ελλιπή δεδομένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το φυσικό αέριο υπήρξε ένας μικρός αριθμός ημερών (όχι περισσότερες από 4 σε κάθε κατοικία) κατά τις οποίες έγινε μηδενική χρήση φυσικού αερίου λόγω απουσίας των χρηστών. Και αυτές οι μέρες αφαιρέθηκαν από το μελετούμενο σύνολο τιμών. Για την ηλεκτρική ενέργεια δεν υπήρξε καμία μέρα με μηδενικές τιμές λόγω προφανώς της λειτουργίας συσκευών σε αναμονή ή συσκευών σε μόνιμη λειτουργία όπως είναι το ψυγείο.

Πίνακας 10 Αριθμός ημερών που μελετήθηκαν σε κάθε περίπτωση

	D5	D10	D14	D17	D28
Φυσικό αέριο	128	134	141	144	137
Ηλεκτρική ενέργεια	278	313	322	345	302
Συγκεντρώσεις CO ₂	280	309	317	338	313

Ο προσαρμοσμένος κανόνας του Kaiser έδωσε τις παρακάτω κύριες συνιστώσες για κάθε μελετούμενη παράμετρο και κατοικία (Πίνακας 11).

Πίνακας 11 Αριθμός κύριων συνιστωσών και αντίστοιχο ποσοστό διακύμανσης που επεξηγούν

	D5		D10		D14		D17		D28	
	PCs	% of variance explained	PCs	% of variance explained	PCs	% of variance explained	PCs	% of variance explained	PCs	% of variance explained
Φυσικό αέριο	5	87%	3	83%	7	81%	8	73%	4	67%
Ηλεκτρική ενέργεια	5	74%	7	72%	8	75%	9	80%	5	76%
Συγκεντρώσεις CO ₂	3	93%	3	92%	3	88%	3	86%	2	93%

Τα χαρακτηριστικά και μία πρώτη ερμηνεία των Κύριων Συνιστωσών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες (4.3.1-4.3.3) για κάθε μετρούμενη παράμετρο. Στις ενότητες 4.4 και 4.5 δίνεται περαιτέρω ερμηνεία σε συνδιασμό και με τα αποτελέσματα από την ανάλυση σε συστάδες.

Οι Πίνακες 14-18, 20-24, 26-30 παρουσιάζουν τους κανονικοποιημένους πίνακες συνδιακύμανσης ώστε η μέγιστη τιμή να είναι το ± 1 για τις Κύριες Συνιστώσες για το φυσικό αέριο, την ηλεκτρική ενέργεια και το CO₂, αντίστοιχα, που επιλέχθηκαν για κάθε κατοικία. Η συμβολή της κάθε συνιστώσας στην επεξήγηση της συνολικής διακύμανσης φαίνεται στο κάτω μέρος του κάθε πίνακα. Στους ίδιους πίνακες παρουσιάζεται και μια απλοποιημένη απεικόνιση των συντελεστών κατά την οποία πινακοποιούνται μόνο οι συντελεστές που έχουν τιμή μεγαλύτερη του |0.5| και εκφράζονται μόνο με το πρόσημο του συντελεστή. Σε παρένθεση είναι οι συντελεστές που είχαν τιμή, μετά την κανονικοποίηση τους, μεταξύ 0,5 και 0,7. Χωρίς παρένθεση είναι οι συντελεστές με τιμή μεγαλύτερη του 0,7. Στο Παράρτημα II περιέχονται οι Πίνακες Συνδιακύμανσης με τις αρχικές τιμές των συντελεστών πριν την κανονικοποίηση τους.

Στόχος των επόμενων ενοτήτων είναι να μελετηθούν ποιοτικά οι ώρες τις μέρας (μεταβλητές) που συμβάλλουν περισσότερο στη διακύμανση της κάθε συνιστώσας δίνοντας έτσι μια πρώτη εικόνα των χαρακτηριστικών της καθημερινής συμπεριφοράς των χρηστών για κάθε μία από τις μετρούμενες παραμέτρους.

4.3.1 Χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση

Οι πέντε υπό μελέτη κατοικίες χρησιμοποιούν φυσικό αέριο για θέρμανση, μαγείρεμα και ζεστό νερό χρήσης. Τους πιο ζεστούς και τους ενδιάμεσους μήνες το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται μόνο για μαγείρεμα και ζεστό νερό χρήσης. Η μελέτη του φυσικού αερίου εστιάζει στους ψυχρούς μήνες του χρόνου (Νοέμβριος-Μάρτιος) κατά τους οποίους γίνεται χρήση του συστήματος θέρμανσης καθώς ως στόχο έχει την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών όσων αφορά τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης μόνο (Πίνακας 12) .

Πίνακας 12 Μηνιαίες μέσες, ελάχιστες και μέγιστες εξωτερικές θερμοκρασίες (Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014)

Μήνας	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Οκτώβρης	17	3,52	7,3	25,1
Νοέμβρης	11	5,06	-2,3	22,6
Δεκέμβρης	6,4	3,99	-3,3	14,5
Γενάρης	8,1	3,68	-2,9	15,6
Φλεβάρης	9,8	3,29	0,8	19,3
Μάρτης	11,1	4,6	1,1	24,5
Απρίλης	14,5	4,14	3,8	26,4
Μάης	17,5	4,44	7	28,4
Ιούνιος	22,8	4,98	10,6	35,7
Ιούλιος	23,2	4,26	14,1	34,7
Αύγουστος	23,2	4,18	12,8	32,4
Σεπτέμβρης	20,6	3,75	9,1	29,5

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 13) συνοψίζει τους βασικούς συντελεστές (component loadings) των Κύριων Συνιστωσών που εμφάνισαν τιμή μεγαλύτερη του 0,5 για κάθε κατοικία και προέκυψαν μετά από κανονικοποίηση του πίνακα συνδιακύμανσης. Είναι δηλαδή οι ώρες της μέρας που συνέβαλαν περισσότερο στη διακύμανση μίας η περισσότερων κύριων συνιστωσών για το φυσικό αέριο σε κάθε κατοικία. Τα πρόσημα και οι τιμές του κάθε συντελεστή παρουσιάζονται αναλυτικά στους επόμενους πίνακες της ενότητας αυτής.

Από τον Πίνακα 13 διακρίνονται ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πέντε κατοικίες. Και στις πέντε κατοικίες οι ώρες 07:00 και 18:00 συμβάλλουν σημαντικά στη διακύμανση κάποιας κύριας συνιστώσας. Οι ώρες αυτές είναι οι χαρακτηριστικές ώρες που μια οικογένεια ξυπνάει το πρωί (07:00) και επιστρέφει το απόγευμα από τη δουλειά ή το σχολείο (18:00). Απο τις 18:00 μέχρι τις 23:00 εμφανίζονται σημαντικοί συντελεστές για όλες τις κατοικίες αλλού συνεχόμενα και αλλού διακεκομένα κάτι αναμενόμενο καθώς εκείνες τις ώρες η οικογένεια είναι πιο πιθανό να είναι ενεργή στο

σπίτι και εκτός από ανάγκη για θέρμανση καταναλώνει φυσικό αέριο για μαγείρεμα και ζεστό νερό. Τις πρωινές ώρες το εύρος εμφάνισης συντελεστών είναι λίγο μικρότερο (06:00-08:00) κατί επίσης αναμενόμενο καθώς από τη στιγμή που η οικογένεια θα ξυπνήσει θα αφιερώσει όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο στο σπίτι όσο ετοιμάζεται για την μέρα.

Η σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στις κατοικίες γίνεται για τις μεσημεριανές ώρες. Οι κατοικίες D17 και D28 εμφανίζουν σημαντικούς συντελεστές για πολλές ώρες μέσα στο διάστημα 11:00-17:00, ενώ οι κατοικίες D10 και D14 εμφανίζουν από ένα σημαντικό συντελεστή στις 11:00 και 14:00, αντίστοιχα. Η κατοικία D5 δεν εμφανίζει κανένα σημαντικό συντελεστή το διάστημα 09:00-17:00. Για τις κατοικίες D17 και D28 αυτή η πρώτη γενική εικόνα δείχνει ότι μάλλον τουλάχιστον ένα μέλος της οικογένειας παραμένει στο σπίτι κατά τη διάρκεια της μέρας ακόμα και τις καθημερινές και εκτός από θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιεί φυσικό αέριο για μαγείρεμα και ζεστό νερό χρήσης. Μάλιστα για την κατοικία D28 εμφανίζονται σημαντικοί συντελεστές για 19 από τις 24 ώρες της μέρας. Για τις κατοικίες D10 και D14 καλύτερα συμπεράσματα θα μπορούν να εξαχθούν από την παρατήρηση των επι μέρους κύριων συνιστωσών.

Η πρώτη γενική εικόνα όμως ήδη επιβεβαιώνει το πόσο απρόβλεπτη μπορεί να είναι η συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών. Ναι μεν οι ομοιότητες υπάρχουν για συγκεκριμένες ώρες της μέρας (07:00 και 18:00), όμως για το σύνολο των ωρών οι διαφορές είναι μεγαλύτερες από τις ομοιότητες.

Πίνακας 13 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τη χρήση φυσικού αερίου κατά τους χειμερινούς μήνες

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D5						*	*	*										*	*	*	(*)			
D10						*	(*)				*							*		*				(*)
D14							*	*	*					*				*	*					*
D17							*	*			*		*	(*)			*	*	*	*	*	(*)		
D28	*	*		*	(*)	*	(*)	(*)				(*)	(*)	*	*	*	(*)	*	(*)	(*)	*	(*)	(*)	(*)

*: μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.7|
 (*):μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.5| και <|0.7|

Η πρώτη κύρια συνιστώσα για την κατοικία 5 (Πίνακας 14) δείχνει ότι οι 19:00 συμβάλλει το μέγιστο στην διακύμανση των αρχικών μεταβλητών του φυσικού αερίου. Οι επόμενες τρεις κύριες συνιστώσες έχουν σημαντικούς συντελεστές τόσο κατά τις πρωινές ώρες όσο και κατά τις βραδυνές. Οι ώρες αυτές είναι οι τυπικές ώρες προετοιμασίας πριν από την αναχώρηση από το σπίτι για δουλειά/σχολείο και των ωρών που η οικογένεια έχει επιστρέψει στο σπίτι και είναι ακόμα σε δραστηριότητα, αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται από τον απλοποιημένο Πίνακας 14 η κύρια πηγή διακύμανσης για τη δεύτερη συνιστώσα είναι οι 08:00, 20:00 και 21:00 (θετικό πρόσημο) σε σχέση όμως με τις 06:00 (αρνητικό

πρόσημο). Για την τρίτη συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι 18:00 (θετικό πρόσημο) σε σχέση όμως με τις 07:00 (αρνητικό πρόσημο).

Για την τέταρτη συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι 20:00 (θετικό πρόσημο) σε σχέση όμως με τις 07:00 (αρνητικό πρόσημο), ενώ για την πέμπτη συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι 06:00, 07:00 και 18:00 (αρνητικό πρόσημο) σε σχέση όμως με τις 19:00 (θετικό πρόσημο).

Η τέταρτη και η πέμπτη συνιστώσα ναι μεν παρουσιάζουν κάποια σχέση ανάμεσα σε ώρες της μέρας που έχουν σημαντικούς συντελεστές με θετικά και αρνητικά πρόσημα, δεν εμφανίζουν όμως καμία καινούρια σημαντική ώρα. Όλες οι σημαντικές ώρες που περιέχονται σε αυτές τις δύο συνιστώσες έχουν παρουσιαστεί ήδη στις πρώτες τρεις συνιστώσες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο αυτές συνιστώσες εξηγούν το 5,77% και το 4,47% της διακύμανσης, αντίστοιχα. Θα μπορούσαν άρα να επιβεβαιώνουν το κριτήριο επιλογής κύριων συνιστωσών που λέει ότι μία κύρια συνιστώσα που εξηγεί λιγότερο από το 5% της αρχικής διακύμανσης μπορεί να απορριφθεί καθώς περιλαμβάνει στην ουσία απλά μαθηματικά υπόλοιπα που δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη φυσική ερμηνεία.

Πίνακας 14 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης					Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών					Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	
1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00						
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
3	0,00	0,01	0,01	-0,03	0,03						
4	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00						
5	-0,01	0,00	0,01	0,02	-0,09						
6	0,33	-1,00	-0,07	0,38	-1,00		-			-	*
7	0,41	0,49	-0,61	-0,52	-0,90			(-)	(-)	-	*
8	0,17	0,91	-0,13	-0,19	-0,13		+				*
9	0,01	0,33	0,03	0,00	0,04						
10	0,00	0,02	-0,01	-0,04	0,00						
11	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,02						
12	-0,01	0,12	0,00	0,00	0,08						
13	0,00	0,05	0,02	-0,07	0,04						
14	0,04	0,11	0,02	0,00	0,13						
15	0,01	0,04	0,00	0,05	0,06						
16	0,13	0,14	0,02	-0,09	0,39						
17	0,24	0,36	0,28	-0,30	0,39						
18	0,10	0,36	1,00	-0,12	-0,83			+		-	*
19	1,00	-0,16	0,14	0,19	0,62	+				(+)	*
20	0,06	0,77	-0,15	1,00	-0,04		+		+		*
21	-0,09	0,66	0,02	0,36	-0,37		(+)				(*)
22	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,08						

23	0,00	-0,01	-0,01	0,01	-0,02						
24	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01						
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	43,60	65,92	76,36	82,13	86,60						

Η πρώτη κύρια συνιστώσα για την κατοικία 10 (Πίνακας 15) δείχνει ότι οι 06:00, 07:00, 18:00 και 23:00 συμβάλλουν το μέγιστο στην διακύμανση των αρχικών μεταβλητών του φυσικού αερίου. Οι επόμενες δύο κύριες συνιστώσες έχουν από ένα σημαντικό συντελεστή η κάθε μία, τις 20:00 και 11:00 αντίστοιχα. Η συνιστώσα που περιέχει τον σημαντικό συντελεστή στις 11:00 εξηγεί το 8,5% της συνολικής διακύμανσης.

Πίνακας 15 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης			Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών			Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	
1	-0,01	0,00	0,00				
2	0,00	0,00	0,00				
3	0,00	0,00	0,00				
4	0,00	0,00	0,00				
5	-0,03	-0,01	0,24				
6	1,00	0,39	-0,18	+			*
7	0,55	0,04	-0,18	(+)			(*)
8	0,17	-0,01	0,01				
9	-0,01	0,01	0,00				
10	-0,02	0,01	0,02				
11	0,11	0,06	1,00			+	*
12	-0,01	0,05	0,22				
13	-0,07	0,05	0,01				
14	-0,04	0,02	0,01				
15	-0,02	0,00	0,01				
16	-0,01	0,01	0,01				
17	0,04	-0,01	-0,05				
18	0,77	-0,33	0,13	+			*
19	0,19	-0,04	-0,01				
20	0,08	1,00	0,08		+		*
21	0,04	0,47	0,03				
22	-0,05	0,10	0,03				
23	0,65	-0,35	0,12	(+)			(*)
24	0,18	-0,09	-0,03				

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	52,53	74,04	82,52
--	-------	-------	-------

Η Κατοικία 14 εμφανίζει ένα σχετικά μεγάλο αριθμό Κύριων Συνιστώσων σε σύγκριση με τις προηγούμενες τρεις κατοικίες (Πίνακας 16). Έχει ενδιαφέρον όμως το γεγονός ότι η κύρια πηγή διακύμανσης για τις τέσσερις πρώτες Κύριες Συνιστώσες είναι είτε μία πρωινή είτε μεσημεριανή ώρα (07:00, 08:00, 14:00 και 09:00) ενώ για τις τελευταίες τρεις συνιστώσες η κύρια πηγή διακύμανση είναι κάποια απογευματινή ή βραδυνή ώρα (20:00, 23:00 και 18:00). Μόνο μία ώρα είναι σημαντική για κάθε συνιστώσα και μάλιστα κάθε μία είναι μοναδική, δεν εμφανίζεται σε κάποια άλλη συνιστώσα δηλαδή.

Πίνακας 16 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης							Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών							Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
6	0,07	0,00	-0,15	-0,01	0,07	0,45	0,05								
7	1,00	-0,03	0,06	-0,05	-0,06	0,19	0,03	+							*
8	-0,03	1,00	0,06	-0,08	0,31	0,08	0,06		+						*
9	0,02	0,08	-0,02	1,00	-0,09	0,04	0,01				+				*
10	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,08								
11	0,02	0,06	0,02	0,00	-0,02	-0,07	0,22								
12	0,04	-0,01	0,09	-0,01	0,09	0,02	-0,11								
13	0,13	-0,03	-0,10	0,02	0,00	-0,06	-0,04								
14	0,02	0,03	-1,00	-0,02	0,02	0,02	0,03			-					*
15	-0,01	0,03	0,07	0,05	0,09	0,50	0,09								
16	0,04	0,03	0,01	-0,04	-0,04	0,18	-0,07								
17	0,19	0,29	-0,02	0,06	-0,38	-0,21	-0,49								
18	0,07	0,04	0,03	0,02	-0,14	-0,11	1,00							+	*
19	0,13	-0,15	-0,03	0,13	1,00	-0,02	-0,05								*
20	0,00	0,02	-0,06	-0,04	-0,03	0,08	-0,05					+			
21	0,07	0,09	0,01	0,02	-0,03	0,02	-0,13								
22	0,10	0,21	-0,13	-0,01	-0,12	-0,40	0,16								
23	-0,12	0,04	-0,03	-0,02	-0,21	1,00	0,02						+		*
24	-0,01	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,02	0,01								

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	34,37	45,86	54,40	62,56	69,96	76,04	81,04
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Η Κατοικία 17 παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό Κύριων Συνιστώσων για φυσικό αέριο από όλες τις μελετούμενες κατοικίες (Πίνακας 17). Οι πρώτες τέσσερις Κύριες Συνιστώσες έχουν μόνο μία κύρια πηγή διακύμανσης. Οι σημαντικές ώρες για αυτές τις τέσσερις συνιστώσες είναι, εναλλάξ, απογευματινές και πρωινές (19:00, 08:00, 18:00 και 07:00).

Για τις συνιστώσες 5 και 6 οι πηγές διακύμανσης είναι περισσότερες από μία. Για την συνιστώσα 5 η κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι μεσημεριανές ώρες 13:00-14:00 ενώ για τη συνιστώσα 6 οι βραδυνές ώρες 20:00-22:00. Η κύρια πηγή διακύμανσης της συνιστώσας 7 είναι οι 11:00 ενώ της συνιστώσας 8 οι 17:00.

Παρόλο το μεγάλο αριθμό κύριων συνιστώσων όλες οι πηγές διακύμανσης είναι μοναδικές, δεν εμφανίζονται σε κάποια άλλη συνιστώσα δηλαδή.

Πίνακας 17 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης								Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών								Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	
1	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,02	-0,02									
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
7	-0,02	-0,01	0,08	1,00	0,11	0,15	-0,02	-0,11				+					*
8	-0,09	1,00	-0,01	-0,01	-0,05	0,01	-0,04	-0,02		+							*
9	-0,08	-0,01	0,03	-0,37	0,22	0,30	0,07	-0,14									
10	-0,01	-0,12	-0,17	-0,27	0,02	0,36	0,48	-0,11									
11	0,05	0,05	0,05	0,10	-0,09	-0,10	1,00	0,03							+		*
12	-0,04	0,18	0,03	-0,15	0,16	0,13	0,27	0,11									
13	0,01	0,03	0,08	-0,02	1,00	0,02	-0,04	0,14					+				*
14	0,11	-0,05	-0,14	0,05	0,68	-0,10	0,02	-0,20					(+)				(*)
15	-0,09	0,00	-0,07	-0,07	0,14	0,34	0,06	-0,17									
16	0,03	0,10	-0,06	-0,01	0,29	0,04	-0,02	-0,39									
17	-0,05	-0,02	0,03	0,01	-0,15	-0,04	0,03	-1,00								-	*
18	-0,05	-0,02	1,00	-0,12	0,07	-0,04	0,05	-0,05			+						*
19	1,00	0,09	0,03	-0,01	0,01	-0,10	0,05	0,00	+								*
20	0,22	0,02	0,08	-0,20	-0,15	1,00	-0,32	-0,07						+			*
21	0,03	0,03	0,03	0,33	0,01	0,90	0,19	0,07						+			*
22	-0,16	-0,07	-0,03	0,01	0,05	0,53	0,03	0,18						(+)			(*)
23	-0,12	0,06	-0,11	-0,07	0,19	-0,09	0,00	-0,01									
24	0,01	0,06	0,00	0,03	0,07	0,05	0,04	-0,03									

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	14,45	28,14	38,59	47,14	54,58	61,43	67,93	72,99
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Στην κατοικία 28 δεν εμφανίζονται μεμονωμένες ώρες ως κύριες πηγές διακύμανσης για κάθε κύρια συνιστώσα (Πίνακας 18). Στην περίπτωση της κατοικίας αυτής οι κύριες πηγές διακύμανσης είναι φάσεις της μέρας παρά ώρες.

Οι κύριες πηγές διακύμανσης για την πρώτη συνιστώσα είναι οι πρώτες πρωινές, με εξαίρεση τις 03:00, μέχρι και τις 08:00 καθώς και οι 12:00 το μεσημέρι. Για την δεύτερη συνιστώσα οι κύριες πηγές διακύμανσης είναι οι 15:00-17:00, για την τρίτη οι 13:00-14:00 και για την τέταρτη συνιστώσα όλες σχεδόν οι απογευματινές και βραδυνές ώρες (17:00-23:00).

Πίνακας 18 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D28

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης				Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών				Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	
1	0,76	-0,05	0,00	-0,02	+				*
2	0,89	0,01	-0,14	-0,06	+				*
3	0,48	-0,11	0,16	0,16					
4	1,00	0,10	-0,23	-0,08	+				*
5	0,54	-0,16	0,13	0,12	(+)				(*)
6	0,74	0,08	-0,06	0,04	+				*
7	0,69	-0,04	0,12	-0,08	(+)				(*)
8	0,61	-0,01	0,06	0,16	(+)				(*)
9	0,44	-0,22	0,43	0,12					
10	0,36	0,12	-0,08	0,24					
11	0,13	-0,29	0,29	0,49					
12	0,65	0,05	0,09	0,01	(+)				(*)
13	-0,14	0,06	0,63	0,24			(+)		(*)
14	0,02	0,20	1,00	-0,34			+		*
15	-0,25	0,94	0,05	0,18		+			*
16	0,29	1,00	0,16	-0,32		+			*
17	0,04	0,63	-0,23	0,56		(+)		(+)	(*)
18	-0,39	0,01	0,08	1,00				+	*
19	-0,05	0,10	0,12	0,62				(+)	(*)
20	0,18	0,16	-0,15	0,60				(+)	(*)
21	-0,09	-0,12	0,06	0,82				+	*
22	0,14	0,03	-0,03	0,58				(+)	(*)
23	0,08	-0,12	0,09	0,64				(+)	(*)
24	0,30	0,05	-0,06	0,47					

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	48,81	57,05	62,19	67,01
--	-------	-------	-------	-------

4.3.2 Ηλεκτρική ενέργεια

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τους βασικούς συντελεστές (component loadings) των Κύριων Συνιστωσών ηλεκτρικής ενέργειας (Πίνακας 19) που εμφάνισαν τιμή μεγαλύτερη του 0,5 για κάθε κατοικία. Είναι δηλαδή οι ώρες της μέρας που συνέβαλαν περισσότερο στη διακύμανση μίας η περισσότερων κύριων συνιστωσών για την ηλεκτρική ενέργεια σε κάθε κατοικία. Τα πρόσημα και οι τιμές του κάθε συντελεστή παρουσιάζονται αναλυτικά στους επόμενους πίνακες.

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των συσκευών και για φωτισμό. Από τον Πίνακα 19 διακρίνονται αρκετές ομοιότητες αλλά και διαφορές ανάμεσα στις πέντε κατοικίες. Η βασική ομοιότητα είναι στη φάση της μέρας που κανένας βασικός συντελεστής δεν συμβάλλει σημαντικά στη διακύμανση κάποιας κύριας συνιστώσας. Η φάση αυτή είναι το διάστημα 01:00-07:00 που συνήθως οι οικογένειες κοιμούνται και άρα δεν κάνουν έντονη χρήση κάποιας συσκευής ή του συστήματος φωτισμού.

Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, οι δύο κατοικίες D17 και D28 που από την ανάλυση του φυσικού αερίου προκύπτει ότι μπορεί κάποιο μέλος της οικογένειας μάλλον βρίσκεται στο σπίτι τις συνηθισμένες ώρες εργασίας (09:00-17:00), δεν εμφανίζουν κάποιο σημαντικό συντελεστή μετά τις 22:00. Εάν η υπόθεση ότι κάποιο μέλος της οικογένειας βρίσκεται όντως στο σπίτι τις μεσημεριάνες ώρες τότε θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κάποιες δραστηριότητες που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια όπως είναι παραδείγματος χάριν το πλυντήριο ρούχων και πιάτων γίνονται κατά τη διάρκεια της μέρας. Στις υπόλοιπες κατοικίες αυτές οι δραστηριότητες μπορεί είτε να γίνονται τις βραδυνες ώρες είτε τις μεσημεριανές ώρες τα σαββατοκύριακα που στατιστικά είναι λιγότερες μέρες το χρόνο και άρα δεν εμφανίζονται τόσο έντονα στις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Και για την ηλεκτρική ενέργεια, η πρώτη γενική εικόνα επιβεβαιώνει το πόσο διαφορετική και απρόβλεπτη μπορεί να είναι η συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών απο μία κατοικία σε άλλη.

Πίνακας 19 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D5									*	(*)	*	(*)		(*)		(*)		*	*	*	*	*		
D10											(*)	*	*					*	*	*	*	*	*	(*)
D14								*	*				*	*					*	*	*	*	*	
D17									*	*	*	*	*	*	*	(*)	(*)	*	*	*	*	(*)		

D28

(*) : μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.7|
 (*):μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.5| και <|0.7|

Για την κατοικία 5 οι βασικές πηγές διακύμανσης για τις τέσσερις πρώτες κύριες συνιστώσες είναι βραδυνές (Πίνακας 20). Για την πρώτη κύρια συνιστώσα η βασική πηγή διακύμανσης είναι οι 19:00, για την δεύτερη οι 18:00, για την τρίτη οι 20:00 και για την τέταρτη οι 21:00-22:00. Το διάστημα αυτό συμβαδίζει τόσο με τις ώρες της μέρας που μια οικογένεια έχει επιστρέψει στο σπίτι και είναι ακόμα ξύπνια αλλά και με τις ώρες της μέρας που υπάρχει αυξημένη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό.

Η πέμπτη συνιστώσα έχει αρκετές πηγές διακύμανσης (09:00-12:00, 14:00 και 16:00) και μάλιστα σε ώρες της μέρας που οι ανάγκες για φωτισμό είναι μειωμένες. Άρα οι ώρες αυτές της μέρας μπορεί αν σχετίζονται με άλλες ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια και με σαββατοκύριακα ή αργίες που η οικογένεια μπορεί να βρίσκεται στο σπίτι τις συγκεκριμένες ώρες της μέρας.

Πίνακας 20 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης					Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών					Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	
1	0	-0,03	0,01	0	0,03						
2	-0,01	-0,01	0,05	-0,04	0,03						
3	-0,01	-0,02	0,02	0	-0,01						
4	0	0	0,04	-0,01	0,06						
5	0	0,01	0,02	-0,04	-0,01						
6	0	0,07	0	-0,02	-0,05						
7	0,01	0,01	-0,03	0,13	-0,13						
8	0,03	-0,06	-0,01	0,02	0,3						
9	-0,03	-0,11	0,03	0,01	1					+	*
10	0	-0,04	0,02	-0,03	0,69					(+)	(*)
11	0	-0,07	0,03	0,02	0,83					+	*
12	-0,02	-0,01	0,02	0	0,64					(+)	(*)
13	0,03	-0,02	0	0,02	0,36						
14	-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,55					(+)	(*)
15	-0,02	0	0,02	-0,03	0,37						
16	-0,01	0	0,03	-0,02	0,67					(+)	(*)
17	0,02	0,1	-0,01	-0,03	0,35						
18	0,01	1	-0,03	0,01	0,23		+				*
19	1	-0,01	-0,08	-0,02	0,04	+					*
20	-0,08	-0,05	-1	-0,05	0,12			-			*

21	0	0,04	-0,1	1	-0,07					+	*
22	0,03	-0,05	0,06	0,75	0,08					+	*
23	-0,01	-0,04	0,03	0,28	0,11						
24	0	-0,03	0,02	0,05	0,19						

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	34,42	47,36	58,31	67,25	74,25
---	-------	-------	-------	-------	-------

Και για την κατοικία 10 οι βασικές πηγές διακύμανσης για τις πρώτες τρεις κύριες συνιστώσες είναι βραδυνές (Πίνακας 21). Για την πρώτη κύρια συνιστώσα η βασική πηγή διακύμανσης είναι οι 21:00, για την δεύτερη οι 19:00, για την τρίτη οι 22:00. Το ίδιο συμβαίνει και για τις τελευταίες τρεις συνιστώσες (πέμπτη-έβδομη). Για την πέμπτη κύρια συνιστώσα η βασική πηγή διακύμανσης είναι οι 20:00, για την έκτη οι 18:00 και την έβδομη οι 23:00-24:00. Για τις τελευταίες συνιστώσες 6 και 7 μπορεί κάποιος να πει ότι οι κύριες πηγές διακύμανσης είναι ώρες με λιγότερες πιθανότητες οι χρήστες να έχουν φτάσει στο σπίτι (18:00) ή να είναι ακόμα ξύπνιοι (23:00-24:00).

Η τέταρτη συνιστώσα είναι η μόνη με πηγές διακύμανσης μη βραδυνές ώρες (11:00-13:00). Θα μπορούσε να σχετίζεται με σαββατοκύριακα ή αργίες που η οικογένεια μπορεί να βρίσκεται στο σπίτι τις συγκεκριμένες ώρες της μέρας.

Πίνακας 21 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης							Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών							Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	
1	-0,04	-0,02	-0,06	-0,06	-0,02	0,20	-0,15								
2	-0,01	-0,02	0,00	-0,02	0,02	0,17	0,00								
3	-0,01	0,03	0,00	-0,05	-0,01	0,08	0,00								
4	-0,02	-0,01	0,00	-0,08	-0,01	0,13	0,00								
5	0,00	0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,04	0,00								
6	-0,01	-0,04	-0,03	0,00	0,01	0,02	-0,03								
7	0,00	-0,05	0,00	0,07	0,00	0,05	0,07								
8	-0,03	0,00	0,03	0,03	-0,08	0,01	-0,02								
9	0,02	-0,01	-0,04	0,05	0,01	0,23	-0,07								
10	-0,01	0,00	0,02	-0,03	-0,01	0,18	0,00								
11	-0,05	0,06	0,21	-0,52	0,01	-0,02	0,20				(-)				(*)
12	0,03	0,06	-0,06	-1,00	0,07	-0,03	-0,09				-				*
13	0,01	-0,08	-0,05	-0,77	0,02	0,20	-0,04				-				*
14	0,01	0,00	0,02	-0,30	0,00	0,15	-0,02								
15	-0,04	-0,02	-0,01	-0,23	-0,04	0,21	-0,03								
16	0,02	0,01	-0,02	-0,14	-0,01	0,30	-0,04								
17	0,02	-0,03	-0,05	-0,01	-0,03	0,45	-0,06								
18	0,02	-0,06	0,15	0,26	0,02	1,00	0,18						+		*

19	-0,03	1,00	-0,02	0,06	0,00	0,11	-0,07		+						*
20	0,08	0,01	-0,08	-0,08	-1,00	0,00	0,05					-			*
21	1,00	0,03	0,02	0,02	0,07	-0,02	-0,02	+							*
22	0,01	0,03	1,00	-0,06	-0,08	-0,08	0,02			+					*
23	-0,05	-0,08	0,17	0,11	-0,05	0,02	-1,00							-	*
24	0,05	0,03	-0,11	-0,04	0,00	0,11	-0,54							(-)	(*)
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	19,69	32,96	44,35	53,50	60,55	67,15	72,17								

Η κατοικία 14 εμφανίζει 8 Κύριες Συνιστώσες (Πίνακας 22). Οι βασικές πηγές διακύμανσης είναι μία ώρα για κάθε συνιστώσα, με την εξαίρεση της έκτης κύριας συνιστώσας που έχει τρεις βασικές πηγές διακύμανσης.

Οι σημαντικοί συντελεστές (βασική πηγή διακύμανσης) εμφανίζονται κυρίως για βραδυνές ώρες και λιγότερο τις πρωινές ώρες. Μόνη εξαίρεση η έκτη συνιστώσα που έχει σημαντικούς συντελεστές τις μεσημεριανές ώρες 13:00-14:00. Για την πρώτη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι 22:00 και για την δεύτερη οι 09:00.

Πίνακας 22 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης								Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών								Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	
1	0,04	0,03	0,02	-0,03	0,02	0,03	0,02	0,01									
2	0,00	0,05	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,03	0,01									
3	0,01	0,01	-0,05	-0,01	0,04	0,01	0,03	0,01									
4	0,00	0,03	-0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00									
5	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,03	-0,01	0,03	-0,01									
6	-0,01	0,03	-0,01	-0,01	0,07	-0,01	0,01	-0,03									
7	0,05	-0,06	-0,03	-0,04	0,12	0,00	0,32	-0,02									
8	-0,05	0,10	0,06	0,04	-0,11	0,06	1,00	0,00							+		*
9	0,03	1,00	-0,10	0,03	-0,22	0,13	-0,07	-0,09		+							*
10	-0,01	0,37	0,01	0,00	0,06	-0,07	0,00	0,03									
11	0,01	0,18	0,01	-0,01	0,16	-0,01	-0,01	0,04									
12	0,01	0,14	-0,04	-0,01	0,32	-0,04	0,00	0,07									
13	-0,02	0,09	-0,12	0,01	1,00	-0,05	-0,02	0,00							+		*
14	0,01	0,08	-0,08	-0,02	0,84	0,07	0,01	-0,02							+		*
15	0,01	-0,03	0,07	0,05	0,46	-0,05	0,08	-0,02									
16	0,02	-0,01	0,04	-0,02	0,38	0,02	0,04	-0,03									
17	0,00	-0,02	0,06	0,00	0,26	0,05	0,03	-0,01									
18	0,05	0,00	0,34	0,01	0,17	-0,04	0,15	0,02									
19	-0,01	0,11	1,00	-0,03	0,07	0,06	-0,12	-0,01			+						*

20	0,01	-0,12	-0,04	0,00	0,05	1,00	-0,04	0,01											*
21	-0,01	-0,02	0,02	1,00	0,02	0,00	-0,03	0,04					+						*
22	1,00	-0,02	0,00	0,01	-0,02	-0,01	0,02	-0,02	+										*
23	0,03	0,06	0,00	-0,04	0,00	0,01	0,01	1,00										+	*
24	-0,01	0,03	-0,01	0,01	-0,05	0,01	-0,03	0,24											
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	18,63	32,02	43,91	51,76	58,36	64,37	70,24	74,85											

Η Κατοικία 17 παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό Κύριων Συνιστωσών για ηλεκτρική ενέργεια από όλες τις μελετούμενες κατοικίες (Πίνακας 23). Οι βασικές πηγές διακύμανσης καλυπτουν όλες τις ώρες από τις 09:00 μέχρι τις 21:00.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη κύρια συνιστώσα δεν έχουν βασική πηγή διακύμανσης κάποια βραδινή ή ακόμα και πρωινή ώρα. Η βασική πηγή διακύμανσης είναι οι 11:00, 12:00 και 15:00. Μάλιστα για την πρώτη κύρια συνιστώσα κύρια πηγή διακύμανσης είναι οι 15:00 (θετικό πρόσημο) σε σχέση όμως με τις 12:00 (αρνητικό πρόσημο). Θα μπορούσε αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιο από τα μέλη της οικογένειας παραμένει στο σπίτι κατά τη διάρκεια της μέρας.

Πίνακας 23 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης									Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών									Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	
1	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	-0,03	0,00										
2	0,00	0,02	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	-0,01	0,00										
3	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
4	-0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	-0,01	-0,01										
5	0,01	0,01	-0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01										
6	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,02										
7	0,04	0,01	0,00	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	-0,01										
8	0,04	-0,04	0,07	-0,02	0,03	-0,06	0,00	0,05	0,23										
9	0,04	-0,01	0,02	0,18	-0,02	-0,01	-0,08	0,04	1,00									+	*
10	-0,06	0,13	-0,01	1,00	-0,11	0,07	0,09	-0,08	0,06				+						*
11	0,05	1,00	0,04	0,26	0,20	-0,16	0,04	0,15	-0,20		+								*
12	-1,00	0,54	-0,11	-0,36	-0,24	0,12	0,19	0,01	0,23	-	(+)								*
13	0,14	-0,12	0,11	-0,02	-0,11	-0,13	1,00	0,05	-0,05								+		*
14	0,08	-0,07	0,00	0,09	-1,00	-0,04	-0,03	0,01	-0,04					-					*
15	0,94	0,50	-0,06	-0,28	-0,32	0,09	-0,11	0,01	0,03	+	(+)								*
16	0,47	0,11	-0,15	-0,12	0,22	0,63	0,29	-0,07	0,29						(+)				(*)
17	0,01	0,00	-0,04	0,05	0,04	0,67	0,05	-0,03	-0,03						(+)				(*)

18	-0,23	-0,05	0,14	0,07	-0,12	1,00	-0,11	0,10	-0,21									*
19	0,03	0,07	1,00	-0,06	0,02	0,04	-0,02	0,03	0,06			+						*
20	-0,07	0,17	0,12	-0,09	-0,04	-0,02	-0,07	-1,00	0,08							-		*
21	0,03	-0,02	-0,05	0,05	0,03	0,00	0,11	-0,67	-0,12							(-)		(*)
22	0,03	-0,07	-0,04	0,10	0,01	0,04	0,01	-0,30	-0,08									
23	0,00	-0,05	0,03	0,06	-0,03	-0,01	0,00	-0,05	-0,09									
24	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	-0,01	0,01									
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	17,44	31,30	43,66	51,69	58,61	64,91	70,89	75,73	80,29									

Όπως η Κατοικία 17 έτσι και η κατοικία 28 δεν έχει ως βασική πηγή διακύμανση για την πρώτη συνιστώσα κάποια βραδυή ή πρωινή ώρα (Πίνακας 24). Οι βασικές πηγές διακύμανσης για την πρώτη κύρια συνιστώσα είναι οι 15:00 και 16:00.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι από τις πέντε κύριες συνιστώσες μόνο η δεύτερη έχει σημαντικούς συντελεστές σε βραδυνές ώρες (20:00-21:00) και μόνο η τέταρτη σε πρωινές ώρες (09:00-10:00). Οι υπόλοιπες τρεις συνιστώσες έχουν σημαντικούς συντελεστές τις μεσημεριανές ώρες 13:00-16:00. Θα μπορούσε αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιο από τα μέλη της οικογένειας παραμένει στο σπίτι κατά τη διάρκεια της μέρας.

Πίνακας 24 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D28

Ώρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης					Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών					Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	
1	0,05	0,25	-0,03	0,04	-0,01						
2	0,01	0,21	0,00	0,09	0,00						
3	0,05	0,21	-0,07	0,09	0,02						
4	0,06	0,24	-0,03	0,07	-0,04						
5	0,02	0,21	-0,03	0,09	0,03						
6	0,04	0,20	-0,04	0,10	0,00						
7	0,05	0,22	-0,06	0,05	0,03						
8	-0,01	0,05	0,01	0,14	-0,03						
9	-0,06	0,01	0,05	0,59	-0,02				(+)		(*)
10	0,01	0,03	-0,04	1,00	0,01				+		*
11	0,05	0,29	-0,08	0,40	0,07						
12	0,03	0,21	0,01	0,19	0,02						
13	0,00	0,10	-0,01	-0,01	1,00					+	*
14	0,07	-0,08	1,00	0,11	0,02			+			*
15	1,00	-0,04	-0,04	-0,12	0,03	+					*
16	0,67	-0,01	0,04	-0,01	0,05	(+)					(*)

17	0,40	0,29	-0,01	0,07	-0,13						
18	0,16	0,35	-0,05	0,13	-0,12						
19	-0,05	0,29	0,03	0,03	0,04						
20	-0,12	1,00	0,10	-0,23	-0,02		+				*
21	-0,10	0,94	0,09	-0,24	-0,02		+				*
22	0,02	0,38	0,00	0,06	0,01						
23	0,03	0,39	0,00	0,08	-0,06						
24	0,02	0,30	-0,04	0,08	0,00						
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	46,93	58,38	65,92	71,59	76,36						

4.3.3 Συγκεντρώσεις CO₂

Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε κτίρια είναι ενδεικτικά της αποδοτικότητας των τεχνικών αερισμού και της παρουσίας ανθρώπων. Μπορούν δηλαδή να δώσουν πληροφορίες για τα διαστήματα μέσα στη μέρα που οι χρήστες είναι παρόντες σε ένα χώρο αλλά και των συνηθειών αερισμού στον εν λόγω χώρο.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις ώρες της ημέρας που αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή διακύμανσης (Πίνακας 25). Είναι ουσιαστικά η σύνοψη όλων των συντελεστών των Κύριων Συνιστωσών για το διοξείδιο του άνθρακα που εμφάνισαν τιμή μεγαλύτερη του 0,5 για κάθε κατοικία. Τα πρόσρημα και οι τιμές του κάθε συντελεστή παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω (Πίνακας 26-Πίνακας 30).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακας 25 οι πηγές διακύμανσης του διοξειδίου του άνθρακα δεν διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στις κατοικίες. Μάλιστα οι ώρες της μέρας που δεν εμφανίζουν σημαντικό συντελεστή σε κάποια κύρια συνιστώσα είναι είτε μηδενικές (κατοικίες D10 και D28) είτε μόνο μία ώρα της μέρα (κατοικίες D5, D14 και D17).

Πίνακας 25 Σύνοψη σημαντικών συντελεστών από το σύνολο των κύριων συνιστωσών για τα επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(*)	(*)		(*)	*	*	*	*	*
D10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(*)	*	*	*	*	*	*	*	(*)	*	*	*	*	*
D14	*	*	*	*	*	*	*	(*)	(*)		(*)	*	*	*	*	*	*	(*)		*	*	*	*	*
D17	*	*	*	*	*	*	*	(*)	*	*	*		(*)	*	*	*	*	(*)	(*)	*	*	*	*	*
D28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(*)	(*)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(*)

*: μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.7|

(*):μία ή περισσότερες Κύριες Συνιστώσες με κανονικοποιημένο συντελεστή >|0.5| και <|0.7|

Η Κατοικία 5 παρουσιάζει τρεις Κύριες Συνιστώσες (Πίνακας 26). Για κάθε μία κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης δεν είναι κάποια μεμονωμένη ώρα όπως συνέβαινε για το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια αλλά φάσεις της μέρας. Για την πρώτη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι το διάστημα 01:00-09:00. Για τη δεύτερη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι το διάστημα 19:00 με 24:00 ενώ για την τρίτη το διάστημα 09:00-17:00.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εξηγεί το 74,3% της συνολικής διακύμανσης ενώ οι επόμενες δύο το 12,08% και το 6,58%, αντίστοιχα.

Πίνακας 26 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης			Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών			Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	
1	0,99	-0,02	-0,12	+			*
2	1,00	0,00	-0,12	+			*
3	1,00	0,01	-0,10	+			*
4	1,00	0,01	-0,08	+			*
5	0,99	0,01	-0,05	+			*
6	0,98	0,03	-0,06	+			*
7	0,99	0,04	-0,03	+			*
8	0,83	-0,04	0,40	+			*
9	0,53	-0,10	0,81	(+)		+	*
10	0,29	-0,08	0,99			+	*
11	0,12	-0,02	1,00			+	*
12	0,01	0,00	0,98			+	*
13	-0,11	-0,01	0,97			+	*
14	-0,16	0,01	0,85			+	*
15	-0,17	0,02	0,73			+	*
16	-0,16	0,02	0,66			(+)	(*)
17	-0,11	0,04	0,57			(+)	(*)
18	-0,09	0,21	0,40				
19	-0,09	0,63	0,16		(+)		(*)
20	-0,10	1,00	0,11		+		*
21	-0,01	1,00	0,03		+		*
22	0,02	0,94	-0,04		+		*
23	0,10	0,86	-0,08		+		*
24	0,17	0,81	-0,10		+		*
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	74,30	86,38	92,96				

Η Κατοικία 10 παρουσιάζει και αυτή τρεις Κύριες Συνιστώσες (Πίνακας 27). Σε αντίθεση με την Κατοικία 5, και όπως θα διαπιστωθεί και στην πορεία και με τις Κατοικίες 14, 17 και 28, η κύρια πηγή διακύμανσης για την πρώτη συνιστώσα δεν είναι πρωινές ώρες αλλά το διάστημα 20:00-24:00. Για τη δεύτερη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι το διάστημα 01:00 με 10:00 ενώ για την τρίτη το διάστημα 11:00-19:00. Αν και το πρόσημο του συντελεστή δεν παίζει ρόλο στο ποσοστό της διακύμανσης που εξηγεί η Κύρια Συνιστώσα (θα μπορούσαν δηλαδή τα πρόσημα να είναι αντίθετα χωρίς αυτό να επηρεάζει το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται), μένει όμως να διερευνηθεί εάν το πρόσημο στην προκειμένη περίπτωση έπαιξε ρόλο στην εμφάνιση ανάστροφης συμπεριφοράς για τις συνιστώσες ένα και δύο της Κατοικίας 10 σε σχέση με τις υπόλοιπες τέσσερις κατοικίες.

Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εξηγεί το 75,68% της συνολικής διακύμανσης ενώ οι επόμενες δύο το 12,47% και το 5,49%, αντίστοιχα.

Πίνακας 27 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης			Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών			Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	
1	-0,11	-0,96	0,05		-		*
2	-0,06	-0,97	0,06		-		*
3	-0,04	-0,97	0,07		-		*
4	-0,03	-0,95	0,07		-		*
5	-0,02	-0,94	0,07		-		*
6	-0,01	-0,93	0,06		-		*
7	-0,01	-0,93	0,05		-		*
8	0,07	-1,00	-0,05		-		*
9	0,09	-0,87	-0,24		-		*
10	0,11	-0,72	-0,44		-		*
11	0,11	-0,46	-0,66			(-)	(*)
12	0,13	-0,19	-0,91			-	*
13	0,09	-0,06	-1,00			-	*
14	0,08	-0,01	-0,99			-	*
15	0,05	0,03	-0,95			-	*
16	-0,04	0,08	-0,87			-	*
17	-0,14	0,14	-0,79			-	*
18	-0,28	0,24	-0,76			-	*
19	-0,46	0,29	-0,63			(-)	(*)
20	-0,72	0,21	-0,35	-			*
21	-0,97	-0,01	0,04	-			*
22	-1,00	-0,10	0,13	-			*
23	-0,93	-0,15	0,12	-			*
24	-0,84	-0,20	0,14	-			*

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	75,68	86,15	91,64
--	-------	-------	-------

Όπως η Κατοικία 5 έτσι και η Κατοικία 14 παρουσιάζει τρεις Κύριες Συνιστώσες (Πίνακας 28) με κύρια πηγή διακύμανσης για την πρώτη κύρια συνιστώσα τις πρωινές ώρες (01:00-08:00), κύρια πηγή διακύμανσης για την δεύτερη κύρια συνιστώσα τις βραδυνές ώρες (20:00-24:00), και για την τρίτη τις μεσημεριανές και απογευματινές κυρίως ώρες (09:00, 11:00-18:00)

Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εξηγεί το 69,3% της συνολικής διακύμανσης ενώ οι επόμενες δύο το 10,8% και το 7,41%, αντίστοιχα.

Πίνακας 28 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης			Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών			Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	
1	0,80	0,06	0,03	+			*
2	0,86	0,04	0,04	+			*
3	0,92	0,01	0,04	+			*
4	0,96	0,00	0,03	+			*
5	0,98	-0,01	0,01	+			*
6	1,00	0,00	-0,01	+			*
7	0,95	-0,03	-0,13	+			*
8	0,56	-0,12	-0,48	(+)			(*)
9	0,26	-0,03	-0,59			(-)	(*)
10	0,12	0,02	-0,49				
11	0,11	-0,05	-0,52			(-)	(*)
12	0,07	-0,09	-0,74			-	*
13	0,00	-0,02	-0,90			-	*
14	-0,06	-0,02	-0,99			-	*
15	-0,12	0,00	-1,00			-	*
16	-0,16	0,05	-0,93			-	*
17	-0,15	0,10	-0,81			-	*
18	-0,14	0,19	-0,59			(-)	(*)
19	-0,18	0,50	-0,29				
20	-0,06	0,90	-0,01		+		*
21	0,02	1,00	0,08		+		*
22	0,06	0,90	0,06		+		*
23	0,08	0,75	0,03		+		*
24	0,12	0,72	0,04		+		*

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	69,30	80,10	87,51
--	-------	-------	-------

Και η Κατοικία 17 παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τις Κατοικίες 5 και 14. Για την πρώτη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι το διάστημα 01:00-08:00. Για τη δεύτερη κύρια συνιστώσα η κύρια πηγή διακύμανσης είναι το διάστημα 19:00 με 24:00 ενώ για την τρίτη το διάστημα 08:00-11:00. Σε αντίθεση όμως με όλες τις άλλες κατοικίες η Τρίτη κύρια συνιστώσα δεν έχει κάποια σημαντική πηγή διακύμανσης μέσα στο διάστημα 12:00-18:00 σε αντιθεση με τις υπόλοιπες κατοικίες που έχουν κάποιο σημαντικό συντελεστή σε μία από τις κύριες συνιστώσες τους για όλες ή σχεδόν όλες τις ώρες της μέρας.

Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εξηγεί το 67,1% της συνολικής διακύμανσης ενώ οι επόμενες δύο το 11,6% και το 7,44%, αντίστοιχα.

Πίνακας 29 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης			Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών			Σύνοψη
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	
1	0,95	0,08	-0,03	+			*
2	0,98	0,03	-0,03	+			*
3	1,00	-0,01	-0,02	+			*
4	0,98	-0,02	-0,01	+			*
5	0,97	-0,02	0,00	+			*
6	0,97	0,01	-0,01	+			*
7	0,93	0,01	0,07	+			*
8	0,67	0,01	0,39	(+)			(*)
9	0,21	-0,02	0,83			+	*
10	-0,20	0,10	1,00			+	*
11	-0,17	0,00	0,82			+	*
12	0,00	-0,15	0,34				
13	0,12	-0,18	0,05				
14	0,12	-0,15	-0,02				
15	0,08	-0,11	-0,05				
16	0,01	0,01	-0,02				
17	-0,14	0,21	0,05				
18	-0,20	0,39	0,10				
19	-0,19	0,69	0,03		(+)		(*)
20	-0,12	0,92	-0,01		+		*
21	-0,06	1,00	0,01		+		*
22	0,05	0,92	-0,01		+		*
23	0,18	0,85	-0,04		+		*

24	0,31	0,74	-0,07		+	*
αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	67,11	78,67	86,11			

Η Κατοικία 28 παρουσιάζει τον μικρότερο αριθμό κύριων συνιστώσων. Παρόλα αυτά και οι 24 ώρες τις μέρας αποτελούν βασική πηγή διακύμανσης για κάποια από τις 2 συνιστώσες (Πίνακας 30). Η κύρια πηγή διακύμανσης για την πρώτη κύρια συνιστώσα είναι το διάστημα 01:00-13:00 ενώ για τη δεύτερη το διάστημα 14:00 με 24:00.

Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εξηγεί το 80,7% της συνολικής διακύμανσης ενώ η δεύτερη ένα επιπλέον 12,3%.

Πίνακας 30 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D28

Ωρα της μέρας	Κανονικοποιημένος πίνακας συνδιακύμανσης		Απλοποιημένη απεικόνιση συντελεστών		Σύνοψη
	PC1	PC2	PC1	PC2	
1	0,92	-0,05	+		*
2	0,93	-0,05	+		*
3	0,94	-0,05	+		*
4	0,94	-0,05	+		*
5	0,95	-0,06	+		*
6	0,94	-0,06	+		*
7	0,95	-0,07	+		*
8	0,98	-0,05	+		*
9	1,00	-0,01	+		*
10	0,97	0,07	+		*
11	0,88	0,18	+		*
12	0,74	0,28	+		*
13	0,55	0,41	(+)		(*)
14	0,28	0,62		(+)	(*)
15	0,00	0,82		+	*
16	-0,11	0,93		+	*
17	-0,16	0,98		+	*
18	-0,17	1,00		+	*
19	-0,15	0,94		+	*
20	-0,08	0,92		+	*
21	0,00	0,84		+	*
22	0,06	0,77		+	*
23	0,10	0,73		+	*
24	0,15	0,67		(+)	(*)

αθροιστικό ποσοστό συνολικής διακύμανσης	80,71	93,02
--	-------	-------

4.4 Εφαρμογή τεχνικών συσταδοποίησης για την αναγνώριση των μοτίβων συμπεριφοράς (patterns)

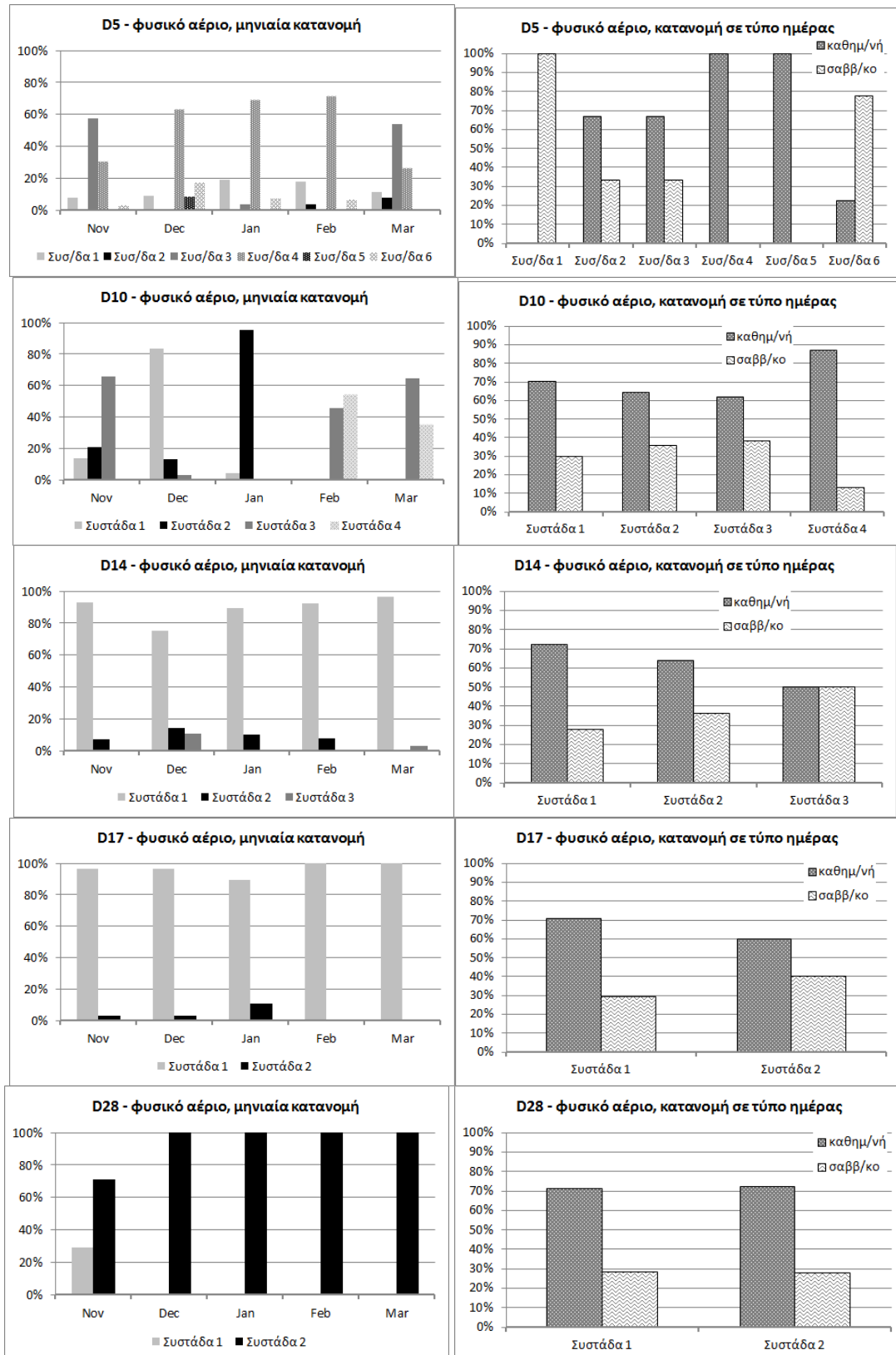
Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν και να ομαδοποιηθούν τα πρότυπα συμπεριφοράς σε 24ωρα προφίλ εφαρμόστηκε διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis) πάνω στις βασικές κύριες συνιστώσες. Η βασική διαφορά της ανάλυσης συστάδων από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες είναι ότι στην πρώτη ομαδοποιούνται οι παρατηρήσεις ενώ στη δεύτερη ομαδοποιούνται οι μεταβλητές σε γραμμικούς συνδυασμούς. Η ανάλυση κατά συστάδες συνέβαλε στην ομαδοποίηση και μελέτη των ημερών με κοινά χαρακτηριστικά για κάθε μία από τις μετρούμενες μεταβλητές: κατανάλωση φυσικού αερίου, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Οι διαμορφωμένες συστάδες είναι ουσιαστικά τα χαρακτηριστικά 24ωρα προφίλ (patterns) για κάθε μελετούμενη παράμετρο και κατοικία.

4.4.1 Θέρμανση

Ο συνολικός αριθμός των συστάδων που εντοπίζονται για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης διαφέρει από τη μία κατοικία στην άλλη (Πίνακας 31). Οι κατοικίες D14, D17 και D28 παρουσιάζουν από 2 ή 3 συστάδες αλλά μόνο μία από αυτές επικρατεί, εμφανίζεται δηλαδή για μεγάλο αριθμό ημερών. Η κατοικία D5 παρουσιάζει τρεις επικρατέστερες συστάδες ανάμεσα σε έξι ενώ η κατοικία D10 παρουσιάζει τέσσερις συστάδες όλες εκ των οποίων εμφανίζονται σε ένα σημαντικό ποσοστό του χρόνου.

Πίνακας 31 Αριθμός συστάδων, αλλά και ημερών που αποτελούν την κάθε συστάδα, για κάθε κατοικία, χρήση φυσικού αερίου

Αριθμός Συστάδων	D5	D10	D14	D17	D28
1	17	30	126	139	7
2	3	31	11	5	130
3	30	50	4		
4	67	23			
5	2				
6	9				



Σχήμα 6 Κατανομή των συσταδών φυσικού αερίου σε μήνες και τύπους ημέρας

Η επικράτηση μίας και μοναδικής συστάδας για τις κατοικίες D14, D17 και D28 είναι προφανής και φαίνεται και στο Σχήμα 6. Η συστάδα 1 στην κατοικία D28 εμφανίζεται μόνο τον μήνα Νοέμβριο ενώ για τις κατοικίες D14 και D17 δεν υπάρχει συγκεκριμένη περίοδος του χρόνου ή τύπος ημέρας κατά την οποία εμφανίζονται οι λιγότερο επικρατέστερες συστάδες. Για τις κατοικίες D5 και D10 φαίνεται να επικρατεί διαφορετική συστάδα κάθε μήνα (Σχήμα 6). Ειδικά για την κατοικία D5 φαίνεται να υπάρχει και μια τάση για συγκεκριμένες συστάδες, τις συστάδες 1 και 6 να εμφανίζονται τα σαββατοκύριακα (Πίνακας 32).

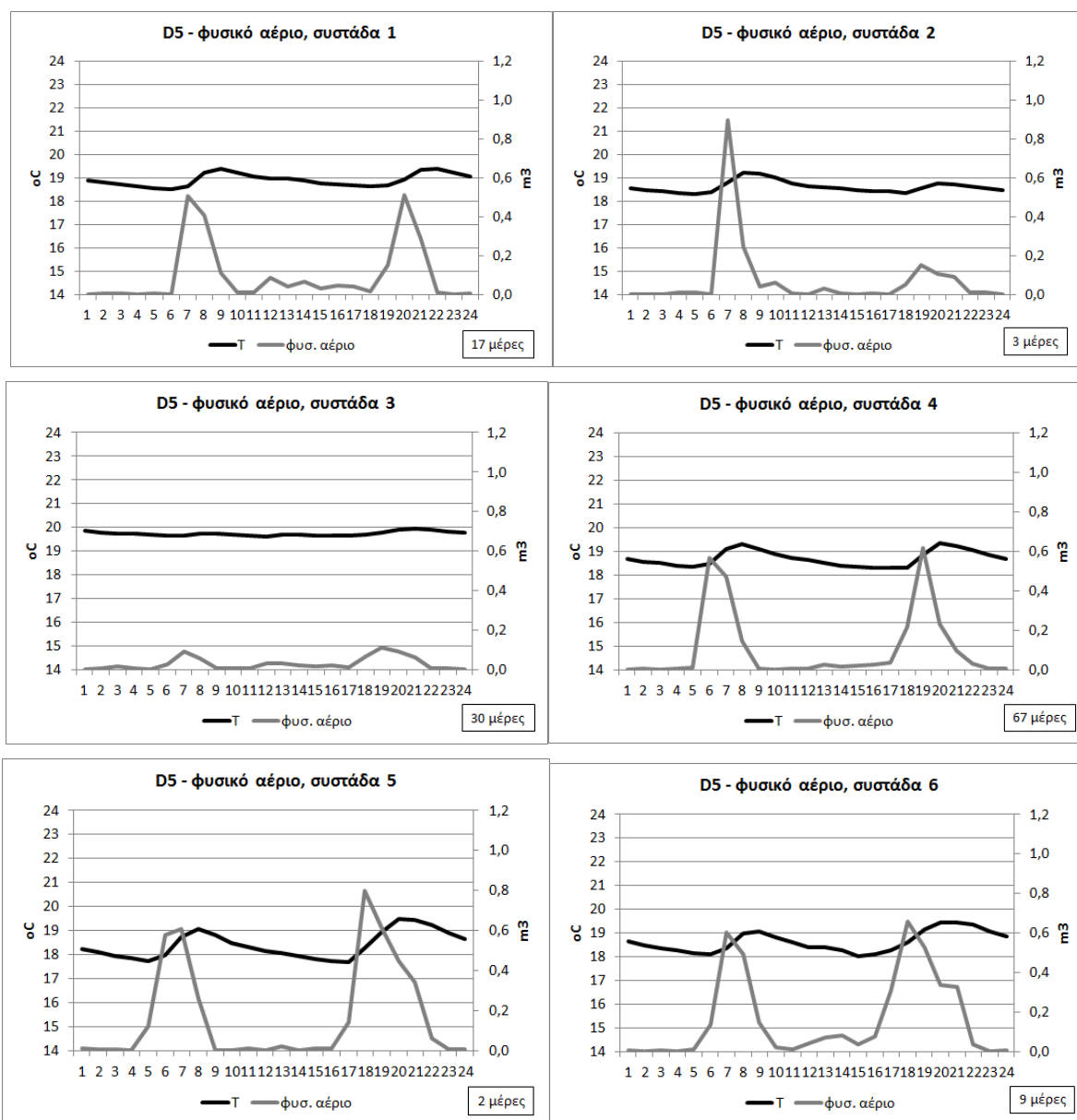
Πίνακας 32 Επικρατέστερες συστάδες φυσικού αερίου για κάθε μήνα και τύπο ημέρας

		D5	D10	D14	D17	D28
Αρχές Νοέμβρη	καθημερινές	συστάδα 3	συστάδα 3	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 1
	σαββ/κα	συστάδα 3	συστάδα 3	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Μέσα και τέλη Νοέμβρη	καθημερινές	συστάδα 4	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 1	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Δεκέμβρης	καθημερινές	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 6	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Γενάρης	καθημερινές	συστάδα 4	συστάδα 2	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 1	συστάδα 2	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Φλεβάρης	καθημερινές	συστάδα 4	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 1	συστάδα 3	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Αρχές και μέσα Μάρτη	καθημερινές	συστάδα 4	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 1	συστάδα 4	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
Τέλη Μάρτη	καθημερινές	συστάδα 3	συστάδα 3	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2
	σαββ/κα	συστάδα 3	συστάδα 3	συστάδα 1	συστάδα 1	συστάδα 2

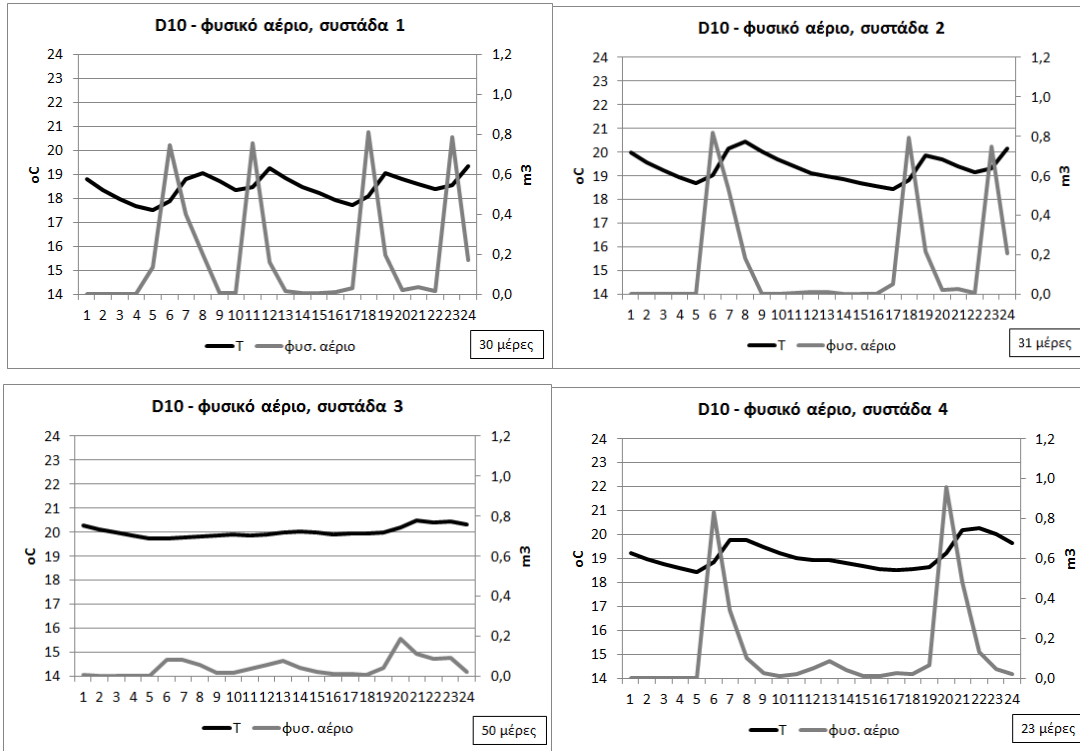
4.4.2 Θερμοκρασία

Για τις συστάδες φυσικού αερίου δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες εσωτερικής θερμοκρασίας προκειμένου να σχηματιστεί καλύτερη εικόνα για τις ρυθμίσεις του συστήματος θέρμανσης σε κάθε κατοικία (Σχήμα 7 - Σχήμα 11). Τα προφίλ θέρμανσης διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στις κατοικίες τόσο στον αριθμό τους όσο και στις ώρες που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα. Η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται ανάμεσα στην κατοικία D28 και στις υπόλοιπες τέσσερις. Στην κατοικία D28 το σύστημα θέρμανσης είναι μονίμως σε λειτουργία ενώ για τις υπολοιπές τέσσερις κατοικίες το σύστημα θέρμανσης φαίνεται να τίθεται σε λειτουργία διακοπτόμενα σε συγκεκριμένα διαστήματα μέσα στη μέρα. Είναι εμφανής όμως και η ομοιότητα ανάμεσα σε όλες τις κατοικίες, που εντοπίστηκε από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, η οποία έδειξε λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τις ώρες 07:00 και 18:00 σε όλες τις κατοικίες.

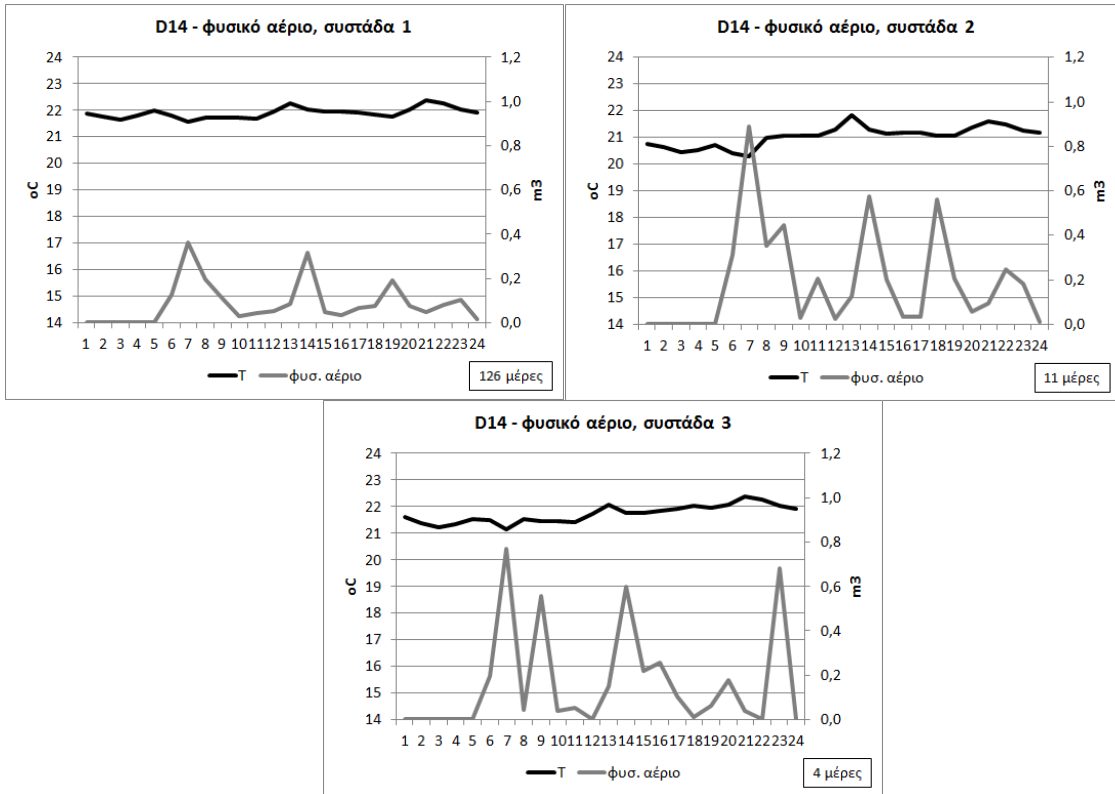
Όπως φαίνεται στα Σχήμα 7 - Σχήμα 11 οι καμπύλες της θερμοκρασίας ακολουθούν τις αντίστοιχες καμπύλες φυσικού αερίου για όλες τις συστάδες. Στις κατοικίες D5, D10, D14 και D17 όπου το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί σε συγκεκριμένες ώρες της μέρας, παρατηρείται και κάποια αντίστοιχη διακύμανση της θερμοκρασίας. Στην κατοικία D28, όπου το σύστημα θέρμανσης βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία η θερμοκρασία παραμένει σχετικά σταθερή και κοντά στους 23 °C, καθόλη τη διάρκεια της μέρας αλλά και της περιόδου θέρμανσης.



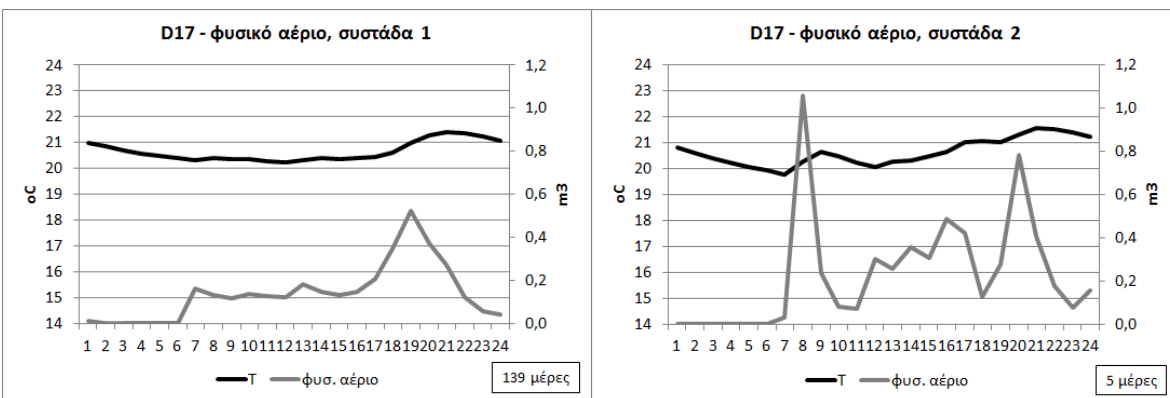
Σχήμα 7 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D5



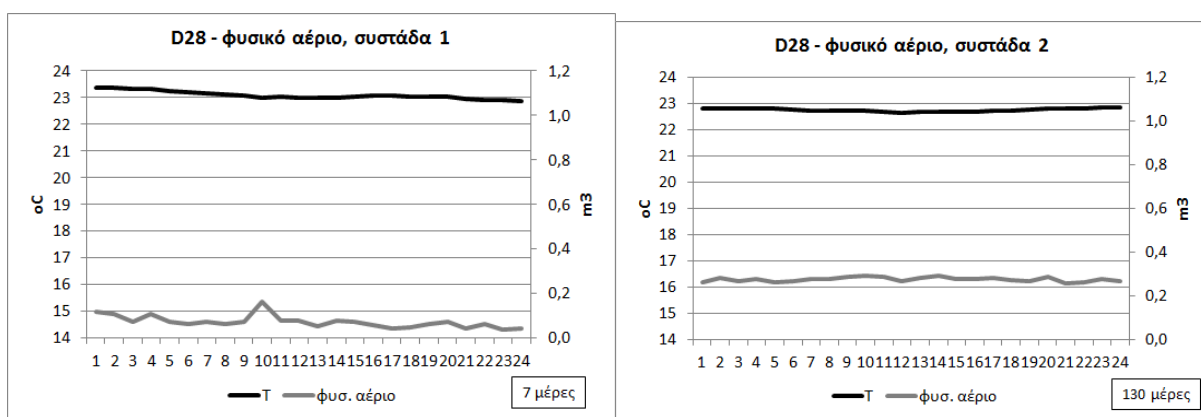
Σχήμα 8 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D10



Σχήμα 9 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D14



Σχήμα 10 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17



Σχήμα 11 Συστάδες φυσικού αερίου και αντίστοιχα προφίλ μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D28

Κάποιες συστάδες φυσικού αερίου εμφανίζονται λιγότερο συχνά. Για την κατοικία D5 οι συστάδες αυτές είναι οι 5 και 6, για την κατοικία D14 οι συστάδες 2 και 3 και για την κατοικία D17 η συστάδα 2 (Σχήμα 11). Οι καμπύλες φυσικού αερίου αυτών των συστάδων παρουσιάζουν υψηλότερα ή πιο ακανόνιστα μέγιστα από ότι οι καμπύλες των υπόλοιπων συστάδων για την ίδια κατοικία. Οι συστάδες αυτές θεωρούνται εξαιρέσεις στην συνηθισμένη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και δεν ικανοποιούν τον στοχο μας για το επομενο κεφάλαιο της βαθμονόμησης ενεργειακού μοντέλου. Παρόλα αυτά είναι σημαντικό να σημειωθεί το γεγονός ότι εμφανίζονται καθώς είναι και αυτό ενδεικτικό του πόσο απρόβλεπτη είναι η συμπεριφορά χρηστών κτιρίων κατοικιών. Όλες οι συστάδες της κατοικίας D10 εμφανίζονται για ικανοποιητικό αριθμό ημερών (Σχήμα 8). Η κατοικία D28 έχει μία συστάδα (συστάδα 1) που εμφανίζεται για μικρό αριθμό ημερών αλλά μόνο το μήνα Νοέμβριο (Σχήμα 6). Στη συστάδα αυτή φαίνεται συνεχής χρήση φυσικού αερίου όπως συμβαίνει και για την επικρατέστερη συστάδα 2 με χαμηλότερες όμως τιμές κατανάλωσης και ίδια εσωτερική θερμοκρασία (Σχήμα 11).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 33 η θερμοκρασία στην κατοικία D5 δεν πέφτει ποτέ κάτω από τους 18 °C αλλά ούτε και υπερβαίνει τους 20 °C. Στην κατοικία D10 παρατηρείται η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στην ελάχιστη και τη μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο θέρμανσης. Η θερμοκρασία φτάνει

τους 17.5 °C και τους 20.5 °C, αντίστοιχα. Στις κατοικίες D14 και D17 η ημερήσια διακύμανση είναι της τάξης του 1 °C. Μπορεί να ειπωθεί ότι η προτιμώμενη θερμοκρασία λείτουργίας του θερμοστάτη στις δύο αυτές κατοικίες είναι οι 22 °C και 21 °C, αντίστοιχα.

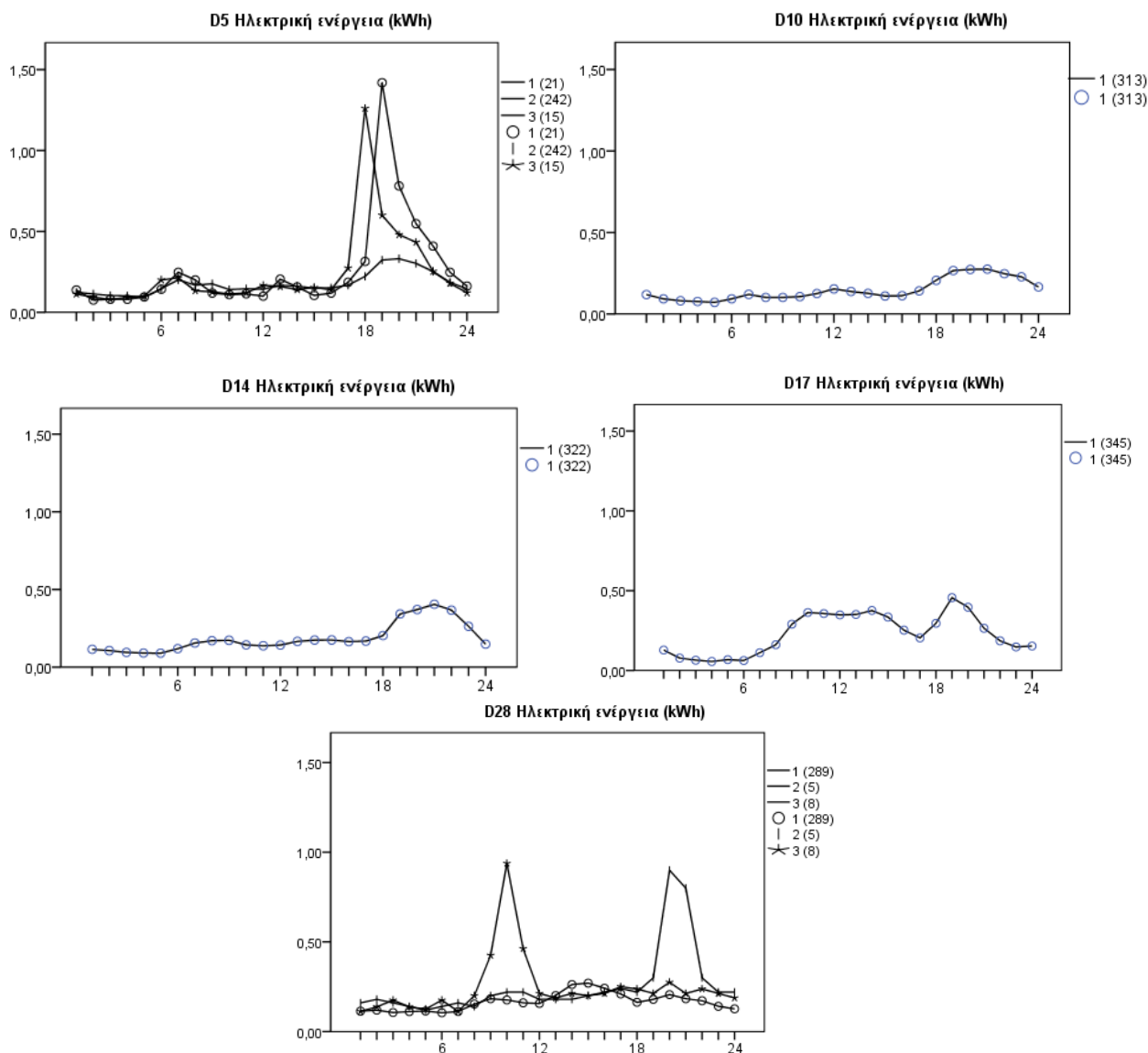
Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 32 οι συστάδες 3 για την κατοικία D5 και 3 για την κατοικία D10 σημειώνονται μόνο κατά τους λιγότερο κρύους μήνες (Νόεμβριο και Μάρτιο). Η κατανάλωση φυσικού αερίου σε αυτό το διάστημα είναι χαμηλότερη και η θερμοκρασία πιο σταθερή μέσα στη μέρα. Και στις δύο αυτές κατοικίες η εσωτερική θερμοκρασία παραμένει κοντά στους 21 °C και είναι κατά 1 °C περίπου υψηλότερη απ'ότι είναι κατά τους πιο κρύους μήνες (Πίνακας 33). Η υψηλότερη τιμή και η σταθερότητα της εσωτερικής θερμοκρασίας για αυτούς τους μήνες θα μπορούσε να αποδωθεί στην αντίστοιχα υψηλότερη εξωτερική θερμοκρασία που εμφανίζεται τους μήνες Νοέμβριο και Μάρτιο σε σχέση με τους πιο κρύους μήνες Δεκέμβριο-Φεβρουάριο (Πίνακας 12).

Πίνακας 33 Χαρακτηριστικά των συστάδων φυσικού αερίου για θέρμανση για κάθε κατοικία

Συστάδα	αριθμός ημερών που αποτελούν την συστάδα	χαρακτηριστικά προφίλ φυσικού αερίου για θέρμανση (m ³)			χαρακτηριστικά αντίστοιχου προφίλ εσωτερικής θερμοκρασίας (°C)			
		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
Κατοικία D5		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
συστάδα 1	17	0.10 ± 0.16	0	0.51	18.9 ± 0.3	18.5	19.4	0.9
συστάδα 2	3	0.07 ± 0.19	0	0.9	18.6 ± 0.2	18.3	19.2	0.9
συστάδα 3	30	0.03 ± 0.03	0	0.11	19.7 ± 0.1	19.6	19.9	0.3
συστάδα 4	67	0.11 ± 0.18	0	0.62	18.7 ± 0.3	18.3	19.4	1.1
συστάδα 5	2	0.17 ± 0.25	0	0.8	18.4 ± 0.6	17.7	19.5	1.8
συστάδα 6	9	0.17 ± 0.21	0	0.66	18.6 ± 0.4	18	19.4	1.4
Κατοικία D10		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
συστάδα 1	30	0.19 ± 0.29	0	0.81	18.5 ± 0.5	17.5	19.4	1.8
συστάδα 2	31	0.15 ± 0.27	0	0.82	19.3 ± 0.6	18.5	20.4	2
συστάδα 3	50	0.05 ± 0.05	0	0.19	20.0 ± 0.2	19.7	20.5	0.8
συστάδα 4	23	0.14 ± 0.26	0	0.96	19.1 ± 0.6	18.4	20.3	1.8
Κατοικία D14		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
συστάδα 1	126	0.09 ± 0.096	0	0.36	21.9 ± 0.2	21.6	22.4	0.8
συστάδα 2	11	0.19 ± 0.23	0	0.89	21.0 ± 0.4	20.3	21.9	1.6
συστάδα 3	4	0.17 ± 0.24	0	0.77	21.7 ± 0.3	21.1	22.4	1.2
Κατοικία D17		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
συστάδα 1	139	0.14 ± 0.13	0	0.52	20.7 ± 0.4	20.2	21.4	1.2
συστάδα 2	5	0.23 ± 0.26	0	1.06	20.6 ± 0.5	19.8	21.6	1.8
Κατοικία D28		average	min	max	average	min	max	ΔT _(min,max)
συστάδα 1	7	0.07 ± 0.03	0.04	0.16	23.1 ± 0.1	22.9	23.4	0.5
συστάδα 2	130	0.28 ± 0.01	0.26	0.29	22.8 ± 0.1	22.7	22.9	0.2

4.4.3 Ηλεκτρική ενέργεια

Σε σχέση με το φυσικό αέριο, η ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει μικρότερο αριθμό συστάδων σε όλες τις κατοικίες (Σχήμα 12). Στις τρεις από τις πέντε κατοικίες εμφανίζεται μόνο μία συστάδα. Οι κατοικίες D5 και D28 έδωσαν τρεις συστάδες αλλά μόνο η μία είναι επικρατέστερη στις δύο κατοικίες (η συστάδα 2 στην κατοικία D5 και η συστάδα 1 στην κατοικία D28). Οι λιγότερο συχνές συστάδες διαφοροποιούνται από τις επικρατέστερες συστάδες με πιο αιχμηρά μέγιστα τις πρωινές ή βραδυνές ώρες.

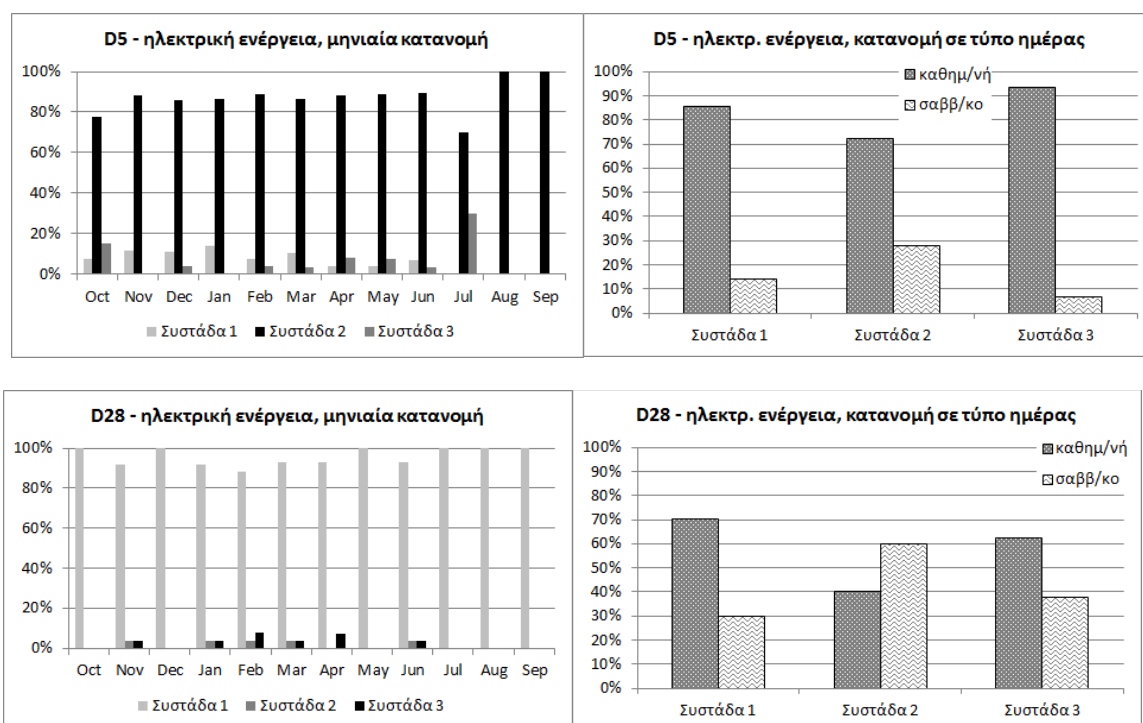


Σχήμα 12 Συστάδες ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μελετώμενη κατοικία

Οι καμπύλες ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε συμφωνία με τα συμπεράσματα που εξήχθηκαν από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες ότι για τις κατοικίες D17 και D28 τουλάχιστον ένα μέλος της οικογένειας παραμένει στο σπίτι κατά τη διάρκεια της μέρας ακόμη και τις καθημερινές. Ακόμη, ενισχύουν την άποψη του επιστημονικού κόσμου για την ανάγκη δημιουργίας συγκεκριμένων προφίλ ενεργειακής

συμπεριφοράς για νοικοκυριά με διαφορετική κοινωνική σύσταση (Aragon et al., 2017; Gupta and Gregg, 2013; Manrogianni et al., 2014) καθώς όπως φαίνεται από την μελέτη των 5 αυτών κατοικιών τα προφίλ των αντιστοίχων οικογενειών δεν είναι πάντα συμβατά με την κοινωνική σύσταση που χρησιμοποιείται σαν παραδοχή σε ενεργειακές προσομοιώσεις και λέει ότι στην κατοικία διαμένει οικογένεια με παιδιά όπου οι ενήλικες εργάζονται με πλήρη απασχόληση τις καθημερινές μέρες ενώ τις ίδιες μέρες και ώρες τα παιδιά βρίσκονται στο σχολείο.

Οι συστάδες 1 και 3 στην κατοικία D5 παρουσιάζουν μέγιστες τιμές αργά το απόγευμα τις καθημερινές κυρίως μέρες. Η συσταδα 3 εμφανίζεται τους μήνες Οκτώβριο-Ιούλιο ενώ η συσταδα 1 εμφανίζεται όλο το χρόνο εκτός από το διάστημα Ιούλιος-Σεπτέμβριος (Σχήμα 13). Στην κατοικία D28 οι συστάδες 2 και 3 παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους τις απογευματινές και πρωινές ώρες, αντίστοιχα. Αντιπροσωπεύουν όμως μόλις το 4% των ημερών που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη ανάλυση και άρα θεωρούνται εξαίρεση στην τυπική συμπεριφορά των χρηστών. Οι δύο αυτές συστάδες δεν παρουσιάζουν κάποια εποχική τάση.

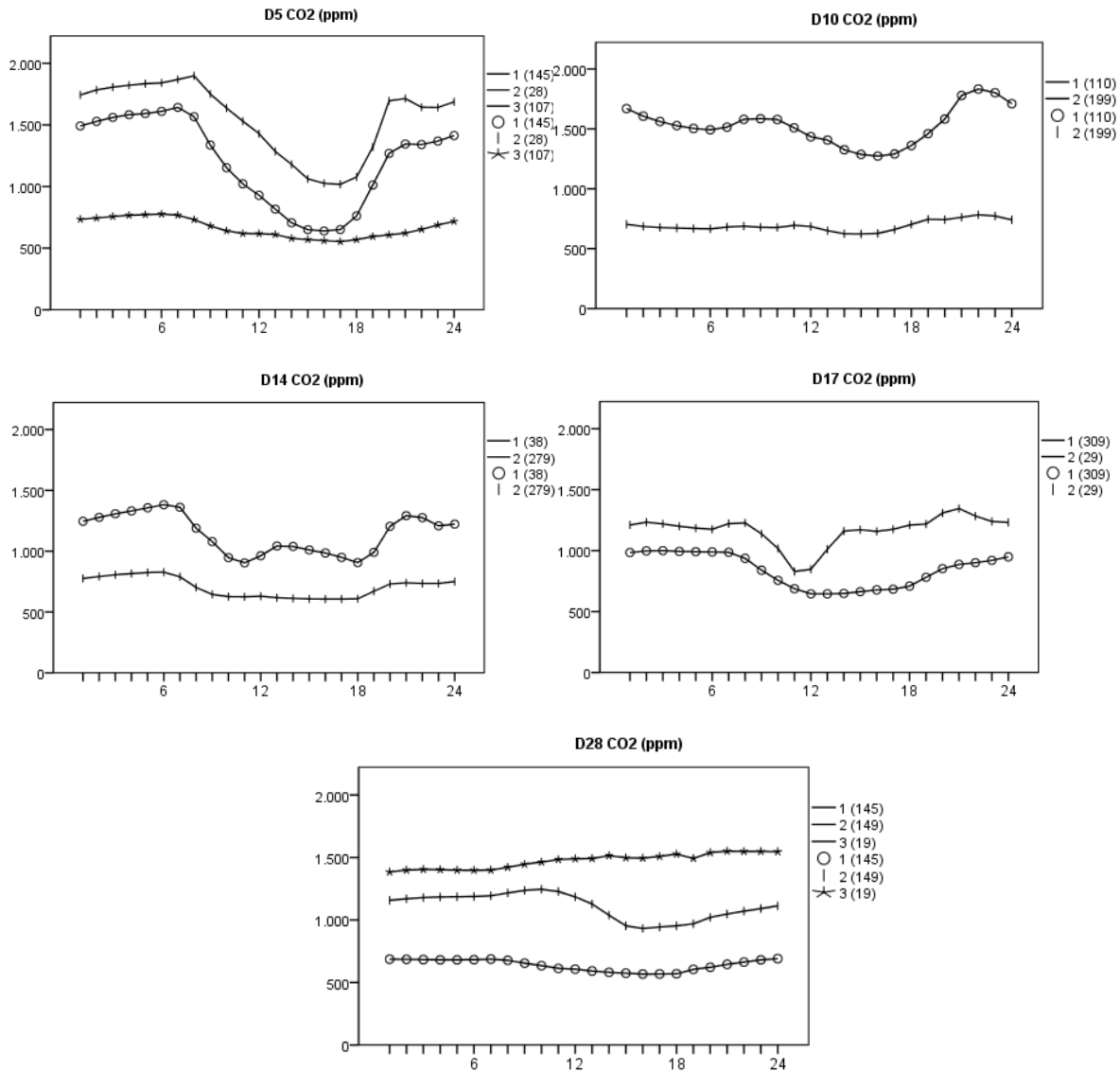


Σχήμα 13 Κατανομή των συστάδων ηλεκτρικής ενέργειας σε μήνες και τύπους ημέρας

4.4.4 Συγκεντρώσεις CO₂

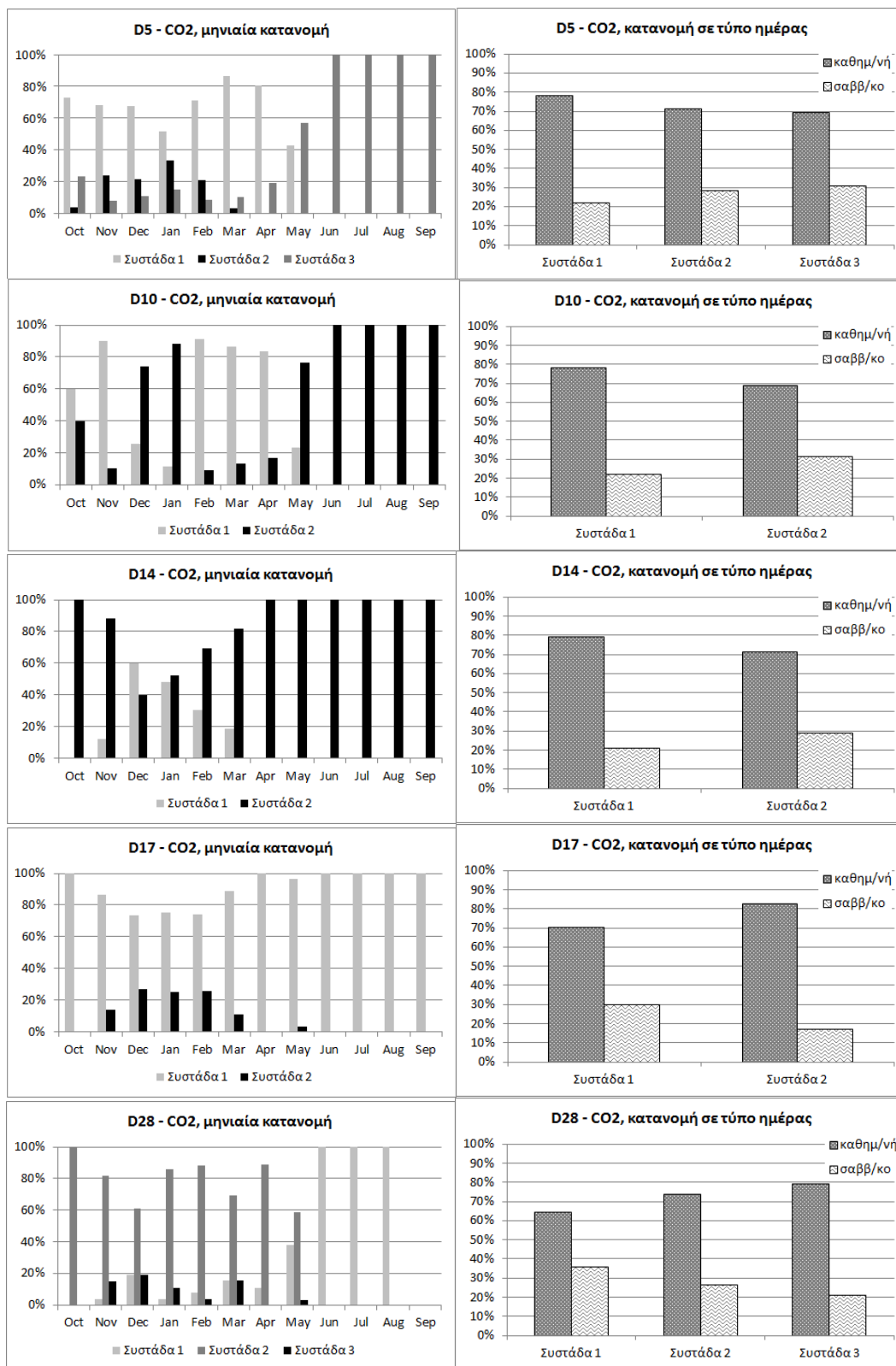
Σε κάθε κατοικία εντοπίστηκαν από δύο έως τρεις συστάδες συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 14). Σε όλες τις κατοικίες εμφανίζεται μια συστάδα με χαμηλότερες τιμές CO₂ και πιο ομαλή ημερησία διακύμανση σε σχέση με τις υπόλοιπες συστάδες (συστάδα 3 για την κατοικία D5, συστάδα 2 για την κατοικία D10, συστάδα 2 για την κατοικία D14, συστάδα 1 για την κατοικία D17 και συστάδα 1

για την κατοικία D28). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 15 οι συστάδες αυτές εντοπίζονται στους καλοκαιρινούς και ενδιάμεσους μήνες. Δεδομένου ότι αυτές οι συστάδες εντοπίζονται στους πιο ζεστούς μήνες μπορεί να ειπωθεί ότι οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ οφείλονται στον πιο έντονο ή και συχνό αερισμό με ανοικτά παράθυρα.



Σχήμα 14 Κεντροειδή συστάδες συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μελετώμενη κατοικία

Για τις κατοικίες D5, D10, D14 και D17 βρέθηκαν από τρεις κύριες συνιστώσες με σημαντικούς συντελεστές σε τρεις διακριτές φάσεις της ημέρας: πρωί, μεσημέρι και βράδυ. Για την Κατοικία D28 βρέθηκαν μόνο δύο Κύριες Συνιστώσες, μία με σημαντικούς συντελεστές στο πρώτο μισό της μέρας και μία με σημαντικούς συντελεστές στο άλλο μισό. Οι καμπύλες του διοξειδίου του άνθρακα που προέκυψαν από την ανάλυση κατά συστάδες φαίνεται να χωρίζονται σε τόσα μέρη όσα και οι φάσεις της μέρας που έδειξε η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες.



Σχήμα 15 Κατανομή των συστάδων συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα σε μήνες και τύπους ημέρας

Στις καμπύλες που παρουσιάζονται τους πιο κρύους μήνες αποτυπώνεται καλύτερα η παρουσία των χρηστών στον χώρο. Κατά τη διάρκεια της μέρας που, οι περισσότεροι τουλάχιστον, χρήστες συνήθως απουσιάζουν, οι συγκεντρώσεις CO₂ παρουσιάζουν την χαμηλότερη τους τιμή. Για τις κατοικίες D28 και D17 οι διαφορές στις συγκεντρώσεις CO₂ ανάμεσα στις μεσημεριανές και τις υπόλοιπες ώρες της μέρας όμως δεν είναι τόσο αισθητές. Τις πρώτες πρωινές ή/και βραδυνές ώρες που όλοι οι χρήστες είναι στο σπίτι οι συγκεντρώσεις CO₂ γενικά παρουσιάζουν τις υψηλότερες τους τιμές.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα δύο όμοια προφίλ (1 και 2) για την κατοικία D5. Η καμπύλη της συστάδας 2 παρουσιάζει υψηλότερες τιμές αλλά εμφανίζεται για μικρότερο χρονικό διάστημα μέσα στο χρόνο (Σχήμα 14). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 15 η συστάδα 2 σημειώνεται κυρίως τους πιο κρύους μήνες του χρόνου (Νοέμβριο-Φλεβάρη) και άρα ίσως ο αερισμός να είναι λιγότερο εντόνος λόγω χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών παρόλο που οι ώρες αερισμού καθώς και το πρόγραμμα των χρηστών παραμένουν ίδια τις μέρες που εμφανίζονται οι συστάδες 1 και 2.

4.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε ποσοτικά η ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών και διαπιστώθηκαν διαφορές που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε βάσει μετρήσεων κατανάλωσης φυσικού αερίου, κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, συγκεντρώσης διοξειδίου του άνθρακα και εσωτερικής θερμοκρασίας, κατά το διάστημα: Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014. Τα επικρατέστερα προφίλ χρήσης του συστήματος θέρμανσης και της ηλεκτρικής κατανάλωσης, του αερισμού και της παρουσίας χρηστών θα χρησιμοποιηθούν για την βαθμονόμηση ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της ενεργειακής βαθμονόμησης παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Για την αναγνώριση των μοτίβων συμπεριφοράς εφαρμόστηκε αρχικά ανάλυση σε κύριες συνιστώσες και στη συνέχεια ανάλυση κατά συστάδες. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των ωρών μέσα στη μέρα κατά τις οποίες σημειώνονται επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές. Στη συνέχεια, στις Κύριες Συνιστώσες που προέκυψαν για το φυσικό αέριο για θέρμανση, την ηλεκτρική ενέργεια και τη συγκέντρωση CO₂ εφαρμόστηκε ανάλυση κατά συστάδες. Η ανάλυση κατά συστάδες συνέβαλε στην ομαδοποίηση και ανάλυση των ημερών με κοινά χαρακτηριστικά για κάθε κατοικία.

Ενώ η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες χρησιμοποιείται συνήθως πριν από την ανάλυση κατά συστάδες με σκοπό τη μετατροπή σε μικρότερο αριθμό συνιστωσών στο κεφάλαιο αυτό η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν είχε ως στόχο μόνο της υποστήριξη της ανάλυσης κατά συστάδες αλλά και την παρουσίαση μιας εναλλακτικής μεθόδου απόσπασης χρήσιμης πληροφορίας για την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη. Παρόλο που η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν μπορεί να απεικονίσει τα ακριβή εικοσιτετράωρα προφίλ, όπως μπορεί η ανάλυση κατά συστάδες, μπορεί, όπως φάνηκε από το κεφάλαιο αυτό, να δώσει με ακρίβεια τις ώρες της μέρας που λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης

καθώς και τις ώρες της μέρας που γίνεται πιο έντονη χρήση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και του συστήματος φωτισμού δίνοντας έτσι μια περιεκτική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη.

Η μελέτη τόσο των συντελεστών των κυρίων συνιστωσών όσο και των καμπύλων με τις μέσες ωριαίες τιμές των συστάδων επιβεβαίωσαν τις διαφορές στη συμπεριφορά των χρηστών. Παρόλο που η μελέτη έγινε σε κατοικίες με παρόμοια αρχιτεκτονικά και θερμικά χαρακτηριστικά και για το ίδιο χρονικό διάστημα, οι διαφορές στα μοτίβα συμπεριφοράς είναι σημαντικές, επιβεβαιώνοντας έτσι τις θεωρίες που υποστηρίζουν ότι η συμπεριφορά του χρήστη αποτελεί την μεταβλητή που επιφέρει την μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην τελική ενεργειακή κατανάλωση.

Η μοναδικότητα του κάθε χρήστη που αναδείχθηκε από το κεφάλαιο αυτό, επιβεβαιώνει επίσης τη μη αιτιοκρατική φύση της συμπεριφοράς του χρήστη καθώς το κοινό διάστημα μελέτης και τα κοινά αρχιτεκτονικά και θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας αποκλείουν την εξάρτηση της συμπεριφοράς του χρήστη μόνο από αιτιοκρατικούς κανόνες που θεωρούν ότι η συμπεριφορά του χρήστη καθορίζεται από έναν ή περισσότερους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή η μεταβολή της θερμοκρασίας. Άρα τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που εισάγονται σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμα και επαναλαμβανόμενα για μια κατοικία και σαφώς δεν μπορεί να είναι κοινά για κάθε κατοικία. Ακόμα, επιβεβαιώνεται η ανάγκη για δημιουργία διαφορετικών προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς για νοικοκυριά με διαφορετική κοινωνική σύσταση καθώς είναι κι αυτός ένας παράγοντας που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς μιας κατοικίας.

Πιο ειδικά συμπεράσματα για κάθε μελετούμενη παράμετρο παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Θέρμανση

Στη μία από τις πέντε κατοικίες (D28) το σύστημα θέρμανσης είναι ανοικτό σε μόνιμη βάση ενώ στις υπόλοιπες τέσσερις κατοικίες αυτό λειτουργεί διακεκομμένα σε συγκεκριμένες ώρες τις μέρας.

Ανάμεσα στις κατοικίες διαφέρει και ο αριθμός των συστάδων που εντοπίστηκαν. Στις τρεις από τις πέντε κατοικίες (D14, D17 και D28) ενώ εντοπίστηκαν δύο ή τρεις συστάδες σε κάθε κατοικία, μόνο μία από τις συσταδες εμφανίζεται για σημαντικό χρονικό διάστημα. Στις άλλες δύο κατοικίες (D5 και D10) εντοπίζονται περισσότερες επικρατέστερες συστάδες θέρμανσης. Για τις δύο αυτές κατοικίες τα προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μεταβάλλονται από τον ένα μήνα στον άλλο. Μάλιστα σε μία από αυτές τις δύο κατοικίες (D5) υπάρχει και μια σαφής τάση για μία από τις συστάδες να εμφανίζεται μόνο τα σαββατοκύριακα υποδηλώνοντας έτσι διαφορές ανάμεσα στις συνήθειες και συμπεριφορές που εφαρμόζονται τις εργάσιμες από τις μη-εργάσιμες μέρες.

Σε όλες τις κατοικίες, οι συστάδες που εμφανίζονται ελάχιστα μέσα στο χρόνο παρουσιάζουν έντονα μέγιστα τις πρωινές ή βραδυνές ώρες σε σύγκριση με τις επικρατέστερες συστάδες και υποδηλώνουν εξαιρέσεις στα συνήθη μοτίβα των κατοικιών.

Οι ώρες της μέρας που αποτελούν τις βασικές πηγές διακύμανσης για τις κύριες συνιστώσες του φυσικού αερίου συμπίπτουν με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης που προέκυψαν από την ανάλυση κατά συστάδες. Μάλιστα οι βασικές πηγές διακύμανσης των πρώτων κύριων συνιστωσών είναι και οι ώρες που υπάρχουν κοινές σε όλα ή στα περισσότερα εικοσιτετράωρα προφίλ που προκύπτουν από την ανάλυση κατά συστάδες για κάθε κατοικία.

Η πρώτη γενική εικόνα όμως ήδη επιβεβαιώνει το πόσο απρόβλεπτη μπορεί να είναι η συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών. Ναι μεν οι ομοιότητες υπάρχουν για συγκεκριμένες ώρες της μέρας (07:00 και 18:00), όμως για το σύνολο των ωρών οι διαφορές είναι μεγαλύτερες από τις ομοιότητες.

Θερμοκρασία

Επάνω στη θερμοκρασία δεν εφαρμόστηκε ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες ή σε Συστάδες καθώς δεν ήταν στόχος του κεφαλαίου αυτού να γίνει ανεξάρτητη μελέτη της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία μελετήθηκε μόνο συνοδευτικά με το φυσικό αέριο. Προκειμένου να σχηματιστεί καλύτερη εικόνα για τις ρυθμίσεις του συστήματος θέρμανσης, δημιουργήθηκαν οι καμπύλες εσωτερικής θερμοκρασίας για τις αντίστοιχες καμπύλες φυσικού αερίου για θέρμανση ώστε να προσδιοριστούν οι θερμοκρασιακές ρυθμίσεις του συστήματος θέρμανσης για κάθε συστάδα φυσικού αερίου.

Οι καμπύλες της εσωτερικής θερμοκρασίας ακολουθούν αυτές της κατανάλωσης φυσικού αερίου επιβεβαιώνοντας έτσι ότι οι συστάδες που εντοπίστηκαν για το φυσικό αέριο αντιστοιχούν όντως σε διαφορετικές λειτουργίες του συστήματος θέρμανσης.

Στις κατοικίες όπου το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί διακοπτόμενα σε συγκεκριμένα διαστήματα μέσα στη μέρα η θερμοκρασία παρουσιάζει και αυτή κάποια διακύμανση. Στην κατοικία D28, όπου το σύστημα θέρμανσης είναι μονίμως σε λειτουργία, η εσωτερική θερμοκρασία είναι και αυτή σχετικά σταθερή μέσα στη μέρα και για όλη την περίοδο θέρμανσης. Γενικά, φαίνεται ότι οι κατοικίες με μικρότερο αριθμό συστάδων έχουν πιο σταθερές εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης, ενώ οι κατοικίες με τον μεγαλύτερο αριθμό συστάδων παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην εσωτερική θερμοκρασία. Γενικά οι προτιμήσεις για τη θερμοκρασία λειτουργίας του θερμοστάτη κυμαίνονται μεταξύ 18.5 και 23 °C.

Οι συστάδες που εμφανίζονται μόνο στην αρχή και στο τέλος της περιόδου θέρμανσης (Νοέμβριο και Μάρτη) παρουσιάζουν, όπως θα ήταν αναμενόμενο, χαμηλότερες καταναλώσεις απ' ότι οι συστάδες που εμφανίζονται τους πιο κρύους μήνες. Επίσης η εσωτερική θερμοκρασία για τις συστάδες αυτές είναι πιο σταθερή μέσα στη μέρα καθώς και η υψηλότερη της περιόδου θέρμανσης καθώς και η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη σε σχέση με τους μήνες Δεκέμβριο-Φεβρουάριο.

Ηλεκτρική ενέργεια

Στην περίπτωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρατηρείται κάποια σαφής διαφορά ανάμεσα στις πέντε κατοικίες. Ούτε κάποια εποχική διαφοροποίηση παρατηρείται. Σε όλες τις κατοικίες εντόνότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται τις ώρες της ημέρας που οι χρήστες είναι ξύπνιοι στο σπίτι. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις δύο μεθόδους, ανάλυση σε κύριες συνιστώσες και ανάλυση κατά συστάδες.

Σε σχέση με το φυσικό αέριο, η ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει μικρότερο αριθμό συστάδων σε όλες τις κατοικίες (1 με 3 συστάδες). Στις τρεις από τις πέντε κατοικίες μάλιστα εμφανίζεται μόνο μία συστάδα. Οι κατοικίες D5 και D28 έδωσαν τρεις συστάδες αλλά μόνο μία εμφανίζεται για μεγάλο αριθμό ημερών μέσα στο χρόνο. Οι λιγότερο συχνές συστάδες διαφοροποιούνται από τις επικρατέστερες συστάδες με πιο αιχμηρά μέγιστα τις πρωινές ή τις βραδυνές ώρες που όλοι οι χρήστες βρίσκονται στην κατοικία και θεωρούνται εξαίρεση στη συνήθη συμπεριφορά των χρηστών.

Σε αντίθεση με την ανάλυση κατά συστάδες η ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες έδωσε τον μεγαλύτερο αριθμό κύριων συνιστωσών (5 με 9) για την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες βοήθησε και στον εντοπισμό των κατοικιών (D17 και D28) των οποίων κάποιο μέλος της οικογένειας μάλλον βρίσκεται στο σπίτι τις μεσημεριάνες ώρες. Αυτό επαληθεύτηκε τόσο από τη μελέτη των κύριων συνιστωσών του φυσικού αερίου όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς υπήρχαν συντελέστες στις πρώτες κύριες συνιστώσες μέσα στο χρονικό διάστημα 11:00-17:00 που ήταν βασικές πηγές διακύμανσης. Για τις υπόλοιπες κατοικίες δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με σιγουριά γιατί δεν εμφανίζονται σημαντικοί συντελέστες στις πρώτες Κύριες Συνιστώσες για αυτές τις ώρες της μέρας. Ίσως οι δραστηριότητες που γίνονται στις κατοικίες D17 και D28 το διάστημα 11:00-17:00 να γίνονται στις υπόλοιπες κατοικίες είτε τις βραδυνές ώρες, που οι χρήστες επιστρέφουν στο σπίτι, είτε τις μεσημεριανές ώρες τα σαββατοκύριακα που στατιστικά είναι λιγότερες μέρες το χρόνο και άρα δεν εμφανίζονται τόσο συχνά για να μπορούν να έχουν τόσο μεγάλη επίδραση στις Κύριες Συνιστώσες.

Συγκεντρώσεις CO₂

Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε κτίρια είναι ενδεικτικά της αποδοτικότητας των τεχνικών αερισμού και της παρουσίας ανθρώπων. Μπορούν δηλαδή να δώσουν πληροφορίες για τα διαστήματα μέσα στη μέρα που οι χρήστες είναι παρόντες σε ένα χώρο αλλά και των συνηθειών αερισμού του εν λόγω χώρου.

Η παρουσία χρηστών ή/και οι συνηθισμένες δραστηριότητες αερισμού διαφέρουν ανάμεσα στις πέντε κατοικίες. Παρόλα αυτά, και στις πέντε κατοικίες οι συγκεντρώσεις CO₂ είναι πιο υψηλές από το απόγευμα μέχρι το πρωί της επόμενης μέρας υποδηλώνοντας είτε την έντονη παρουσία ανθρώπων ή/και ελλιπή αερισμό σε εκείνο το διάστημα.

Σε όλες τις κατοικίες εντοπίστηκαν από δύο έως τρεις συστάδες διοξειδίου του άνθρακα. Σε όλες τις κατοικίες εντοπίστηκε τουλάχιστον μια συστάδα με χαμηλότερες τιμές CO₂ και πιο ομαλή ημερήσια διακύμανση και άλλη μια συστάδα με υψηλότερες τιμές και πολύ πιο έντονη ημερήσια διακύμανση. Οι συστάδες με τις χαμηλότερες τιμές και μικρότερη διακύμανση εντοπίζονται στους καλοκαιρινούς και ενδιάμεσους μήνες. Δεδομένου ότι αυτές οι συστάδες εντοπίζονται στους πιο ζεστούς μήνες μπορεί να ειπωθεί ότι οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ οφείλονται στον πιο έντονο ή και συχνό αερισμό με ανοικτά παράθυρα κατά την περίοδο αυτή παρά στην απουσία χρηστών.

Στις καμπύλες που παρουσιάζονται τους πιο κρύους μήνες αποτυπώνεται καλύτερα η παρουσία των χρηστών στον χώρο. Τις πρώτες πρωινές ή/και βραδυνές ώρες που όλοι οι χρήστες είναι στο σπίτι οι συγκεντρώσεις CO₂ γενικά παρουσιάζουν τις υψηλότερες τους τιμές. Τις ώρες της μέρας που, οι περισσότεροι τουλάχιστον, χρήστες συνήθως απουσιάζουν, οι συγκεντρώσεις CO₂ παρουσιάζουν την χαμηλότερη τους τιμή.

Για τις τέσσερις από τις πέντε κατοικίες βρέθηκαν από τρεις κύριες συνιστώσες με σημαντικούς συντελεστές σε τρεις διακριτές φάσεις της ημέρας: πρωί, μεσημέρι και βράδυ. Για την πέμπτη (D28) βρέθηκαν μόνο δύο Κύριες Συνιστώσες, μία με σημαντικούς συντελεστές στο πρώτο μισό της μέρας και μία με σημαντικούς συντελεστές στο άλλο μισό. Οι καμπύλες του διοξειδίου του άνθρακα που προέκυψαν από την ανάλυση κατά συστάδες φαίνονται να χωρίζονται σε τόσα μέρη όσα και οι φάσεις της μέρας που ανέδειξε η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ) ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ενεργειακής βαθμονόμησης μίας από τις πέντε κατοικίες που μελετήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η βαθμονόμηση έγινε με το λογισμικό EnergyPlus¹ με βάση τις οδηγίες του πρότυπου ASHRAE Guideline 14 (2014). Η επαλήθευση του βαθμονομημένου μοντέλου έγινε με γραφικές και με στατιστικές τεχνικές σύγκρισης μεταξύ των μετρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών της κατανάλωσης φυσικού αερίου για θέρμανση και της εσωτερικής θερμοκρασίας. Τα προφίλ που εντοπίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τον αερισμό και την παρουσία χρηστών χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου. Για τη βαθμονόμηση επιλέχθηκε η κατοικία D10. Το κριτήριο επιλογής της συγκεκριμένης κατοικίας ήταν η πολυπλοκότητα των προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης.

Στη συνέχεια το βαθμονομημένο μοντέλο προσαρμόστηκε σε συγκεκριμένα σενάρια ώστε να μπορέσει να αποτιμηθεί ποσοτικά η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις αντίστοιχες συνθήκες θερμικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν πέντε σενάρια θέρμανσης για την κατοικία D10 που αντιστοιχούν στις ομάδες συστάδων θέρμανσης (προφίλ φυσικού αερίου) και θερμοκρασίας που σχηματίστηκαν για τις πέντε κατοικίες και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Και τα πέντε αυτά σενάρια θέρμανσης εφαρμόστηκαν στην κατοικία D10 με σκοπό την πιο αντικειμενική σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» σε μια κατοικία ως προς: την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός της προτεινόμενης από τη σχετική νομοθεσία και πρότυπα και το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός αυτής που επιθυμεί τελικά ο χρήστης.

Πριν την αποτίμηση αυτή το βαθμονομημένο μοντέλο κτιρίου χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση του κατά πόσο ο σχεδιασμός ενός καλά βαθμονομημένου ενεργειακού μοντέλου προσομοίωσης είναι εφικτός για ένα κτίριο κατοικιών με αποδεδειγμένα απρόβλεπτη συμπεριφορά των χρηστών αλλά και να αποδειχθεί η αναγκαιότητα της εισαγωγής στο μοντέλο των προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που προκύπτουν από μεθόδους πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (multivariate statistical analysis).

¹ <https://energyplus.net/>

5.1 Η διαδικασία της βαθμονόμησης

Το Πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014) αποτελεί το παγκόσμιο σημείο αναφοράς για τις μελέτες ενεργειακής βαθμονόμησης. Σύμφωνα με το Πρότυπο αυτό κατά το σχεδιασμό της διαδικασίας βαθμονόμησης χρειάζεται να απαντηθεί ένα πλήθος ερωτήσεων οι οποίες θα καθορίσουν το μοντέλο που θα σχεδιαστεί αλλά και τα κριτήρια βαθμονόμησης του. Ακόμη, είναι αναγκαία η συλλογή μιας σειράς από πληροφορίες και δεδομένα για το υπό μελέτη κτίριο όπως τα κύρια χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, δεδομένα μετρούμενης κατανάλωσης, χαρακτηριστικά των συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού, χαρακτηριστικά των χρηστών, μετεωρολογικά δεδομένα κ.α. Για τους σκοπούς του κεφαλαίου αυτού όλη αυτή η πληροφορία ήταν διαθέσιμη και χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό του ενεργειακού μοντέλου.

5.1.1 Πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης

Για την προσομοίωση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EnergyPlus. Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης που χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές από όλο τον κόσμο. Αποτελεί το επίσημο πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίων του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α. (United States Department of Energy).

5.1.2 Χρονικό επίπεδο βαθμονόμησης

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει σε επίπεδο ώρας ή μήνα. Η γενική μελέτη του κτιρίου σε αυτή τη διατριβή έγινε σε επίπεδο ώρας καθώς σε κτίρια κατοικιών και γενικά σε κτίρια που μπορεί να λειτουργούν και χωρίς θέρμανση ή ψύξη για κάποια διαστήματα, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι εσωτερικές συνθήκες και συνθήκες λειτουργίας σε ωριαία –τουλάχιστον- βάση.

5.1.3 Δείκτες και κριτήρια βαθμονόμησης

Το πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014)

Το πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014) προτείνει δύο στατιστικά μέτρα για τον προσδιορισμό του βαθμού συμφωνίας ή απόκλισης των εκτιμώμενων τιμών με τις πραγματικές, μετρούμενες τιμές: το μέσο συστηματικό σφάλμα (Mean Bias Error - MBE) και το συντελεστή μεταβλητότητας της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ('Coefficient of Variation' of the Root Mean Square Error - CV(RMSE)). Ο δείκτης MBE υπολογίζει το πόσο κοντά στην μετρούμενη ενεργειακή κατανάλωση είναι η ενεργειακή κατανάλωση που εκτιμάται από το μοντέλο. Επειδή όμως ο MBE μπορεί να επηρεαστεί από σφάλματα αντιστάθμισης (offset errors) προτείνεται και ο δεύτερος δείκτης CV(RMSE) ως ένδειξη της μεταβλητότητας. Με τον CV(RMSE) προσδιορίζεται το πόσο καλή είναι η βαθμονόμηση. Όσο πιο χαμηλή η τιμή του τόσο πιο κοντά βρίσκονται οι προσομοιωμένες τιμές στις μετρούμενες.

Αν και το πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014) αναφέρεται σε χρήση των στατιστικών μέτρων για δεδομένα της ενεργειακής κατανάλωσης, τα συγκεκριμένα στατιστικά μέτρα χρησιμοποιούνται ευρέως και για την επικύρωση της εσωτερικής θερμοκρασίας (Christensen et al., 2015; Lam et al., 2014; Royapoor and Roskilly, 2015).

Οι εξισώσεις υπολογισμού των δύο δεικτών δίνονται παρακάτω.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad \text{Εξίσωση 3}$$

$$CV(RSME) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{(M_i - S_i)^2}{N_i} \right]}{\frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^N M_i}} \quad \text{Εξίσωση 4}$$

Το μέσο συστηματικό σφάλμα (MBE) εκφράζεται ως ποσοστιαίο σφάλμα. Αρχικά υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ των μετρούμενων (M_i) και προσομοιωμένων ενεργειακών κατανάλωσεων (S_i) για κάθε ώρα ή μήνα. Οι διαφορές αυτές αθροίζονται και ακολούθως διαιρούνται με τη συνολική μετρούμενη ενεργειακή κατανάλωση για να δώσουν το μέσο συστηματικό σφάλμα.

Ο συντελεστής μεταβλητότητας της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (CV(RMSE)) εκφράζεται και αυτός ως ποσοστό. Για τον προσδιορισμό του υπολογίζεται αρχικά το τετράγωνο της διαφοράς μεταξύ κάθε μετρούμενης τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης με την αντίστοιχη προσομοιωμένη τιμή. Στη συνέχεια αυτά τα τετραγωνικά σφάλματα αθροίζονται και διαιρούνται δια του αντίστοιχου αριθμού των ωρών ή μήνων (N_i) δίνοντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Ακολούθως υπολογίζεται η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Τέλος, από τη διαίρεση της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος με τη μέση τιμή της μετρούμενης συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης προκύπτει ο συντελεστής μεταβλητότητας της ρίζας της μέσης τετραγωνικής αποκλίσεως (CV(RMSE)).

Τα κριτήρια της επιτυχούς βαθμολογίας σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 34 Κριτήρια επιτυχούς βαθμολογίας μοντέλου προσομοίωσης

Δείκτης	Ωριαίες τιμές			Μηνιαίες τιμές		
	ASHRAE G. 14	IPMVP	FEMP M&V	ASHRAE G. 14	IPMVP	FEMP M&V
MBE	±10%	±5%	±10%	±5%	±20%	±5%
CV(RMSE)	±30%	±20%	±30%	±15%	-	±15%

Οι δείκτες MBE και CV(RMSE) προτείνονται και από άλλα διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα όπως το International Performance Measurements and Verification protocol (IPMVP) (2003) και το Federal

Energy Management Program Measurements and Verification (M&V) guidelines (2008). Τα κριτήρια που ορίζει το Federal Energy Management Program Measurements and Verification (M&V) guidelines είναι ίδια με αυτά του ASHRAE Guideline 14 τόσο για τη βαθμονόμηση σε επίπεδο ώρας όσο και σε επίπεδο μήνα. Το πρότυπο IPMVP όμως ορίζει αυστηρότερα κριτήρια για τη βαθμονόμηση σε επίπεδο ώρας και για τους δύο δείκτες.

Τα κριτήρια που θα θεωρηθούν σε αυτό το κεφάλαιο είναι $\pm 10\%$ για τον MBE και $\pm 30\%$ για τον CV(RMSE), καθώς το πρότυπο ASHRAE Guideline 14 (2014) έχει ακολουθηθεί ευρέως σε αυτή τη διατριβή. Όπως θα διαπιστωθεί όμως στη συνέχεια, το βαθμονομημένο ενεργειακό μοντέλο που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο, τελικά πληροί ακόμα και τα αυστηρότερα κριτήρια του (IPMVP) (2003).

M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects (FEMP, 2008)

Το πρότυπο Federal Energy Management Program Measurements and Verification (M&V) guidelines (2008) προτείνει και το μηνιαίο σφάλμα ως δείκτη αξιολόγησης της ικανότητας ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης να προβλέπει την πραγματική ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου ως ακολούθως:

$$ERR_{month}(\%) = \frac{M - S_{month}}{M_{month}} \times 100$$

Εξίσωση 5

Όπου “M” η μετρούμενη κατανάλωση ενέργειας ή καυσίμου και όπου “S” η αντίστοιχη προσομοιωμένη τιμή.

Η βαθμονόμηση ενός μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης θεωρείται επιτυχής όταν η τιμή του δείκτη $ERR_{month}(\%)$ παίρνει τιμές από -15% έως $+15\%$.

Επειδή το συγκεκριμένο κεφάλαιο εστιάζει στη συμπεριφορά των χρηστών όσον αφορά τη χρήση του συστήματος θέρμανσης, η χρήση του συγκεκριμένου δείκτη έγινε για την κατανάλωση φυσικού αερίου για θέρμανση. Η μετρούμενη χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση προέκυψε μετά από αφαίρεση της αντίστοιχης κατανάλωσης για ζεστό νερό και μαγείρεμα από τις συνολικές καταναλώσεις φυσικού αερίου για την περίοδο θέρμανσης (Νοέμβριος-Μάρτιος). Η κατανάλωση για ζεστό νερό και μαγείρεμα εκτιμήθηκε από τις καταναλώσεις φυσικού αερίου για την εποχή της άνοιξης και του καλοκαιριού και είναι η μέση τιμή για το διάστημα αυτό.

5.1.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

Η βαθμονόμηση του ενεργειακού μοντέλου βασίστηκε στα πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα για το διάστημα Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014. Η πηγή των δεδομένων αυτών είναι η Υπηρεσία

Regione Toscana². Με τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκε ένα αρχείο .erw (EnergyPlus Weather Data File) με ωριαίες τιμές συμβατό με το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του ενεργειακού μοντέλου.

5.1.5 Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά

Το κτίριο ανεγέρθηκε το 2000-2002 και πληροί τις εθνικές ενεργειακές προδιαγραφές που ορίζονται από το πρότυπο γνωστό ως Legge n°10/1991. Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από τούβλο, διάκενο και θερμομόνωση.

Η μελετούμενη κατοικία έχει εμβαδόν 61 m² και κατοικείται από πενταμελή οικογένεια. Το καθαρό ύψος του κάθε ορόφου είναι 2,7 m.

Πίνακας 35 Χαρακτηριστικά της υπό μελέτη κατοικίας

	Χώρος	Καθαρή επιφάνεια δαπέδου (m ²)	Επιφάνεια ανοιγμάτων (m ²)	Θέρμανση (Y/N)
D10	Σαλόνι - Κουζίνα	28,45	(3,3 + 0,80) 4,1	Y
	Υπνοδωμάτιο 1	9	1,89	Y
	Υπνοδωμάτιο 2	14,3	1,89	Y
	Διάδρομος	1,8	-	Y
	Μπάνιο	6,2	1,65	Y
	Αποθήκη	1,2		N

5.1.6 Σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης-αερισμού

Όλες οι κατοικίες έχουν σύστημα θέρμανσης φυσικού αερίου με αυτονομία. Οι λέβητες είναι τοποθετημένοι έξω από την κατοικία σε μπαλκόνι. Η θερμική ισχύς του λέβητα: 31,4 kW.

Σύστημα κλιματισμού δεν υπάρχει.

Ο αερισμός επιτυγχάνεται με ανοικτά παράθυρα.

5.1.7 Ζεστό νερό χρήσης

Το ζεστό νερό χρήσης είναι μέρος του συστήματος θέρμανσης (με φυσικό αέριο).

5.1.8 Σκίαση

Εσωτερική σκίαση: Πλαστικό ρολό παραθύρου

Εξωτερική σκίαση: Πρόστεγο

² <http://www.regione.toscana.it/>

5.1.9 Θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων

	Υλικό (από μέσα προς τα έξω)	Πάχος (mm)	Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value) (W/m ² K)
Εξωτερικός τοίχος - Τύπος 1	Gypsum plaster (1400kg/m ³)	10	0,69
	Brick	80	
	Filled cavity	60	
	Polystyrene foam (insulation)	30	
	Brick	120	
	ΣΥΝΟΛΟ	300	
Εξωτερικός τοίχος - Τύπος 2	Gypsum plaster (1400kg/m ³)	10	0,59
	Brick	80	
	Filled cavity	40	
	Polystyrene foam (insulation)	30	
	Brick	120	
	Gypsum plaster (1400kg/m ³)	20	
	ΣΥΝΟΛΟ	300	
Δάπεδο	Tiles	8	1,1
	Concrete screed	50	
	Standard precast floor slabs with ceiling bricks and precast beams	80	
	Lightweight concrete screed with expanded clay pearls	200	
	Gypsum plaster (1400kg/m ³)	10	
	ΣΥΝΟΛΟ	348	
Οροφή	Gypsum plaster (1400kg/m ³)	10	0,42
	Lightweight concrete screed with expanded clay pearls	150	
	Standard precast floor slabs with ceiling bricks and precast beams	80	
	Panel of expanded polystyrene coated	60	
	Concrete screed	60	
	Bitume Layer	20	
	ΣΥΝΟΛΟ	380	

5.1.10 Υαλοστάσια

Τύπος υαλοστασίου	Τύπος υαλοπίνακα	U-value (centre pane) (W/m ² /K)	Τύπος πλαισίου
Κατακόρυφο συρόμενο	Διπλός 4-6-4	3,3	Ξύλο

5.2 Βαθμονόμηση ως προς την εσωτερική θερμοκρασία

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του ενεργειακού μοντέλου με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα (ενότητα 5.1), το ενεργειακό μοντέλο βαθμονόμηθηκε ως προς τα εικοσιτετράωρα προφίλ που βρέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο έτσι όπως αυτά προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια τεχνικών συσταδοποίησης για την κατοικία D10 για τις παρακάτω παραμέτρους:

- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Επίπεδα αερισμού
- Παρουσία χρηστών
- Ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης
- Θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης

Προκειμένου να αξιολογηθεί η χρησιμότητα μιας πιο λεπτομερούς βαθμονόμησης έναντι μιας πιο βασικής έγινε σταδιακή βελτίωση του βαθμονομημένου μοντέλου. Η διαδικασία ξεκίνησε με το χτίσιμο του βασικού μοντέλου και συνεχίστηκε με την σταδιακή προσθήκη λεπτομέρειας σε διακριτά βήματα. Δημιουργήθηκαν δηλαδή τέσσερα μοντέλα:

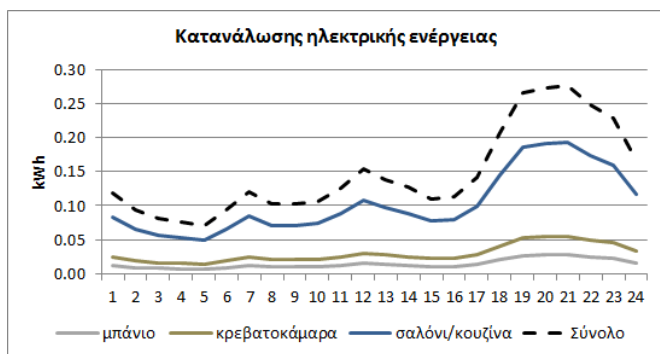
1. Βασικό μοντέλο (μοντέλο 1): εισαγωγή των επικρατέστερων προφίλ για κάθε μήνα.
2. Μοντέλο 2: Εισαγωγή στο βασικό μοντέλο όλων των προφίλ θέρμανσης που εντοπίστηκαν μέσα από την ανάλυση στο Κεφάλαιο 3 την ημέρα που εμφανίστηκαν.
3. Μοντέλο 3: Εισαγωγή πάνω στο μοντέλο 2 όλων των προφίλ CO₂ που εντοπίστηκαν μέσα από την ανάλυση στο Κεφάλαιο 3 την ημέρα που εμφανίστηκαν.
4. Μοντέλο 4: Προσαρμογή των τιμών αερισμού ώστε να ανταποκρίνονται στο πρόγραμμα αερισμού που εφαρμόστηκε στο μοντέλο 3.

5.2.1 Βασικό μοντέλο

Για το βασικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν τα επικρατέστερα προφίλ για κάθε μήνα. Στα επόμενα βήματα βελτίωσης του βασικού μοντέλου (μοντέλα 2-4) λήφθηκαν υπόψιν και τα λιγότερο επικρατή προφίλ για κάθε μήνα για τον αερισμό και τη θέρμανση.

5.2.1.1 Ηλεκτρική ενέργεια

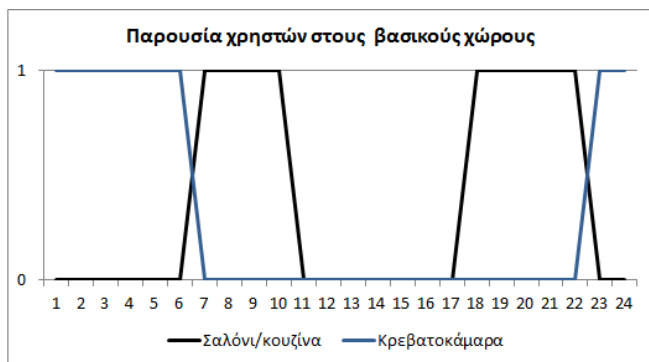
Για την ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάστηκε ένα μόνο προφίλ για όλο το χρόνο. Λόγω της απουσίας υπομετρητών δεν ήταν δυνατό να διαχωριστεί η κατανάλωση για κάθε συσκευή από την κατανάλωση για φωτισμό. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό προφίλ για όλα. Η μέση κατανάλωση του ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ώρα («Σύνολο» στο Σχήμα 16) μοιράστηκε σε όλους τους χώρους της κατοικίας σε ποσοστό 70% στο σαλόνι/κουζίνα, 20% στα υπνοδωμάτια και 10% στο μπάνιο. Τα σχετικά προφίλ ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε βασικό χώρο της κατοικίας αποτέλεσαν τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο βαθμονόμησης.



Σχήμα 16 Προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας – Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο βαθμονόμησης

5.2.1.2 Παρουσία χρηστών

Ο άνθρωπος ως πηγή CO₂ επηρεάζει τις τιμές διοξειδίου του άνθρακα σε ένα χώρο. Για το λόγο αυτό, η παρουσία ανθρώπων στο χώρο του καθιστικού, όπου και ήταν εγκατεστημένος ο αισθητήρας καταγραφής επιπέδων CO₂, προσδιορίστηκε με βάση τις μετρήσεις επιπέδων CO₂ σε αυτόν. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι οι χρήστες βρίσκονται στο χώρο του καθιστικού/κουζίνας τις ώρες 7-11 το πρωί και 6-11 το βράδυ. Τα διαστήματα αυτά συμπίπτουν με την εμφάνιση της μέγιστης τιμής στα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στο συγκεκριμένο χώρο για τη συστάδα 1 (Σχήμα 14). Στο διάστημα 12 το βράδυ με 7 το πρωί οι χρήστες θεωρήθηκε ότι βρίσκονται στην κρεβατοκάμαρα τους. Από τις 11 το πρωί μέχρι τις 6 το απόγευμα θεωρήθηκε ότι οι χρήστες απουσιάζουν. Το παραπάνω προφίλ ακολουθήθηκε για όλες τις μέρες της εβδομάδας καθώς η ανάλυση κατά συστάδες στο προηγούμενο κεφάλαιο δεν παρουσίασε κάποια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ καθημερινών και σαββατοκύριακων. Η συστάδα 2 του διοξειδίου του άνθρακα εντοπίζεται του ενδιάμεσους και καλοκαιρινούς μήνες που ο αερισμός είναι πιο έντονος και άρα παρουσιάζει χαμηλά επίπεδα CO₂. Για το λόγο αυτό η συστάδα 2 δεν μπορεί να είναι ενδεικτική της παρουσίας χρηστών στο χώρο και συνεπώς υποθέτουμε ότι η παρουσία χρηστών τις μέρες που εμφανίζεται η συστάδα 2 είναι ίδια με αυτήν για τη συστάδα 1.



Σχήμα 17 Προφίλ παρουσίας χρηστών στους βασικούς χώρους - Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο βαθμονόμησης

5.2.1.3 Σύστημα θέρμανσης

Για τη θέρμανση, στο βασικό μοντέλο βαθμονόμησης εφαρμόστηκαν οι επικρατέστερες συστάδες για κάθε μήνα όπως αυτές απεικονίζονται για την κατοικία D10 στο Σχήμα 6 και Σχήμα 7. Ο θερμοστάτης ορίστηκε στη μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε για την αντίστοιχη συστάδα ως ακολούθως:

Πίνακας 36 Λειτουργία συστήματος θέρμανσης – Βασικό μοντέλο βαθμονόμησης

Μήνας	Συστάδα	Ρύθμιση θερμοστάτη (°C)
Νοέμβρης	3	20,5
Δεκέμβρης	1	19,4
Γενάρης	2	20,4
Φλεβάρης	4	20,3
Μάρτης	3	20,5

5.2.1.4 Αερισμός

Για τον προσδιορισμό των τιμών του αερισμού χρησιμοποιήθηκε το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251 (EN 15251, 2007). Οι τιμές αερισμού που αντιστοιχούν σε διάφορα επίπεδα τιμών CO₂ αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα θεωρώντας μέση εξωτερική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα τα 350 ppm. Το κεντροειδές της συστάδας 1 για το CO₂ έχει τιμές μεγαλύτερες από 1150 ppm και άρα αντιστοιχεί στην χαμηλότερη κατηγορία ποιότητας αέρα (κατηγορία IV) ενώ το κεντροειδές της συστάδας 2 έχει τιμές μεταξύ 700-850 ppm και άρα αντιστοιχεί στην κατηγορία II.

Πίνακας 37 Αντιστοιχία συγκεντρώσεων CO₂ και τιμών αερισμού για κάθε κατηγορία ποιότητας αέρα – EN 15251 (2007)

Κατηγορία ποιότητας αέρα	Συγκεντρώσεις CO ₂ (ppm)	Τιμή αερισμού (m ³ /s/p)
I	<=700	0,01
II	700-850	0,007
III	850-1150	0,004
IV	>1150	-

Και για τον αερισμό όπως και για τη θέρμανση, στο βασικό μοντέλο βαθμονόμησης εφαρμόστηκε η επικρατέστερη συστάδα για κάθε μήνα. Η τελική τιμή αερισμού για κάθε συστάδα προσδιορίστηκε μετά από δοκιμές στο μοντέλο με προσοχή όμως ώστε να μην ξεφεύγει από τα όρια που ορίζει το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251 (2007) (Πίνακας 37). Είναι σημαντικό να σημειωθεί όμως ότι οι τιμές αερισμού που ορίζει το πρότυπο αναφέρονται σε τεχνητό αερισμό και όχι σε φυσικό αερισμό όπως στην περίπτωση των υπό μελέτη κτιρίων.

Πίνακας 38 Εφαρμογή φυσικού αερισμού – Βασικό μοντέλο βαθμονόμησης

Μήνας	Συστάδα	Τιμή αερισμού (m ³ /s/p)
Οκτώβρης	2	0,0125
Νοέμβρης	2	0,00375
Δεκέμβρης	1	0,0005
Γενάρης	1	0,0005
Φλεβάρης	2	0,005
Μάρτης	2	0,005
Απρίλης	2	0,0125
Μάιος	1	0,005
Ιούνιος	1	0,01
Ιούλιος	1	0,01
Αύγουστος	1	0,01
Σεπτέμβρης	1	0,01

5.3 Αποτελέσματα της βαθμονόμησης ως προς την εσωτερική θερμοκρασία

Η επικύρωση της βαθμονόμησης έγινε με τις τιμές της θερμοκρασίας για το χώρο του σαλονιού. Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης για το βασικό μοντέλο και για τα τρία βελτιωμένα μοντέλα παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα.

5.3.1 Βασικό μοντέλο

Όπως φαίνεται απο τον Πίνακας 39 παρακάτω, τόσο το μέσο συστηματικό σφάλμα (MBE) όσο και ο συντελεστής μεταβλητότητας της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (CV(RMSE)) πληρούν τα κριτήρια επιτυχούς βαθμονόμησης (Πίνακας 34) για όλους τους μήνες του χρόνου, επιβεβαιώνοντας έτσι ότι οι θερμοκρασίες που έχουν προβλεφθεί από το μοντέλο είναι αρκετά κοντά στις πραγματικές θερμοκρασίες.

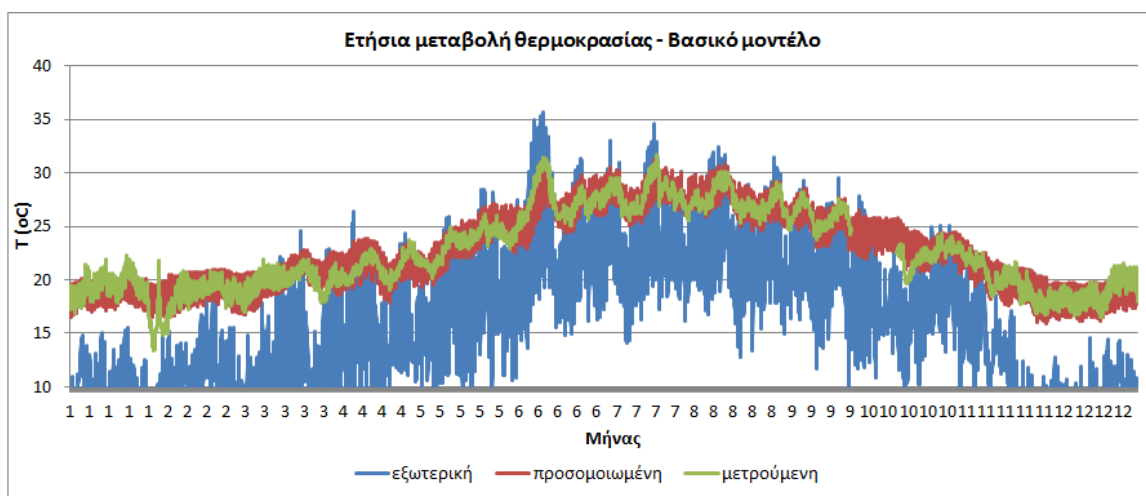
Πίνακας 39 Αποτελέσματα βαθμονόμησης – Δείκτες MBE και CV(RMSE)

Διάστημα	Βασικό μοντέλο		Λεπτομερείς συστάδες θέρμανσης		Λεπτομερείς συστάδες αερισμού		Προσαρμοσμένες τιμές αερισμού	
	MBE	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)
Γενάρης	0.7%	8.3%	-0.7%	8.5%	-0.4%	8.4%	-0.4%	8.4%
Φλεβάρης	-0.6%	6.8%	-1.1%	7.1%	-0.9%	7.2%	-0.9%	7.2%
Μάρτης	-1.3%	5.4%	-1.2%	5.4%	-0.4%	5.0%	-0.4%	5.0%
Απρίλης	0.3%	5.1%	0.3%	5.1%	3.8%	7.5%	0.3%	4.4%
Μάιος	-0.9%	4.4%	-0.9%	4.4%	-1.5%	4.7%	0.2%	4.2%
Ιούνιος	1.5%	4.9%	1.5%	4.9%	1.4%	4.9%	1.9%	5.1%
Ιούλιος	-0.1%	3.5%	-0.1%	3.5%	-0.1%	3.5%	-0.1%	3.5%
Αύγουστος	-0.1%	3.4%	-0.1%	3.4%	-0.1%	3.4%	-0.1%	3.4%
Σεπτέμβρης	1.4%	3.6%	1.4%	3.6%	1.4%	3.6%	1.4%	3.6%
Οκτώβρης	-2.9%	6.1%	-2.9%	6.1%	-0.4%	6.2%	0.1%	5.0%
Νοέμβρης	1.3%	6.3%	0.8%	5.9%	2.8%	7.1%	1.4%	6.2%
Δεκέμβρης	1.7%	6.1%	1.4%	6.0%	2.3%	6.2%	2.3%	6.2%
Πλήρες έτος	0.2%	5.2%	0.0%	5.2%	0.7%	5.5%	0.5%	5.1%
Περίοδος θέρμανσης	0.0%	6.6%	0.0%	6.6%	0.0%	6.9%	0.0%	6.7%

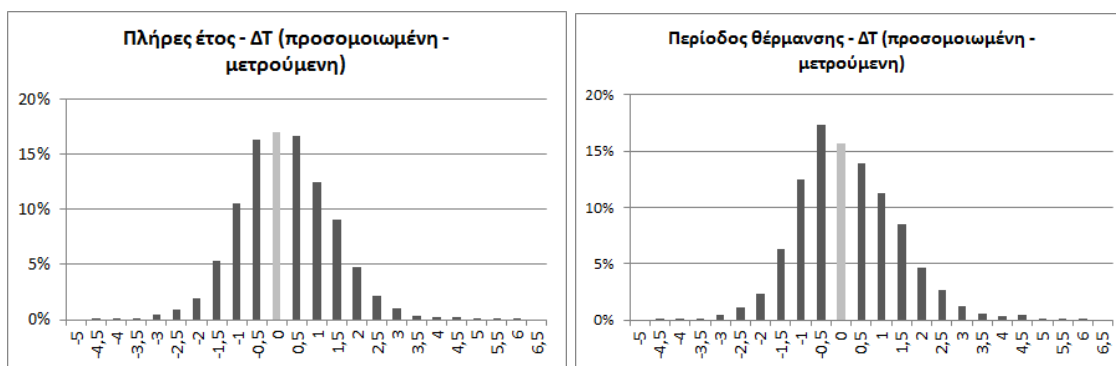
Το Σχήμα 18 απεικονίζει την ετήσια διακύμανση της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας για το υπό μελέτη έτος. Όπως φαίνεται από το γράφημα η προσομοιωμένη θερμοκρασία για το βασικό μοντέλο ακολουθεί αρκετά πιστά την εσωτερική θερμοκρασία. Τους μήνες που ο αερισμός με ανοικτά παράθυρα είναι πιο έντονος φαίνεται και πιο έντονα η επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας πάνω στην εσωτερική.

Η βασικότερη διαφορά ανάμεσα στην προσομοιωμένη θερμοκρασία και στη μετρούμενη θερμοκρασία βρίσκεται στο εύρος τιμών της πρώτης. Για ολόκληρο το έτος το 47% των προσομοιωμένων τιμών είναι υψηλότερες από τη μετρούμενη, ενώ το 36% είναι χαμηλότερες (Σχήμα 19). Παρόλα αυτά για το 50% των προσομοιωμένων τιμών η διαφορά απο τις μετρούμενες τιμές βρίσκεται στο διάστημα -0,5 και 0,5 °C, ενώ στο διάστημα -1 και 1 °C συναντάμε το 73% των ΔΤ.

Τη χειμερινή περίοδο, κατά την οποία το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία, το 40% των προσομοιωμένων θερμοκρασιών είναι χαμηλότερο από τις αντίστοιχες μετρούμενες ενώ το 44% είναι υψηλότερο (Σχήμα 19). Ένα σημαντικό ποσοστό των προσομοιωμένων θερμοκρασιών (30%) είναι 0,5 ή 1 °C χαμηλότερο από τις μετρούμενες τιμές, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό (25%) είναι 0,5 ή 1 °C υψηλότερο από τις μετρούμενες τιμές. Η υποεκτίμηση κατά -0,5 και -1 °C φαίνεται να σημειώνεται τον μήνα Γενάρη και προς το τέλος Δεκέμβρη (Σχήμα 18).



Σχήμα 18 Ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας για το βασικό μοντέλο – Σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία και την μετρούμενη θερμοκρασία



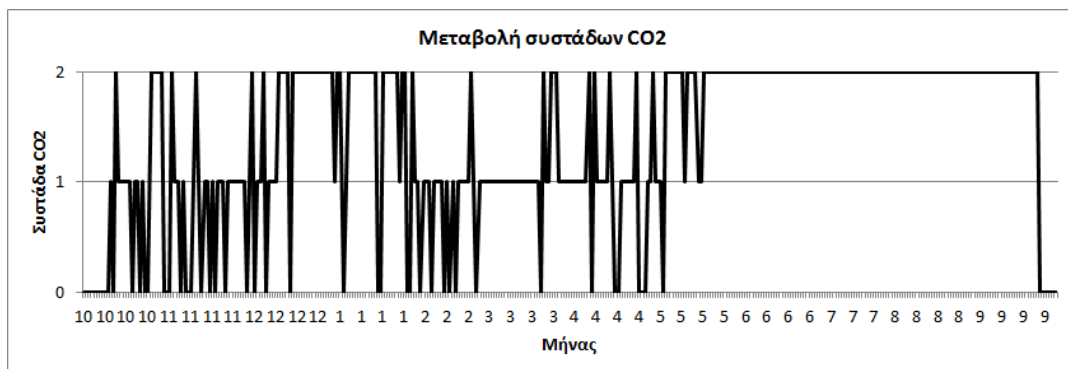
Σχήμα 19 Κατανομή ΔΤ για το βασικό μοντέλο (διαφορά προσομοιωμένης θερμοκρασίας από την μετρούμενη)

5.3.2 Βελτιώσεις στο βασικό μοντέλο βαθμονόμησης

Πάνω στο βασικό μοντέλο έγιναν σταδιακές βελτιώσεις που προσέδιδαν περισσότερη ακρίβεια στο μοντέλο βαθμονόμησης. Τα βήματα βελτίωσης είχαν ως εξής:

1. Λεπτομερείς συστάδες για λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Εφαρμόστηκαν όλα τα προφίλ φυσικού αερίου που εντοπίστηκαν μέσα από την ανάλυση στο Κεφάλαιο 3 την ημέρα που εμφανίστηκαν.

στον αριθμό των ωρών του αερισμού θα πρέπει να γίνει και προσαρμογή στις τιμές του αερισμού, κάτι που δεν έγινε σε αυτή την περίπτωση. Η προσαρμογή των τιμών θα γίνει στο βήμα 3.



Σχήμα 21 Μεταβολή συστάδων CO2

Βήμα 3: Προσαρμοσμένες τιμές αερισμού

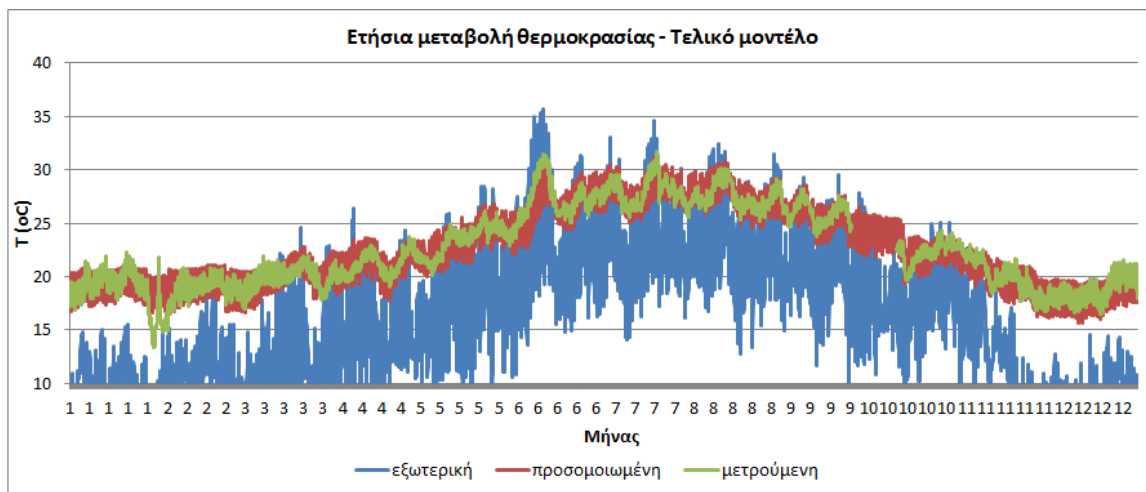
Μετά την εισαγωγή των λεπτομερών μορφών αερισμού στο βήμα 2 έγινε μια προσαρμογή στις τιμές του αερισμού. Η αλλαγή στις τιμές αερισμού ήταν τόσο ώστε η ετήσια μεταβολή της προσομοιωμένης θερμοκρασίας να ακολουθεί σε ικανοποιητικό βαθμό την μετρούμενη, όπως έγινε και για το βασικό μοντέλο και φαίνεται στο Σχήμα 18. Οι τελικές τιμές του αερισμού προσδιορίστηκαν μετά από δοκιμές στο μοντέλο όμως δεν αποκλείουν πολύ από αυτές στον Πίνακα 38.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 39 η προσαρμογή των τιμών αερισμού βελτιώνει το μοντέλο που παρουσιάστηκε στο βήμα 2 για τις λεπτομερείς συστάδες αερισμού τόσο ως προς τον δείκτη MBE όσο και ως προς τον δείκτη CV(RMSE). Η βελτίωση στον δείκτη CV(RMSE) είναι της τάξης του 4% για το πλήρες έτος και της τάξης του 2% για την περίοδο θέρμανσης, ενώ για τον δείκτη MBE είναι 0,2% και 0% αντίστοιχα.

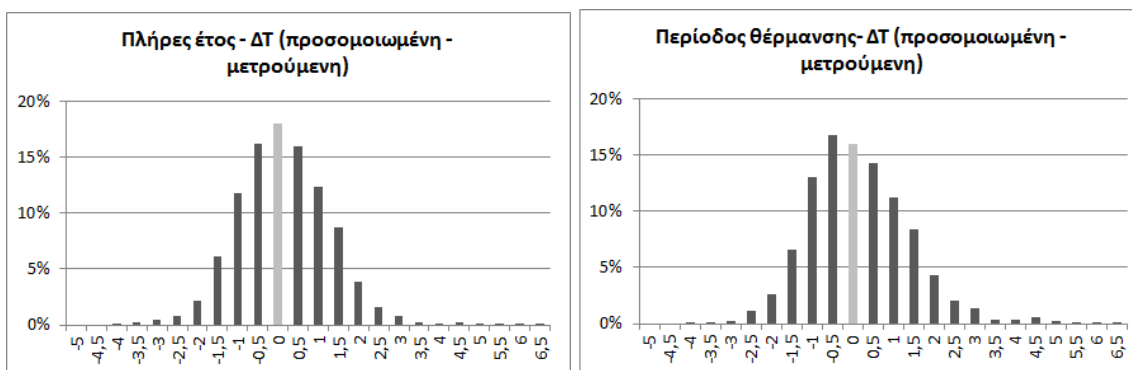
Όπως διαπιστώνεται από το Σχήμα 22 η διακύμανση της προσομοιωμένης θερμοκρασίας για το τελικό μοντέλο δεν έχει αλλάξει σημαντικά σε σχέση με αυτή για το βασικό μοντέλο (Σχήμα 18). Για ολόκληρο το έτος το 44% των προσομοιωμένων τιμών είναι υψηλότερες από τη μετρούμενη (ενάντι 47% που ήταν για το βασικό μοντέλο), ενώ το 38% είναι χαμηλότερες (ενάντι 36% που ήταν για το βασικό μοντέλο) (Σχήμα 23). Παρόλα αυτά η διαφορά από τις μετρούμενες τιμές συνεχίζει να βρίσκεται στο διάστημα -0,5 και 0,5 °C για το 50% των προσομοιωμένων τιμών, ενώ στο διάστημα -1 και 1 °C συναντάμε το 74% των ΔT, ενάντι 73% που ήταν για το βασικό μοντέλο.

Τη χειμερινή περίοδο, κατά την οποία το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία, το 41% των προσομοιωμένων θερμοκρασιών είναι χαμηλότερο από τις αντίστοιχες μετρούμενες (ενάντι 40% που ήταν για το βασικό μοντέλο) ενώ το 43% είναι υψηλότερο (ενάντι 36% που ήταν για το βασικό μοντέλο) (Σχήμα 23). Το 30% των προσομοιωμένων θερμοκρασιών συνεχίζει να είναι 0,5 ή 1 °C χαμηλότερο από

τις μετρούμενες τιμές, ενώ το 26% των τιμών, ενάντι 25% που ήταν για το βασικό μοντέλο είναι 0,5 ή 1 °C υψηλότερο από τις μετρούμενες τιμές.



Σχήμα 22 Ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας για το τελικό μοντέλο – Σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία και την μετρούμενη θερμοκρασία



Σχήμα 23 Κατανομή ΔΤ για το τελικό μοντέλο (διαφορά προσομοιωμένης θερμοκρασίας από την μετρούμενη)

5.4 Επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις συνθήκες θερμικής άνεσης

Στη συνέχεια το μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης προσαρμόστηκε σε συγκεκριμένα σενάρια ώστε να μπορέσει να αποτιμηθεί ποσοτικά η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις αντίστοιχες συνθήκες θερμικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν πέντε σενάρια θέρμανσης για την κατοικία D10. Τα σενάρια θέρμανσης αντιστοιχούν στις ομάδες συστάδων θέρμανσης (προφίλ φυσικού αερίου) και θερμοκρασίας που σχηματίστηκαν για τις πέντε κατοικίες και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (ενότητες 4.4.1 και 4.4.2). Και τα πέντε αυτά σενάρια θέρμανσης εφαρμόστηκαν στην κατοικία D10 με σκοπό την πιο αντικειμενική σύγκριση και

ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» σε μια κατοικία ως προς:

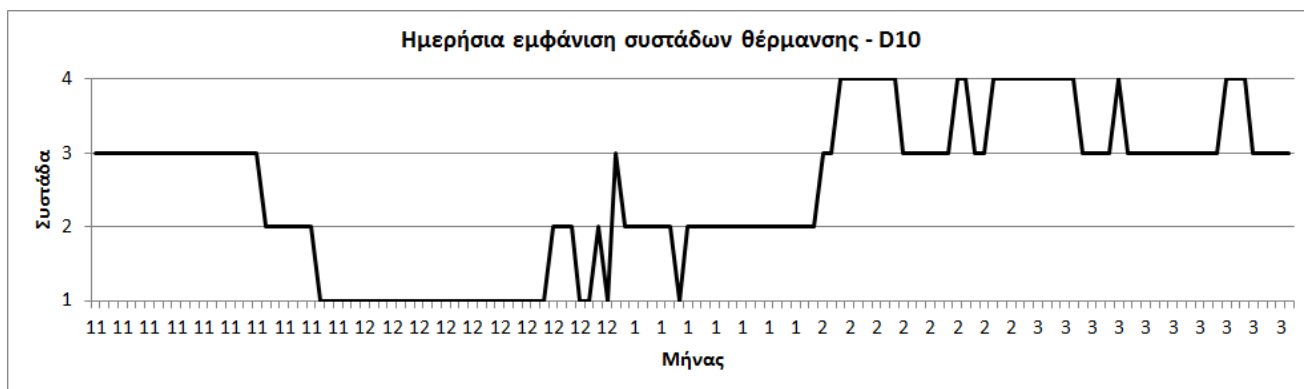
- Την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση
- Το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός της προτεινόμενης από τη σχετική νομοθεσία και πρότυπα
- Το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός αυτής που επιθυμεί τελικά ο χρήστης.

Για τη μελέτη αυτή δημιουργήθηκαν 10 παραλλάξεις του μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης ως ακολούθως:

1. **Σενάριο αναφοράς.** Το βαθμονομημένο μοντέλο με τα λεπτομερή προφίλ θέρμανσης για την κατοικία D10 όπως αυτά εμφανίστηκαν για κάθε μέρα της περιόδου θέρμανσης. Το μοντέλο αυτό θα αποτελέσει το αντικείμενο σύγκρισης με τις υπόλοιπες παραλλαγές για την αξιολόγηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις αντίστοιχες συνθήκες θερμικής άνεσης.
2. **Πέντε παραλλαγές με τα επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης για κάθε μήνα και τύπο ημέρας από τις πέντε κατοικίες.** Άρα εφαρμογή των ακολούθων στην βαθμονομημένη ως προς την ενεργειακή κατανάλωση κατοικία D10 (σενάριο αναφοράς):
 - Επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D5
 - Επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D10
 - Επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D14
 - Επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D17
 - Επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D28
3. **Τέσσερις παραλλαγές με τα λεπτομερή προφίλ θέρμανσης από τις κατοικίες D5, D14, D17 και D28 όπως αυτά εμφανίστηκαν κατά την περίοδο θέρμανσης τη μέρα που εμφανίστηκαν.** Άρα εφαρμογή των ακολούθων στην βαθμονομημένη ως προς την ενεργειακή κατανάλωση κατοικία D10 (σενάριο αναφοράς):
 - Λεπτομερή προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D5 για κάθε μέρα της περιόδου θέρμανσης
 - Λεπτομερή προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D14 για κάθε μέρα της περιόδου θέρμανσης
 - Λεπτομερή προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D17 για κάθε μέρα της περιόδου θέρμανσης
 - Λεπτομερή προφίλ θέρμανσης της κατοικίας D28 για κάθε μέρα της περιόδου θέρμανσης

5.4.1 Βαθμονόμηση ως προς την κατανάλωση φυσικού αερίου για θέρμανση – Το σενάριο αναφοράς

Ως σενάριο αναφοράς ορίστηκε η κατοικία D10 με τις λεπτομερείς συστάδες θέρμανσης. Στο Σχήμα 24 φαίνεται αναλυτικά η ημερήσια εμφάνιση των συστάδων κατά την περίοδο θέρμανσης (Νοέμβριος – Μάρτιος). Τα προφίλ θέρμανσης από κάθε συστάδα εφαρμόστηκαν με την αντίστοιχη λεπτομέρεια εμφάνισης στο ενεργειακό μοντέλο προσομοίωσης που αποτελεί το σενάριο αναφοράς. Τα εικοσιτετράωρα προφίλ της κάθε συστάδας για την κατοικία D10 παρουσιάζονται στις ενότητες 4.4.1 και 4.4.2.



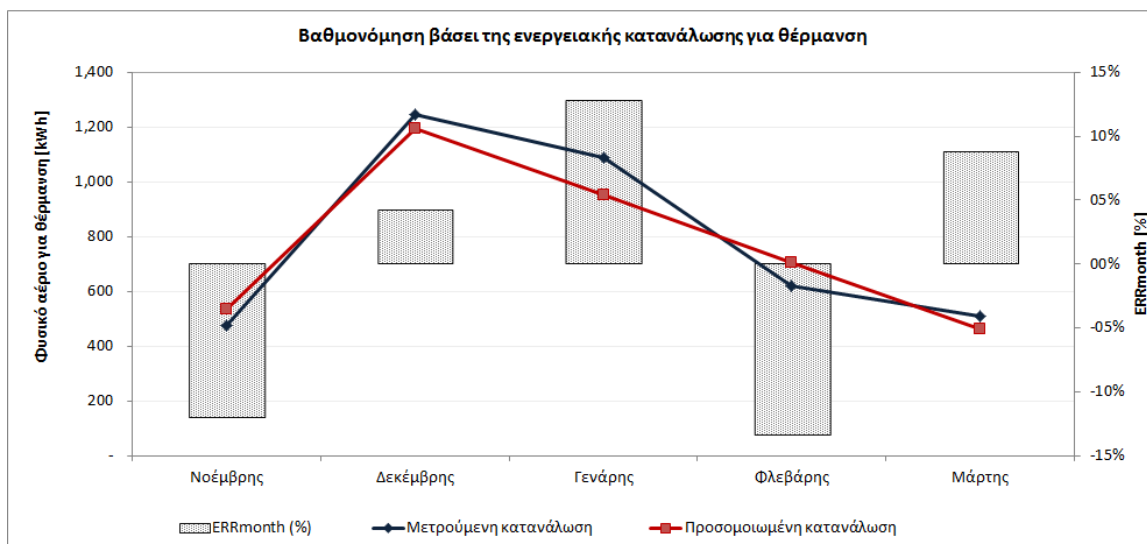
Σχήμα 24 Ημερήσια εμφάνιση συστάδων θέρμανσης για την κατοικία D10

Η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για κάθε ένα από τα τέσσερα προφίλ θέρμανσης για την κατοικία D10 φαίνονται στον Πίνακα 40.

Η ακρίβεια της βαθμονόμησης αξιολογήθηκε με τους δείκτες $ERR_{month}(\%)$, MBE και CV(RMSE) για τις μηνιαίες μετρούμενες και προσομοιωμένες τιμές της κατανάλωσης για θέρμανση. Οι τιμές του δείκτη $ERR_{month}(\%)$ καθώς και οι μηνιαίες καταναλώσεις για θέρμανση παρουσιάζονται στο Σχήμα 25.

Όπως φαίνεται, η τιμή του δείκτη $ERR_{month}(\%)$ είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων ($\pm 15\%$) για όλους τους μήνες της περιόδου θέρμανσης. Οι τιμές των MBE και CV(RMSE) για την περίοδο θέρμανσης είναι -2% και 10% , αντίστοιχα και άρα και αυτές εντός των ορίων που ορίζουν τα σχετικά πρότυπα ($\pm 5\%$ και $\pm 15\%$, αντίστοιχα).

Με βάση τα παραπάνω η βαθμονόμηση βάσει της κατανάλωσης φυσικού αερίου για θέρμανση για το σενάριο αναφοράς ορίζεται ως επιτυχής. Επάνω στο μοντέλο αυτό θα εφαρμοστούν τα σενάρια θέρμανσης που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς χρήστες.



Σχήμα 25 Αποτελέσματα βαθμονόμησης ως προς την κατανάλωση για θέρμανση για το σενάριο αναφοράς

5.4.2 Σύγκριση των σεναρίων θέρμανσης με το σενάριο αναφοράς

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν αντίστοιχα μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης για τις υπόλοιπες 9 παραλλαγές και έγινε σύγκριση της απόδοσης των μοντέλων αυτών με του σεναρίου αναφοράς.

5.4.2.1 Σύγκριση με τα επικρατέστερα μηνιαία προφίλ θέρμανσης

Οι επικρατέστερες συστάδες για κάθε μήνα και μέρα της βδομάδας (καθημερινή, Σαββατοκύριακο) καθώς και η αντίστοιχη τιμή του θερμοστάτη που εφαρμόστηκαν για κάθε ένα από τα πέντε σεναρία (D5, D10, D14, D17, D28) παρουσιάζονται στον Πίνακα 40. Τα αναλυτικά εικοσιτετράωρα προφίλ για κάθε συστάδα παρουσιάζονται στις ενότητες 4.4.1 και 4.4.2.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 40 τα σεναρία από τις κατοικίες D14, D17 και D28 έχουν υψηλότερες τιμές θερμοστάτη (22, 21 και 23 °C, αντίστοιχα) από της κατοικίας D5 και της κατοικίας αναφοράς D10. Το σενάριο της κατοικίας D5 από την άλλη έχει παραπλήσιες τιμές ρύθμισης θερμοστάτη με αυτές της κατοικίας D10 (19-20 °C) κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης.

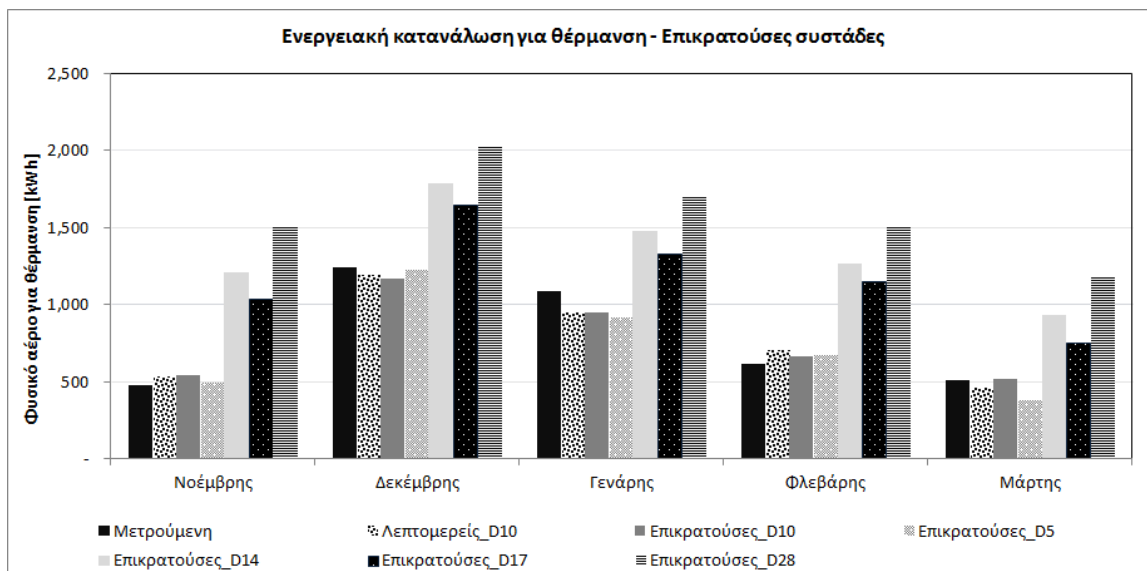
Ένα άλλο κοινό που έχουν τα σεναρία από τις κατοικίες D14, D17 και D28 είναι οι σταθερές ρυθμίσεις στο σύστημα θέρμανσης καθ'όλη την περίοδο θέρμανσης καθώς μόνο μία σύσταδα εμφανίζεται ως επικρατής για όλους τους μήνες. Υπάρχει όμως κάποια διαφοροποίηση ως προς τις φορές ανά μέρα που το σύστημα θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία σε κάθε σενάριο αλλά και ως προς τη συνολική διάρκεια λειτουργίας του μέσα στη μέρα. Από την άλλη, οι κατοικίες D5 και D10, και ειδικότερα η κατοικία D10, έχουν πολύ ακανόνιστη λειτουργία με διαφορετικές ώρες λειτουργίας και τιμές θερμοστάτη κάθε μήνα αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις και μέρα της εβδομάδας. Σε σχέση με τα σεναρία για τις

κατοικίες D14, D17 και D28 παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη αλλά και λιγότερες ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης.

Πίνακας 40 Χαρακτηριστικά επικρατέστερων συστάδων για κάθε μήνα και τύπο ημέρας

D5	Μήνας που η συστάδα επικρατεί των υπολοίπων		τιμή θερμοστάτη (°C)	Διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Φορές που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (ώρες/μέρα)
	Καθημερινές	Σαββατοκύριακα				
συστάδα 1	Γενάρης	Γενάρης, Φλεβάρης	18.6	6:00 - 9:00 / 19:00 - 21:00	2	7 ώρες
συστάδα 3	Νοέμβρης, Μάρτης	Μάρτης, Νοέμβρης	18.9	6:00 - 9:00 / 18:00 - 21:00	2	8 ώρες
συστάδα 4	Δεκέμβρης - Φλεβάρης		19.2	6:00- 7:00 / 18:00 -21:00	2	6 ώρες
συστάδα 6		Δεκέμβρης	18.7	6:00 - 9:00 / 17:00 - 21:00	2	9 ώρες
D10	Μήνας που η συστάδα επικρατεί των υπολοίπων		τιμή θερμοστάτη (°C)	Διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Φορές που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (ώρες/μέρα)
	Καθημερινές	Σαββατοκύριακα				
συστάδα 1	Δεκέμβρης	Δεκέμβρης	18.5	6:00 - 8:00 / 11:00 - 12:00 / 18:00-19:00 / 23:00 - 24:00	4	9 ώρες
συστάδα 2	Γενάρης	Γενάρης	19.3	6:00 - 8:00 / 18:00-20:00 / 23:00 - 24:00	3	7 ώρες
συστάδα 3	Νοέμβρης, Μάρτης	Νοέμβρης, Φλεβάρης, Μάρτης	20.0	5:00 - 7:00 / 19:00 - 21:00	2	6 ώρες
συστάδα 4	Φλεβάρης		19.1	5:00 - 7:00 / 19:00 - 21:00	2	6 ώρες
D14	Μήνας που η συστάδα επικρατεί των υπολοίπων		τιμή θερμοστάτη (°C)	Διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Φορές που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (ώρες/μέρα)
	Καθημερινές	Σαββατοκύριακα				
συστάδα 1	Νοέμβρης - Μάρτης	Νοέμβρης - Μάρτης	21.9	6:00 - 9:00 / 13:00 - 14:00 / 18:00 - 23:00	3	12 ώρες
D17	Μήνας που η συστάδα επικρατεί των υπολοίπων		τιμή θερμοστάτη (°C)	Διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Φορές που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (ώρες/μέρα)
	Καθημερινές	Σαββατοκύριακα				
συστάδα 1	Νοέμβρης - Μάρτης	Νοέμβρης - Μάρτης	20.7	7:00 - 22:00	1	16 ώρες
D28	Μήνας που η συστάδα επικρατεί των υπολοίπων		τιμή θερμοστάτη (°C)	Διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Φορές που το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα	Διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης (ώρες/μέρα)
	Καθημερινές	Σαββατοκύριακα				
συστάδα 2	Νοέμβρης - Μάρτης	Νοέμβρης - Μάρτης	22.8	01:00 – 24:00	1	24 ώρες

Η μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση για κάθε ένα από τα πέντε σενάρια με τις επικρατέστες συστάδες θέρμανσης φαίνεται στο Σχήμα 26. Εκτός από τα αποτελέσματα για τα πέντε μοντέλα με τα επικρατέστερα προφίλ θέρμανσης για κάθε μήνα (D5, D10, D14, D17, D28), απεικονίζεται και η μετρούμενη κατανάλωση αλλά και η κατανάλωση για το σενάριο αναφοράς (Λεπτομερείς_D10).



Σχήμα 26 Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση μετά από την εφαρμογή των επικρατούσων συστάδων για θέρμανση στο βαθμονομημένο μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης

Πίνακας 41 Μοντέλα με επικρατέστερες συστάδες θέρμανσης – Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση (kWh) με το μοντέλο αναφοράς

Επικρατέστερες συστάδες	D10	D5	D14	D17	D28
Νοέμβριος	2.7%	-7.4%	126%	93%	182%
Δεκέμβριος	-1.7%	2.9%	50%	38%	69%
Γενάρης	0.2%	-3.9%	56%	40%	79%
Φεβράριος	-5.0%	-4.5%	80%	62%	113%
Μάρτιος	11.6%	-18.3%	101%	62%	156%
ΣΥΝΟΛΟ	0.4%	-4.1%	73.5%	53.4%	105.8%

Η μεγαλύτερη κατανάλωση φυσικού αερίου για θέρμανση παρουσιάζεται στην περίπτωση λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης όπως στην κατοικία D28. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στο σενάριο της κατοικίας D28 το σύστημα θέρμανσης είναι μονίμως σε λειτουργία και ρυθμισμένο στους 22,8 °C, ενώ στην περίπτωση του σεναρίου αναφοράς γίνεται γενικά διακεκομμένη χρήση του συστήματος μέσα στη μέρα (λειτουργία από 6 έως 9 ώρες) και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (18,5 - 20 °C). Σε κάποιες περιπτώσεις (Νοέμβριος, Φεβράριος, Μάρτιος) η κατανάλωση για την κατοικία D28 είναι και υπερδιπλάσια από αυτήν του σεναρίου αναφοράς (υψηλότερη κατά 182%, 113% και 156%) παρόλο που σε αυτούς τους μήνες υπάρχει μεγάλη εμφάνιση της συστάδας 3 στην κατοικία D10 που έχει και την υψηλότερη τιμή θερμοστάτη για την εν λόγω κατοικία (20 °C) και μόνο κάποια μικρή εμφάνιση της συστάδας 1 με τη χαμηλότερη τιμή ρύθμισης (18,5 °C) την τελευταία βδομάδα του Νοέμβρη Σχήμα 24).

Τα σενάρια για τις κατοικίες D14 και D17 παρουσιάζουν τις πιο κοντινές καταναλώσεις μεταξύ τους και πολύ διαφορετικές από τα υπόλοιπα, μαζί και του σεναρίου αναφοράς (Πίνακας 41) αν και για το σενάριο της κατοικίας η κατανάλωση D14 είναι πάντα υψηλότερη από αυτήν για την κατοικία D17. Η σχετικά κοντινή κατανάλωση θα μπορούσε να οφείλεται στο ότι παρόλο που η επιθυμητή ρύθμιση του θερμοστάτη για αυτές τις δύο κατοικίες διαφέρει κατά 1,2 °C (21,9 και 20,7 °C), στην περίπτωση της κατοικίας D17 το σύστημα θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία συνεχόμενα από τις 07:00 έως και τις 22:00 (16 ώρες συνεχόμενες) ενώ στην περίπτωση της κατοικίας D14 τίθεται σε λειτουργία 3 φορές τη μέρα, 06:00-09:00, 13:00-14:00 και 18:00-23:00 (12 ώρες μέσα στη μέρα) (Πίνακας 40).

Η κατανάλωση για το σενάριο της κατοικίας D5 είναι παραπλήσια με αυτήν του σεναρίου αναφοράς (Πίνακας 41). Η μεγαλύτερη απόκλιση από την κατανάλωση του σεναρίου αναφοράς εντοπίζεται τους μήνες Νοέμβριο (-7,4%) και Μάρτιο (-18,3%). Παρόλο όμως που το σύστημα θέρμανσης στην περίπτωση του σεναρίου από την κατοικία D5 τίθεται σε λειτουργία μόνο 2 φορές τη μέρα όλους τους μήνες (Πίνακας 40), σε αντίθεση με την κατοικία D10 που μόνο κατά το μήνα Φλεβάρη λειτουργεί με αυτό τον τρόπο (τους υπόλοιπους μήνες λειτουργεί 3-4 φορές τη μέρα), η κατανάλωση για θέρμανση είναι συγκρίσιμη με αυτή της κατοικίας D10 και πολύ κοντά τόσο στην μετρούμενη όσο και στην κατανάλωση του σεναρίου αναφοράς.

Πίνακας 42 Ανάλυση συσχέτισης για μεταβλητές σχετικές με την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση

		Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση	τιμή θερμοστάτη	ώρες λειτουργίας	φορές λειτουργίας
Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση	Pearson Correlation	1			
	Sig. (2-tailed)				
	N	50			
Τιμή θερμοστάτη	Pearson Correlation	,431**	1		
	Sig. (2-tailed)	,002			
	N	50	50		
Ώρες λειτουργίας / μέρα	Pearson Correlation	,407**	,823**	1	
	Sig. (2-tailed)	,003	,000		
	N	50	50	50	
Φορές λειτουργίας / μέρα	Pearson Correlation	-,100	-,309*	-,622**	1
	Sig. (2-tailed)	,489	,029	,000	
	N	50	50	50	50

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Στη συνέχεια διενεργήθηκε ανάλυση συσχέτισης για την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, την τιμή του θερμοστάτη, τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και των φορών μέσα στη μέρα που λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης. Χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των τιμών για κάθε μεταβλητή

(50 στο σύνολο) για όλες τις κατοικίες (5 κατοικίες), μήνες της περιόδου θέρμανσης (5 μήνες) και τύπο ημέρας (2 τύποι, καθημερινή και σαββατοκύριακο, για κάθε μήνα) (Πίνακας 40).

Όπως έδειξε η ανάλυση συσχέτισης (Πίνακας 42) η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση παρουσιάζει σημαντική θετική συσχέτιση με την τιμή του θερμοστάτη ($r=0,431$, $p<0.01$) και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα ($r=0,407$, $p<0.01$). Παρόλα αυτά η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και οι φορές που το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία τη μέρα δεν παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση.

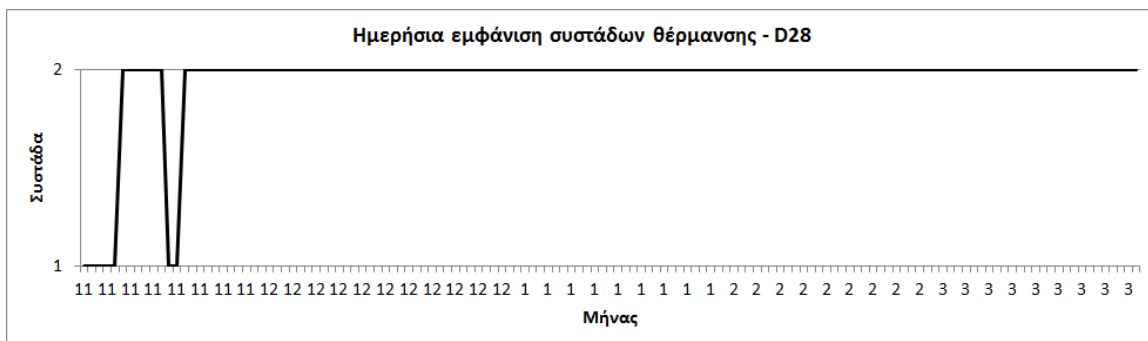
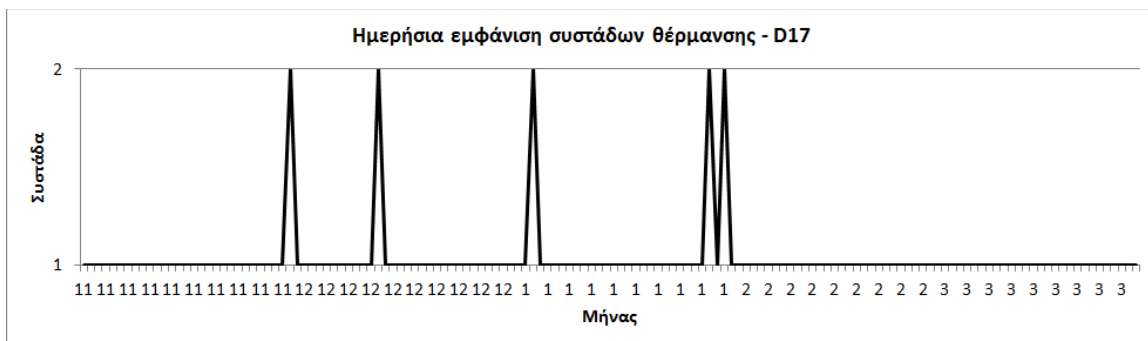
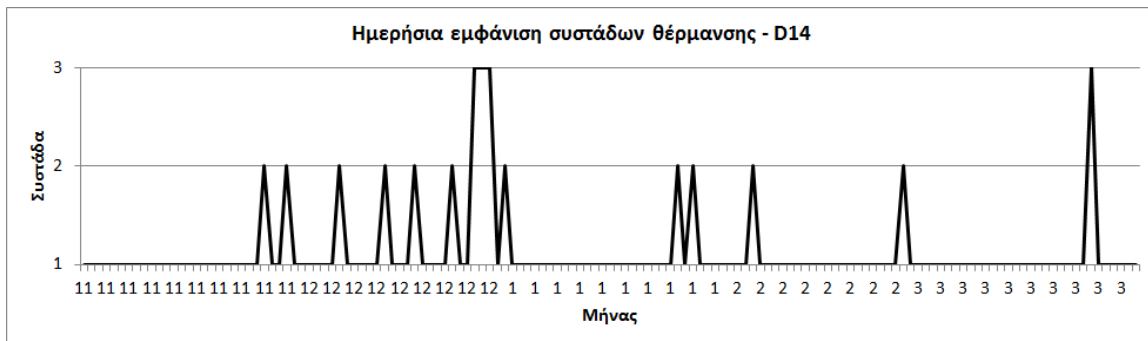
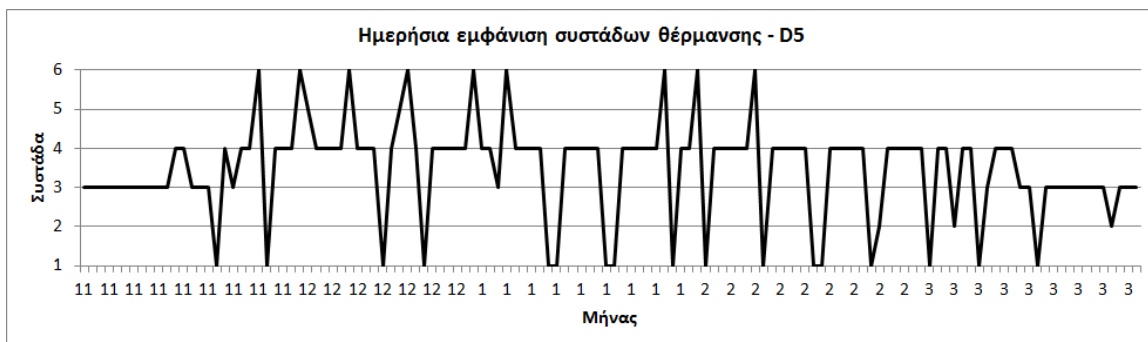
Η τιμή του θερμοστάτη παρουσιάζει σημαντική θετική συσχέτιση με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα ($r=0,823$, $p<0.01$) και σημαντική αρνητική συσχέτιση φορές που λειτουργεί μέσα ($r=-0,309$, $p<0.05$). Τέλος οι ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα παρουσιάζουν σημαντική αρνητική συσχέτιση με τις φορές λειτουργίας ($r=-0,622$, $p<0.01$).

5.4.2.2 Σύγκριση με τα λεπτομερή προφίλ θέρμανσης

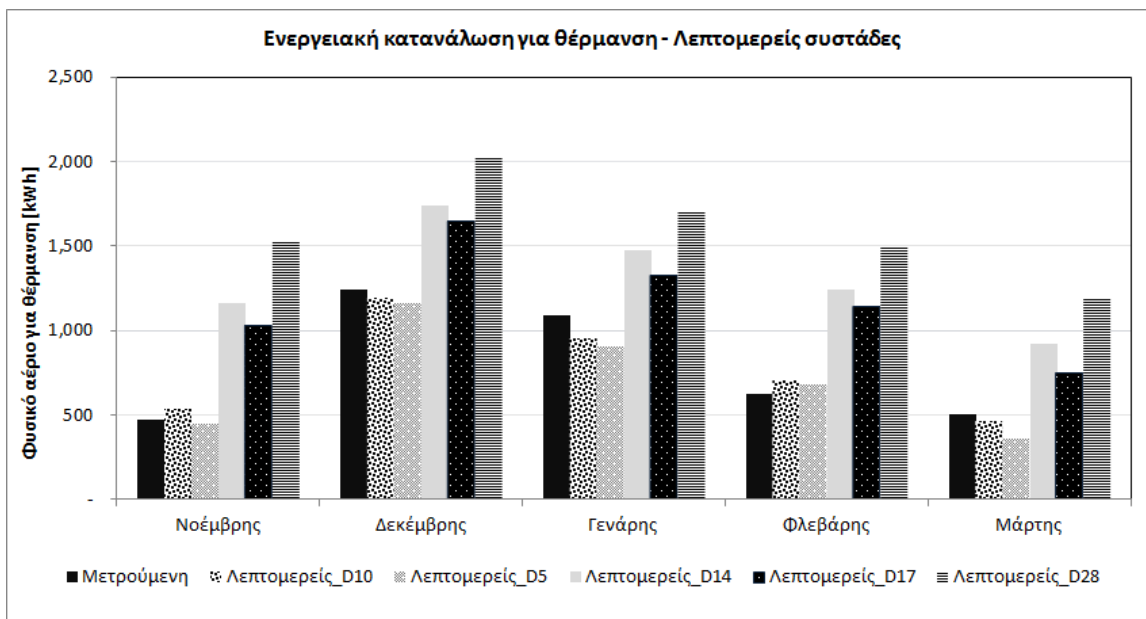
Στο Σχήμα 27 φαίνεται αναλυτικά η ημερήσια εμφάνιση των συστάδων κατά την περίοδο θέρμανσης (Νοέμβριος – Μάρτιος) για τα σενάρια D5, D14, D17 και D28. Οι συστάδες αυτές εφαρμόστηκαν με την αντίστοιχη λεπτομέρεια για κάθε σενάριο στο βαθμονομημένο ενεργειακό μοντέλο για την κατοικία D10 δημιουργώντας έτσι τέσσερις παραλλαγές. Το αντίστοιχο σενάριο με τα λεπτομερή προφίλ θέρμανσης για την κατοικία D10 αποτελεί το σενάριο αναφοράς και παρουσιάζεται στην ενότητα 5.4.1.

Οι τιμές του θερμοστάτη για κάθε συστάδα παρουσιάζονται στον Πίνακας 33 (μέση τιμή της θερμοκρασίας για κάθε συστάδα).

Η κατανάλωση φυσικού αερίου για θέρμανση μετά από την εφαρμογή των λεπτομερών συστάδων για κάθε σενάριο φαίνεται στο Σχήμα 28. Όπως είχε παρατηρηθεί και για τα σενάρια με τα επικρατέστερα προφίλ σημαντικότερο ρόλο στο μέγεθος της κατανάλωσης παίζει η τιμή του θερμοστάτη και οι ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης. Η κατοικία D28 που έχει την υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία όλη την περίοδο θέρμανσης (22,8 °C) έχει και την υψηλότερη κατανάλωση για θέρμανση. Την δεύτερη υψηλότερη κατανάλωση παρουσιάζει το σενάριο για την κατοικία D14 (τιμή θερμοστάτη 21-21,9 °C) και την τρίτη η κατοικία D17 (τιμή θερμοστάτη 20,6 - 20,7 °C). Τα σενάρια αυτά έχουν και τη μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα.



Σχήμα 27 Ημερήσια εμφάνιση συσταδων θέρμανσης για τις κατοικίες D5, D14, D17 και D28



Σχήμα 28 Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση μετά από την εφαρμογή των λεπτομερών συστάδων για θέρμανση για κάθε σενάριο

Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στις καταναλώσεις των 2 περιπτώσεων (εφαρμογή επικρατούσων και λεπτομερών συστάδων) εντοπίζεται στα σενάρια των κατοικιών με την πιο απρόβλεπτη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα το σενάριο για την κατοικία D10 που έχει τέσσερα διαφορετικά προφίλ θέρμανσης αρκετά διαφορετικά μεταξύ τους (Σχήμα 9 και Πίνακας 33) εμφανίζει και τη μεγαλύτερη διαφορά. Τα σενάρια από τις κατοικίες D14, D17 και D28 που έχουν πιο ομαλή χρήση του συστήματος θέρμανσης έχουν και τη μικρότερη διαφορά ανάμεσα στις καταναλώσεις των 2 περιπτώσεων η οποία όπως φαίνεται από τον Πίνακα 44 είναι είτε αμελητέα είτε μηδενική. Αυτό οφείλεται στο ότι οι μη-επικρατούσες συστάδες εμφανίζονται για πολύ μικρό αριθμό ημερών κατά τη χειμερινή περίοδο και ακόμα και σε αυτή την περίπτωση έχουν παραπλήσιες ρυθμίσεις θερμοστάτη και ώρες λειτουργίας με την επικρατέστερη συστάδα.

Πίνακας 43 Μοντέλα με λεπτομέρειες συστάδες θέρμανσης – Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση (kWh) με το μοντέλο αναφοράς

Λεπτομερείς συστάδες	D5	D14	D17	D28
Νοέμβριος	-16.9%	118%	93%	185%
Δεκέμβριος	-2.9%	46%	38%	69%
Γενάρης	-4.7%	55%	40%	79%
Φεβράριος	-3.9%	76%	62%	113%
Μάρτιος	-22.6%	99%	62%	156%
ΣΥΝΟΛΟ	-7.8%	70.2%	53.3%	106.3%

Για το σενάριο της κατοικίας D10 τον μήνα Μάρτιο εμφανίζεται διαφορά της τάξης του -10% ανάμεσα στις καταναλώσεις των 2 περιπτώσεων (εφαρμογή επικρατούσων και λεπτομερών συστάδων) γιατί τον εν λόγω μήνα εμφανίζονται, τις μισές μέρες του μήνα, και άλλες συστάδες με παρόμοιες ώρες λειτουργίας αλλά τιμή θερμοστάτη -1 °C από την επικρατέστερη συστάδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και τη μικρότερη κατανάλωση στην περίπτωση της εφαρμογής των λεπτομέρων συστάδων σε σχέση με την εφαρμογή της επικρατέστερης συστάδας (Πίνακας 44).

Πίνακας 44 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης ανάμεσα στα μοντέλα με λεπτομερείς και επικρατέστερες συστάδες για κάθε σενάριο

	D10	D5	D14	D17	D28
Νοέμβρης	-3%	-10%	-3%	0%	1%
Δεκέμβρης	2%	-6%	-3%	0%	0%
Γενάρης	0%	-1%	0%	0%	0%
Φλεβάρης	5%	1%	-2%	0%	0%
Μάρτης	-10%	-5%	-1%	0%	0%
ΣΥΝΟΛΟ	0%	-4%	-2%	0%	0%

5.4.2.3 Επίδραση των διαφορετικών σεναρίων στις συνθήκες θερμικής άνεσης

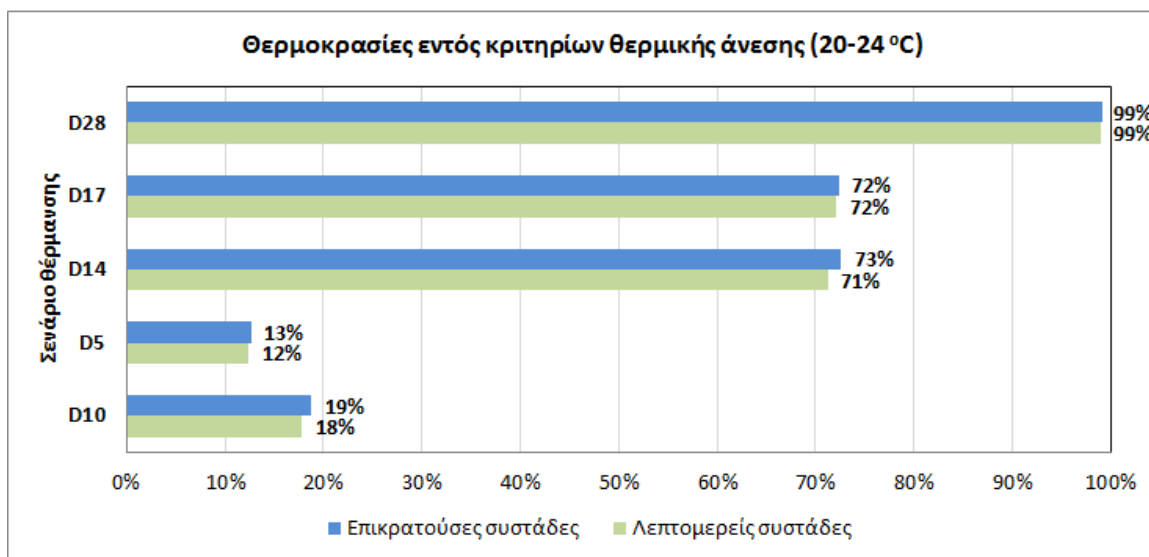
Η Ιταλική νομοθεσία για τα κτίρια ορίζει τους 20 °C ως την θερμοκρασία σχεδιασμού για κατοικίες. Αντίστοιχα τα κριτήρια σχεδιασμού κτιρίων που ορίζει το πρότυπο EN 15251 (2007) για την χειμερινή περίοδο είναι οι 20-24 °C. Παρόλα αυτά η επιθυμητή τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για τους χρήστες της κατοικίας D10 κυμαίνεται μεταξύ 18,5 και 20 °C άρα μέσα στη μέρα μπορεί να παίρνει τιμές χαμηλότερες των 20 °C και να μην είναι σε συμφωνία με αυτό που ορίζει η νομοθεσία ή τα πρότυπα για τον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 29 και το Σχήμα 30 μόνο με το σενάριο για την κατοικία D28 ικανοποιούνται τόσο τα κριτήρια θερμικής άνεσης του EN 15251 (2007) όσο και τα υποκειμενικά κριτήρια του χρήστη για το 100% και το 99% των ωρών της περιόδου θέρμανσης, αντίστοιχα.

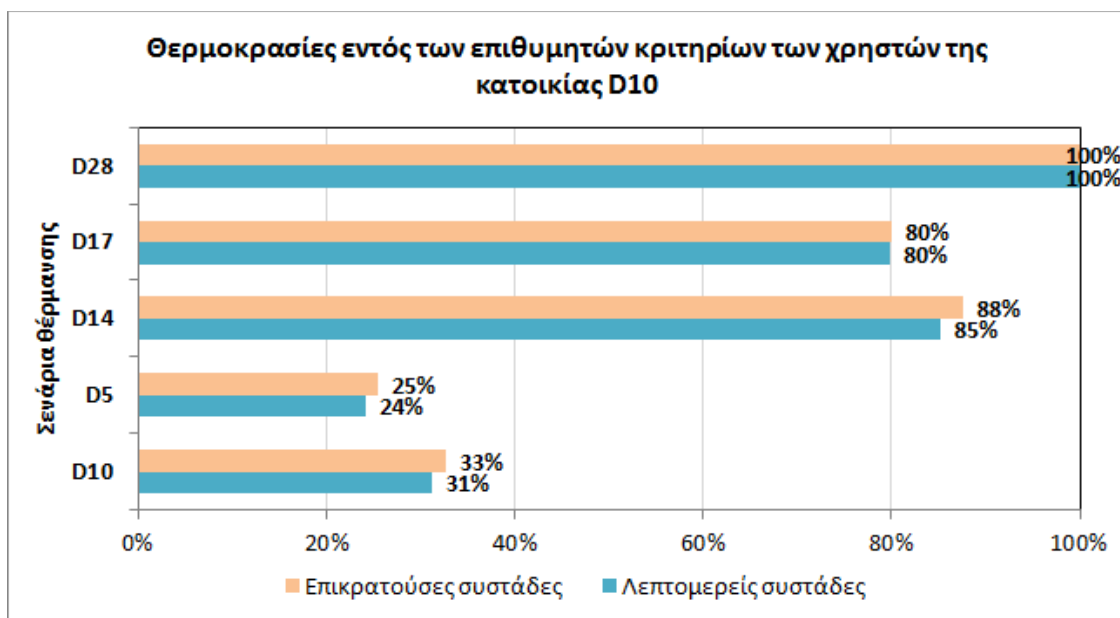
Για τα σενάρια των κατοικιών D14 και D17, με τιμές θερμοστάτη να κυμαίνονται ανάμεσα σε 21-21,9 °C και 20,6 - 20,7 °C, αντίστοιχα, τα κριτήρια ικανοποιούνται επίσης για το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου.

Για το σενάριο της κατοικίας D5 που έχει τιμές ρύθμισης του θερμοστάτη κάτω από 19 °C για την πλειοψηφία των συστάδων επιτυγχάνονται και τα χαμηλότερα ποσοστά ικανοποίησης με τα

αντικειμενικά και τα υποκειμενικά κριτήρια θερμικής άνεσης (12-13% των ωρών εντός κριτηρίων EN 15251 και 24-25% εντός των υποκειμενικών κριτηρίων θερμικής άνεσης για την κατοικία D10).



Σχήμα 29 Ποσοστό ωρών που η θερμοκρασία στο χώρο του σαλονιού είναι εντός των κριτηρίων θερμικής άνεσης του EN 15251



Σχήμα 30 Ποσοστό ωρών που η θερμοκρασία στο χώρο του σαλονιού είναι εντός των υποκειμενικών κριτηρίων θερμικής άνεσης των χρηστών της κατοικίας D10

Η εσωτερική θερμοκρασία στην περίπτωση του σεναρίου της κατοικίας D10 πληροί τα αντικειμενικά και τα υποκειμενικά κριτήρια για το 18-19% και το 31-33% του χρόνου, αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει γιατί το σύστημα θέρμανσης μπαίνει σε λειτουργία σε συγκεκριμένους χρόνους μέσα στη μέρα και άρα για

κάποιες ώρες, μέχρι το σύστημα να τεθεί σε λειτουργία, η εσωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από αυτήν που ο χρήστης επιθυμεί να φτάσει με τη βοήθεια του συστήματος θέρμανσης.

Συνεπώς οι θερμοκρασίες σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης/ψύξης κτιρίων που ορίζει η εθνική νομοθεσία ή τα διεθνή πρότυπα, αν και έχουν ως στόχο τη διασφάλιση της υγείας και της άνεσης του χρήστη, δεν είναι απαραίτητα αυτό που θα επιλέξει τελικά ο χρήστης. Στην πράξη μπορεί ο χρήστης να επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης του σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες (D28 στους 23 °C) ή και σε χαμηλότερες τιμές (D10 στους 18,5 °C) από αυτές που προδιαγράφονται.

5.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στην θερμική άνεση σε μια κατοικία. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα βαθμονομημένο ενεργειακό μοντέλο προσομοίωσης για μία από τις κατοικίες που μελετήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και πάνω σε αυτό δοκιμάστηκαν διάφορα σενάρια χρήσης του συστήματος θέρμανσης που προέκυψαν από άλλες κατοικίες. Η εν λόγω βαθμονόμηση έγινε βάσει της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση για τους μήνες που το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία (Νοέμβριος-Μάρτιος).

Πριν την αποτίμηση αυτή έγινε διερεύνηση του κατά πόσο ο σχεδιασμός ενός καλά βαθμονομημένου μοντέλου προσομοίωσης είναι εφικτός για ένα κτίριο κατοικιών με αποδεδειγμένα απρόβλεπτη συμπεριφορά των χρηστών αλλά και να αποδειχθεί η αναγκαιότητα της εισαγωγής στο μοντέλο των προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που προκύπτουν από μεθόδους πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (multivariate statistical analysis). Το μοντέλο που σχεδιάστηκε για αυτό το σκοπό βαθμονομήθηκε με βάση την εσωτερική θερμοκρασία για όλο το χρόνο.

Στο πλαίσιο αυτό η συμπεριφορά των χρηστών που έχει να κάνει με τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τον αερισμό και την παρουσία τους στην κατοικία προσομοιώθηκε με τη βοήθεια εικοσιτετράωρων προφίλ που προέκυψαν από ανάλυση κατά συστάδες των μετρούμενων δεδομένων. Η βαθμονόμηση έγινε με βάση τις οδηγίες του πρότυπου ASHRAE Guideline 14 (2014). Η ακρίβεια της βαθμονόμησης αξιολογήθηκε με γραφικές και με στατιστικές τεχνικές σύγκρισης μεταξύ των μετρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών της θερμοκρασίας.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού συμμόρφωσης των προσομοιωμένων τιμών με τις πραγματικές τιμές χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες MBE (μέσο συστηματικό σφάλμα) και CV(RMSE) (συντελεστής μεταβλητότητας της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος).

Αρχικά σχεδιάστηκε ένα βασικό μοντέλο με το επικρατέστερο προφίλ για κάθε μήνα για:

- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Επίπεδα αερισμού

- Παρουσία χρηστών
- Ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης
- Θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης

Το μοντέλο αυτό βελτιώθηκε σταδιακά με προσθήκη μεγαλύτερης λεπτομέρειας στα προφίλ αερισμού και θέρμανσης. Δεν χρησιμοποιήθηκε μόνο το επικρατέστερο προφίλ για κάθε μήνα δηλαδή αλλά όλα τα προφίλ που εντοπίστηκαν για κάθε μέρα.

Η ανάλυση έδειξε ότι το μοντέλο προσομοίωσης συμμορφώνεται ικανοποιητικά με τις πραγματικές συνθήκες της κατοικίας για όλα τα μελετούμενα σενάρια αφού οι τιμές για τους δείκτες MBE και CV(RMSE) είναι μέσα στα αποδεκτά όρια (MBE $\pm 10\%$ και CV(RMSE) $\pm 30\%$). Το γεγονός ότι οι δείκτες αυτοί είναι στα επιτρεπτά όρια επιβεβαιώνει και την ακρίβεια των προφίλ που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το φυσικό αέριο, την ηλεκτρική ενέργεια και τα επίπεδα CO₂. Όπως φάνηκε από την ανάλυση, σε περιπτώσεις όπου στόχος είναι η διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς και η παροχή ενεργειακών συμβουλών στους χρήστες η λεπτομερής βαθμονόμηση του μοντέλου είναι απαραίτητη. Αν όμως ο σκοπός μιας πιο γενικής μελέτης επιτυγχάνεται και με το βασικό μοντέλο τότε μπορεί να γίνει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου από το σχεδιασμό μόνο του βασικού μοντέλου.

Στη συνέχεια το μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης προσαρμόστηκε σε συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ώστε να μπορέσει να μελετηθεί ποσοτικά η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις αντίστοιχες συνθήκες θερμικής άνεσης. Κριτήριο βαθμονόμησης για το σενάριο αναφοράς ήταν η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση.

Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν πέντε σενάρια θέρμανσης για μία κατοικία. Τα σενάρια θέρμανσης αντιστοιχούν στις ομάδες συστάδων θέρμανσης (προφίλ φυσικού αερίου) και θερμοκρασίας που σχηματίστηκαν για τις πέντε κατοικίες που μελετήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Και τα πέντε αυτά σενάρια θέρμανσης εφαρμόστηκαν στην κατοικία D10 με σκοπό την πιο αντικειμενική σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» σε μια κατοικία ως προς:

- Την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση
- Το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός της προτεινόμενης από τη σχετική νομοθεσία και πρότυπα
- Το ποσοστό του χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία είναι εκτός αυτής που επιθυμεί τελικά ο χρήστης.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης για τα διαφορετικά σενάρια έδειξαν αξιοσημείωτες διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση και στο ποσοστό του χρόνου που επιτυγχάνονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης που ορίζουν τόσο η νομοθεσία και τα πρότυπα όσο και ο ίδιος ο χρήστης,

επιβεβαιώνοντας την απρόβλεπτη φύση του χρήστη και την μεγάλη επίδραση που μπορεί να έχει στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου.

Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στις καταναλώσεις των 2 περιπτώσεων (εφαρμογή επικρατούσων και λεπτομερών συστάσεων) εντοπίστηκε στα σενάρια των κατοικιών με την πιο ακανόνιστη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα το σενάριο για την κατοικία που έχει τέσσερα διαφορετικά προφίλ θέρμανσης αρκετά διαφορετικά μεταξύ τους εμφανίζει και τη μεγαλύτερη διαφορά στην κατανάλωση ανάμεσα στις 2 περιπτώσεις (διαφορά της τάξης του 4% στο σύνολο και 10% για κάποιους μήνες). Τα σενάρια από τις κατοικίες με πιο ομαλή χρήση του συστήματος θέρμανσης, αυτών που διατηρούν σε παρόμοια επίπεδα την τιμή του θερμοστάτη και τις ώρες που το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί μέσα στη μέρα, έχουν και τη μικρότερη διαφορά ανάμεσα στις καταναλώσεις των 2 περιπτώσεων.

Μέσα από ανάλυση συσχέτισης που διενεργήθηκε για μεταβλητές σχετικές με το σύστημα θέρμανσης έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση ανάμεσα στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και την τιμή του θερμοστάτη ($r=0,431$, $p<0.01$) και με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα ($r=0,407$, $p<0.01$). Η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και οι φορές που το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία τη μέρα δεν παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση. Σημαντική θετική συσχέτιση βρέθηκε και ανάμεσα στην τιμή του θερμοστάτη και των ωρών λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα ($r=0,823$, $p<0.01$) ενώ σημαντική αρνητική συσχέτιση βρέθηκε ανάμεσα στην τιμή του θερμοστάτη και των φορών που το σύστημα θέρμανσης λειτουργείται μέσα στη μέρα ($r=-0,309$, $p<0.05$). Τέλος οι ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα παρουσίασαν σημαντική αρνητική συσχέτιση με τις φορές λειτουργίας του ($r=-0,622$, $p<0.01$).

Οι θερμοκρασίες σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης/ψύξης κτιρίων που ορίζει η εθνική νομοθεσία ή τα διεθνή πρότυπα, αν και έχουν ως στόχο τη διασφάλιση της υγείας και της άνεσης του χρήστη, δεν είναι απαραίτητα αυτό που θα επιλέξει τελικά ο χρήστης. Στην πράξη μπορεί ο χρήστης να επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης του σε αρκετά υψηλότερες ή και χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που προδιαγράφονται, με σαφείς επιπτώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση. Ακόμα και στην περίπτωση που ο χρήστης μιας κατοικίας επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης σε θερμοκρασία εντός των ορίων που προτείνει η νομοθεσία και τα πρότυπα, δεν είναι απαραίτητο ότι αυτές οι συνθήκες θα πληρούνται καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Οι ώρες που η εσωτερική θερμοκρασία θα πληροί αυτά τα κριτήρια έχει να κάνει με το πόσο κοντά στο κατώτατο όριο θερμικής άνεσης είναι η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη αλλά και η διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης καθώς όσο λιγότερο λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης τόσο πιο πιθανό είναι η εσωτερική θερμοκρασία να είναι εκτός του κατώτατου ορίου για κάποιες ώρες μέσα στη μέρα. Ως εκ τούτου, οι λόγοι που μπορεί κάποιος χρήστης να επιλέγει αυτές τις υψηλές ή και χαμηλές τιμές, είναι κάτι που

χρειάζεται να διερευνηθεί ώστε να αποκαλυφθούν οι ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών αλλά και για τη γενικότερη κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΕΙΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – “DWELLING ENVIRONMENTAL QUALITY INDEX” (DEQI)

Στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται ένας διαγνωστικός «Δείκτης Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος» (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI) και παρουσιάζεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του. Σκοπός του δείκτη είναι να βοηθήσει τον χρήστη ενός κτιρίου να διαγνώσει και να αντιμετωπίσει έγκαιρα πιθανά προβλήματα με το εσωτερικό του περιβάλλον που επηρεάζουν πιθανώς την υγεία και την θερμική του άνεση.

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος προσδιορίζεται αρχικά για κάθε μία από τις τρεις περιβαλλοντικές μεταβλητές που συνιστούν τον δείκτη DEQI: τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία και τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Για κάθε μία μεταβλητή υπολογίζεται ένας υποδείκτης ο οποίος ενημερώνει τον χρήστη για την απόδοση της κατοικίας του όσον αφορά διαφορετικές συνιστώσες της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα τη θερμική άνεση και την ποιότητα εσωτερικού αέρα. Ο DEQI είναι ο αριθμητικός μέσος των τριών υποδεικτών και άρα προσφέρει μια συνολική εικόνα για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο δείκτης υπολογίστηκε για ένα δείγμα 26 κατοικιών.

Ο αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη DEQI παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.

6.1 Εισαγωγή

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας σε κτίρια καταναλώνεται για την διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος. Το πρότυπο EN15251 (2007) «*Παράμετροι εσωτερικών περιβαλλοντικών εισροών για το σχεδιασμό και την αποτίμηση των ενεργειακών επιδόσεων κτιρίων σχετικά με την εσωτερική ποιότητα αέρα, το θερμικό περιβάλλον, το φωτισμό και την ακουστική*» προσδιορίζει τις κύριες παράμετρους από τις οποίες εξαρτάται η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και καθορίζει τις προδιαγραφές για το σχεδιασμό των συστημάτων ενός κτιρίου καθώς και τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής του απόδοσης (CEN/TR15615, 2008). Το Πρότυπο EN15251 (2007) ορίζει επίσης τις μεθόδους για την μακροπρόθεσμη αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου βάσει μετρήσεων ή υπολογισμών. Αναφέρεται σε κτίρια στα οποία τα κριτήρια για την αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος καθορίζονται από την ανθρώπινη παρουσία και το εσωτερικό περιβάλλον δεν επηρεάζεται σημαντικά από κάποια παραγωγική ή άλλη διαδικασία. Ως εκ τούτου το πρότυπο EN15251 (2007) μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση και κατηγοριοποίηση του εσωτερικού περιβάλλοντος κτιρίων κατοικιών.

Οι συνολικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την κατηγοριοποίηση του εσωτερικού περιβάλλοντος πολλές φορές αποτελούνται από πολύπλοκη πληροφορία. Οι παράμετροι που μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για τέτοιου τύπου δείκτες είναι ποικίλες, παρόλα αυτά η γνώση για την συνδιασμένη επίδραση των παραμέτρων εσωτερικού περιβάλλοντος είναι ακόμα πρόωρη. Επίσης, όσο περισσότερες οι μελετούμενες παράμετροι τόσο μεγαλύτερο το κόστος για την αγορά του εξοπλισμού, την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας και την ανάλυση των δεδομένων και τόσο περισσότερα τα θέματα με την ακρίβεια/βαθμονόμηση των οργάνων (ASHRAE/CIBSE/USGBC, 2010) ειδικά αν πρόκειται για εφαρμογή μεγάλης κλίμακας. Ως εκ τούτου το Πρότυπο EN15251 (2007) προτείνει την εφαρμογή συνολικής αξιολόγησης και κατηγοριοποίησης του εσωτερικού περιβάλλοντος που βασίζεται μόνο στο θερμικό περιβάλλον και την ποιότητα εσωτερικού αέρα. Ορίζει τέσσερις κατηγορίες ποιότητας που εκφράζουν το βαθμό της προσδοκίας των χρηστών για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος σε ένα θερμαινόμενο ή κλιματιζόμενο χώρο (Πίνακας 45).

Πίνακας 45 Κατηγορίες περιβαλλοντικής ποιότητας σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 15251 (2007)

Κατηγορία	Επεξήγηση
I	Υψηλός βαθμός προσδοκίας. Προτείνεται για χώρους που χρησιμοποιούνται από πολύ ευαίσθητες και ευάλωτες ομάδες με ειδικές ανάγκες όπως είναι οι ασθενείς, τα πολύ νεαρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι.
II	Κανονικός βαθμός προσδοκίας. Πρέπει να χρησιμοποιείται για καινούρια και ανακαινισμένα κτίρια.
III	Αποδεκτός, μέτριος βαθμός προσδοκίας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υφιστάμενα κτίρια.
IV	Τιμές έξω από τα κριτήρια για τις κατηγορίες I-III. Οι τιμές θα πρέπει να γίνονται αποδεκτές μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα.

Το ποσοστό του χρόνου για το οποίο μια μετρούμενη παράμετρος έχει τιμές σε κάποια από τις τέσσερις κατηγορίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μακροπρόθεσμη αξιολόγηση (π.χ. ετήσια) του εσωτερικού περιβάλλοντος. Αυτός ο υπολογισμός αποτελεί το βασικό σημείο έναρξης για ένα αριθμό μοντέλων που ως στόχο έχουν την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μελέτες που προτείνουν μεθόδους για την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος με τη χρήση συστήματος βαθμολόγησης/κατάταξης (Heinzerling et al., 2013). Το αποτέλεσμα των μεθόδων αυτών είναι μια βαθμολογία ή κατάταξη η οποία προκύπτει από μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, είτε αντικειμενικές (π.χ. πειραματικές μετρήσεις) είτε υποκειμενικές (π.χ. ερωτηματολόγια).

Η μεθοδολογία που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο βασίζεται σε αντικειμενικές μετρήσεις. Βάση για τη μεθοδολογία υπολογισμού του δείκτη DEQI αποτελεί ο δείκτης Environment Quality Class (EQI) που ανέπτυξαν οι Marino et al. (2012). Ο αριθμός των παραμέτρων καθώς και των συνιστωσών ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του EQI δεν είναι σταθερός και μπορεί να διαφέρει από μελέτη σε μελέτη ανάλογα με τον σκοπό αυτής. Ακόμα, ο EQI είναι ένας

συνδιαστικός δείκτης και δεν παράγει ανεξάρτητους υποδείκτες για κάθε πτυχή ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι συνδιαστικοί δείκτες επιτρέπουν την κατάταξη ή την βαθμολόγηση κτιρίων, υπάρχει όμως ο κίνδυνος της παρανόησης του τελικού αποτελέσματος λόγω έλλειψης πληροφορίας για την απόδοση των επιμέρους συνιστωσών της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Heinzerling et al., 2013). Η μεθοδολογία του DEQI από την άλλη θεωρεί ένα σταθερό αριθμό μετρούμενων παραμέτρων και υπολογίζει τους υποδείκτες για κάθε συνιστώσα της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο υπολογισμός των υποδεικτών βοηθάει στην αποφυγή παρανόησης και επιτρέπει την πιο εύκολη και σωστή διάγνωση και αντιμετώπιση προβλημάτων.

Η αλληλοσυσχέτιση της ενεργειακής κατανάλωσης και των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος δεν πρέπει να παραβλέπεται κατά την εφαρμογή μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας ή επίτευξης επιθυμητής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, αντίστοιχα, καθώς προσπάθειες για βελτίωση της μίας συνθήκης μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την άλλη. Για παράδειγμα, ένας χρήστης προκειμένου να μειώσει τις θερμικές απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες, αποφεύγει τον αερισμό της κατοικίας του. Αυτό όμως μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα εσωτερικού αέρα για παράδειγμα καθώς οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και άρα κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα.

Για το λόγο αυτό ο δείκτης DEQI μπορεί να αποτελέσει μέρος της ανατροφοδότησης που λαμβάνει ένας χρήστης κατοικίας για την αξιολόγηση και κατάταξη του εσωτερικού του περιβάλλοντος αλλά και για τη διασφάλιση καλής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος παράλληλα με την εξοικονόμηση ενέργειας.

Λόγω του τύπου του κτιρίου και των χρηστών στα οποία απευθύνεται, ο δείκτης αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να πληροί τα τρία βασικά κριτήρια που πρέπει να πληροί ένας δείκτης: σχετίζεται με τα συμπτώματα των χρηστών, είναι εύκολα κατανοητός και υπολογίζεται εύκολα (Sofuoğlu and Moschandreas, 2003).

6.2 Μεθοδολογία

6.2.1 Επιλογή των παραμέτρων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος

Ο δείκτης Dwelling Environmental Quality Index (DEQI) αποτελείται από τρεις από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος για τα κτίρια κατοικιών: τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία και τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε μία από τις παραμέτρους παίζει σημαντικό ρόλο στη γενική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος για τον συγκεκριμένο τύπο κτιρίου (Πίνακας 46).

Η θερμοκρασία αέρα είναι ο παράγοντας με την πιο κοινή χρήση στην αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Cui et al., 2013) και παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάγκη για θέρμανση και ψύξη ενός κτιρίου. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι το γεγονός ότι η θερμοκρασία του αέρα καθορίζει στο μεγαλύτερο βαθμό το ποσοστό της θερμότητας που το ανθρώπινο σώμα θα αποβάλει προς το

περιβάλλον προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη θερμική άνεση. Η λειτουργική θερμοκρασία (operative temperature) αν και βασικός δείκτης για τη θερμική άνεση, δεν λήφθηκε υπόψιν για τον DEQI λόγω των περιορισμών στο κόστος και στην πρακτικότητα από την μέτρηση, μιας επιπλέον παράμετρου τουλάχιστον (εάν θεωρήσουμε ότι η ταχύτητα του αέρα είναι <0,2 m/s) αυτή της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας (Brune and Edling, 1989). Ακόμη, το γεγονός ότι η λειτουργική θερμοκρασία είναι συνάρτηση τριών διαφορετικών μεταβλητών (μέση θερμοκρασία αέρα, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, μέση ταχύτητα αέρα) μπορεί να εισήγαγε έναν επιπλέον βαθμό δυσκολίας στην κατανόηση του δείκτη από τους χρήστες καθώς και αυξημένο κόστος για την εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση του σχετικού πειραματικού εξοπλισμού. Η θερμοκρασία αέρα είναι από μόνη της ικανή να δώσει μια καλή εκτίμηση για τη θερμική άνεση ενώ παράλληλα παραμένει οικονομική και πρακτική λύση για μακροπρόθεσμες μετρήσεις και εγκατάσταση σε μεγάλη κλίμακα.

Πίνακας 46 Μελετούμενες συνθήκες και αντιπροσωπευτικές παράμετροι για το δείκτη DEQI

Μελετούμενη συνθήκη	Αντιπροσωπευτική παράμετρος
1. Θερμική άνεση	Θερμοκρασία αέρα (°C)
2. Ανάγκη για θέρμανση/ψύξη	
1. Υγεία των χρηστών	Σχετική Υγρασία (%)
2. Κατασκευαστικά προβλήματα	
1. Ποιότητα εσωτερικού αέρα	Συγκεντρώσεις CO ₂ (ppm)
2. Αερισμός	

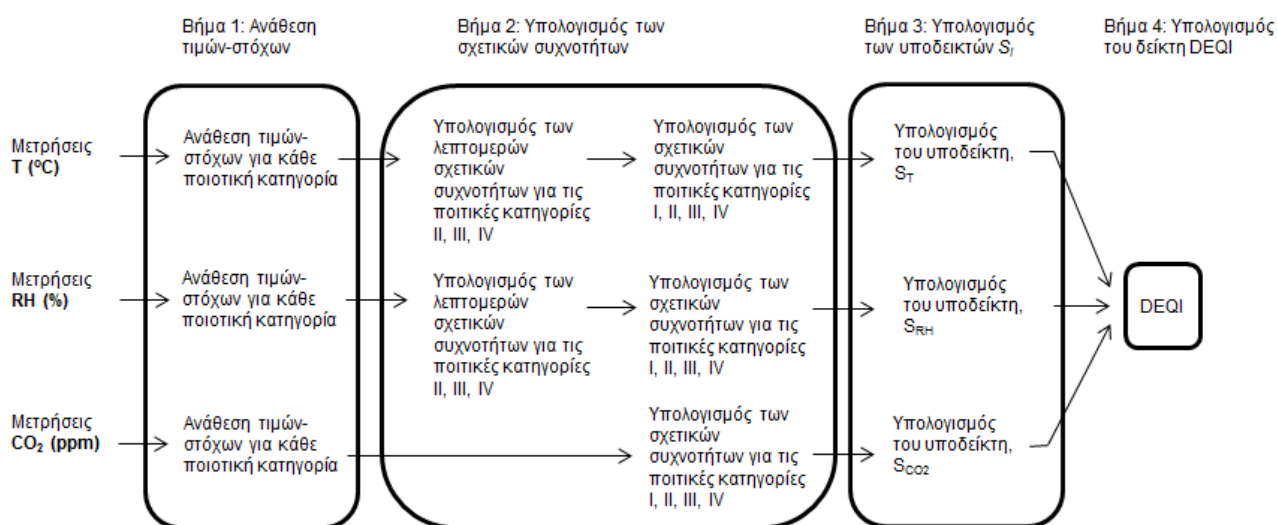
Η επίδραση της υγρασίας στη θερμική άνεση και στην ποιότητα εσωτερικού αέρα σε χώρους με καθιστική δραστηριότητα, όπως είναι τα κτίρια κατοικιών, θεωρείται μικρή. Παρόλα αυτά, η σχετική υγρασία παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον στα κτίρια κατοικιών επειδή όταν η έκθεση είναι μακροπρόθεσμη μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία των χρηστών αλλά και στο ίδιο το κτίριο όπως σχηματισμό συμπύκνωσης και μούχλας (EN 15251, 2007). Τόσο οι πολύ υψηλές τιμές όσο και οι πολύ χαμηλές τιμές μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και την άνεση των χρηστών. Μέσα στα κτίρια οι υδρατμοί παράγονται κυρίως από τους ανθρώπους και τα ζώα λόγω των διεργασιών του μεταβολισμού, από δραστηριότητες όπως το μπάνιο, το μαγείρεμα και το πλύσιμο και σιδέρωμα ρούχων και σε μικρότερες ποσότητες από καύσεις (Health Canada, 2006).

Τέλος, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα θεωρούνται ο σημαντικότερος δείκτης επάρκειας αερισμού και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος σε τύπους κτιρίων όπου ο άνθρωπος είναι η κύρια πηγή διοξειδίου του άνθρακα, όπως είναι τα κτίρια κατοικιών (EN 15251, 2007; Health Canada, 2006). Όπως και τα επίπεδα σχετικής υγρασίας έτσι και οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν κυρίως με αερισμό, αλλαγή της δραστηριότητας στο χώρο και από τη διείσδυση του αέρα.

6.2.2 Βήματα υπολογισμού του DEQI

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του δείκτη DEQI απαρτίζεται από τέσσερα βασικά βήματα (Σχήμα 31). Το πρώτο βήμα είναι η ανάθεση τιμών-στόχων για κάθε μετρούμενη παράμετρο. Το δεύτερο βήμα είναι ο προσδιορισμός του ποσοστού του χρόνου που κάθε παράμετρος έχει περάσει μέσα σε κάθε κατηγορία περιβαλλοντικής ποιότητας κατά το μελετούμενο διάστημα. Το τρίτο βήμα είναι η αξιολόγηση της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά μέσα από τον υπολογισμό αντίστοιχων υποδεικτών. Το τέταρτο και τελικό βήμα είναι η αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου μέσα από τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη DEQI.

Ο αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη DEQI παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.



Σχήμα 31 Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό του DEQI (Laskari et al., 2017)

1^ο Βήμα: Ανάθεση τιμών-στόχων. Η υγεία και η άνεση των χρηστών αλλά και του ίδιου του κτιρίου καθώς και η ενεργειακή του απόδοση λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό του DEQI μέσα από τα κριτήρια επίδοσης. Κάθε κατηγορία επίδοσης αντιπροσωπεύει διαφορετικά κριτήρια έκθεσης στο εσωτερικό περιβάλλον (Πίνακας 47). Τα κριτήρια είναι εύρη τιμών που έχουν οριστεί για κάθε κατηγορία περιβαλλοντικής ποιότητας και για κάθε μετρούμενη παράμετρο. Για τις κατηγορίες II, III και IV, τα εύρη τιμών μπορεί να είναι πάνω (ανώτερο εύρος) ή και κάτω (κατώτερο εύρος) από το εύρος τιμών για την κατηγορία I.

Τα εύρη τιμών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του DEQI (Πίνακας 47) βασίζονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 15251 (2007). Οι επιθυμητές συνθήκες για θερμική άνεση διαφέρουν ανά εποχή. Για το λόγο αυτό έχουν επιλεγεί διαφορετικά κριτήρια για τη θερμοκρασία ανά εποχή. Τα κριτήρια για τη σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα δεν επηρεάζονται από την εποχικότητα για αυτό και παραμένουν ίδια για όλο το χρόνο. Λόγω της έλλειψης μετρούμενων τιμών για τα εξωτερικά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα η τιμή των 350 ppm προστέθηκε στις προτεινόμενες κατά EN15251

συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Τα 350ppm περιγράφονται ως η τυπική τιμή για εξωτερικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Η τιμή αυτή μάλιστα αποτελεί τη βάση για την προτεινόμενη τιμή των 1000 ppm για επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους (ASTM, 2002).

Πίνακας 47 Εύρη τιμών για κάθε κατηγορία ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος

Παράμετρος		Κατηγορία ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος			
		I	II	III	IV
Θερμοκρασία - χειμώνας (°C)	κατώτερο εύρος	21-25	20-21	18-20	<=18
	ανώτερο εύρος		-	-	>25
Θερμοκρασία - καλοκαίρι (°C)	κατώτερο εύρος	23.5-25.5	23-23.5	22-23	<=22
	ανώτερο εύρος		25.5-26	26-27	>27
Θερμοκρασία - ενδιάμεσες εποχές (°C)	κατώτερο εύρος	21-25.5	20-21	18-20	<=18
	ανώτερο εύρος		25.5-26	26-27	>27
Σχετική Υγρασία (%)	κατώτερο εύρος	30-50	25-30	20-25	<=20
	ανώτερο εύρος		50-60	60-70	>70
Συγκεντρώσεις CO ₂ (ppm)	κατώτερο εύρος	<=700	-	-	-
	ανώτερο εύρος		700-850	850-1150	>1150

2^ο Βήμα: Προσδιορισμός των σχετικών συχνοτήτων. Η απόδοση των επί μέρους παραμέτρων αξιολογείται μέσα από υποδείκτες. Οι υποδείκτες αξιολογούν τη σοβαρότητα της έκθεσης με βάση το χρόνο έκθεσης στις διαφορετικές κατηγορίες (Πίνακας 47) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητοι δείκτες για την παράμετρο που εκπροσωπούν.

Το μόνο στοιχείο εισόδου που χρειάζεται για τον υπολογισμό των υποδεικτών είναι τα ποσοστά του χρόνου για τα οποία οι μετρούμενες τιμές βρίσκονται σε κάθε μία από τις τέσσερις κατηγορίες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Αυτά τα ποσοστά του χρόνου είναι στην ουσία οι σχετικές συχνότητες f και το άθροισμα τους ισούται με τη μονάδα:

$$f_{i,IV\ LOWER} + f_{i,III\ LOWER} + f_{i,II\ LOWER} + f_{i,I} + f_{i,II\ UPPER} + f_{i,III\ UPPER} + f_{i,IV\ UPPER} = 1 \quad \text{Εξίσωση 6}$$

όπου:

i , η περιβαλλοντική παράμετρος (T, RH ή CO₂)

Η Εξίσωση 6 δίνει τη διάσπαση των σχετικών συχνοτήτων σε κατώτερα (lower) και ανώτερα (upper) εύρη κατηγοριών (όπως στον Πίνακας 47). Οι συχνότητες αυτές ορίζονται ως «λεπτομερείς σχετικές συχνότητες». Τα ανώτερα και τα κατώτερα εύρη τιμών σχετίζονται με διαφορετικές εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και είναι ενδεικτικά διαφόρων προβλημάτων που έχουν να κάνουν είτε με την υγεία και την άνεση του χρήστη είτε με την ακεραιότητα του κτιρίου. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε

σημαντική η παρουσίαση των λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων καθώς αυτές μπορούν να βοηθήσουν στην ερμηνεία του δείκτη DEQI όταν αυτός έχει χαμηλή τιμή. Για παράδειγμα, οι τιμές της θερμοκρασίας στα ανώτερα εύρη της κατηγορίας IV (>25 °C) κατά τη χειμερινή περίοδο είναι ενδεικτικές της έλλειψης θερμικής άνεσης και της περιττής χρήση θέρμανσης. Από την άλλη, οι τιμές της θερμοκρασίας στα κατώτερα εύρη της κατηγορίας IV (<=18 °C) κατά τη χειμερινή περίοδο είναι πάλι ενδεικτικές της έλλειψης θερμικής άνεσης αυτή τη φορά όμως από τη μη ικανοποιητική χρήση του συστήματος θέρμανσης.

Για τον υπολογισμό των υποδεικτών χρησιμοποιούνται οι «μη-λεπτομερείς σχετικές συχνότητες» για τις τέσσερις κατηγορίες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι μη-λεπτομερείς σχετικές συχνότητες υπολογίζονται ως ακολούθως για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο:

$$f_{i,j} = f_{i,j\text{UPPER}} + f_{i,j\text{LOWER}} \quad \text{Εξίσωση 7}$$

όπου:

i , η περιβαλλοντική παράμετρος (T, RH ή CO₂)

j , η κατηγορία ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος ($j=I,II,III,IV$)

3^ο Βήμα: Υπολογισμός των υποδεικτών S_i . Οι υποδείκτες υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$S_i = 100 * f_{i,I} + 70 * f_{i,II} + 35 * f_{i,III} + 0 * f_{i,IV} \quad \text{Εξίσωση 8}$$

Το εύρος τιμών που μπορεί να πάρει ένας υποδείκτης είναι μεταξύ 0-100. Οι υποδείκτες παίρνουν την τιμή 0 όταν όλες οι μετρούμενες τιμές εμπίπτουν στην Κατηγορία IV και την τιμή 100 όταν όλες οι τιμές εμπίπτουν στην Κατηγορία I. Επίσης, οι τιμές 70 και 35 έχουν συμπεριληφθεί για την περίπτωση που όλες οι τιμές της μετρούμενης παραμέτρου ανήκουν στις Κατηγορίες II και III, αντίστοιχα. Οι συντελεστές αυτοί έχουν επιλεγεί με σκοπό να μην επιτρέπεται στον υποδείκτη να παίρνει υψηλές τιμές όταν ένας σημαντικός αριθμός τιμών ανήκει σε χαμηλές κατηγορίες. Από την άλλη όταν οι μετρούμενες τιμές ανήκουν κυρίως στις Κατηγορίες I και II ο υποδείκτης παίρνει υψηλότερες τιμές, αντανακλώντας έτσι την καλή απόδοση της μετρούμενης παραμέτρου. Γενικά, όσο πιο κοντά είναι η τιμή του υποδείκτη στο 100 τόσο πιο καλή η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος για τη μελετούμενη τιμή και για το μελετούμενο διάστημα.

Η εξίσωση για τον υπολογισμό των υποδεικτών βασίζεται στον μαθηματικό τύπο που ανέπτυξαν οι Marino et al (2012) για τον υπολογισμό του δείκτη Environmental Quality Index (EQI). Στον δείκτη αυτό

οι συντελεστές βαρύτητας 0, 35, 70, 100 συνδέουν τις ποιοτικές κατηγορίες με την ενεργειακή κλάση των Πιστοπ. Ενεργ. Απόδοσης. (100 = κλάση A, 70 = καινούρια κτίρια, 35 = υφιστάμενα). Στο κεφάλαιο αυτό ο τύπος των Marino et al (2012) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των επί μέρους υποδεικτών παρά για το συνολικό δείκτη DEQI.

Ένα σημαντικό κομμάτι πληροφορίας είναι ο σχεσιακός τελεστής για τον υποδείκτη με την ελάχιστη τιμή (minimum operator, *MO*), καθώς υποδεικνύει την παράμετρο με το μεγαλύτερο πρόβλημα για τη μετρούμενη περίοδο:

$$MO = \min (S_T, S_{RH}, S_{CO2}) \quad \text{Εξίσωση 9}$$

Ο minimum operator είναι ένας απλός, αλλά ουσιαστικός τρόπος, για να εντοπιστεί κάποια προβληματική συνιστώσα της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και να επικοινωνηθεί το πρόβλημα στον χρήστη.

4^ο Βήμα: Υπολογισμός του δείκτη DEQI. Ο DEQI είναι ένας απλός αριθμητικός μέσος των τριών υποδεικτών για τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία και τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (Εξίσωση 5). Ως αριθμητικός μέσος ο DEQI εξισορροπεί το αποτέλεσμα για τις ακραίες συνθήκες για τις τρεις μετρούμενες παράμετρους και παρέχει μια συνδιαστική εικόνα για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος.

$$DEQI = \frac{S_T + S_{RH} + S_{CO2}}{3} \quad \text{Εξίσωση 10}$$

Όπως και οι υποδείκτες έτσι και ο DEQI είναι αδιάστατο μέγεθος και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 100. Όσο πιο κοντά είναι ο DEQI στο 100 τόσο πιο καλή η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος για τη μελετούμενη περίοδο.

Η σχετική σημασία της επίδρασης των υποδεικτών στην μεταβλητότητα DEQI αποδείχθηκε μέσα από ανάλυση ευαισθησίας τα αποτελέσματα της οποίας συνοψίζονται στον Πίνακα 53 (ενότητα 6.3.2.4).

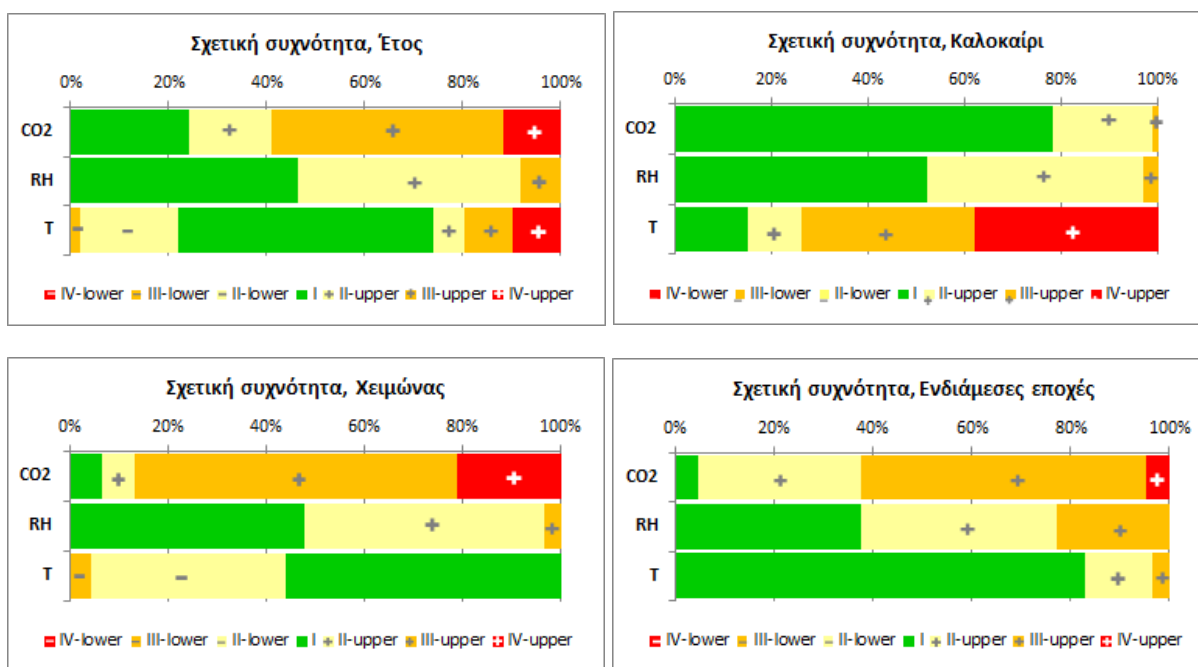
6.3 Έφαρμογή του DEQI

Βασικός στόχος του DEQI είναι να βοηθήσει τους χρήστες ενός κτιρίου να διαγνώσουν και να αντιμετωπίσουν εγκαίρως πιθανά προβλήματα με το εσωτερικό τους περιβάλλον. Η χρησιμότητα του DEQI για ένα χρήστη επιδεικνύεται μέσα από την εφαρμογή σε μία κατοικία. Η χρησιμότητα του δείκτη για έναν ερευνητή που θέλει να μελετήσει κατοικίες σε μεγάλη κλίμακα επιδεικνύεται μέσα από την εφαρμογή του σε ένα συγκρότημα 26 κατοικιών, αντίστοιχα.

Οι υπό μελέτη κατοικίες βρίσκονται στην Φλωρεντία της Ιταλίας. Αισθητήρες για την παρακολούθηση του εσωτερικού περιβάλλοντος εγκαταστάθηκαν στο σαλόνι του κάθε διαμερίσματος. Οι μετρούμενες τιμές είναι στιγμιαίες και λήφθηκαν σε συχνότητα 15 λεπτών για τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία και τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, με ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ για τη θερμοκρασία, $\pm 2\%$ για τη σχετική υγρασία και $\pm 40\text{ppm} + 3\%$ για καταγραφή στους 25°C για το διοξείδιο του άνθρακα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014.

6.3.1 Εφαρμογή του δείκτη DEQI σε μία κατοικία

Ο DEQI υπολογίζεται εδώ για μία κατοικία για να δείξει πως η πληροφορία που παράγεται ως αποτέλεσμα του υπολογισμού του δείκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση και διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος από τον ίδιο το χρήστη στο δικό του χώρο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία υπολογίζονται.



Σχήμα 32 Διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων για (α) όλη την μετρούμενη χρονιά, (β) την καλοκαιρινή περίοδο, (γ) τη χειμερινή περίοδο και (δ) τις ενδιάμεσες εποχές (Κατοικία D24)

Το πρώτο βήμα υπολογισμού αφορά τον προσδιορισμό των λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων, $f_{i,j}$ για κάθε μετρούμενη παράμετρο και για κάθε μία από τις τέσσερις κατηγορίες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων στο Σχήμα 32. Το διάγραμμα λεπτομερούς σχετικής συχνότητας είναι ένα χρήσιμο εργαλείο διαχείρισης για τους χρήστες καθώς αποκαλύπτει με άμεσο και απλό τρόπο την ύπαρξη και το μέγεθος πιθανών προβλημάτων με μία ή περισσότερες από τις μετρούμενες παραμέτρους.

Για τη μελετούμενη κατοικία το διάγραμμα των ετήσιων λεπτομερών συχνοτήτων για το CO₂ φανερώνει πρόβλημα με την ποιότητα εσωτερικού αέρα με ένα μεγάλο ποσοστό των μετρούμενων τιμών να σημειώνεται στην Κατηγορία III (47% του χρόνου) και κάποιες στην Κατηγορία IV (12% του χρόνου). Από τα εποχικά διαγράμματα το πρόβλημα με την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος εντοπίζεται στην χειμερινή περίοδο καθώς η πλειοψηφία των τιμών στις κατηγορίες III και IV σημειώνονται εκεί, και άρα μπορούν να αποδοθούν στον ανεπαρκή αερισμό που συνήθως συμβαίνει την συγκεκριμένη περίοδο. Αντιθέτως, την καλοκαιρινή περίοδο, όπου ο φυσικός αερισμός με ανοικτά παράθυρα είναι συνήθως πιο έντονος και συχνός, δεν υπάρχει καθόλου εμφάνιση τιμών στην Κατηγορία IV και ελάχιστες μόνο τιμές στην Κατηγορία III.

Άλλο ένα προφανές πρόβλημα που αποκαλύπτουν τα διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων είναι αυτό της υπερθέρμανσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με ένα πολύ μεγάλο ποσοστό τιμών να σημειώνονται στα ανώτερα εύρη τιμών των Κατηγοριών III και IV.

Η σχετική υγρασία δεν παρουσιάζει κάποιο σημαντικό πρόβλημα μέσα στο έτος. Μόνο κατά τις ενδιάμεσες εποχές παρατηρείται μεγαλύτερος αριθμός τιμών στα ανώτερα εύρη τιμών της Κατηγορίας III.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των υποδεικτών S_i για κάθε μελετούμενη παράμετρο. Από τη μέση τιμή των υποδεικτών προκύπτει μετά ο δείκτης DEQI. Τα αποτελέσματα για κάθε εποχή συνοψίζονται στον Πίνακα 48.

Πίνακας 48 Υποδείκτες και δείκτης DEQI για μία κατοικία (κατοικία D24)

Δείκτης	Έτος	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Ενδιάμεσες εποχές
S_T	75	35	85	94
S_{RH}	81	85	83	73
S_{CO_2}	53	93	34	48
DEQI	69	71	68	72

Η τιμή του δείκτη DEQI κυμαίνεται μεταξύ 68 και 72 για όλες τις μελετούμενες περιόδους, δείχνοντας σχετικά καλά επίπεδα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος για όλες τις εποχές του χρόνου (Πίνακας 48). Έχει ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι παρόλο που η τιμή του δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή μέσα στο χρόνο και έχει ικανοποιητική τιμή για όλες τις εποχές, δεν συμβαίνει το ίδιο και για τους υποδείκτες κάτι που για τη συγκεκριμένη κατοικία υποδηλώνει διαφορετικά θέματα με το εσωτερικό περιβάλλον ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Ο υποδείκτης της θερμοκρασίας για παράδειγμα, S_T , είναι σχετικά χαμηλός το καλοκαίρι και πολύ υψηλός τις ενδιάμεσες εποχές. Ο υποδείκτης του CO₂, S_{CO_2} , είναι σχετικά χαμηλός το χειμώνα και πολύ υψηλός το καλοκαίρι. Μόνο ο υποδείκτης της σχετικής υγρασίας, S_{RH} , παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα και σχετικά σταθερός καθόλη τη διάρκεια του

χρόνου. Κάποια ιδέα του γιατί ένας υποδείκτης είναι χαμηλός μπορούν, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, να δώσουν τα διαγράμματα λεπτομερούς σχετικής συχνότητας (Σχήμα 32).

Πίνακας 49 Αποτελέσματα για τον Minimum Operator (MO) (κατοικία D24)

	MO	Τιμή MO	DEQI - S _i
Έτος	CO ₂	53	17
Καλοκαίρι	T	35	36
Χειμώνας	CO ₂	34	33
Ενδιάμεσες εποχές	CO ₂	48	24

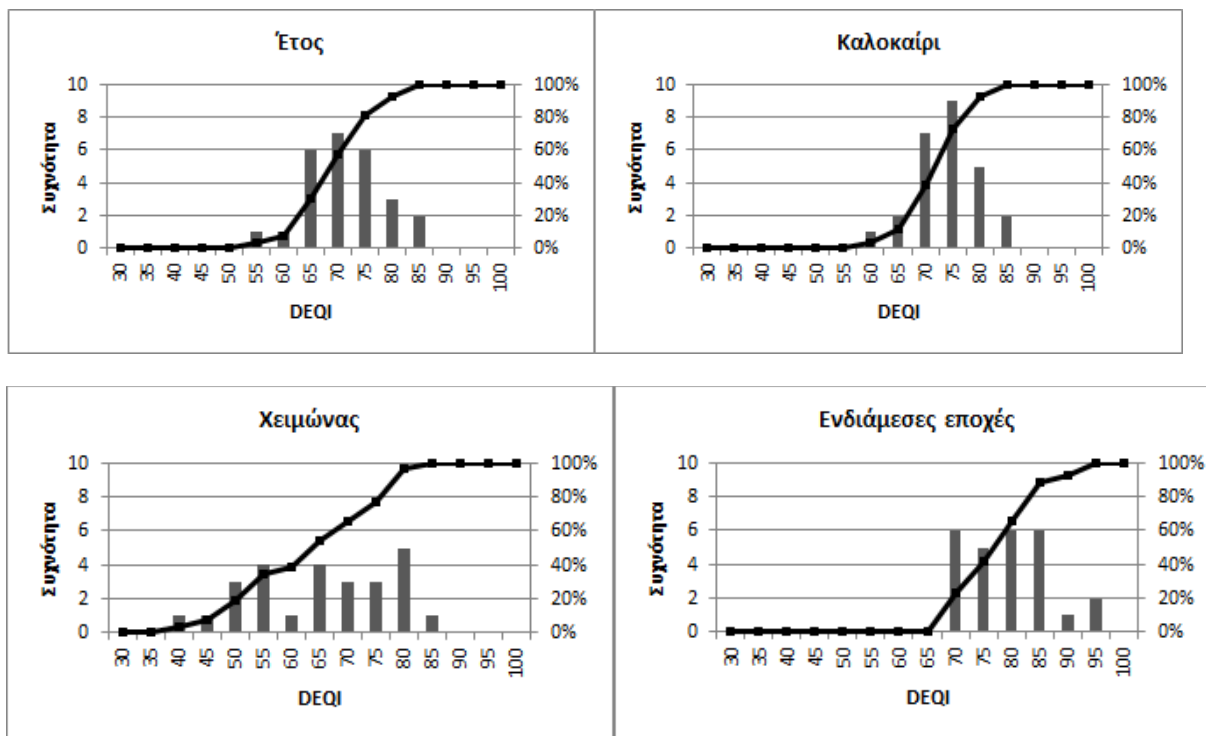
Ο Πίνακας 49 δείχνει τον minimum operator και την απόσταση του από τον δείκτη (DEQI – S_i) για κάθε μελετούμενη περίοδο. Ο minimum operator βοηθάει στη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος υποδεικνύοντας τη μετρούμενη παράμετρο με τη χαμηλότερη τιμή υποδείκτη και άρα με το σοβαρότερο πρόβλημα και τα περισσότερα περιθώρια βελτίωσης. Στην υπό μελέτη κατοικία η προσοχή του χρήστη εφιστάται στο CO₂, καθώς ο υποδείκτης για το CO₂ παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή για την πλειοψηφία του έτους. Μονό κατά το καλοκαίρι ο minimum operator δείχνει τη θερμοκρασία αντί για το CO₂. Με βάση τα αποτελέσματα ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει αν θέλει να αναζητήσει περισσότερες λεπτομέρειες και για τους υπόλοιπους υποδεικτές που έχουν καλύτερες τιμές (Πίνακας 48) και για τις λεπτομερείς σχετικές συχνότητες (Σχήμα 32) προκειμένου να κατανοήσει καλύτερη τη φύση του προβλήματος. Για παράδειγμα, από το διαγράμμα των λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων για καλοκαίρι ο χρήστης μπορεί να δει ότι η πολύ χαμηλή τιμή του υποδείκτη της θερμοκρασίας για το καλοκαίρι οφείλεται σε πρόβλημα υπερθέρμανσης.

6.3.2 Εφαρμογή του δείκτη DEQI σε συγκρότημα κατοικιών

Όταν υπολογίζεται για μεγάλο αριθμό κατοικιών, ο δείκτης DEQI μπορεί να αποτελέσει ισχυρό εργαλείο στα χέρια ενός ερευνητή καθώς επιτρέπει την αξιολόγηση και την ταξινόμηση κτιρίων που αποτελούν μέρος μεγάλου δείγματος, βοηθάει στον εντοπισμό τάσεων με τον DEQI ή τους επιμέρους υποδείκτες και τέλος μέσα από τα διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό της φύσης και του μεγέθους ενός μαζικού προβλήματος και στην αντιμετώπιση του.

6.3.2.1 Περιγραφική Στατιστική

Για ολόκληρο το έτος και για τις τρεις βασικές εποχές του χρόνου έγινε περιγραφική ανάλυση για το δείκτη DEQI και για τους επιμέρους υποδείκτες. Για την περιγραφική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics. Το Σχήμα 33 παρουσιάζει τα ιστογράμματα συχνοτήτων και αθροιστικής κατανομής συχνοτήτων. Οι τρεις εποχές που θεωρήθηκαν για τη μελέτη ορίζονται στον Πίνακα 50.



Σχήμα 33 Ιστογράμματα συχνοτήτων και αθροιστικές συχνότητες για όλες τις μελετούμενες κατοικίες (N=26) για (α) ένα ολόκληρο έτος, (β) την καλοκαιρινή περίοδο, (γ) τη χειμερινή περίοδο και (δ) τις ενδιάμεσες εποχές

Πίνακας 50 Ορισμός των τριών υπο μελέτη εποχών

Εποχή	Μήνες
Χειμώνας	Οκτώβριος-Απρίλιος
Καλοκαίρι	Ιούνιος-Αύγουστος
Ενδιάμεση	Μάιος, Σεπτέμβριος

Η μέση ετήσια τιμή του DEQI για ολόκληρο το δείγμα κατοικιών είναι 68, υποδηλώνοντας μια σχετικά καλή συνολική κατάσταση όσον αφορά την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Μόνο σε ένα μικρό αριθμό κατοικιών η τιμή του DEQI είναι χαμηλότερη από 60 (Σχήμα 33α) επιβεβαιώνοντας τη γενική καλή ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος στις κατοικίες. Το Σχήμα 33α αποκαλύπτει επίσης τον αριθμό των κατοικιών στον οποίο οι προσπάθειες βελτίωσης του εσωτερικού περιβάλλοντος θα πρέπει να εστιαστούν. Κοιτάζοντας σε μικρότερη χρονική κλίμακα, σε επίπεδο εποχής, αποκαλύπτονται κάποια προβλήματα. Η χαμηλότερη μέση τιμή του DEQI εμφανίζεται το χειμώνα (μέση τιμή DEQI ίση με 63). Η Σχήμα 33α δείχνει μεγάλη διασπορά των τιμών του DEQI για τη χειμερινή περίοδο με μεγάλο αριθμό κτιρίων να εμφανίζει τιμές χαμηλότερες του 60. Επίσης, η ελάχιστη τιμή του υποδείκτη της θερμοκρασίας S_T εμφανίζεται πολύ χαμηλή κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Πίνακας 51). Όντως, η ελάχιστη τιμή για τον S_T είναι μηδενική υποδεικνύοντας σοβαρό θέμα με τη θερμοκρασία σε μία

τουλάχιστον κατοικία κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Για την περαιτέρω διερεύνηση των προβλημάτων αυτών θα πρέπει να κοιτάξουμε τα διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων της κάθε κατοικίας.

Πίνακας 51 Περιγραφική στατιστική για τον δείκτη DEQI και τους επί μέρους υποδείκτες για το σύνολο των μελετούμενων κατοικιών (N=26)

Μελετούμενη περίοδος	Δείκτης	Εύρος	Min	Max	Mean	Std. Deviation
Έτος	DEQI	29	52	81	68,4	7,5
	S _T	36	48	84	62,9	10,8
	S _{RH}	31	66	97	81,4	7,2
	S _{CO2}	62	37	99	60,9	14,3
Καλοκαίρι	DEQI	26	58	83	72,1	5,8
	S _T	76	0	76	35,6	17,2
	S _{RH}	22	77	99	87,3	6,1
	S _{CO2}	32	68	100	93,6	8,4
Χειμώνας	DEQI	44	38	82	62,7	12,1
	S _T	65	34	99	64,7	20,3
	S _{RH}	42	55	97	81,6	11,3
	S _{CO2}	84	16	99	41,9	20,7
Ενδιάμεσες εποχές	DEQI	25	66	91	76,7	7,4
	S _T	52	45	97	88,4	10,1
	S _{RH}	30	64	94	75,2	7,5
	S _{CO2}	61	37	98	66,6	18,3

6.3.2.2 Διαγράμματα λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων

Ο τύπος και το μέγεθος της δράσης για την βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, εάν ο minimum operator ή η τιμή του DEQI δεν είναι ικανοποιητικά, μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια των διαγραμμάτων λεπτομερών σχετικών συχνοτήτων. Τα διαγράμματα δείχνουν την κατανομή των μετρούμενων τιμών για κάθε μελετούμενη παράμετρο σε κάθε μία από τις κατηγορίες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία, οι συχνότητες κατανομούνται σε ανώτερες και κατώτερες υποκατηγορίες.

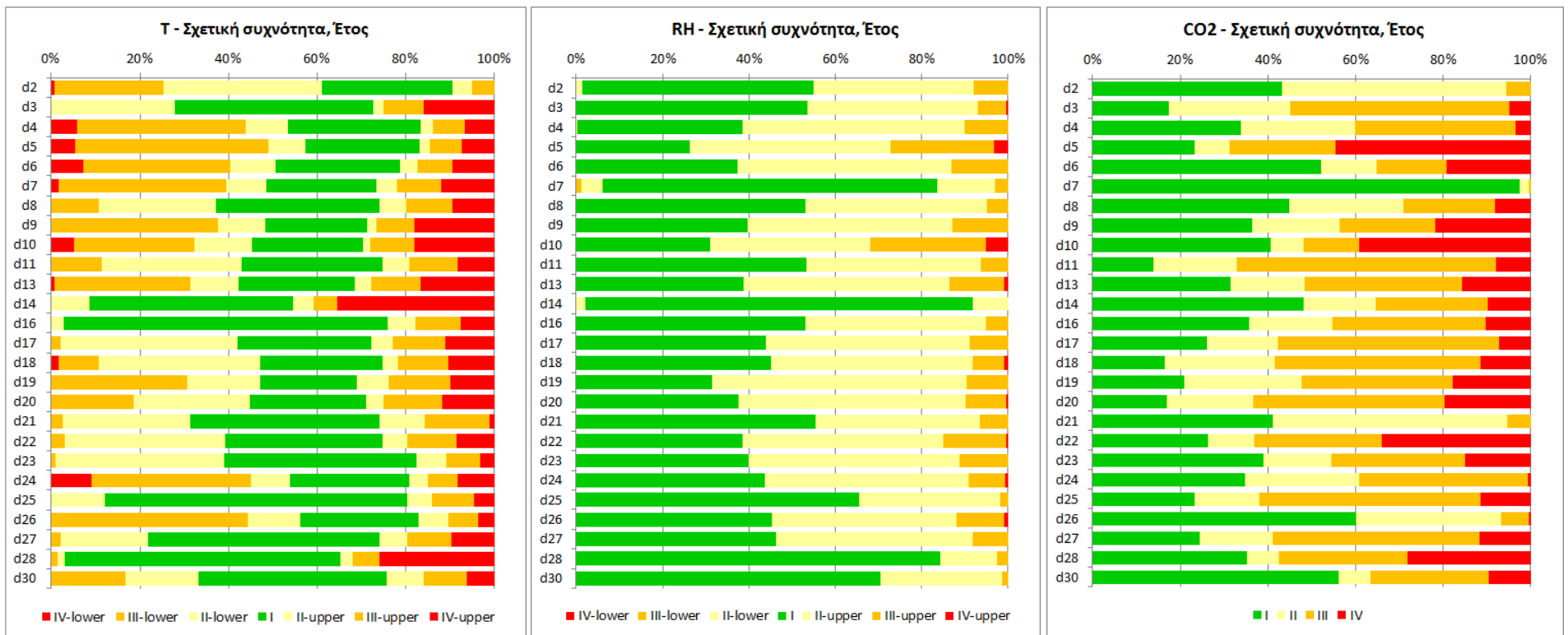
Τα διαγράμματα για ολόκληρη τη μελετούμενη περίοδο απεικονίζονται στο Σχήμα 34 ενώ τα εποχιακά διαγράμματα δίνονται στα Σχήμα 35-Σχήμα 37.

Σε επίπεδο έτους παρατηρείται καλή κατανομή τιμών της θερμοκρασίας σε ανώτερες και κατώτερες υποκατηγορίες δείχνοντας την εμφάνιση τόσο υψηλών όσο και χαμηλών θερμοκρασιών. Τα εποχιακά διαγράμματα αποκαλύπτουν τον τύπο και το βαθμό του προβλήματος σε κάθε εποχή (Σχήμα 35) και βοηθάνε στην απόφαση για τη λήψη επανορθωτικών μέτρων για τη βελτίωση της συγκεκριμένης παραμέτρου. Επίσης, τα διαγράμματα της θερμοκρασίας μπορούν να αποκαλύψουν ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας από περιττή χρήση των συστημάτων θέρμανσης ή δροσισμού. Για

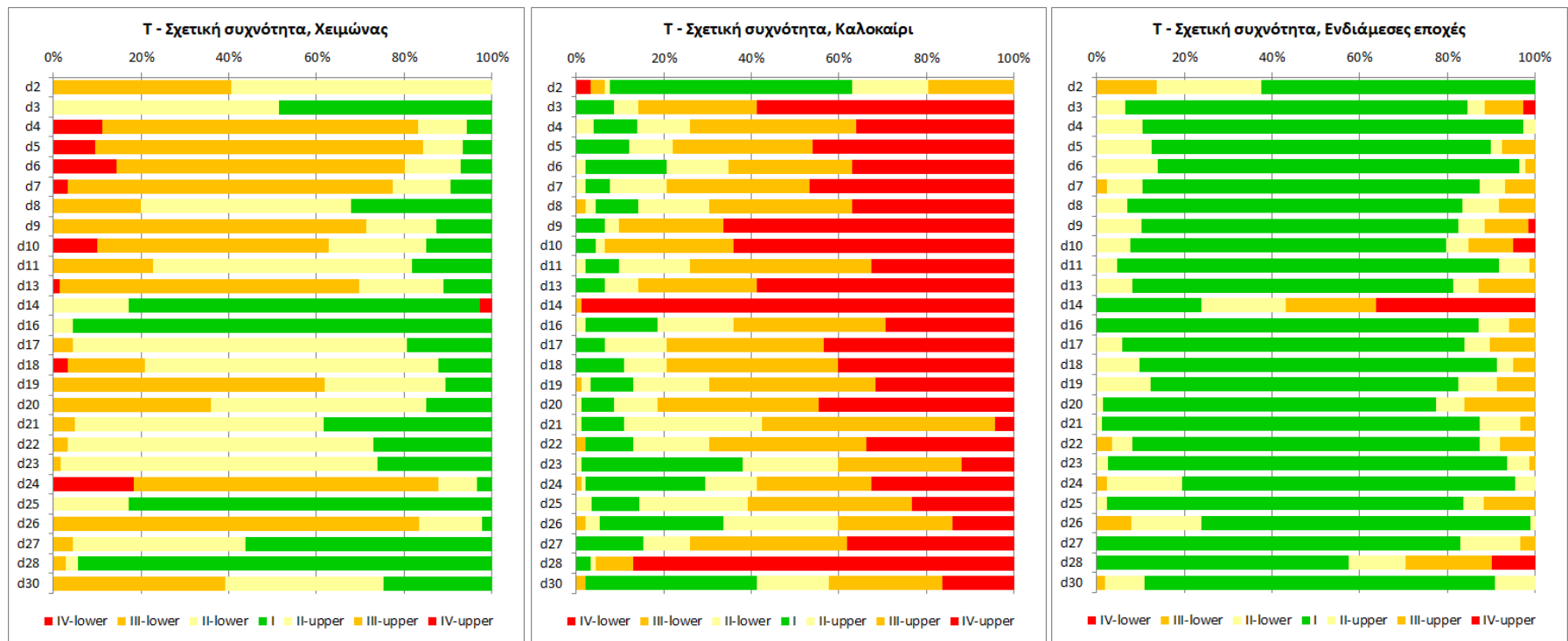
παράδειγμα, οι τιμές που ανήκουν στα ανώτερα εύρη τιμών των Κατηγοριών II-IV τη χειμερινή περίοδο δηλώνουν ευκαιρία εξοικονόμησης από τη χρήση θέρμανσης, ενώ οι τιμές που ανήκουν στα κατώτερα εύρη τιμών των Κατηγοριών II-IV την καλοκαιρινή περίοδο δηλώνουν ευκαιρία εξοικονόμησης από τη χρήση του συστήματος δροσισμού. Στο υπό μελέτη συγκρότημα κατοικιών, δεν παρατηρείται περιττή χρήση των συστημάτων θέρμανσης ή δροσισμού (Σχήμα 35). Παρόλα αυτά, εμφανίζεται πρόβλημα υπερθέρμανσης για την πλειοψηφία των κατοικιών την καλοκαιρινή περίοδο. Η σοβαρότητα του προβλήματος υπερθέρμανσης είναι κάτι που ο διαχειριστής ενέργειας των κατοικιών θα πρέπει να μελετήσει με περισσότερη λεπτομέρεια εξετάζοντας τις ώρες κατά τις οποίες οι χρήστες παραμένουν στο σπίτι για να διαπιστωθεί αν το πρόβλημα εμφανίζεται τις ώρες κατά τις οποίες η κατοικία κατοικείται.

Το ετήσιο διάγραμμα για το CO₂ αποκαλύπτει κάποιο πρόβλημα με την ποιότητα εσωτερικού αέρα για την πλειοψηφία των κατοικιών. Με τη μελέτη των εποχιακών διαγραμμάτων ο διαχειριστής ενέργειας μπορεί να εντοπίσει αν το πρόβλημα οφείλεται σε έλλειψη αερισμού κατά τη χειμερινή περίοδο ή αν είναι πρόβλημα που εμφανίζεται όλες τις εποχές και άρα οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι η γειτνίαση με κάποιο πολυσύχναστο δρόμο. Από τα εποχιακά διαγράμματα φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα με την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος εμφανίζεται το χειμώνα κάτι που αποδίδεται στην έλλειψη αερισμού (Σχήμα 37). Το καλοκαίρι, εποχή κατά την οποία ο αερισμός με ανοικτά παράθυρα είναι πιο συχνός, το πρόβλημα με την εμφάνιση υψηλών τιμών CO₂ για μεγάλο διάστημα εξαλείφεται, ενώ τις ενδιάμεσες εποχές εμφανίζεται μια ενδιάμεση κατάσταση.

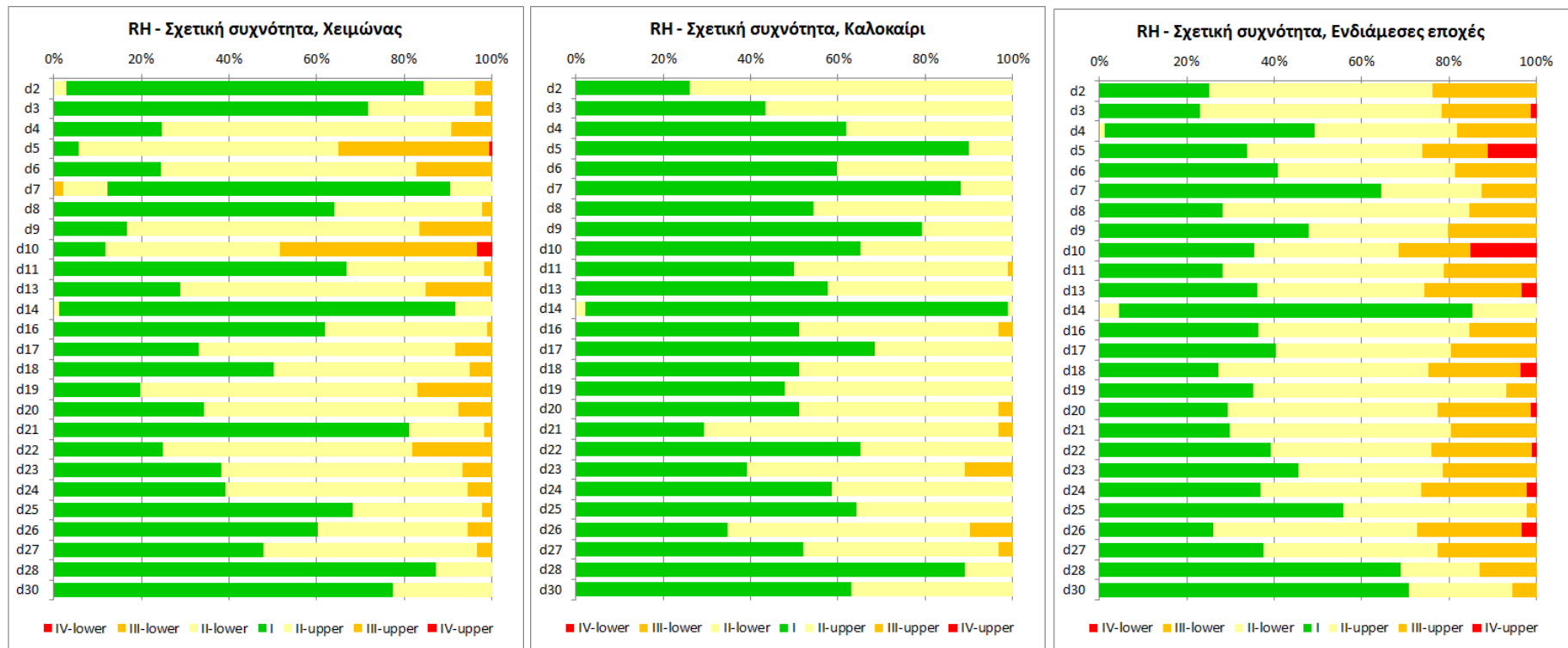
Η σχετική υγρασία έχει αυξημένο ενδιαφέρον για το διαχειριστή ενέργειας καθώς η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο κτίριο όπως είναι ο σχηματισμός συμπύκνωσης ή μούχλα. Τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες δεν εμφανίζεται κάποιο σοβαρό πρόβλημα με τη σχετική υγρασία (Σχήμα 36). Η σημαντικότερη εμφάνιση τιμών στα ανώτερα εύρη των κατηγοριών III και IV παρουσιάζεται τους ενδιάμεσους μήνες σε κάποιες μόνο κατοικίες. Για τον εντοπισμό της ακριβούς αιτίας για την εμφάνιση υψηλών τιμών σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλα μέσα, καθώς ο DEQI δεν μπορεί να εξηγήσει την αιτία παρά μόνο να εντοπίσει την ύπαρξη προβλήματος.



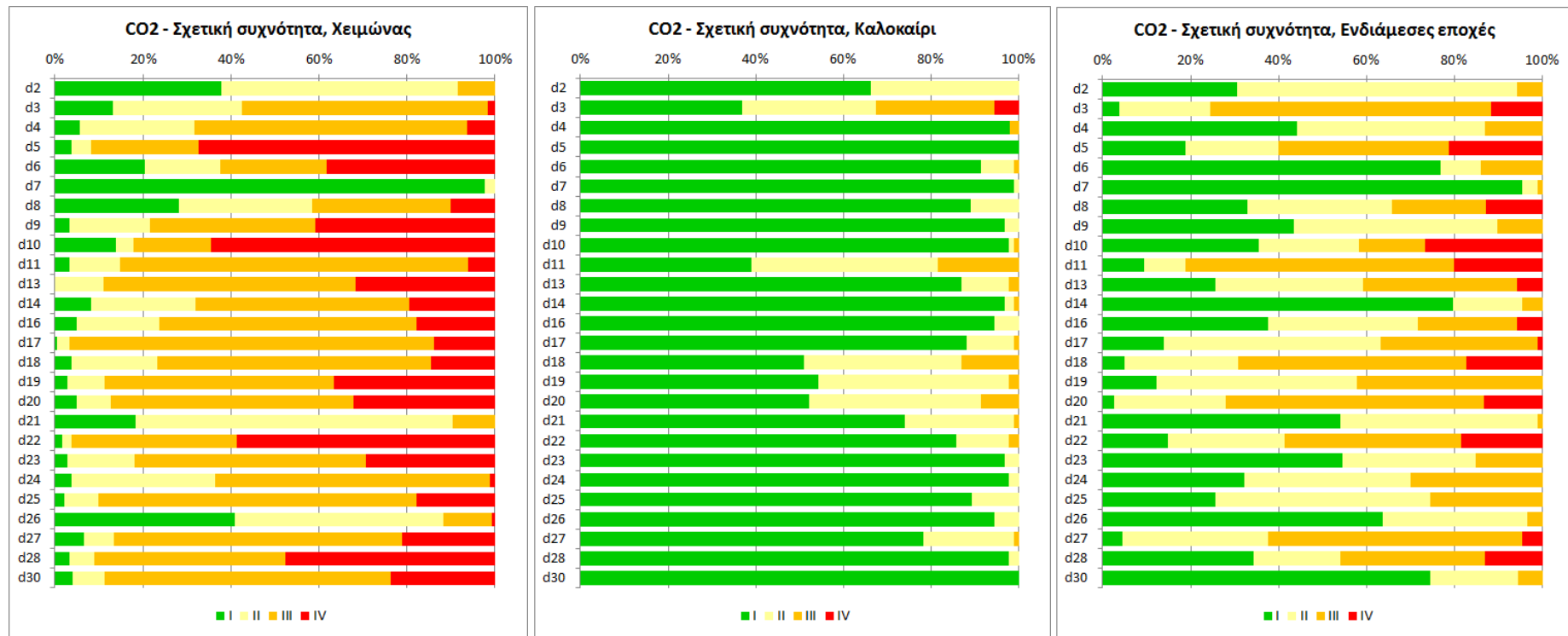
Σχήμα 34 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για ένα ολόκληρο έτος για (α) τη θερμοκρασία, (β) τη σχετική υγρασία και (γ) τις συγκεντρώσεις CO2



Σχήμα 35 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τη θερμοκρασία, T, για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές



Σχήμα 36 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τη σχετική υγρασία, RH, για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές



Σχήμα 37 Λεπτομερείς σχετικές συχνότητες για τις συγκεντρώσεις CO2 για (α) την καλοκαιρινή περίοδο, (β) τη χειμερινή περίοδο και (γ) τις ενδιάμεσες εποχές

6.3.2.3 Minimum operator

Ο Πίνακας 52 συνοψίζει τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του minimum operator για κάθε μελετούμενη περίοδο. Κάθε στήλη δίνει τον αριθμό των κατοικιών που είχαν τον κάθε υποδείκτη ως minimum operator για κάθε περίοδο. Η ταξινόμηση αυτή επιτρέπει στο διαχειριστή ενέργειας να εντοπίσει που πρέπει να εστιάσει τις προσπάθειες για την βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτίρια που διαχειρίζεται, σε επίπεδο εποχής και σε ετήσια βάση. Στις υπό μελέτη κατοικίες, σε ετήσια βάση, μόνο οι υποδείκτες για τη θερμοκρασία και το CO₂ προκύπτουν ως minimum operators και μάλιστα σε ίσο αριθμό κτιρίων (S_T και S_{CO2} minimum operators σε 13 σπίτια έκαστος). Σε εποχιακό επίπεδο εμφανίζεται πρόβλημα με διαφορετική παράμετρο κάθε φορά. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η θερμοκρασία είναι ο minimum operator σε όλες τις υπό μελέτη κατοικίες. Το χειμώνα, το CO₂ είναι ο minimum operator στην πλειψηφία των κατοικιών. Μόνο τις ενδιάμεσες εποχές εμφανίζεται η σχετική υγρασία ως ο minimum operator αλλά μόνο για το ένα τρίτο περίπου των κατοικιών.

Πίνακας 52 Minimum operator για κάθε μελετούμενη περίοδο (N=26)

Υποδείκτης	Έτος	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Ενδιάμεσες εποχές
S _T	13	26	6	1
S _{RH}	0	0	0	9
S _{CO2}	13	0	20	16

6.3.2.4 Ανάλυση ευαισθησίας

Προκειμένου να προσδιοριστεί η σχετική σημασία της επίδρασης των υποδεικτών πάνω στη μεταβλητότητα του DEQI έγινε ανάλυση ευαισθησίας. Για κάθε υποδείκτη υπολογίστηκαν οι συντέλεστες συσχέτισης (rank correlation coefficients (RCCs)). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics. Οι τετραγωνισμένοι συντέλεστες συσχέτισης (squared rank correlation coefficients) κανονικοποιήθηκαν για να μετατραπούν σε ποσοστά και να δώσουν το σχετικό ποσοστό της διακύμανσης (relative percentage of variance (RPV)) στον DEQI που μπορεί να αποδοθεί σε κάθε υποδείκτη (Πίνακας 53).

Πίνακας 53 Ανάλυση ευαισθησίας για τον δείκτη DEQI (N=26)

Μελετούμενη περίοδος	Υποδείκτης	RCC	RPV
Έτος	S _T	0,60 ^a	22,5
	S _{RH}	0,84 ^a	45,3
	S _{CO2}	0,71 ^a	32,2
Καλοκαίρι	S _T	0,75 ^a	66,3
	S _{RH}	-0,1	1,1
	S _{CO2}	0,53 ^a	32,6
Χειμώνας	S _T	0,59 ^a	21,8
	S _{RH}	0,91 ^a	50,7

Μελετούμενη περίοδος	Υποδείκτης	RCC	RPV
Ενδιάμεσες εποχές	S _{CO2}	0,67 ^a	27,5
	S _T	0,35	9,2
	S _{RH}	0,59 ^a	26,2
	S _{CO2}	0,93 ^a	64,6

^aΣημαντική συσχέτιση σε επίπεδο 0.01

Σε ετήσια βάση η επίδραση και των τριών μετρούμενων παραμέτρων στη διακύμανση του DEQI για το συγκεκριμένο συγκρότημα κτιρίων είναι σημαντική. Τη μεγαλύτερη επίδραση έχει η σχετική υγρασία (RPV 45%) και τη μικρότερη η θερμοκρασία (RPV 23%). Το CO₂ έχει επίδραση στη διακύμανση του DEQI και τις τρεις εποχές. Η σχετική υγρασία έχει αμελητέα επίδραση στη διακύμανση του DEQI το καλοκαίρι, ενώ η θερμοκρασία έχει μικρή επίδραση κατά τις ενδιάμεσες εποχές.

6.4 Συμπεράσματα

Ο Dwelling Environmental quality Index (DEQI) είναι ένας δείκτης για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος που προσφέρει απλή αλλά παρόλα αυτά περιεκτική αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος τόσο στους χρήστες των κτιρίων όσο και σε ερευνητές. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας και των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα. Ο DEQI αναπτύχθηκε συγκεκριμένα για κτίρια κατοικιών γι αυτό και διατηρείται απλός και κατανοητός αλλά παρόλα αυτά ικανός να ενημερώσει σε ικανοποιητικό βαθμό τους χρήστες του κτιρίου για τις εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και για την ποιότητα εσωτερικού αέρα.

Ο δείκτης δεν χρησιμοποιεί υποκειμενικές μετρήσεις λόγω της αχρείαστης πολυπλοκότητας και του επιπλέον κόστους που μπορεί να επιφέρουν σε μελέτες που αφορούν κτίρια κατοικιών. Συνεπώς χρησιμοποιεί μόνο αντικειμενικές μετρήσεις. Ο προκαθορισμένος αριθμός των μετρούμενων μεταβλητών επιτρέπει την ταξινόμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση όλων των κτιρίων που αξιολογούνται με τον DEQI. Ακόμη, η δυνατότητα της αποδόμησης του DEQI σε υποδείκτες και σε σχετικές συχνότητες για κάθε μετρούμενη παράμετρο ελαχιστοποιεί την πιθανότητα μιας λανθασμένης ερμηνείας των τιμών του DEQI από την έλλειψη αναλυτικής πληροφορίας.

Ο DEQI είναι ένα χρήσιμο εργαλείο επικοινωνίας και διαχείρισης τόσο για τους χρήστες του κτιρίου όσο και για ερευνητές που μελετούν ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων. Όταν υπολογίζεται για μία κατοικία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους χρήστες για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και της ενεργειακής κατανάλωσης στην κατοικία τους. Όταν υπολογίζεται για ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων, ο DEQI επιτρέπει την ταξινόμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση ενός αριθμού κτιρίων, βοηθάει στον εντοπισμό τάσεων τόσο για τον DEQI όσο και για τους υποδείκτες, αλλά και στον εντοπισμό του τύπου και του βαθμού της ενέργειας που χρειάζεται να γίνει για τη βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών.

Επιπλέον, ο DEQI μπορεί να υπολογιστεί για οποιαδήποτε χρονική περίοδο, βραχυπρόθεσμη είτε μακροπρόθεσμη, αλλά ακόμη και για στιγμιαίες τιμές, δίνοντας έτσι διαφορετικής σημασίας πληροφορία για πιθανά προβλήματα με το εσωτερικό περιβάλλον.

Οι βραχυπρόθεσμοι υπολογισμοί ενημερώνουν τους ενδιαφερόμενους για την τρέχουσα κατάσταση του εσωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση της προόδου όσων αφορά βραχυπρόθεσμους στόχους βελτίωσης και βοηθάει στην πρόβλεψη ενός επικείμενου προβλήματος και άρα στη λήψη μέτρων για την αποφυγή του. Αυτό είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους χρήστες επειδή τους επιτρέπει να θυμούνται και άρα να εντοπίζουν τις δραστηριότητες που έλαβαν χώρα μεταξύ της προηγούμενης και της επόμενης μέτρησης που μπορεί να επέδρασαν θετικά ή αρνητικά στην ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι: η χρήση θέρμανσης (on/off), αλλαγή των ρυθμίσεων του θερμοστάτη, αερισμός με ανοικτά παράθυρα, κάπνισμα, μαγείρεμα, ντους, σιδέρωμα με ατμό. Μέσα από την παρακολούθηση των βραχυπρόθεσμων τιμών του DEQI και των τιμών των επιμέρους υποδεικτών, οι χρήστες μπορούν σε βάθος χρόνου να καταλάβουν την επίδραση που έχει κάθε μία από τις παραπάνω δραστηριότητες στις μετρούμενες παράμετρους και στον DEQI καθώς και την αλληλεπίδραση τους και να αλλάξουν την ενεργειακή τους συμπεριφορά ανάλογα. Η παράλληλη παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης και του εσωτερικού περιβάλλοντος, μπορεί να επιτρέψει στους χρήστες να κατανοήσουν ακόμη και την αλληλεπίδραση των εσωτερικών παραμέτρων με την ενεργειακή κατανάλωση. Το χειμώνα για παράδειγμα, παρόλο που ο φυσικός αερισμός μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των συγκεντρώσεων CO₂, μπορεί επίσης να αυξήσει την ανάγκη για θέρμανση.

Οι μακροπρόθεσμοι υπολογισμοί για το DEQI προσφέρουν μια πιο αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος καθώς επιτρέπουν τον μετριασμό των επιπτώσεων από ευκαιριακές διαστηριότητες ή συμβάντα που λαμβάνουν χώρα μέσα ή και έξω από την κατοικία ανά αραιά διαστήματα. Μπορεί άρα να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και ταξινόμηση της συνολικής απόδοσης του κτιρίου όσον αφορά το εσωτερικό περιβάλλον. Η μακροπρόθεσμη αξιολόγηση είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για έναν ερευνητή καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης ενός πληθυσμού κτιρίων, την ταξινόμηση των επιμέρους κτιρίων και την μαζική αντιμετώπιση ενός προβλήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει έναν αλγόριθμο παροχής ενεργειακών συμβουλών ο οποίος έχει ως στόχο του να βελτιώσει την ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών κτιρίων κατοικιών και ως αποτέλεσμα να οδηγήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτά. Οι συμβουλές παρέχονται μέσα από μια υπηρεσία που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ), γνωστή ως Information and Communications Technology (ICT), η οποία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου ICE-WISH. Στο σύνολο της η υπηρεσία αυτή προσφέρει i) συνοπτική ανατροφοδότηση και ενημέρωση, ii) γραφική ανατροφοδότηση και ενημέρωση και iii) παροχή συμβουλών. Ο αλγόριθμος που αφορά στην παροχή συμβουλών αποτελεί το αντικείμενο μελέτης του κεφαλαίου αυτού.

Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν τόσο τη μοναδικότητα του χρήστη όσο και την σχέση που υπάρχει μεταξύ ενεργειακής κατανάλωσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και ως στόχο έχει να διασφαλίσει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας δεν επιτυγχάνεται εις βάρος της υγείας και της θερμικής άνεσης των χρηστών.

Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε σε δύο στάδια. Η πρώτη έκδοση του αλγορίθμου ονομάστηκε «Απλές Συμβουλές» και πρόσφερε σε ημερήσια βάση γενικές συμβουλές εξοικονόμησης και βελτίωσης των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι συμβουλές αυτές προέκυπταν από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου στο οποίο βρίσκονταν οι κατοικίες (διαμερίσματα) παρά από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κάθε κατοικίας και του χρήστη. Η δεύτερη και τελική έκδοση ονομάστηκε «Σύνθετες Συμβουλές» και αφορούσε την συγκεκριμένη κατοικία στην οποία προσφερόταν παρά στο κτίριο γενικότερα και ενημερωνόταν με καινούριες συμβουλές σε πραγματικό χρόνο (συχνότητα 15-λεπτού). Η επιλογή των συμβουλών που ο χρήστης λάμβανε κάθε φορά καθοριζόταν από τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες τη στιγμή της μέτρησης, τη λειτουργία ή όχι του συστήματος θέρμανσης και την εποχή του χρόνου.

7.1 Εισαγωγή

Οι χρήστες κτιρίων κατοικιών συνήθως δεν αντιλαμβάνονται πλήρως τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας στις κατοικίες τους αφού δεν γνωρίζουν πολλά για το ενεργειακό τους προφίλ ούτε γνωρίζουν όλα τα μέτρα εξοικονόμησης που θα μπορούσαν να εφαρμόσουν. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί πολλά προγράμματα που επιδιώκουν την αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών και αποσκοπούν κυρίως στο να βοηθήσουν τους χρήστες να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες εξοικονόμησης της κατοικίας τους προσφέροντας τους ανατροφοδότηση (feedback), ενημέρωση (information) και συμβουλές (advice). Πολλά απ' αυτά βασίζονται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) ως το μέσον για την αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρηστή και συνεπώς της εξοικονόμησης ενέργειας και

επίτευξης ικανοποιητικών εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Μέσα από την πληροφορία που λαμβάνει ο χρήστης από τέτοιου τύπου εφαρμογές μπορεί άμεσα να καταλάβει τους τρόπους με τους οποίους η συμπεριφορά του επηρεάζει την ενεργειακή του κατανάλωση και τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και κατά συνέπεια να υιοθετήσει συμπεριφορές που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας και πιο άνετο και υγιές εσωτερικό περιβάλλον.

Η ενεργειακή συμπεριφορά ενός νοικοκυριού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που το αποτελούν (Aragon et al., 2017). Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικό να εξετάζονται και να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός προγράμματος συμβουλών. Ειδικά η παροχή συμβουλών σε νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος έχει πολλαπλές τεχνικές και οικονομικές διαστάσεις (Boardman and Darby, 2000). Τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος που δέχονται συμβουλές πάνω σε κάποιο συγκεκριμένο θέμα είναι πολύ πιθανό να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στο να εφαρμόσουν κάποια από τα μέτρα που απαιτούν μια σημαντική οικονομική επένδυση όπως είναι για παράδειγμα οι παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου ή η αγορά νέων και πιο αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων. Επίσης, μπορεί να διαμένουν σε κατοικία που ενοικιάζουν και άρα να έχουν περιορισμένες επιλογές παρέμβασης σε αυτήν, να έχουν ελλιπή μόρφωση ή αριθμητικές δεξιότητες και άρα να χρειάζονται σημαντική απλοποίηση ή επεξήγηση των συμβουλών, να προτιμούν να λαμβάνουν τις συμβουλές προφορικά αντί σε έντυπη μορφή και να εμπιστεύονται αυτόν που θα τους παρέχει τις συμβουλές (Boardman and Darby, 2000).

Τα τρία βασικά κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας είναι τα οικονομικά οφέλη, η θερμική άνεση και η προστασία του περιβάλλοντος. Σε κτίρια κατοικιών και ειδικότερα σε νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος τα οικονομικά οφέλη και η θερμική άνεση αποτελούν βασική προτεραιότητα (Darby, 1999). Ως εκ τούτου, προκειμένου να είναι πιο αποτελεσματικά τα προγράμματα αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς που απευθύνονται σε χρήστες κτιρίων κατοικιών θα πρέπει να προσφέρουν κυρίως πληροφορία σχετική με τη μείωση των λειτουργικών εξόδων της κατοικίας και τη διατήρηση καλών εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών (Bordass et al., 2004).

Υπάρχουν πολλοί τύποι συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που οι χρήστες κτιρίων κατοικιών μπορούν να υιοθετήσουν για να εξοικονομήσουν ενέργεια. Ο βασικότερος τρόπος κατηγοριοποίησης τους είναι ανάλογα με το κόστος εφαρμογής τους, δηλαδή σε χαμηλού ή μηδενικού κόστους, μέτριου κόστους και υψηλού κόστους (CIBSE Guide F, 2004; Rahman et al., 2010). Τα μέτρα Χαμηλού-Μηδενικού κόστους χρειάζονται αμελητέα επένδυση, δεν απαιτούν τεχνικές μελέτες και περιλαμβάνουν δράσεις όπως: προσαρμογή του θερμοστάτη, εφαρμογή φυσικού αερισμού για δροσισμό, μεταφορά δραστηριοτήτων σε ώρες εκτός αιχμής κλπ. Τα μέτρα Μέτριου κόστους απαιτούν κάποιο επίπεδο επένδυσης σε μορφή εργατικών δαπανών και άρα και περισσότερο χρόνο για την υλοποίησή τους, παρόλα αυτά όμως δεν χρειάζονται κάποια απαιτητική μελέτη ή σχεδιασμό. Τα μέτρα Υψηλού κόστους χρειάζονται λεπτομερή μελέτη και σχεδιασμό καθώς αφορούν κυρίως σε δράσεις ανακαίνισης της κατοικίας όπως είναι η αλλαγή υαλοπινάκων και

κουφωμάτων, η προσθήκη θερμομόνωσης κλπ. Ως αποτέλεσμα χρειάζεται και σημαντική χρηματική και χρονική επένδυση για την υλοποίησή τους.

7.2 Η υπηρεσία ενεργειακής διαχείρισης ΤΠΕ

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε σε αυτό το κεφάλαιο αφορά στην παροχή συμβουλών σε χρήστες κτιρίων κατοικιών και αποσκοπεί στην αλλαγή της ενεργειακής τους συμπεριφοράς. Ο αλγόριθμος αυτός συμπληρώνει μια ευρύτερη υπηρεσία ΤΠΕ που περιλαμβάνει συνοπτική και γραφική ανατροφοδότηση και ενημέρωση για την κατανάλωση στην κατοικία τους καθώς και τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Το σύστημα καταγραφής και επικοινωνίας των μετρούμενων δεδομένων ενέργειας και εσωτερικών περιβαλλοντικών παραμέτρων παρουσιάστηκε αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο.

I. Συνοπτική ανατροφοδότηση και ενημέρωση

Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση, τις σχετικές χρεώσεις και τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Σχήμα 42):

- Τιμές για στιγμιαίες μετρήσεις για: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και επίπεδα CO₂
- Εκτίμηση της εξοικονομούμενης ενέργειας
- Εκτίμηση της εξοικονόμησης χρημάτων από λογαριασμούς κοινής ωφέλειας.

II. Γραφική ανατροφοδότηση και ενημέρωση

Γραφική απεικόνιση της κατανάλωσης για κάθε μετρούμενη παράμετρο και για τις σχετικές χρεώσεις με την ακόλουθη λεπτομέρεια:

- Ενεργειακή κατανάλωση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο – επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν την κατανάλωση τους σε συνεχή βάση και να δέχονται ανατροφοδότηση για την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Ένα γράφημα 24-ωρης απεικόνισης ενημερωνόταν κάθε 15 λεπτά με τις πιο πρόσφατες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης και κόστους.
- Ιστορικό ενεργειακής κατανάλωσης – παρέχοντας ενημέρωση στους χρήστες για την κατανάλωση τους της τρέχουσας ημέρας, της τρέχουσας βδομάδας, του τρέχοντος μήνα και του τρέχοντος έτους.
- Χρεώσεις – ενημερώνοντας τους χρήστες για τις χρεώσεις τους επιτρέποντας τους να εντοπίσουν το διάστημα της μέρας στο οποίο μπορούν να μεταφέρουν κάποιες δραστηριότητες τους ώστε να εξοικονομήσουν χρήματα από τους λογαριασμούς τους κοινής ωφέλειας.

III. Συμβουλές

Οι συμβουλές προσφέρονται ως συμπληρωματική πληροφορία στην άμεση ανατροφοδότηση για την ενεργειακή κατανάλωση και για τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Περιλαμβάνουν εύκολα εφαρμόσιμες συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας χαμηλού ή μηδενικού κόστους. Επιπλέον, περιλαμβάνουν συστάσεις για βέλτιστες εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και ενημέρωση για το

πως οι βελτιώσεις στις μετρούμενες περιβαλλοντικές παραμέτρους μπορεί να επηρεάσουν την ενεργειακή κατανάλωση.

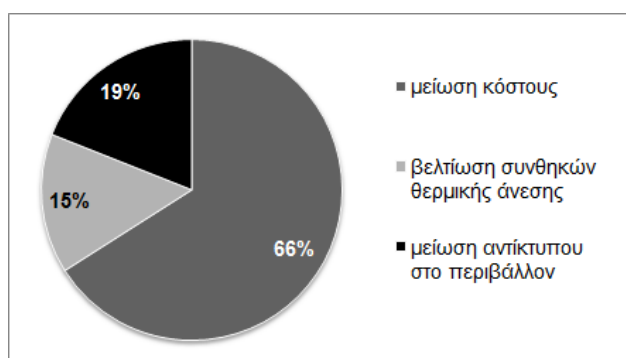
7.3 Διερεύνηση των αναγκών των χρηστών κτιρίων κατοικιών

Μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού του αλγορίθμου ήταν η προβλεπόμενη μεθοδολογία που περιλαμβάνει τη διερεύνηση των αναγκών των χρηστών (user requirements) για μια υπηρεσία ενεργειακής διαχείρισης ΤΠΕ. Η διερεύνηση των αναγκών των χρηστών έγινε πριν τον τελικό σχεδιασμό του αλγορίθμου Απλών Συμβουλών. Η έρευνα διεξήχθη με τη βοήθεια ενός ερωτηματολογίου που μοιράστηκε σε χρήστες κατοικιών από έξι Ευρωπαϊκές χώρες. Η συμμετοχή ήταν προαιρετική. Το ερωτηματολόγιο απαντήθηκε από 104 νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος από το Βέλγιο, τη Βουλγαρία, τη Δανία, την Γερμανία, την Ιταλία και την Ισπανία.

Στο ερωτηματολόγιο περιλαμβάνονταν 26 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που διερευνούσαν τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των χρηστών για διάφορες λειτουργίες της υπηρεσίας και μια ερώτηση ανάπτυξης. Οι τρεις από αυτές τις ερωτήσεις αφορούσαν τον αλγόριθμο συμβουλών: κίνητρο για την χρήση της υπηρεσίας, προτίμηση για τύπους συμβουλών και επιθυμητή θεματολογία συμβουλών. Τα ευρήματα από τις τρεις αυτές ερωτήσεις παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Κίνητρο για χρήση της υπηρεσίας ΤΠΕ

Ένας από τους βασικούς στόχους της έρευνας για τις ανάγκες των χρηστών ήταν η διερεύνηση του σημαντικότερου κινήτρου πίσω από τη γενικότερη χρήση της υπηρεσίας και της ενσωμάτωσης του στις προσφερόμενες λειτουργίες. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 38, το κίνητρο χρήσης της υπηρεσίας για την πλειοψηφία των χρηστών ήταν η εξοικονόμηση χρημάτων από τους λογαριασμούς τους (66%). Η εξοικονόμηση χρημάτων ήταν το βασικότερο κίνητρο στις 5 από τις 6 χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα. Το 19% των ερωτηθέντων θα έκανε χρήση της υπηρεσίας για να μειώσει τον αντίκτυπο του στο περιβάλλον και ένα άλλο 15% θα έκανε χρήση της υπηρεσίας για να βελτιώσει τις συνθήκες θερμικής άνεσης στην κατοικία του.



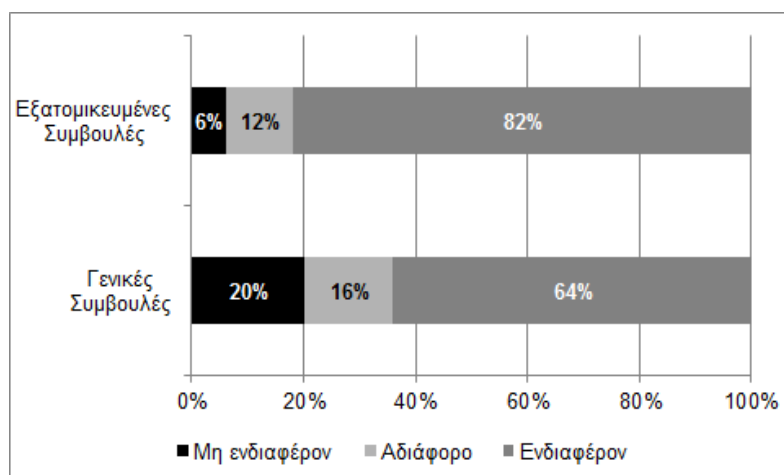
Σχήμα 38 Κίνητρο για τη χρήση της υπηρεσίας ΤΠΕ (Laskari et al., 2016)

Ενδιαφέρον για τύπους συμβουλών

Το ερωτηματολόγιο διερεύνησε και το ενδιαφέρον των χρηστών για τύπους συμβουλών που μπορούν να προσφερθούν μέσα από την υπηρεσία ΤΠΕ. Οι χρήστες έπρεπε να επιλέξουν ένα ή και τους δύο τύπους συμβουλών:

- i. Απλές (γενικές) συμβουλές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια κατοικιών,
- ii. Σύνθετες (εξατομικευμένες) συμβουλές για εξοικονόμηση ενέργειας στις δικές τους κατοικίες συγκεκριμένα.

Το ενδιαφέρον για τους δύο τύπους συμβουλών εκφράστηκε σε κλίμακα 5 χαρακτηρισμών, γνωστή ως Likert (διατυπωμένη από τον Αμερικανό ψυχολόγο Rensis Likert). Η κλίμακα Likert είναι μία κλίμακα εκτίμησης απόψεων ή συμπεριφοράς των οποίων οι χαρακτηρισμοί συντίθενται από δύο αντίρροπες κατευθύνσεις μεταβολής (αρνητική – θετική εξέλιξη) (Πετρίδης, 2015). Στην προκειμένη μελέτη οι χαρακτηρισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: 1= *διαφωνώ απόλυτα*, 2= *διαφωνώ*, 3= *αδιάφορο (ούτε-ούτε)*, 4= *συμφωνώ*, 5= *συμφωνώ απόλυτα*. Όσο πιο κοντά είναι η μέση τιμή στο 5 τόσο μεγαλύτερο το ενδιαφέρον για τον συγκεκριμένο τύπο συμβουλών.



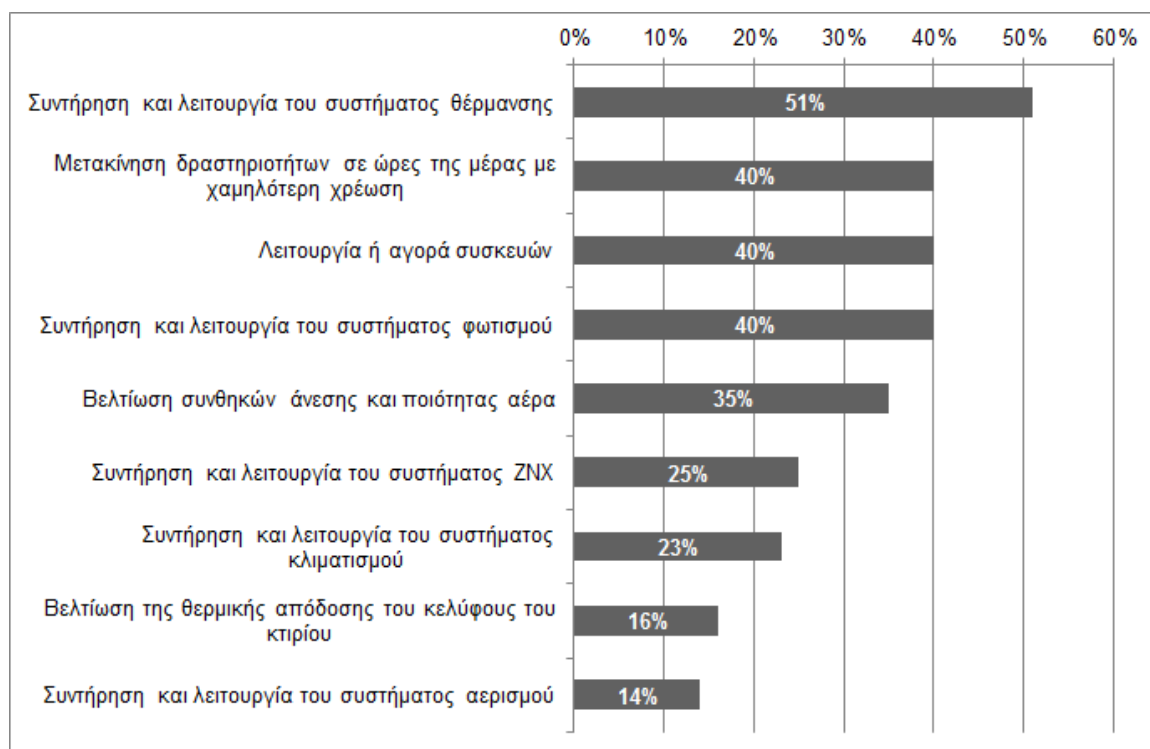
Σχήμα 39 Ενδιαφέρον για τύπους συμβουλών (Laskari et al., 2016)

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 39 ο αριθμός των ερωτηθέντων που ενδιαφερόταν για την λήψη συμβουλών ήταν σημαντικός και για τους δύο τύπους. Παρόλα αυτά, το ενδιαφέρον για τις σύνθετες (εξατομικευμένες) συμβουλές ήταν πολύ μεγαλύτερο. Η μέση τιμή για το ενδιαφέρον για τις απλές (γενικές) συμβουλές ήταν 3.74 ± 1.149 , ενώ για τις σύνθετες συμβουλές ήταν $4.14 \pm .954$. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι το ενδιαφέρον για τις σύνθετες συμβουλές ήταν μεγαλύτερο απ'ότι για τις απλές συμβουλές στις τέσσερις από τις έξι χώρες.

Θεματολογία απλών συμβουλών

Οι χρήστες που απάντησαν ότι ενδιαφέρονται για τη λήψη απλών συμβουλών ερωτήθηκαν και για τη θεματολογία που θα ήθελαν να καλύπτουν οι συμβουλές αυτές (Σχήμα 40).

Οι συμβουλές για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος θέρμανσης συγκέντρωσαν το μεγαλύτερο ποσοστό προτίμησης (51% των ερωτηθέντων). Σημαντικό ποσοστό προτίμησης (40% των ερωτηθέντων) συγκέντρωσαν και οι: μεταφορά δραστηριοτήτων σε ώρες με χαμηλότερες χρεώσεις, λειτουργία ή αγορά πιο ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και λειτουργία και συντήρηση συστήματος φωτισμού. Η βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών προτιμήθηκε από το 35% των ερωτηθέντων. Οι συμβουλές για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης του κελύφους του κτιρίου, που συνδέονται με αφιέρωση χρόνου ή χρημάτων για την υλοποίηση ήταν πολύ χαμηλά στις προτιμήσεις των ερωτηθέντων. Από την άλλη, οι συμβουλές που σχετίζονται με μικρό ή μηδενικό κόστος, όπως είναι η λειτουργία και η συντήρηση συστημάτων και συσκευών είναι πιο ψηλά στις προτιμήσεις τους. Αξιζεί να αναφερθεί ότι η κατάταξη των προτιμήσεων για τις συμβουλές διαφέρει για τις έξι χώρες δηλώνοντας έτσι τις διαφορετικές προτεραιότητες που έχουν οι χρήστες σε κάθε χώρα και τύπο κτιρίου (διαμέρισμα, μονοκατοικία κλπ).



Σχήμα 40 Προτιμήσεις για τη θεματολογία των απλών συμβουλών (Laskari et al., 2016)

7.4 Επιλογή και κατηγοριοποίηση των ενεργειακών συμβουλών

Η βιβλιογραφία περιέχει πληθώρα από μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας με εφαρμογή σε κτίρια κατοικιών (Amann et al., 2012; California Energy Commission, n.d.; Energy Star, n.d.; energy.gov, n.d.). Αυτά πολύ συχνά συνδέονται με κάποια επένδυση ή χρειάζονται την άδεια του ιδιοκτήτη προκειμένου να υλοποιηθούν. Στην περίπτωση των ευάλωτων νοικοκυριών, το κόστος της επένδυσης είναι κάτι που οι ένοικοι δεν μπορούν να υποστηρίξουν ενώ πολλές φορές δεν είναι οι

ιδιοκτήτες της κατοικίας στην οποία διαμένουν και άρα η απόφαση για την παρέμβαση στο κέλυφος ή τα συστήματα δεν εξαρτάται από τους ίδιους. Έχοντας αυτά σαν πρώτα κριτήρια επιλογής, οι συμβουλές που επιλέχθηκαν για τον αλγόριθμο συμβουλών ήταν μικρού ή μηδενικού κόστους και κάποιες φορές μεσαίου κόστους και δεν αφορούσαν καμία παρέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου. Η απόφαση αυτή υποστηρίζεται και από τα ευρήματα της έρευνας των αναγκών των χρηστών η οποία έδειξε ότι οι συμβουλές υψηλού κόστους είναι χαμηλά στις προτιμήσεις των χρηστών (Σχήμα 40).

Πίνακας 54 Κατηγοριοποίηση των συμβουλών (Laskari et al., 2016)

Κατηγοριοποίηση στη βιβλιογραφία	Κατηγοριοποίηση στο πρόγραμμα Συμβουλών
Αερισμός	Ηλεκτρική ενέργεια
Θέρμανση	Νερό
Δροσισμός	Ζεστό νερό
Ζεστό Νερό και Νερό	Θέρμανση
Ψυγείο	Φυσικό αέριο
Μαγείρεμα	Άλλο
Πλύσιμο πιάτων	
Πλύσιμο ρούχων	
Φωτισμός	
Ηλεκτρονικές συσκευές	
Εσωτερική Ποιότητα Αέρα	

Για κάθε ένα από τα κτίρια που συμμετείχαν στο πρόγραμμα έγινε καταγραφή των ενεργειακών και αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών τους αλλά και των μετρούμενων παραμέτρων (ενέργεια και εσωτερικό περιβάλλον). Τα δεδομένα της καταγραφής χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των συμβουλών που ήταν σχετικές με το κτίριο στο οποίο θα προσφερόταν η υπηρεσία αλλά και για την κατηγοριοποίησή τους με βάση τις μετρούμενες παραμέτρους.

Υπόψιν για τη διατύπωση και την επίλυση των συμβουλών για κάθε κτίριο λήφθηκαν και τα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά και ο τρόπος που αυτά μπορούν να επηρεάσουν το εσωτερικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας. Με βάση αυτές τις πληροφορίες οι συμβουλές ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες. Οι τέσσερις κατηγορίες είχαν να κάνουν με τις μετρούμενες παραμέτρους για ενέργεια και νερό και η πέμπτη με το εσωτερικό περιβάλλον και τη γενική ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών (Πίνακας 54).

Η κατηγοριοποίηση των συμβουλών έγινε με βάση τις μετρούμενες παράμετρους σε κάθε κτίριο (Πίνακας 55). Ένα παράδειγμα με κατηγοριοποιημένα μηνύματα συμβουλών φαίνεται στον Πίνακα 56. Το παράδειγμα δείχνει την κατηγοριοποίηση για ένα συγκεκριμένο κτίριο στην Ιταλία στο οποίο χρησιμοποιούνται και μετρούνται τα εξής: ηλεκτρική κατανάλωση, φυσικό αέριο, νερό, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, επίπεδα CO₂. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιούνταν για θέρμανση, ζεστό νερό και μαγείρεμα.

Πίνακας 55 Μετρούμενες παράμετροι στα υπό μελέτη κτίρια (Laskari et al., 2016)

Μετρούμενες παράμετροι	Βέλγιο (Κτ. Α)	Βέλγιο (Κτ. Β)	Βουλγαρία	Γερμανία	Ιταλία	Ισπανία (Κτ. Α)	Ισπανία (Κτ. Β)
Ηλεκτρική ενέργεια	x	x	x	x	x	x	x
Φυσικό αέριο	x			x	x		
Θέρμανση				x			x
Νερό	x	x	x	x	x	x	x
Ζεστό Νερό							
Θερμοκρασία, Σχετική Υγρασία, CO2	x	x	x		x	x	x

Οι συμβουλές για την θέρμανση, όπου γινόταν χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση, κατηγοριοποιήθηκαν ως «θέρμανση» και όχι ως «φυσικό αέριο». Ο σκόπος αυτού του διαχωρισμού ήταν για να είναι διαθέσιμες συμβουλές συγκεκριμένα για θέρμανση και όχι μόνο για φυσικό αέριο γενικότερα, όπου μπορεί να υπήρχαν και συμβουλές για άλλες τελικές χρήσεις όπως μαγείρεμα και ζεστό νερό. Ένας λόγος για αυτό το διαχωρισμό ήταν για να μπορούν να προσφέρονται συμβουλές για θέρμανση που δεν σχετίζονται απαραίτητα με το φυσικό αέριο, καθώς στα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος, όπου τα φαινόμενα ενεργειακής φτώχειας είναι πιο έντονα, συνηθίζεται η χρήση μη κεντρικών συστημάτων θέρμανσης (π.χ. φορητές συσκευές θέρμανσης, κλιματιστικά κλπ), ακόμα και αν υπάρχει κεντρικό σύστημα θέρμανσης. Ακόμα, οι συμβουλές για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος θέρμανσης συγκέντρωσαν το μεγαλύτερο ποσοστό προτίμησης (Σχήμα 40) τονίζοντας έτσι τη σημαντικότητα των συμβουλών συγκεκριμένα για τη θέρμανση. Παρόλα αυτά, όπου μία συμβουλή αφορούσε δύο ή περισσότερες κατηγορίες αυτή προσφερόταν σε όλες τις σχετικές κατηγορίες (Πίνακας 56). Παραδείγματα τέτοιων συμβουλών αποτελούν οι συμβουλές για θέρμανση και φυσικό αέριο και οι συμβουλές για κατανάλωση νερού και φυσικό αέριο.

Πίνακας 56 Κατηγοριοποίηση και διατύπωση των συμβουλών για ένα συγκεκριμένο κτίριο (Laskari et al., 2016)

Συμβουλή	Κατηγορία
Αερισμός την κατάλληλη χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της μέρας. Ο αερισμός του σπιτιού ,αφήνοντας ανοιχτά παράθυρα, θα πρέπει να πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι τις πρωινές ώρες.	Θέρμανση, Ηλεκτρική ενέργεια
Συντήρηση των σωμάτων θέρμανσης. Διατηρείστε τα σώματα θέρμανσης καθαρά και εξεαρώστε τα μια ή δύο φορές κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Αν δεν έχετε πραγματοποιήσει ξανά τη διαδικασία αυτή στο παρελθόν, ζητήστε βοήθεια από έναν επαγγελματία.	Θέρμανση
Εγκατάσταση κεφαλής ντουζιέρας-βρύσης χαμηλής ροής. Η εγκατάσταση κεφαλής ντουζιέρας-βρύσης βοηθάει στην εξοικονόμηση νερού και ενέργειας που απαιτείται για να θερμανθεί το νερό.	Φυσικό αέριο, Νερό
Βελτιστοποίηση της ποσότητας ρούχων του πλυντηρίου ρούχων. Προσπαθήστε να βάζετε πλυντήριο μόνο όταν έχετε ολόκληρα γεμίσματα. Αν χρειάζεται να πλυνετε μικρότερες ποσότητες ρούχων σκεφτείτε να ρυθμίσετε αναλόγως και την ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί. Απευθυνθείτε στο εγχειρίδιο οδηγιών του πλυντηρίου ρούχων για να βοηθηθείτε.	Ηλεκτρική ενέργεια, Νερό

Συμβουλή	Κατηγορία
<p>Επιλογή χαμηλότερων θερμοκρασιών για το πλυντήριο ρούχων. Η περισσότερη ενέργεια που καταναλώνεται για το πλύσιμο των ρούχων είναι για τη θέρμανση του νερού. Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία που θερμαίνεται το νερό, τόσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνετε. Σκεφτείτε να αγοράσετε απορρυπαντικό με φόρμουλα για πλύσιμο σε πιο κρύο νερό έτσι ώστε να εξασφαλίσετε σωστό και καλό καθαρίσμα σε χαμηλές θερμοκρασίες.</p>	Ηλεκτρική ενέργεια
<p>Χρήση πολύπριζου. Οι περισσότερες συσκευές που καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα, όπως τηλεόραση, ηλεκτρονικοί υπολογιστές και κουζίνα, συνεχίζουν να ‘τραβούν’ μία μικρή ποσότητα ρεύματος ακόμη και όταν είναι απενεργοποιημένες. Συνδέστε όλες τις συσκευές ή και άλλο εξοπλισμό με ένα πολύπριζο. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι εύκολο να επιτρέψετε/διακόψετε την παροχή ρεύματος στις συσκευές με μία κίνηση.</p>	Ηλεκτρική ενέργεια
<p>Αποφυγή καπνίσματος. Το κάπνισμα είναι κακό για την υγεία σας και για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα του σπιτιού σας. Προσπαθήστε να διακόψετε ή τουλάχιστον αποφεύγετε να καπνίζετε εσωτερικά του σπιτιού.</p>	Άλλο
<p>Έλεγχος της υγρασίας. Η υγρασία είναι δυνατό να έχει σημαντικό αντίκτυπο και στην υγεία σας, προκαλώντας άσθμα ή αλλεργίες, αλλά και στο σπίτι σας, προκαλώντας φθορές σε προϊόντα ξύλου και επιταχύνοντας την σκουριά στο μέταλλο. Είναι σημαντικό να διατηρούνται σχετικά επίπεδα υγρασίας κάτω του 60% εσωτερικά της οικίας ώστε να αποτραπεί η συγκέντρωση έντονης υγρασίας. Η κουζίνα και το μπάνιο είναι χώροι με υψηλά επίπεδα υγρασίας. Για να διαλυθεί η υγρασία που προκαλείται από διαδικασίες όπως το μαγείρεμα ή το μπάνιο καλό θα ήταν να αερίζονται οι χώροι ανοίγοντας τα παράθυρα ή με μηχανισμούς απορρόφησης. 20 λεπτά λειτουργίας του απορροφητήρα, μετά από τη διαδικασία παραγωγής υγρασίας, είναι αρκετά για να απομακρυνθεί η υγρασία.</p>	Άλλο

7.5 Εφαρμογή του αλγορίθμου Απλών συμβουλών

Ημερήσια αναπροσαρμογή της λίστας συμβουλών (κυκλική αναπροσαρμογή)

Οι συμβουλές που λάμβαναν οι χρήστες αλλάζαν καθημερινά. Δεν ήταν δηλαδή διαθέσιμες όλες οι συμβουλές ανά πάσα στιγμή. Ο λόγος για αυτό ήταν για να διατηρηθεί το ενδιαφέρον των χρηστών για την υπηρεσία. Για παράδειγμα, αν οι συμβουλές ηλεκτρικής ενέργειας για ένα συγκεκριμένο κτίριο ήταν συνολικά έξι στον αριθμό τους, τότε κάθε μέρα δινόταν μία τέτοια συμβουλή για την συγκεκριμένη κατηγορία. Την έβδομη μέρα ο κύκλος συμβουλών επαναλαμβανόταν ξανά με την ίδια σειρά. Ο αριθμός των συμβουλών που προσφέρονταν κάθε μέρα για κάθε κατηγορία ήταν συνάρτηση του συνολικού αριθμού συμβουλών για τη συγκεκριμένη κατηγορία (Πίνακας 57). Ο ημερήσιος κύκλος για κάθε από τα συμμετέχοντα κτίρια συνοψίζεται στον Πίνακα 58.

Πίνακας 57 Κυκλική αναπροσαρμογή συμβουλών (Laskari et al., 2016)

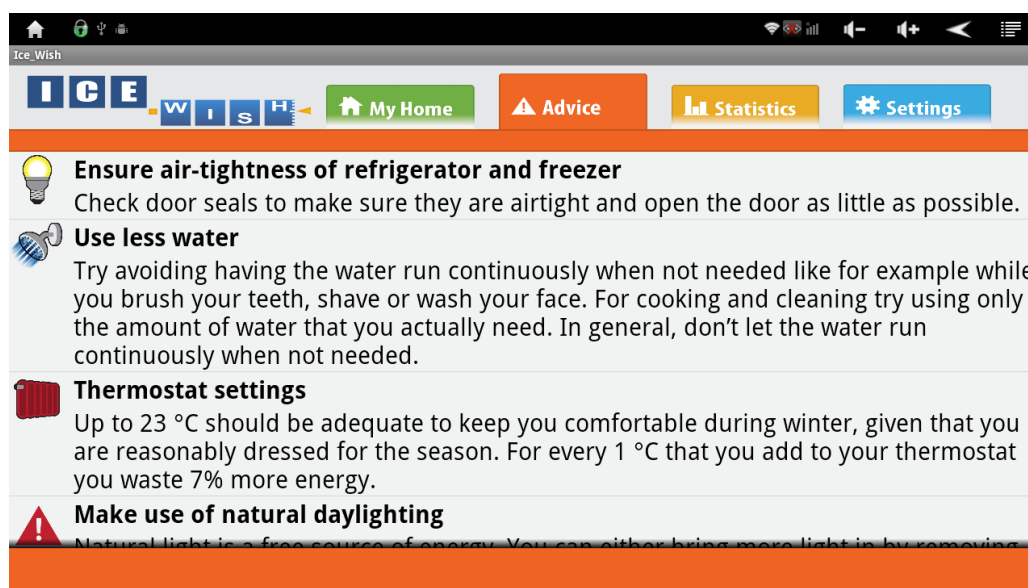
Συνολικός αριθμός συμβουλών στην κατηγορία	Ημερήσιος κύκλος (αριθμός συμβουλών ανά μέρα)
1-10	1
11-20	2
21-30	3
31-35	4
36-40	5
41-45	6
46-50	7
51-55	8

Πίνακας 58 Ημερήσιος κύκλος αναπροσαρμογής μηνυμάτων για κάθε κατηγορία συμβουλών (Laskari et al., 2016)

Κατηγορία Συμβουλών	Βέλγιο (Κτ. Α)		Βέλγιο (Κτ. Β)		Βουλγαρία		Γερμανία		Ιταλία		Ισπανία (Κτ. Α)		Ισπανία (Κτ. Β)	
	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα	Σύνολο	Ανά ημέρα
Ηλεκτρ. Ενέργ.	35	4	40	5	30	3	33	4	55	8	39	5	39	5
Νερό	9	1	9	1	5	1	5	1	18	2	8	1	8	1
Ζεστό νερό	0		0		0		2	1	0		0		0	
Θέρμανση	8	1	8	1	6	1	6	1	15	2	3	1	5	1
Φυσικό αέριο	5	1	0		0		0		14	2	0		0	
Άλλο	6	1	6	1	6	1	5	1	21	3	6	1	6	1
Σύνολο	63	8	63	8	47	6	51	8	123	17	56	8	58	8

Πίνακας Συμβουλών

Οι συμβουλές παρουσιάζονταν στην γραφική διεπαφή σε ένα πίνακα ειδικά σχεδιασμένο για το πρόγραμμα συμβουλών. Η γραφική διεπαφή ήταν διαθέσιμη στους χρήστες μέσα από την οθόνη της τηλεόρασης τους. Ο Πίνακας Συμβουλών μπορούσε να προβάλλει πολλαπλές συμβουλές, ο ακριβής αριθμός των οποίων εξαρτόταν από το μέγεθος της οθόνης της τηλεόρασης του χρήστη, την έκταση του κειμένου των συμβουλών και από την ανάλυση του set-top box (Σχήμα 41). Οι χρήστες με την βοήθεια ειδικού τηλεχειριστηρίου μπορούσαν να κυλήσουν τον δρομέα προς τα κάτω για να δουν όλες τις διαθέσιμες συμβουλές για τη συγκεκριμένη μέρα.



Σχήμα 41 Πίνακας Απλών Συμβουλών

Διαχωρισμός των συμβουλών στον πίνακα συμβουλών

Ανάμεσα στις συμβουλές υπήρχε σαφής διαχωρισμός που επιτυγχανόταν με μία οριζόντια γραμμή μεταξύ δύο μηνυμάτων αλλά και από το εικονίδιο που απεικόνιζε την κατηγορία των συμβουλών και εμφανιζόταν στα αριστερά κάθε συμβουλή (Σχήμα 41). Αυτός ο διαχωρισμός γινόταν ακόμα και εάν

μία ή περισσότερες συμβουλές άνηκαν στην ίδια κατηγορία. Για παράδειγμα, εάν οι συμβουλές 1 και 2 ήταν για ηλεκτρική ενέργεια, μία οριζόντια γραμμή θα υποδείκνυε το σημείο όπου τελειώνει η συμβουλή 1 και ξεκινάει η συμβουλή 2 και ακόμη, και οι δύο συμβουλές θα είχαν το εικονίδιο των συμβουλών ηλεκτρικής ενέργειας στα αριστερά τους. Κάθε συμβουλή είχε και ένα σύντομο τίτλο με έντονη γραφή (bold font) που συνόψιζε το περιεχόμενο της συμβουλής και υποδείκνυε την αρχή της συμβουλής (όπως φαίνεται στον Πίνακα 56 και στο Σχήμα 41).

Σειρά εμφάνισης των συμβουλών στον Πίνακα Συμβουλών

Οι κατηγορίες συμβουλών εμφανίζονταν στον Πίνακα Συμβουλών με φθίνουσα σειρά του αριθμού των μηνυμάτων. Η κατηγορία «Άλλα» εμφανιζόταν πάντα στο τέλος της λίστας, ασχέτως από τον αριθμό των μηνυμάτων που περιείχε. Αυτό ήταν σε συμφωνία με τις ανάγκες των χρηστών (Σχήμα 38 και Σχήμα 40). Στην Ιταλία για παράδειγμα οι συμβουλές προσφέρθηκαν με την εξής σειρά: Ηλεκτρική ενέργεια, Νερό, Θέρμανση, Φυσικό αέριο, Άλλα (Πίνακας 58). Η κατηγορία «Ηλεκτρική Ενέργεια» είχε τον μεγαλύτερο αριθμό συμβουλών και εμφανιζόταν πρώτη. Η κατηγορία «Άλλα» παρόλο που είχε μεγαλύτερο αριθμό συμβουλών από τις «Νερό», «Θέρμανση» και «Φυσικό αέριο» εμφανιζόταν τελευταία στη λίστα συμβουλών.

7.6 Μεθοδολογία ανάπτυξης του αλγορίθμου Σύνθετων Συμβουλών

Το εσωτερικό κλίμα επηρεάζει την ευημερία των χρηστών αλλά και το ενεργειακό κόστος για να διατηρηθούν οι κατάλληλες συνθήκες άνεσης και υγείας. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ο σημαντικότερος δείκτης θερμικής άνεσης και ο καθοριστικότερος παράγοντας χρήσης θέρμανσης και ψύξης. Από την άλλη, η σχετική υγρασία μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο την υγεία και την άνεση των χρηστών αλλά και την ίδια την κατασκευή του κτιρίου μέσα από τον σχηματισμό συμπύκνωσης και μούχλας. Τέλος, οι συγκεντρώσεις CO₂ θεωρούνται ως ο βασικότερος δείκτης αερισμού και ποιότητας εσωτερικού αέρα σε κτίρια κατοικιών όπου οι άνθρωποι είναι η κύρια πηγή ρύπανσης.

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 15251 (2007) «*Παράμετροι εσωτερικών περιβαλλοντικών εισροών για το σχεδιασμό και την αποτίμηση των ενεργειακών επιδόσεων κτιρίων σχετικά με την εσωτερική ποιότητα αέρα, το θερμικό περιβάλλον, το φωτισμό και την ακουστική*», συντάχθηκε με απώτερο σκοπό να βοηθήσει τα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην εφαρμογή της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD, 2010). Το πρότυπο αυτό καθορίζει τα κριτήρια για τις αποδεκτές εσωτερικές συνθήκες λαμβάνοντας υπόψιν την σχετιζόμενη ενεργειακή κατανάλωση. Τέτοια κριτήρια καθορίζονται για 4 διαφορετικές κατηγορίες που έχουν να κάνουν με τις προσδοκίες των χρηστών (Πίνακας 45).

Οι παραπάνω θεωρήσεις και κριτήρια αποτελούν τη βάση της μεθοδολογίας παροχής «Σύνθετων Συμβουλών». Οι «Σύνθετες Συμβουλές» είναι μια εξελιγμένη έκδοση του αλγορίθμου Απλών Συμβουλών και διατέθηκαν στη δεύτερη και τελική φάση της εφαρμογής του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα V.

7.6.1 Κριτήρια επιλογής συμβουλών για την εξασφάλιση της υγείας και της θερμικής άνεσης των χρηστών

Επειδή το πρόγραμμα συμβουλών σχεδιάστηκε για συγκεκριμένο τύπο κτιρίου, αυτόν της κατοικίας, τα κριτήρια υγείας και άνεσης που επιλέχθηκαν ανταποκρίνονται στις ανάγκες του συγκεκριμένου τύπου κτιρίου και είναι ίδια για όλες τις κατοικίες στις οποίες χρησιμοποιείται η υπηρεσία (Πίνακας 59).

Πίνακας 59 Κριτήρια υγείας και άνεσης για το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών»

Μεταβλητή	Τιμή Μεταβλητής	Πηγή
T, όρια άνεσης, χειμώνας	18-25	Κατηγορία III, EN 15251
T, όρια άνεσης, καλοκαίρι	22-27	Κατηγορία III, EN 15251
T, όρια άνεσης, ενδιάμεσες εποχές	18-27	Κατώτερο όριο για καλοκαίρι και ανώτερο για χειμώνα, EN 15251
T,κατώφλι θέρμανσης	21	Κατηγορία I, EN 15251
T,συνήθης τιμή ρύθμισης θερμοστάτη	διαφορετική για κάθε κατοικία	μετρούμενες τιμές για κάθε κατοικία
RH, όρια υγείας	<20, >70	Κατηγορία III, EN 15251
RH, όρια άνεσης	20-25, 60-70	Κατηγορία II, EN 15251
CO ₂ , όριο άνεσης	<1150	Κατηγορία III, EN 15251
CO ₂ , όριο υγείας	>3500	Canada Exposure Guidelines

Αυτό που διαφέρει από κατοικία σε κατοικία είναι η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης. Η τιμή αυτή είναι μοναδική για κάθε κατοικία και διαμορφώνεται από τις θερμοκρασιακές ανάγκες και ευαισθησίες που έχουν τα άτομα που απαρτίζουν το νοικοκυριό. Η τιμή αυτή προσδιορίστηκε για κάθε νοικοκυριό από τα δεδομένα που συλλεχθηκαν από την ημέρα της εγκατάστασης του μετρητικού εξοπλισμού στις κατοικίες έως και τα μέσα της πρώτης φάση εφαρμογής του αλγορίθμου «Απλών Συμβουλών». Είναι δηλαδή η ρύθμιση του θερμοστάτη που οι ίδιοι οι χρήστες επέλεξαν για την κατοικία τους το διάστημα αυτό (Πίνακας 60).

7.6.2 Εξατομίκευση σε επίπεδο κατοικίας

Η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης προσδιορίστηκε για κάθε κατοικία από τα δεδομένα που συλλεχθηκαν από την ημέρα της εγκατάστασης του μετρητικού εξοπλισμού στις κατοικίες έως και τα μέσα της πρώτης φάση εφαρμογής του αλγορίθμου «Απλών Συμβουλών». Τα δεδομένα αυτά ήταν τιμές για την κατανάλωση ενέργειας και παραμέτρων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος σε συχνότητα 15 λεπτών. Η εγκατάσταση του μετρητικού εξοπλισμού ολοκληρώθηκε για την πλειοψηφία των κατοικιών το διάστημα Απρίλιος – Μάιος 2013 (Πίνακας 62, Παράρτημα I). Η πρώτη φάση εφαρμογής ξεκίνησε επίσημα την 1^η Οκτωβρίου 2013 ενώ ο υπολογισμός της τιμής ρύθμισης του θερμοστάτη έγινε τον Ιανουάριο του 2014.

Στην Ιταλία, όπου βρίσκεται και το βασικό κτίριο μελέτης της προκειμένης διατριβής, το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί με φυσικό αέριο για αυτό και για τον υπολογισμό της τιμής ρύθμισης του θερμοστάτη για κάθε κατοικία χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές φυσικού αερίου και θερμοκρασίας.

Πίνακας 60 Πρόγραμμα Σύνθετων Συμβουλών – Συνήθης τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης

Κατοικία	T (οC) - συνήθης τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη	Φυσικό αέριο (m3) - κατώφλι για χρήση θέρμανσης
1	-	-
2	21	0,09
3	22,5	0,36
4	19,5	0,33
5	20	0,23
6	20	0,18
7	20,5	0,2
8	22	0,23
9	20	0,2
10	21,5	0,26
11	22	0,25
12	-	-
13	21	0,3
14	22	0,35
15	-	-
16	22,5	0,35
17	22	0,35
18	22	0,45
19	21	0,2
20	21	0,25
21	21,5	0,21
22	22	0,45
23	21	0,33
24	19,5	0,31
25	24	0,25
26	20,5	0,45
27	22,5	0,23
28	23,5	0,2
29	21	0,3
30	21	0,1

Με γκρι χρώμα: δεν υπήρχαν δεδομένα για την κατοικία την περίοδο ανάλυσης των κατανομών συχνοτήτων

Επειδή το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση όσο και για μαγείρεμα και ζεστό νερό χρήσης στο υπό μελέτη κτίριο, το κατώφλι κατανάλωσης για θέρμανση προσδιορίστηκε με τη βοήθεια των τιμών κατανάλωσης για τους καλοκαιρινούς και ενδιάμεσους μήνες κατά τους οποίους

δεν συνηθίζεται η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα κατανάλωσης φυσικού αερίου στο Παράρτημα III).

Η ανάλυση των κατανομών συχνοτήτων για κάθε κατοικία έδειξε ότι το 95-98% των τιμών της θερμοκρασίας, για το διάστημα που το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία (μη μηδενικές τιμές για το φυσικό αέριο και μεγαλύτερες ή ίσες του κατωφλίου για θέρμανση) είναι αντιπροσωπευτικό των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών στις κατοικίες. Το υπόλοιπο 2-5% των τιμών αφορά σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες που σημειώθηκαν κατ'εξάιρεση, κατά την περίοδο των Χριστουγέννων για παράδειγμα, για αυτό και αποκλείστηκε από τον υπολογισμό της τιμής ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης. Από το 95-98% των τιμών για τη θερμοκρασία υπολογίστηκε η μέση τιμή και αυτή η τιμή θεωρήθηκε ως η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης. Για δύο κατοικίες (no.29 και 30) για τις οποίες το σύστημα καταγραφής δεδομένων δεν λειτούργησε σωστά κατά τους χειμερινούς μήνες και άρα δεν υπήρχαν καταγεγραμμένες τιμές για το διάστημα της χρήσης του συστήματος θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε η τιμή 21 °C (κατώφλι για χρήση θέρμανσης για την Κατηγορία I σύμφωνα με το EN 15251 (2007)). Οι 21 °C είναι μια τιμή αρκετά χαμηλή ώστε να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας αλλά ταυτόχρονα και αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική άνεση ακόμα και για τις πιο ευαίσθητες πληθυσμιακές ομάδες. Οι τιμές που προέκυψαν για κάθε κατοικία συνοψίζονται στον Πίνακα 60. Οι τιμές αυτές αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό εξατομίκευσης του προγράμματος Σύνθετων Συμβουλών. Κυμαίνονται από 19,5 °C έως και 24 °C.

7.6.3 Εξατομίκευση σε επίπεδο κτιρίου

Οι συμβουλές για επανορθωτικές πράξεις όταν μια παράμετρος ήταν εκτός των επιθυμητών ευρών υγείας και θερμικής άνεσης δόθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Για το Ισπανικό κτίριο (πόλη του Μπιλμπάο) για παράδειγμα, η διατύπωση της συμβουλής για αερισμό με ανοικτά παράθυρα λάμβανε υπόψιν το γεγονός ότι οι εξωτερικές τιμές σχετικής υγρασίας μπορεί να είναι αρκετά υψηλότερες από τις εσωτερικές.

Παρόλο όμως που η συνολική λίστα με τις προσφερόμενες συμβουλές ήταν κοινή για όλους όσους έμεναν στο ίδιο κτίριο, οι συμβουλές που τελικά προσφέρθηκαν στον χρήστη σε συχνότητα τετάρτου, και προέκυψαν από αυτή τη λίστα, καθορίζονταν από τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες της κατοικίας στην οποία προσφέρονται αλλά και από τη χρήση (ή μη χρήση) του συστήματος θέρμανσης τη δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτοί είναι και οι παράγοντες που έκαναν τις συμβουλές αυτές εξατομικευμένες.

7.6.4 Ορισμός των εποχών

Ο ορισμός των εποχών (λειτουργία) κρατήθηκε κοινός για όλες τις χώρες:

- Λειτουργία 1: Χειμώνας (Μήνες: Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος)
- Λειτουργία 2: Καλοκαίρι (Μήνες: Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)

ο Λειτουργία 3: Ενδιάμεσες εποχές (Μήνες: Μάιος, Σεπτέμβριος)

Ιδανικά, η λειτουργία θα έπρεπε να καθορίζεται από τις επικρατέστερες μετεωρολογικές συνθήκες και όχι από τον μήνα του χρόνου, δεδομένου όμως του περιορισμού του set-top-box να κατεβάσει μετεωρολογικά δεδομένα σε «πραγματικό χρόνο», οι λειτουργίες χρειάστηκε να προκαθοριστούν με βάση τον μήνα του χρόνου.

7.7 Εφαρμογή του προγράμματος Σύνθετων Συμβουλών

Το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών» εφαρμόστηκε σε δύο ξεχωριστές σελίδες, στην Αφειτηριακή σελίδα και στη σελίδα Σύνθετων Συμβουλών. Από το πρόγραμμα «Απλών Συμβουλών» συνεχίστηκαν να προσφέρονται συμβουλές που έχουν να κάνουν με την κατανάλωση ενέργειας και νερού μέσα από τον Πίνακα Απλών Συμβουλών (Σχήμα 41). Οι συμβουλές όμως που άνηκαν στην κατηγορία «Άλλα» και είχαν να κάνουν με την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος σταμάτησαν να προσφέρονται μέσα από τον Πίνακα Απλών Συμβουλών. Για το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών» συντάχθηκαν καινούριες συμβουλές για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος για κάθε εποχή του χρόνου οι οποίες προσφέρονταν από τη Σελίδα Σύνθετων Συμβουλών.

Ο προγραμματισμός για τις «Σύνθετες Συμβουλές» έγινε μέσα στο Set-Top-Box, αντί να προσφέρεται από μία σελίδα html για παράδειγμα, δεδομένου του ρίσκου διακοπής της εξωτερικής επικοινωνίας του συστήματος και άλλων πιθανών βλαβών στο σύστημα. Επίσης, ο προγραμματισμός των «Σύνθετων Συμβουλών» μέσα στο Set-Top-Box επέτρεψε την παροχή συμβουλών σε «σχεδόν πραγματικό χρόνο» και πιο συγκεκριμένα κάθε 15 λεπτά που είναι και ο χρόνος αναπροσαρμογής του Set-Top-Box (Κεφάλαιο 3).

7.7.1 Χρωματικός κανόνας

Ο βαθμός συμμόρφωσης της κάθε μεταβλητής με τα κριτήρια άνεσης και υγείας του Πίνακας 59 επικοινωνήθηκε μέσα από χρωματικούς κωδικούς ως ακολούθως:

πορτοκαλί χρώμα = τιμή μη-αποδεκτή που πρέπει να βελτιωθεί

κίτρινο χρώμα = τιμή αποδεκτή αλλά με περιθώρια βελτίωσης

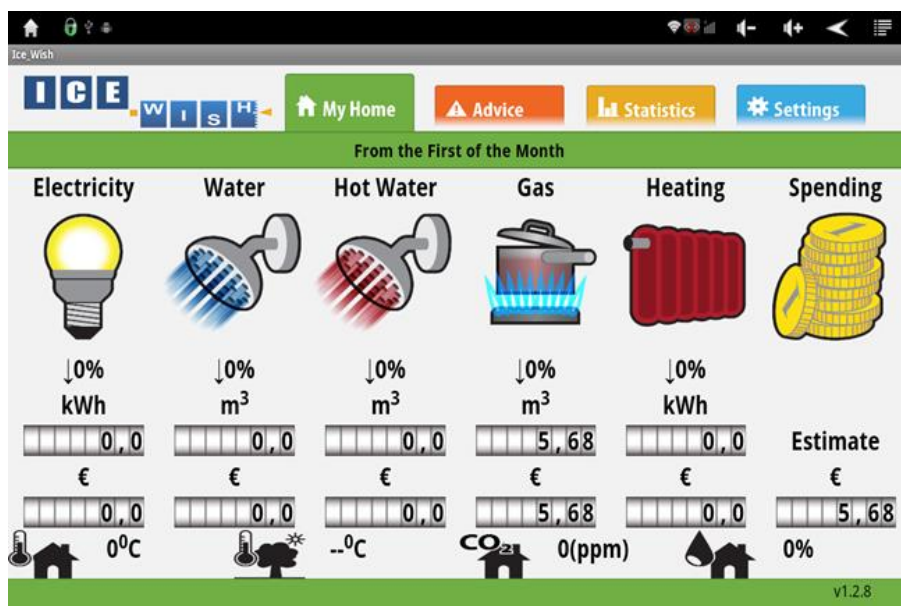
Πράσινο χρώμα = τιμή απολύτως αποδεκτή

Η λογική που ακολουθούσε ο αλγόριθμος παροχής Σύνθετων Συμβουλών για τον χρωματικό κωδικό για κάθε παράμετρο και εποχή φαίνεται στον Πίνακας 61 και στα Σχήματα Σχήμα 44 και Σχήμα 45. Ο χρωματικός κωδικός επανεξεταζόταν κάθε 15 λεπτά (όταν ενημερωνόταν το Set-Top-Box με καινούρια δεδομένα) ανάλογα με την καινούρια τιμή της μετρούμενης παραμέτρου.

7.7.2 Αφειτηριακή σελίδα

Η Αφειτηριακή σελίδα (Σχήμα 42) έδειχνε την ίδια πληροφορία όπως και στην πρώτη φάση εφαρμογής (Απλές Συμβουλές). Η διαφορά ήταν στον χρωματικό κωδικό που εφαρμόστηκε για τις τιμές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα που

φαίνονται στο κάτω μέρος της σελίδας ως υπόδειξη της σοβαρότητας των επικρατούντων συνθηκών για κάθε παράμετρο.



Σχήμα 42 Αφιερωτική σελίδα της υπηρεσίας ΤΠΕ

Η λογική της εφαρμογής του χρωματικού κωδικού επεξηγείται αναλυτικά στον Πίνακα 61.

Επιπλέον του χρωματικού κωδικού, όταν η τιμή για κάποια από τις μετρούμενες παραμέτρους ήταν εκτός των κριτηρίων άνεσης και υγείας για μία κατοικία (Πίνακας 59) τότε η συγκεκριμένη τιμή αναβόσβηνε για να προειδοποιήσει τον χρήστη για το γεγονός αυτό. Η τιμή της θερμοκρασίας αναβόσβηνε και όταν αυτή ξεπερνούσε τη συνηθισμένη τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για το σύστημα θέρμανσης (Πίνακας 60).

Πίνακας 61 Λογική για τον χρωματικό κωδικό των Σύνθετων Συμβουλών για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο και εποχή του χρόνου

Μετρούμενη παράμετρος	Λειτουργία	Χρωματικός κωδικός		
		Πορτοκαλί	Κίτρινο	Πράσινο
Θερμοκρασία	Με το σύστημα θέρμανσης σε λειτουργία	<p>Η μετρούμενη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από την συνηθισμένη τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για την εν λόγω κατοικία Ή από το κατώφλι για την περίπτωση χρήσης θέρμανσης για την Κατηγορία I του EN 15251 (21 °C). Ως θερμοκρασία αναφοράς επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή από τις δύο. Η τιμή της θερμοκρασίας αναβοσβήνει για να προειδοποιήσει τους χρήστες για υπερβολική χρήση θέρμανσης.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι ανάμεσα στην συνηθισμένη τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για την εν λόγω κατοικία και στο κατώφλι για την περίπτωση χρήσης θέρμανσης για την Κατηγορία I του EN 15251 (21 °C). Το χρώμα αυτό εμφανίζεται μόνο όταν το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία και αναβοσβήνει για να προειδοποιήσει τους χρήστες για υπερβολική χρήση θέρμανσης.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι μέσα στο εύρος θερμοκρασιών που ορίζει το πρότυπο EN 15251 για υφιστάμενη κτίρια (Κατηγορία III) για την χειμερινή περίοδο ΚΑΙ χαμηλότερη από την συνηθισμένη τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη για την εν λόγω κατοικία Ή από το κατώφλι για την περίπτωση χρήσης θέρμανσης για την Κατηγορία I του EN 15251 (21 °C). Ως θερμοκρασία αναφοράς επιλέγεται η χαμηλότερη τιμή από τις δύο.</p>
	Με το σύστημα θέρμανσης εκτός λειτουργίας	<p>Η μετρούμενη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι εκτός των επιτρεπτών τιμών που ορίζει το πρότυπο EN15251 για την εν λόγω εποχή του χρόνου.</p>	<p><i>δεν χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση</i></p>	<p>Η μετρούμενη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι εντός των επιτρεπτών τιμών που ορίζει το πρότυπο EN15251 για την εν λόγω εποχή του χρόνου.</p>

Μετρούμενη παράμετρος	Λειτουργία	Χρωματικός κωδικός		
		Πορτοκαλί	Κίτρινο	Πράσινο
Σχετική Υγρασία	Ανεξαρτήτως λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ή εποχής του χρόνου	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι εκτός των ορίων που ορίζει το ο EN 15251 για υφιστάμενα κτίρια (Κατηγορία III). Η τιμή της σχετικής υγρασίας αναβοσβήνει για να προειδοποιήσει τους χρήστες για ανθυγιεινές συνθήκες οι οποίες εάν διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα με την υγεία των χρηστών ή με το κτίριο.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι εκτός των ορίων που ορίζει το πρότυπο EN 15251 για καινούρια και ανακαινισμένα κτίρια (Κατηγορία II). Η τιμή της σχετικής υγρασίας δεν αναβοσβήνει στην περίπτωση αυτή για να αποφευχθεί η υπερβολική ανησυχία των χρηστών η οποία μπορεί να οδηγήσει στην εφαρμογή δράσεων που θα επιφέρουν υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας δράσης είναι το παρατεταμένο άνοιγμα των παραθυρών για αερισμό κατά τους χειμερινούς μήνες.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι εντός των ορίων που ορίζει το πρότυπο EN 15251 για καινούρια και ανακαινισμένα κτίρια (Κατηγορία II).</p>
CO ₂	Ανεξαρτήτως λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ή εποχής του χρόνου	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι εκτός του κατώφλιου για την υγεία που ορίζει το Canadian Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality (Health Canada, 2006). Η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα θα αναβοσβήνει για να προειδοποιήσει του χρήστες για συνθηκές ανεπαρκούς αερισμού και κακής ποιότητας εσωτερικών συνθηκών οι οποίες εάν διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών και στην ίδια την κατοικία.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή είναι ξεπερνάει το επιτρεπτό κατώφλι που ορίζει το πρότυπο EN15251 για υφιστάμενα κτίρια (Κατηγορία III) ΑΛΛΑ δεν ξεπερνάει το κατώφλι για την υγεία που ορίζει το Canadian Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality (Health Canada, 2006). Η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα δεν αναβοσβήνει σε αυτή την περίπτωση. Οι προειδοποιούνται για συνθηκές ανεπαρκούς αερισμού και κακής ποιότητας εσωτερικών συνθηκών οι οποίες εάν διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών μέσω του χρωματικού κωδικού.</p>	<p>Η μετρούμενη τιμή δεν ξεπερνάει το κατώφλι υγείας που ορίζει το πρότυπο EN15251 για υφιστάμενα κτίρια (Κατηγορία III).</p>

7.7.3 Σελίδα Σύνθετων Συμβουλών

Κάθε 15 λεπτά που το Set-Top-Box ενημερώνόταν με καινούρια δεδομένα, στη σελίδα Σύνθετων Συμβουλών εμφανιζόταν ένα σύντομο μήνυμα για κάθε μία από τις τρεις μετρούμενες περιβαλλοντικές παράμετρους. Τα μηνύματα αυτά είχαν τον ίδιο χρωματικό κωδικό με τις τιμές που εμφανίζονταν στην αφηγηρική σελίδα (πορτοκαλί, κίτρινο και πράσινο). Το μήνυμα αυτό ονομάστηκε Τρέχουσα Κατάσταση (Σχήμα 43).

Ο αλγόριθμος λειτουργίας της σελίδας Σύνθετων Συμβουλών παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα IV. Σύνοψη της λογικής λειτουργίας της σελίδας Σύνθετων Συμβουλών για κάθε εποχή απεικονίζεται στα Σχήματα Σχήμα 44 και Σχήμα 45.



Σχήμα 43 Σελίδα Σύνθετων Συμβουλών

Για κάθε παράμετρο εμφανιζόταν και ένα γράφημα με όλες τις τιμές που μετρήθηκαν τις τελευταίες 24 ώρες. Οι οριακές τιμές του κατακόρυφου άξονα ρυθμιζόνταν για κάθε περίπτωση ως εξής:

	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
T	Αυτόματη προσαρμογή	Αυτόματη προσαρμογή
RH	0	100
CO₂	0	Αυτόματη προσαρμογή

Για τη θερμοκρασία και το διοξείδιο του άνθρακα η μέγιστη τιμή που έπαιρνε ο κατακόρυφος άξονας αναπροσαρμόζόταν κάθε φορά ώστε να είναι λίγο υψηλότερη από την μέγιστη μετρούμενη τιμή στο γράφημα. Για την θερμοκρασία το ίδιο συνέβαινε και για την ελάχιστη τιμή.

Για όλα τα πορτοκαλί μηνύματα για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα ενεργοποιούνταν ένα κουμπί που έφερε το μήνυμα «Πιέστε εδώ για περισσότερες πληροφορίες». Για την περίπτωση της θερμοκρασίας το κουμπί ενεργοποιούνταν κατά τους καλοκαιρινούς και ενδιαμέσους μήνες που το σύστημα θέρμανσης δεν ήταν σε χρήση. Το κουμπί οδηγούσε τον χρήστη σε μία σύντομη περιγραφή των πηγών ή αιτιών υψηλών τιμών για τη θερμοκρασία, σχετική υγρασία

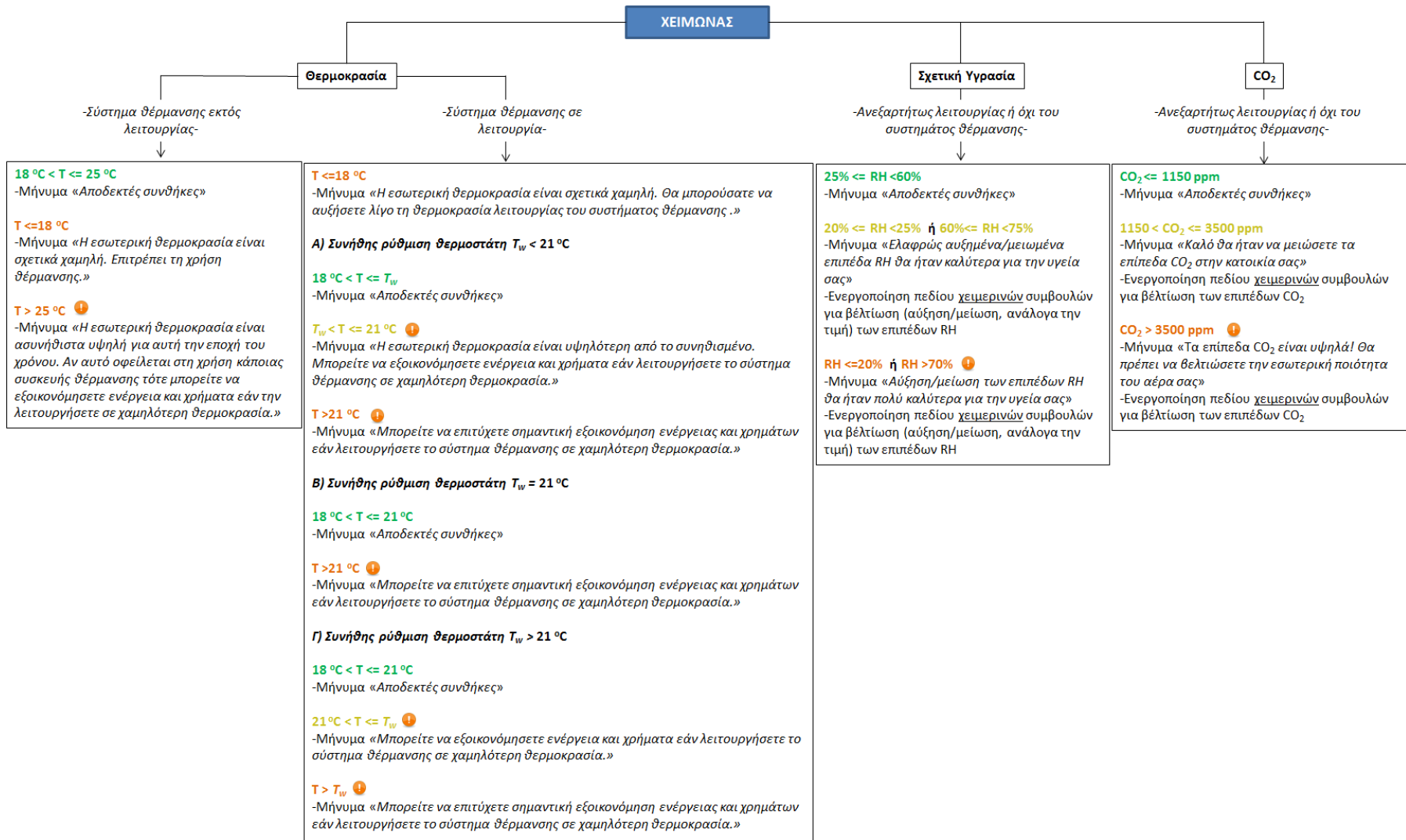
και επίπεδα CO₂ ή χαμηλών τιμών σχετικής υγρασίας, αναλογά με το αν η μετρούμενη τιμή ήταν υψηλότερη ή χαμηλότερη, αντίστοιχα, των επιτρεπτών τιμών. Στην ίδια περιγραφή ο χρήστης έβρισκε συμβουλές για το πως να βελτιώσει την εν λόγω περιβαλλοντική παράμετρο. Η αναλυτική λίστα με τις σχετικές συμβουλές βρίσκεται στο Παράρτημα IV.

7.7.3.1 Αναπροσαρμογή των συμβουλών ανά εποχή

Ο αλγόριθμός συμπεριφερόταν διαφορετικά για κάθε εποχή. Ο ορισμός των εποχών (Λειτουργία) δίνεται την ενότητα 7.6.4.

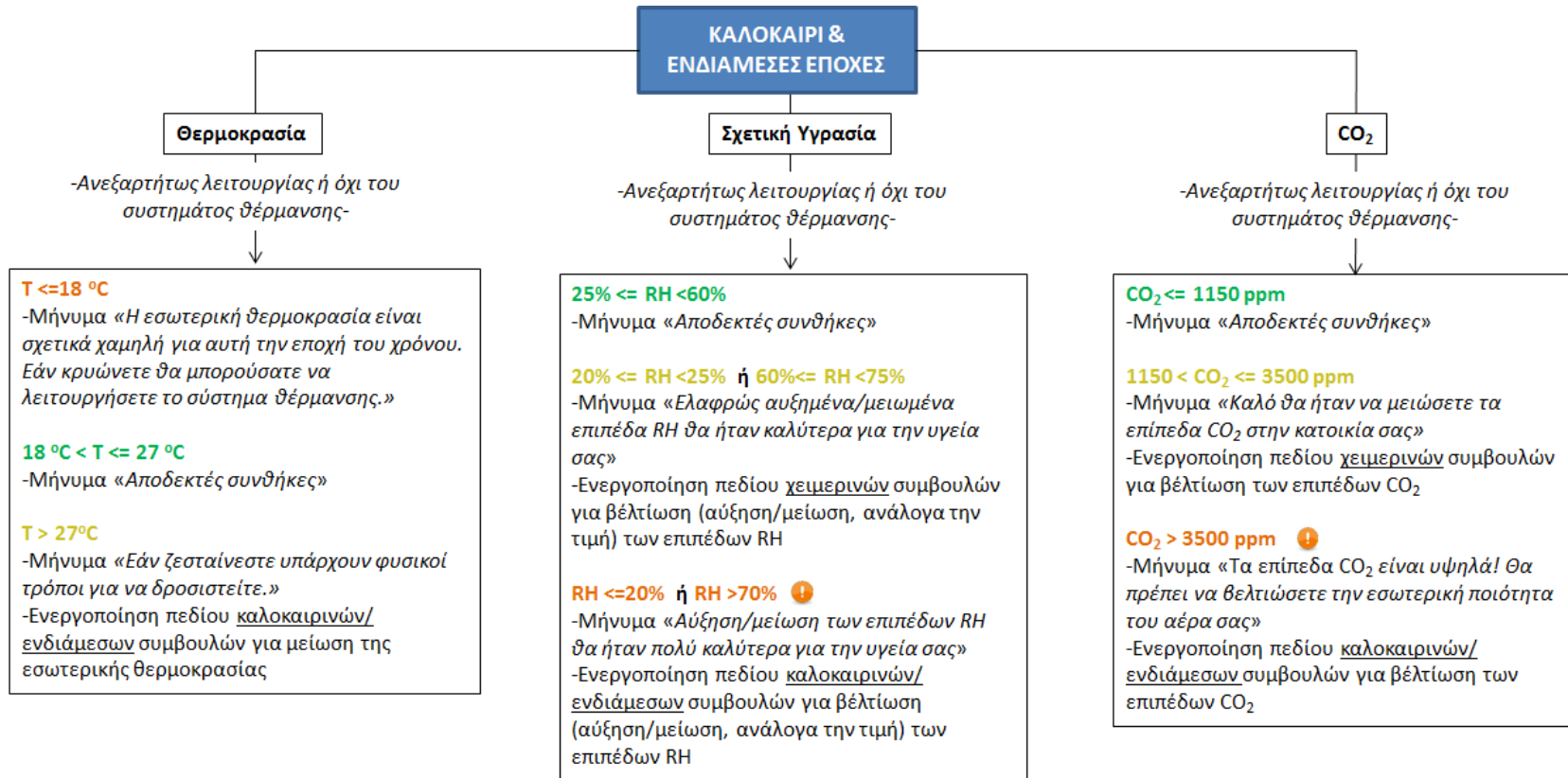
Για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα αυτό που άλλαζε με την εποχή ήταν ο τύπος των συμβουλών που δινόταν μέσα από το κουμπί «*Πιέστε εδώ για περισσότερες πληροφορίες*». Τα επιτρεπτά εύρη τιμών παρέμεναν αμετάβλητα (Πίνακας 59). Οι Σύνθετες Συμβουλές για τις δύο αυτές παραμέτρους δεν επηρεάζονταν από το κατά πόσο το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία ή όχι. Αυτό όμως δεν σήμαινε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας δεν λαμβανόταν υπόψιν για αυτές. Αντιθέτως, όλες οι συμβουλές που δίνονταν για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα είχαν επιλεγεί και διατυπωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ενημερώνονται οι χρήστες για την επίδραση τους στην ενεργειακή κατανάλωση. Για παράδειγμα, ενώ οι χρήστες συμβουλευόταν να εφαρμόσουν αερισμό με ανοικτά παράθυρα για να μειώθουν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενημερώνονταν παράλληλα και για τις επιπτώσεις του υπερβολικού αερισμού στην ενεργειακή κατανάλωση όταν το σύστημα θέρμανσης βρίσκεται σε λειτουργία. Ακόμα, τα μηνύματα για την «*Τρέχουσα Κατάσταση*» διατυπώθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκαλούν υπερβολική ανησυχία στους χρήστες η οποία μπορούσε να οδηγήσει και σε ενεργοβόρες συμπεριφορές όπως είναι για παράδειγμα η λειτουργία του απορροφητήρα κουζίνας για μεγάλο διάστημα μετά την ολοκλήρωση του μαγειρέματος.

Για τη θερμοκρασία η διαδικασία παροχής συμβουλών ήταν πιο σύνθετη και εξαρτούνταν τόσο από την εποχή του χρόνου όσο και από τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Ο αλγόριθμος ήταν ικανός να αναγνωρίζει τότε το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία ή όχι (δες ενότητα 7.6.2). Όταν το σύστημα θέρμανσης δεν ήταν σε λειτουργία, σε οποιαδήποτε από τις τρεις εποχές (χειμώνας, καλοκαίρι, ενδιάμεσες εποχές) ο αλγόριθμος χρησιμοποιούσε τις επιτρεπτές τιμές για κάθε εποχή έτσι όπως τις ορίζει το πρότυπο EN1525 (Πίνακας 59). Όταν το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία, σε οποιαδήποτε εποχή, ο αλγόριθμος χρησιμοποιούσε τις επιτρεπτές τιμές για τον χειμώνα καθώς εθεωρείτο ότι αφού το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία οι εξωτερικές συνθήκες θα ήταν παρόμοιες με αυτές του χειμώνα ακόμα και αν αυτές σημειώνονταν σε κάποια άλλη εποχή.



ⓘ Η τιμή της παραμέτρου στην Αφιερωτική Σελίδα αναβοσβήνει

Σχήμα 44 Σύνοψη της λειτουργίας της Σελίδας Σύνθετων Συμβουλών για τους Χειμερινούς μήνες



🚫 Η τιμή της παραμέτρου στην Αφιερωτική Σελίδα αναβοσβήνει

Σχήμα 45 Σύνοψη της λειτουργίας της Σελίδας Σύνθετων Συμβουλών για τους Καλοκαιρινούς και Ενδιάμεσους μήνες

7.8 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος παροχής ενεργειακών συμβουλών αναπτύχθηκε στα πλαίσια μιας υπηρεσίας ΤΠΕ που ως στόχο είχε την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών κτιρίων κατοικιών και κατά συνέπεια την καλύτερη διαχείριση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Ο αλγόριθμος αυτός συμπλήρωσε την άμεση ανατροφοδότηση και ενημέρωση που προσέφερε η υπηρεσία ΤΠΕ. Οι συμβουλές εμφανίζονταν στην γραφική διεπαφή, που ήταν διαθέσιμη στους χρήστες μέσα από την οθόνη της τηλεόρασης τους, σε πίνακες ειδικά σχεδιασμένους για το πρόγραμμα συμβουλών.

Μια εικόνα των αναγκών των χρηστών για την προσφερόμενη υπηρεσία ΤΠΕ αποκτήθηκε με τη βοήθεια ενός ερωτηματολογίου που μοιράστηκε σε 104 υποψήφιους χρήστες από 6 Ευρωπαϊκές χώρες. Για το πρόγραμμα συμβουλών η έρευνα έδειξε ότι το βασικό κίνητρο για εξοικονόμηση ενέργειας είναι η εξοικονόμηση χρημάτων από τους λογαριασμούς κοινής ωφέλειας (66% των ερωτηθέντων). Μικρότερο κίνητρο αποτελούν η μείωση του προσωπικού αντίκτυπου στο περιβάλλον στο περιβάλλον (19% των ερωτηθέντων) και η βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (15% των ερωτηθέντων). Ο αριθμός των ερωτηθέντων που ενδιαφέρονταν να λαμβάνουν συμβουλές τόσο γενικές όσο και ειδικές είναι σημαντικός (64% και 82% των ερωτηθέντων, αντίστοιχα). Παρόλα αυτά το ενδιαφέρον ήταν μεγαλύτερο για τις ειδικές συμβουλές στην πλειοψηφία των χωρών. Οι συμβουλές για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης του κτιρίου, οι οποίες σχετίζονται με αυξημένο κόστος και χρόνο υλοποίησης, ήταν χαμηλά στις προτιμήσεις των ερωτηθέντων (14%-16% των ερωτηθέντων). Από την άλλη δράσεις χαμηλού ή καθόλου κόστους ήταν υψηλά στις προτιμήσεις τους (40% ή περισσότεροι των ερωτηθέντων).

Υπάρχουν πολλοί τύποι συμπεριφορών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που οι χρήστες κτιρίων κατοικιών μπορούν να υιοθετήσουν για να εξοικονομήσουν ενέργεια και νερό. Αυτά πολύ συχνά συνδέονται με κάποια επένδυση ή χρειάζονται την άδεια του ιδιοκτήτη προκειμένου να υλοποιηθούν. Στην περίπτωση των ευάλωτων νοικοκυριών, το κόστος της επένδυσης είναι κάτι που οι ένοικοι δεν μπορούν να υποστηρίξουν ενώ πολλές φορές δεν είναι οι ιδιοκτήτες της κατοικίας στην οποία διαμένουν και άρα η απόφαση για την παρέμβαση στο κέλυφος ή τα συστήματα δεν είναι στο χέρι των ιδίων. Έχοντας αυτό σαν πρώτο κριτήριο επιλογής, οι συμβουλές που επιλέχθηκαν για το πρόγραμμα συμβουλών είναι μικρού ή μηδενικού κόστους και κάποιες φορές μεσαίου κόστους και δεν αφορούν καμία παρέμβαση στο κέλυφος ή στα συστήματα του κτιρίου.

Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε σε δύο στάδια. Η πρώτη έκδοση του αλγορίθμου ονομάζεται «Απλές Συμβουλές» και προσφέρει σε ημερήσια βάση γενικές συμβουλές εξοικονόμησης και βελτίωσης των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι συμβουλές αυτές προέκυψαν από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου στο οποίο βρίσκονταν οι κατοικίες (διαμερίσματα) παρά από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κάθε κατοικίας και του χρήστη. Οι «Σύνθετες Συμβουλές» που είναι μια εξελιγμένη έκδοση του αλγορίθμου Απλών Συμβουλών και είναι στην ουσία εξατομικευμένες συμβουλές για κάθε κατοικία

ξεχωριστά καθορίζονται από τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες τη στιγμή της μέτρησης, τη λειτουργία ή όχι του συστήματος θέρμανσης και την εποχή του χρόνου.

Ο αλγόριθμος «Απλών Συμβουλών» προσφέρει συμβουλές για όλες τις μετρούμενες παραμέτρους σε μια κατοικία (ηλεκτρική ενέργεια, νερό, θέρμανση, φυσικό αέριο, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, συγκεντρώσεις CO₂). Για να διατηρηθεί το ενδιαφέρον των χρηστών για την υπηρεσία τα μηνύματα συμβουλών ανανεώνονται σε καθημερινή βάση. Η γραφική διεπαφή είναι διαθέσιμη στους χρήστες μέσα από την οθόνη της τηλεόρασης τους. Ο Πίνακας Συμβουλών μπορεί να προβάλλει πολλαπλές συμβουλές, ο ακριβής αριθμός των οποίων εξαρτάται από το μέγεθος της οθόνης της τηλεόρασης του χρήστη, την έκταση του κειμένου των συμβουλών και από την ανάλυση του set-top box. Οι χρήστες με την βοήθεια ειδικού τηλεχειριστηρίου μπορούν να κυλήσουν τον δρομέα προς τα κάτω για να δουν όλες τις διαθέσιμες συμβουλές για τη συγκεκριμένη μέρα. Ανάμεσα στις συμβουλές υπάρχει σαφής διαχωρισμός που επιτυγχάνεται με μία οριζόντια γραμμή μεταξύ δύο μηνυμάτων αλλά και από το εικονίδιο που απεικονίζει την κατηγορία των συμβουλών και εμφανίζεται στα αριστερά κάθε συμβουλής. Οι κατηγορίες συμβουλών εμφανίζονται στον Πίνακα Συμβουλών με φθίνουσα σειρά του αριθμού των μηνυμάτων. Η κατηγορία «Άλλα» εμφανίζεται πάντα στο τέλος της λίστας, ασχέτως από τον αριθμό των μηνυμάτων που περιέχει.

Βασικό χαρακτηριστικό εξατομίκευσης του προγράμματος Σύνθετων Συμβουλών αποτελούν οι προτιμήσεις της κάθε κατοικίας για λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Μέσα από ανάλυση των κατανομών συχνοτήτων της εσωτερικής θερμοκρασίας και της κατανάλωσης φυσικού αερίου για θέρμανση για τα διαστήματα που το σύστημα θέρμανσης ήταν σε λειτουργία μπορεί να υπολογιστεί η επιθυμητή θερμοκρασία ρύθμισης του θερμοστάτη για κάθε κατοικία. Στην προκειμένη εφαρμογή για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που συλλεχθηκαν από την ημέρα της εγκατάστασης του μετρητικού εξοπλισμού στις κατοικίες έως και τα μέσα της πρώτης φάσης εφαρμογής του προγράμματος συμβουλών (πρόγραμμα «Απλών Συμβουλών») για κάθε κατοικία. Στην προκειμένη εφαρμογή οι επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες που προέκυψαν κυμαίνονται από 19,5 °C έως και 24 °C.

Το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών» εφαρμόζεται σε δύο ξεχωριστές σελίδες, στην Αφιερωτική σελίδα και στην σελίδα Σύνθετων Συμβουλών. Ο προγραμματισμός για τις «Σύνθετες Συμβουλές» έγινε μέσα στο Set-Top-Box, αντί να προσφέρεται από μία σελίδα html για παράδειγμα, δεδομένου του ρίσκου διακοπής της εξωτερικής επικοινωνίας του συστήματος και άλλων πιθανών βλαβών στο σύστημα. Επίσης, ο προγραμματισμός των «Σύνθετων Συμβουλών» μέσα στο Set-Top-Box επέτρεψε την παροχή συμβουλών σε «πραγματικό χρόνο» και πιο συγκεκριμένα κάθε 15 λεπτά που είναι και ο χρόνος αναπροσαρμογής του Set-Top-Box.

Ο αλγόριθμος Σύνθετων Συμβουλών περιλαμβάνει και την εφαρμογή χρωματικού κωδικού που υποδεικνύει τη σοβαρότητα των επικρατούντων συνθηκών για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο (εσωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, επίπεδα CO₂). Ο χρωματικός κωδικός έχει την εξής λογική:

πορτοκαλί χρώμα = τιμή μη-αποδεκτή που πρέπει να βελτιωθεί

κίτρινο χρώμα = τιμή αποδεκτή αλλά με περιθώρια βελτίωσης

Πράσινο χρώμα = τιμή απολύτως αποδεκτή

Κάθε 15 λεπτά που το Set-Top-Box ενημερώνεται με καινούρια δεδομένα, στη σελίδα Σύνθετων Συμβουλών εμφανίζεται ένα σύντομο μήνυμα για κάθε μία από τις τρεις μετρούμενες περιβαλλοντικές παράμετρους. Τα μηνύματα αυτά έχουν τον ίδιο χρωματικό κωδικό με τις τιμές που εμφανίζονται στην αφηρητική σελίδα (πορτοκαλί, κίτρινο και πράσινο). Το μήνυμα αυτό ονομάζεται Τρέχουσα Κατάσταση.

Για όλα τα πορτοκαλί μηνύματα για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα ενεργοποιείται ένα κουμπί που φέρει το μήνυμα «*Πιέστε εδώ για περισσότερες πληροφορίες*». Για την περίπτωση της θερμοκρασίας το κουμπί ενεργοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς και ενδιαμέσους μήνες που το σύστημα θέρμανσης δεν είναι σε χρήση. Το κουμπί οδηγεί τον χρήστη σε μία σύντομη περιγραφή των πηγών ή αιτιών υψηλών τιμών για τη θερμοκρασία, σχετική υγρασία και επίπεδα CO₂ ή χαμηλών τιμών σχετικής υγρασίας, αναλογά με το αν η μετρούμενη τιμή είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη, αντίστοιχα, των επιτρεπτών τιμών. Στην ίδια περιγραφή ο χρήστης βρίσκει συμβουλές για το πως να βελτιώσει την εν λόγω περιβαλλοντική παράμετρο.

Για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα αυτό που αλλάζει με την εποχή είναι ο τύπος των συμβουλών που δίνονται μέσα από το κουμπί «*Πιέστε εδώ για περισσότερες πληροφορίες*». Τα επιτρεπτά εύρη τιμών παραμένουν αμετάβλητα. Οι Σύνθετες Συμβουλές για τις δύο αυτές παραμέτρους δεν επηρεάζονται από το κατά πόσο το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία ή όχι. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας δεν λαμβάνεται υπόψιν για αυτές. Αντιθέτως, όλες οι συμβουλές που δίνονται για την σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα έχουν επιλεγεί και διατυπωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ενημερώνονται οι χρήστες για την επίδραση τους στην ενεργειακή κατανάλωση. Για παράδειγμα, ενώ οι χρήστες συμβουλεύονται να εφαρμόσουν αερισμό με ανοικτά παράθυρα για να μειώσουν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενημερώνονται παράλληλα και για τις επιπτώσεις του υπερβολικού αερισμού στην ενεργειακή κατανάλωση όταν το σύστημα θέρμανσης βρίσκεται σε λειτουργία. Ακόμα, τα μηνύματα για την «Τρέχουσα Κατάσταση» έχουν διατυπωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκαλούν υπερβολική ανησυχία στους χρήστες η οποία μπορεί να οδηγήσει και σε ενεργοβόρες συμπεριφορές όπως είναι για παράδειγμα η λειτουργία του απορροφητήρα κουζίνας για μεγάλο διάστημα μετά την ολοκλήρωση του μαγειρέματος.

Για τη θερμοκρασία η διαδικασία παροχής είναι πιο σύνθετη και εξαρτάται από την εποχή του χρόνου και από το κατά πόσο το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία τη στιγμή της μέτρησης. Ο αλγόριθμος είναι ικανός να αναγνωρίζει το πότε το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία ή όχι. Όταν το σύστημα θέρμανσης δεν είναι σε λειτουργία, σε οποιαδήποτε από τις τρεις εποχές (χειμώνας, καλοκαίρι, ενδιάμεσες εποχές) ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις επιτρεπτές τιμές για κάθε

εποχή έτσι όπως τις ορίζει το πρότυπο EN1525. Όταν το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία, σε οποιαδήποτε εποχή, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις επιτρεπτές τιμές για τον χειμώνα καθώς θεωρείται ότι αφού το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία οι εξωτερικές συνθήκες θα είναι παρόμοιες με αυτές του χειμώνα ακόμα και αν αυτές σημειώνονται σε κάποια άλλη εποχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κεντρικό θέμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί η διερεύνηση και ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση και στις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια κατοικιών και τελικώς η ανάπτυξη χρήσιμων εργαλείων για τον χρήστη για την επίτευξη βέλτιστων εσωτερικών συνθηκών και εξοικονόμησης ενέργειας.

Αφετηρία αυτής της ερευνητικής εργασίας είναι η σχετικά πρόσφατη αναγνώριση και κατάταξη της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη σε έναν από τους βασικότερους παράγοντες που πρέπει να διερευνηθεί και να ποσοτικοποιηθεί και στη συνέχεια να ενταχθεί υποχρεωτικά στις μελέτες σχεδιασμού κτιρίων, στο σχεδιασμό προγραμμάτων διαχείρισης ενέργειας σε κτίρια καθώς και στην ενεργειακή πολιτική κάθε χώρας. Αρχικά μελετήθηκε η απότυπωση της συμπεριφοράς του χρήστη (pattern recognition) σε πέντε διαμερίσματα τα οποία βρίσκονται στον ίδιο όροφο ενός κτιρίου κατοικιών. Η επιλογή των 5 αυτών κατοικιών έγινε με σκοπό την όσο πιο αντικειμενική γίνεται σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης» στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ημερήσια προφίλ μιας κατοικίας. Οι μεταβλητές που μελετήθηκαν είναι η κατανάλωση του φυσικού αερίου, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και η εσωτερική θερμοκρασία κατά το διάστημα Οκτώβριος 2013 – Σεπτέμβριος 2014. Για την ποσοτική αποτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη εφαρμόστηκαν μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής (ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA) και διβηματική ανάλυση συστάδων (two-step cluster analysis)). Τελικό αποτέλεσμα ήταν τα πιο χαρακτηριστικά εικοσιτετράωρα προφίλ (patterns) για κάθε κατοικία και μελετούμενη παράμετρο.

Ενώ η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες χρησιμοποιείται συνήθως πριν από την ανάλυση κατά συσταδες με σκοπό τη μετατροπή σε μικρότερο αριθμό συνιστωσών στο κεφάλαιο αυτό η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν είχε ως στόχο μόνο της υποστήριξη της ανάλυσης κατά συστάδες αλλά και την παρουσίαση μιας εναλλακτικής μεθόδου απόσπασης χρήσιμης πληροφορίας για την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη. Παρόλο που η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες δεν μπορεί να απεικονίσει τα ακριβή εικοσιτετράωρα προφίλ, όπως μπορεί η ανάλυση κατά συστάδες, μπορεί, όπως φάνηκε από το κεφάλαιο αυτό, να δώσει με ακρίβεια τις ώρες της μέρας που λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης καθώς και τις ώρες της μέρας που γίνεται πιο έντονη χρήση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και του συστήματος φωτισμού δίνοντας έτσι μια συνολική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη.

Παρόλο που οι μέθοδοι στατικής ανάλυσης πολλών μεταβλητών (multivariate statistical analysis methods) εφαρμόστηκαν σε κατοικίες με παρόμοια αρχιτεκτονικά και θερμικά χαρακτηριστικά και για την ίδια χρονική περίοδο, οι διαφορές που προέκυψαν στα μοτίβα συμπεριφοράς είναι σημαντικές, επιβεβαιώνοντας έτσι τις θεωρίες που υποστηρίζουν ότι η συμπεριφορά του χρήστη αποτελεί την μεταβλητή που επιφέρει την μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην τελική ενεργειακή κατανάλωση. Η μοναδικότητα του κάθε χρήστη που αναδείχθηκε από την ανάλυση αυτή, επιβεβαιώνει την μη

αιτιοκρατική φύση της συμπεριφοράς του χρήστη καθώς το κοινό διάστημα μελέτης και τα κοινά αρχιτεκτονικά και θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας αποκλείουν την εξάρτηση της συμπεριφοράς του χρήστη μόνο από αιτιοκρατικούς κανονές που θεωρούν ότι η συμπεριφορά του χρήστη καθορίζεται από έναν ή περισσότερους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή η μεταβολή της θερμοκρασίας. Άρα τα προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που εισάγονται σε μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμα και επαναλαμβανόμενα για μια κατοικία και σαφώς δεν μπορεί να είναι κοινά για κάθε κατοικία.

Όσον αφορά στη χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση η μόνη αξιοσημείωτη ομοιότητα ανάμεσα στις πέντε κατοικίες ήταν η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης στις 07:00 και 18:00 ανεξαρτήτως του μήνα της χειμερινής περιόδου ή της ημέρας της εβδομάδας. Οι βασικές διαφορές στα μοτίβα χρήσης φυσικού αερίου για θέρμανση ανάμεσα στις πέντε κατοικίες έχουν ως εξής:

- Ο αριθμός των συστάδων, και άρα εικοσιτετράωρων προφίλ κατανάλωσης φυσικού αερίου, διαφέρει σημαντικά από την μία κατοικία στην άλλη (εντοπίστηκαν από 2 έως 6 συστάδες). Μάλιστα οι κατοικίες με μικρότερο αριθμό συστάδων έχουν πιο σταθερές εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης, ενώ οι κατοικίες με τον μεγαλύτερο αριθμό συστάδων παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην εσωτερική θερμοκρασία τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και σε ολόκληρη την περίοδο θέρμανσης.
- Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης διαφέρει σημαντικά από μία κατοικία σε άλλη:
 - Ώρες λειτουργίας. Σε μία από τις πέντε κατοικίες το σύστημα θέρμανσης ήταν μονίμως σε λειτουργία ενώ στις υπόλοιπες λειτουργούσε διακοπτόμενα σε συγκεκριμένα, αλλά διαφορετικά για κάθε κατοικία, διαστήματα μέσα στην ημέρα.
 - Θερμοκρασιακές ρυθμίσεις. Οι προτιμήσεις για τη θερμοκρασία λειτουργίας του θερμοστάτη κυμαίνονται από 18.5 έως 23 °C ανάμεσα στις κατοικίες. Η κατοικία με το σύστημα θέρμανσης μονίμως σε λειτουργία είχε και τη μικρότερη διακύμανση στην εσωτερική της θερμοκρασία για ολόκληρη την περίοδο θέρμανσης (ελάχιστη 22,7 °C, μέγιστη 22,9 °C).
 - Ημερήσια λειτουργία. Σε μία κατοικία εντοπίστηκε μια σαφής τάση για μία από τις συστάδες να εμφανίζεται μόνο τα σαββατοκύριακα υποδηλώνοντας έτσι διαφορές ανάμεσα στις συνήθειες και συμπεριφορές που εφαρμόζονται τις εργάσιμες από τις μη-εργάσιμες μέρες. Στις υπόλοιπες κατοικίες δεν εντοπίστηκε αξιοσημείωτη διαφορά ανάμεσα σε εργάσιμες και μη εργάσιμες μέρες.
 - Εποχική λειτουργία: Οι δύο κατοικίες με τις περισσότερες συστάδες παρουσιάζουν διαφορετικά προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης κάθε μήνα. Οι κατοικίες με τις λιγότερες συστάδες έχουν τις λιγότερες εναλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης κατά την περίοδο θέρμανσης.

Στην περίπτωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας οι διαφορές ανάμεσα στις πέντε κατοικίες δεν ήταν τόσο έκδηλες καθώς σε όλες τις κατοικίες εντόνότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από τις 08:00 μέχρι τις 24:00. Ούτε κάποια σημαντική εποχική διαφοροποίηση παρατηρήθηκε. Η μελέτη της ηλεκτρικής ενέργειας βοήθησε όμως στον προσδιορισμό δύο κατοικιών στις οποίες κάποιο μέλος της οικογένειας βρίσκεται στο σπίτι καθημερινά κατά τις μεσημεριάνες ώρες. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνει την ανάγκη για δημιουργία διαφορετικών προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς για νοικοκυριά με διαφορετική κοινωνική σύσταση καθώς οι δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας, και άρα οι ενεργειακές συμβουλές που μπορούν να δοθούν, διαφέρουν ανάλογα με το ημερήσιο πρόγραμμα των χρηστών.

Η μελέτη των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα έδειξε και αυτή σημαντικές διαφορές στις ώρες που οι χρήστες βρίσκονται στο σπίτι καθώς και στις συνθήκες αερισμού ανάμεσα στις πέντε κατοικίες. Παρόλα αυτά, και στις πέντε κατοικίες οι συγκεντρώσεις CO₂ είναι πιο υψηλές από το απόγευμα μέχρι το πρωί της επόμενης μέρας υποδηλώνοντας είτε την έντονη παρουσία ανθρώπων ή/και ελλιπή αερισμό σε εκείνο το διάστημα.

Σε όλες τις κατοικίες εντοπίστηκε τουλάχιστον μια συστάδα με χαμηλότερες τιμές CO₂ και πιο ομαλή ημερήσια διακύμανση και άλλη μια συστάδα με υψηλότερες τιμές και πολύ πιο έντονη ημερήσια διακύμανση. Οι συστάδες με τις χαμηλότερες τιμές και μικρότερη διακύμανση εντοπίζονται σε όλες τις κατοικίες στους καλοκαιρινούς και ενδιάμεσους μήνες κάτι που μπορεί να αποδοθεί μάλλον στον πιο έντονο ή και συχνό αερισμό με ανοικτά παράθυρα κατά την περίοδο αυτή παρά στην απουσία χρηστών. Στις καμπύλες που παρουσιάζονται τους πιο κρύους μήνες αποτυπώνεται καλύτερα η παρουσία των χρηστών στο χώρο. Τις πρώτες πρωινές ή/και βραδυνές ώρες που όλοι οι χρήστες είναι στο σπίτι οι συγκεντρώσεις CO₂ γενικά παρουσιάζουν τις υψηλότερες τους τιμές. Τις ώρες της μέρας που, οι χρήστες συνήθως απουσιάζουν, οι συγκεντρώσεις CO₂ παρουσιάζουν την χαμηλότερη τους τιμή.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ενεργειακό μοντέλο προσομοίωσης στο οποίο εισήχθησαν τα εικοσιτετράωρα προφίλ που εντοπίστηκαν για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τον αερισμό και την παρουσία χρηστών για μια συγκεκριμένη κατοικία με σκοπό τη βαθμονόμηση του. Βασικός σκοπός ήταν η ποσοτική αποτίμηση της επίδρασης του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στην θερμική άνεση σε μια κατοικία. Το κριτήριο επιλογής της συγκεκριμένης κατοικίας ήταν η πολυπλοκότητα των προφίλ λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης.

Η ανάλυση στα δεδομένου εξόδου του βαθμονομημένου ως προς την θερμοκρασία μοντέλου προσομοίωσης έδειξε ότι το μοντέλο προσομοίωσης συμμορφώνεται ικανοποιητικά με τις πραγματικές συνθήκες της κατοικίας για όλα τα μελετούμενα σενάρια αφού οι τιμές για τους δείκτες MBE και CV(RMSE) είναι μέσα στα αποδεκτά όρια (MBE $\pm 10\%$ και CV(RMSE) $\pm 30\%$). Το γεγονός ότι οι δείκτες αυτοί είναι στα επιτρεπτά όρια επιβεβαιώνει και την ακρίβεια των προφίλ που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το φυσικό αέριο, την ηλεκτρική ενέργεια και τα

επίπεδα CO₂. Όπως φάνηκε από την ανάλυση, σε περιπτώσεις όπου στόχος είναι η διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς και η παροχή ενεργειακών συμβουλών στους χρήστες η λεπτομερής βαθμονόμηση του μοντέλου είναι απαραίτητη. Αν όμως ο σκοπός μιας πιο γενικής μελέτης επιτυγχάνεται και με το βασικό μοντέλο τότε μπορεί να γίνει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου από το σχεδιασμό μόνο του βασικού μοντέλου.

Προκειμένου να μελετηθεί ποσοτικά η επίδραση του χρήστη στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και στις αντίστοιχες συνθήκες θερμικής άνεσης το βαθμονομημένο μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης προσαρμόστηκε σε συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης. Κριτήριο βαθμονόμησης για το σενάριο αναφοράς ήταν η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση. Στην κατοικία αυτή εφαρμόστηκαν τα σενάρια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης από άλλες τέσσερις κατοικίες με σκοπό την πιο αντικειμενική σύγκριση και ποσοτικοποίηση των διαφορών που μπορεί να επιφέρει ο παράγοντας «χρήστης». Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης για τα διαφορετικά σενάρια έδειξαν αξιοσημείωτες διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση και στο ποσοστό του χρόνου που επιτυγχάνονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης που ορίζουν τόσο η νομοθεσία και τα πρότυπα όσο και ο ίδιος ο χρήστης, επιβεβαιώνοντας την απρόβλεπτη φύση του χρήστη και την μεγάλη επίδραση που μπορεί να έχει στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Διαπιστώθηκε ότι η εισαγωγή μεγαλύτερης λεπτομέρειας στο μοντέλο βαθμονόμησης όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (ημερήσια προφίλ αντί για μηνιαία επικρατούντα προφίλ) αξίζει να γίνεται όταν μια κατοικία έχει αρκετά ακανόνιστη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, δηλαδή όταν οι ώρες λειτουργίας και οι τιμές ρύθμισης του θερμοστάτη έχουν αρκετές εναλλαγές κατά την περίοδο θέρμανσης.

Ακόμη, ανάλυση συσχέτισης που διενεργήθηκε για μεταβλητές σχετικές με το σύστημα θέρμανσης έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση ανάμεσα στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και την τιμή του θερμοστάτη και με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα αλλά όχι με τις φορές που το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία μέσα στη μέρα. Σημαντική θετική συσχέτιση βρέθηκε και ανάμεσα στην τιμή του θερμοστάτη και των ωρών λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα ενώ σημαντική αρνητική συσχέτιση βρέθηκε ανάμεσα στην τιμή του θερμοστάτη και των φορές που το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί μέσα στη μέρα. Τέλος οι ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσα στη μέρα παρουσίασαν σημαντική αρνητική συσχέτιση με τις φορές λειτουργίας του μέσα στη μέρα.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι αν και οι θερμοκρασίες σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης/ψύξης κτιρίων που ορίζει η εθνική νομοθεσία ή τα διεθνή πρότυπα, έχουν ως στόχο τη διασφάλιση της υγείας και της άνεσης του χρήστη, στην πράξη μπορεί ο χρήστης να επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης του σε αρκετά υψηλότερες ή και χαμηλότερες τιμές από αυτές που προδιαγράφονται, με σαφείς επιπτώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση. Ακόμα και στην περίπτωση που ο χρήστης μιας κατοικίας επιλέξει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης σε θερμοκρασία εντός των ορίων που προτείνει η νομοθεσία και τα πρότυπα, δεν είναι απαραίτητο ότι

αυτές οι συνθήκες θα πληρούνται καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Οι ώρες που η εσωτερική θερμοκρασία θα πληροί αυτά τα κριτήρια έχει να κάνει με το πόσο κοντά στο κατώτατο όριο θερμικής άνεσης είναι η τιμή ρύθμισης του θερμοστάτη αλλά και η διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης καθώς όσο λιγότερο λειτουργείται το σύστημα θέρμανσης τόσο πιο πιθανό είναι η εσωτερική θερμοκρασία να είναι εκτός του κατώτατου ορίου για κάποιες ώρες μέσα στη μέρα.

Ακολούθως, αναπτύχθηκε ένας διαγνωστικός δείκτης ο «Δείκτης Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος» (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI) τον οποίο ο χρήστης μπορεί να συμβουλευτεί παράλληλα με την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην κατοικία του. Οι περιβαλλοντικές παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του δείκτη DEQI είναι η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Ο δείκτης DEQI μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό κομμάτι του δείκτη ευφυούς ετοιμότητας (Smart Readiness Indicator - SRI).

Ο υπολογισμός του δείκτη για ένα δείγμα 26 κατοικιών έδειξε ότι ο DEQI είναι ένα χρήσιμο εργαλείο επικοινωνίας και διαχείρισης τόσο για τους χρήστες του κτιρίου όσο και για ερευνητές που μελετούν ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων:

- Όταν υπολογίζεται για μία κατοικία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους χρήστες για την εύκολη διάγνωση προβλημάτων και τη διαχείριση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και της ενεργειακής κατανάλωσης στην κατοικία τους.
- Όταν υπολογίζεται για ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων, ο DEQI βοηθάει τον ερευνητή στην ταξινόμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση ενός αριθμού κτιρίων, βοηθάει στον εντοπισμό τάσεων τόσο για τον DEQI όσο και για τους υποδείκτες, αλλά και στον εντοπισμό του τύπου και του βαθμού της ενέργειας που χρειάζεται να γίνει για τη μαζική βελτίωση των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών.

Επιπλέον, ο DEQI μπορεί να υπολογιστεί για οποιαδήποτε χρονική περίοδο, βραχυπρόθεσμη είτε μακροπρόθεσμη, αλλά ακόμη και για στιγμιαίες τιμές, δίνοντας διαφορετικής σημασίας πληροφορία για κάθε χρονική περίοδο:

- Οι βραχυπρόθεσμοι υπολογισμοί ενημερώνουν τους ενδιαφερόμενους για την τρέχουσα κατάσταση. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση της προόδου όσων αφορά βραχυπρόθεσμους στόχους βελτίωσης και βοηθάει στην πρόβλεψη ενός επικείμενου προβλήματος και άρα στη λήψη μέτρων για την αποφυγή του. Αυτό είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους χρήστες επειδή τους επιτρέπει να θυμούνται και άρα να εντοπίζουν τις δραστηριότητες που έλαβαν χώρα μεταξύ της προηγούμενης και παρούσας μέτρησης που μπορεί να επέδρασαν θετικά ή αρνητικά στην ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα η χρήση θέρμανσης (on/off), η αλλαγή των ρυθμίσεων του θερμοστάτη, ο φυσικός αερισμός, και άλλες δραστηριότητες όπως κάπνισμα, μαγείρεμα, ντους, σιδέρωμα

με ατμό. Μέσα από την παρακολούθηση των βραχυπρόθεσμων τιμών του DEQI και των τιμών των επιμέρους υποδεικτών, οι χρήστες μπορούν σε βάθος χρόνου να εμπνεύσουν την επίδραση που έχει κάθε μία από τις παραπάνω δραστηριότητες στις μετρούμενες παράμετρος και στον DEQI καθώς και την αλληλεπίδραση τους και να αλλάξουν την ενεργειακή τους συμπεριφορά ανάλογα. Η παράλληλη παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης και του εσωτερικού περιβάλλοντος, μπορεί να επιτρέψει στους χρήστες να κατανοήσουν και την αλληλεπίδραση των εσωτερικών παραμέτρων με την ενεργειακή κατανάλωση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η θετική επίδραση του φυσικού αερισμού στην ποιότητα εσωτερικού αέρα και η αρνητική επίδραση στις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο.

- Οι μακροπρόθεσμοι υπολογισμοί για τον DEQI προσφέρουν μια πιο αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος καθώς επιτρέπουν τον μετριασμό των επιπτώσεων από ευκαιριακές διαστηριότητες ή συμβάντα που λαμβάνουν χώρα μέσα ή και έξω από την κατοικία ανά αραιά και τυχαία διαστήματα. Μπορεί άρα να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και ταξινόμηση της συνολικής απόδοσης του κτιρίου όσον αφορά το εσωτερικό περιβάλλον. Η μακροπρόθεσμη αξιολόγηση είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για έναν ερευνητή καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης ενός πληθυσμού κτιρίων, την ταξινόμηση των επιμέρους κτιρίων και την μαζική αντιμετώπιση ενός προβλήματος.

Στο πλαίσιο αυτό αξίζει να σημειωθεί και ότι η δημοσίευση της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του διαγνωστικού δείκτη Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI) στο επιστημονικό περιοδικό Indoor and Built Environment βραβεύτηκε με το SAGE best paper award για το έτος 2017.

Τέλος, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος για την παροχή ενεργειακών συμβουλών ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τόσο τη μοναδικότητα του χρήστη όσο και τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο αλγόριθμος αυτός βάζει τον χρήστη στο επίκεντρο της ενεργειακής διαχείρισης προσφέροντας του την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για να δράσει ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του. Ο αλγόριθμος έχει ενσωματωθεί σε μια υπηρεσία που βασίζεται στην Τεχνολογία της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και συμπληρώνει την άμεση ανατροφοδότηση (direct feedback) και ενημέρωση (information) που προσφέρεται με αυτοματοποιημένο τρόπο, ανά 15 λεπτά που γίνεται καινούρια μέτρηση ενέργειας και εσωτερικών περιβαλλοντικών παραμέτρων, μέσα από αυτήν.

Όπως προέκυψε από τη διερεύνηση των αναγκών των χρηστών, αλλά κυρίως από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα, πρώτο κριτήριο για την εφαρμογή ενεργειακών συμβουλών είναι το κόστος τους, συνεπώς οι συμβουλές που επιλέχθηκαν για το πρόγραμμα συμβουλών είναι μικρού ή μηδενικού κόστους και κάποιες φορές μεσαίου κόστους και δεν αφορούν σε καμία παρέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου.

Οι συμβουλές που τελικά προσφέρονται στον χρήστη προκύπτουν από μια συνολική λίστα συμβουλών που αντικατοπτρίζει τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτιρίου και των συστημάτων του. Ο αλγόριθμος, ανά 15 λεπτά καθορίζει τις συμβουλές που πρέπει να δοθούν σε κάθε κατοικία ανάλογα με τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες της κατοικίας στην οποία προσφέρονται τη στιγμή της μέτρησης, τη λειτουργία ή όχι του συστήματος θέρμανσης και την εποχή του χρόνου.

8.1 Συνέχεια της ερευνητικής εργασίας

Σε μελλοντική έρευνα η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των προφίλ ενεργειακής συμπεριφοράς που παρουσιάστηκε στο τέταρτο κεφάλαιο θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε πιο λεπτομερή δεδομένα για την ενεργειακή κατανάλωση και το διοξείδιο του άνθρακα προκειμένου να δοθεί ακόμα πιο αναλυτική πληροφορία για την ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών. Αυτή η λεπτομέρεια δεν ήταν εφικτή στην παρούσα διατριβή λόγω περιορισμών τόσο στη συχνότητα καταγραφής των δεδομένων (συχνότητα 15 λεπτού) όσο και στην έλλειψη μετρήσεων τελικών χρήσεων και επί μέρους μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα:

- Για το φυσικό αέριο δεν ήταν εύκολο να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα στη χρήση για μαγείρεμα και για ζεστό νερό χρήσης. Η ξεχωριστή καταγραφή της κατανάλωσης φυσικού αερίου για κάθε χρήση (θέρμανση, μαγείρεμα και ζεστό νερό χρήσης) σε μια μελλοντική ερευνητική εργασία θα βοηθούσε στην εξαγωγή ακόμα πιο συμπαγών συμπερασμάτων για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης αφού θα μας επέτρεπε να εντοπίσουμε, στην περίπτωση που υπήρχε, και να απομονώσουμε τον σχετικό «θόρυβο» από τα δεδομένα επεξεργασίας. Δεδομένου ότι τα προφίλ που προσδιορίστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός βαθμονομημένου ενεργειακού μοντέλου θα έπρεπε ιδανικά τα προφίλ για τη θέρμανση, το μαγείρεμα και το ζεστό νερό χρήσης να προσδιοριστούν ξεχωριστά. Αυτό δεν θα έκανε μόνο το βαθμονομημένο μοντέλο ακόμα πιο ακριβές αλλά θα επέτρεπε και τον προσδιορισμό των πιο αποδοτικών τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε μία από τις τρεις χρήσεις και άρα την μεγιστοποίηση του αποτελέσματος της εξοικονόμησης.
- Για την ηλεκτρική ενέργεια, εφόσον υπήρχαν οι πληροφορίες για τις συσκευές που υπάρχουν εγκατεστημένες σε κάθε κατοικία αλλά και για τον τρόπο λειτουργίας τους από τους χρήστες, θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε ποια συσκευή χρησιμοποιείται πότε. Ακόμη, μετρήσεις σε πολύ πυκνές συχνότητες (π.χ. άνα 1 second ή λιγότερο) θα επέτρεπαν την εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης και συνεπώς την αποδόμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε τελικές χρήσεις. Έτσι θα μπορούσε να γίνει και καλύτερος προσδιορισμός του τύπου της συμβουλών που μπορεί να δοθεί στον χρήστη κάθε φορά και άρα της εμπλοκής του χρήστη στην προσπάθεια για εξοικονόμηση και τελικά στην αλλαγή της ενεργειακής του συμπεριφοράς.
- Για το διοξείδιο του άνθρακα θα ήταν πολύ χρήσιμο να υπάρχει πληροφορία για το πότε τα παράθυρα είναι ανοικτά. Αυτό θα βοηθούσε στην διάκριση των γεγονότων όπου οι

χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ οφείλονται σε αερισμό και όχι σε απουσία χρηστών, και άρα στον προσδιορισμό των προφίλ αερισμού και παρουσίας χρηστών ξεχωριστά.

Η εισαγωγή τόσο λεπτομερών προφίλ σε βαθμονομημένα ενεργειακά μοντέλα όπως αυτό που αναπτύχθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο θα επιτρέψει σε μελλοντικές εργασίες τη δοκιμή σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης του εσωτερικού περιβάλλοντος. Επίσης, με τα αναλυτικά αυτά δεδομένα θα μπορούσε να σχεδιαστεί ένα μοντέλο πρόβλεψης της ενεργειακής συμπεριφοράς του χρήστη τα αποτελέσματα του οποίου μπορούν να επικοινωνούνται στον χρήστη μέσα από το πρόγραμμα συμβουλών που αναπτύχθηκε στο έβδομο κεφάλαιο βελτιώνοντας έτσι ακόμα περισσότερο το αποτέλεσμα της εξοικονόμησης.

Ακόμη, η παράλληλη εφαρμογή μεθόδων κοινωνικής έρευνας για την κατανόηση του γιατί οι χρήστες λειτούργησαν το σύστημα θέρμανσης με τον τρόπο που το λειτούργησαν (τιμή θερμοστάτη, ώρες λειτουργίας μέσα στη μέρα, αλλαγή πρακτικών κάθε μήνα κλπ), του προγράμματος λειτουργίας των συσκευών, των πρακτικών αερισμού και της καθημερινής παρουσίας/απουσίας από το σπίτι θα βοηθούσε πολύ τόσο στη γενικότερη κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών αλλά θα αποκάλυπτε και περαιτέρω ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια κατοικιών.

Μια άλλη πολύ χρήσιμη εξέλιξη της παρούσας διατριβής θα ήταν η εισαγωγή της επιλογής στάθμισης των υποδεικτών θερμοκρασίας, σχετική υγρασίας και επίπεδων διοξειδίου του άνθρακα στη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος DEQI. Η στάθμιση είναι κάτι που θα πρέπει να αποφασίζεται κατά περίπτωση ανάλογα με τον σκοπό της ερευνητικής εργασίας με στόχο την αποφυγή της επισκίασης προβλημάτων από κάποια περιβαλλοντική παράμετρο που έχει αναπόφευκτα τιμές εκτός των επιθυμητών ορίων σε μόνιμη βάση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι εξωτερικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (λόγω γεινίασης με κάποιο αυτοκινητόδρομο για παράδειγμα) ή σχετικής υγρασίας (λόγω κλίματος) οι οποίες είναι υψηλές όλο το χρόνο και στον δείκτη DEQI θα εμφανίζονται ως προβληματικές χωρίς όμως να είναι στα χέρια του χρήστη να τις βελτιώσει. Η στάθμιση θα βοηθήσει στην εξάλειψη αυτού του προβλήματος και θα επιτρέψει στον χρήστη να εστιάσει μόνο στα προβλήματα που εκείνος μπορεί να βελτιώσει. Είναι σημαντικό να αναφερθεί όμως ότι η στάθμιση, αν και πολύ χρήσιμο στοιχείο, καθιστά τα κτίρια που θα αξιολογούνται με αυτό τον τρόπο μη συγκρίσιμα και άρα την κοινή κατάταξη τους μη αντικειμενική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T., 2007. The effect of tailored information, goal setting, and tailored feedback on household energy use, energy-related behaviors, and behavioral antecedents. *J. Environ. Psychol.* 27, 265–276. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.08.002>
- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T., 2005. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *J. Environ. Psychol.* 25, 273–291. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2005.08.002>
- Abreu, J.M., Câmara Pereira, F., Ferrão, P., 2012. Using pattern recognition to identify habitual behavior in residential electricity consumption. *Energy Build.* 49, 479–487. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.044>
- Ahn, K.-U., Kim, D.-W., Park, C.-S., de Wilde, P., 2017. Predictability of occupant presence and performance gap in building energy simulation. *Appl. Energy* 208, 1639–1652. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.083>
- Aldenderfer, M.S., Blashfield, R.K., 1984. *Cluster analysis*. Beverly Hills : Sage Publications.
- Amann, J., Wilson, A., Ackerly, K., 2012. *Consumer Guide to Home Energy Savings - 10th Edition*. New Society Publishers.
- Andersen, R.V., Toftum, J., Andersen, K.K., Olesen, B.W., 2009. Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. *Energy Build.* 41, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.004>
- Annex 66, 2018. Publications | IEA-EBC Annex 66 [WWW Document]. URL <https://www.annex66.org/?q=Publication> (accessed 9.16.18).
- Annex 66, 2017. Annex 66 Deliverable - Occupant behavior study guidebook.pdf.
- ANSI/ASHRAE, 2017. Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- ANSI/ASHRAE, 2007. Standard 62.1 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- Aragon, V., Gauthier, S., Warren, P., James, P.A.B., Anderson, B., 2017. Developing English domestic occupancy profiles. *Build. Res. Inf.* 0, 1–19. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1399719>
- ASHRAE, 2016. Standard 90.1-2016 – Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.
- ASHRAE, 2014. Guideline 14-2014 -- Measurement of Energy, Demand, and Water Savings [WWW Document]. URL http://www.techstreet.com/standards/guideline-14-2014-measurement-of-energy-demand-and-water-savings?product_id=1888937 (accessed 7.9.17).
- ASHRAE, 2007. Addendum r to ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90. 1–2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- ASHRAE, 2002. ASHRAE Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings.
- ASHRAE Terminology, n.d. . American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Atlanta, Georgia).
- ASHRAE/CIBSE/USGBC, 2010. Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings.
- ASTM, 2002. ASTM D 6245 – 98:2002. ASTM standard guide for using indoor carbon dioxide concentrations to evaluate indoor air quality and ventilation.
- Barr, S., Gilg, A.W., Ford, N., 2005. The household energy gap: examining the divide between habitual- and purchase-related conservation behaviours. *Energy Policy* 33, 1425–1444. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.016>

- Boardman, B., Darby, S., 2000. Effective advice: Energy efficiency and the disadvantaged. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Bordass, B., Cohen, R., Field, J., 2004. Energy Performance of Non-Domestic Buildings: Closing the Credibility Gap 10.
- BRESCU, 1996. GPG 208 Providing energy advice to householders - a guide for local authorities and housing associations. Building Research Energy Conservation Support Unit.
- Brundrett, G.W., 1977. Ventilation: A behavioural approach. *Int. J. Energy Res.* 1, 289–298. <https://doi.org/10.1002/er.4440010403>
- Brune, D.K., Edling, C., 1989. Occupational Hazards in the Health Professions. CRC Press.
- Burgess, J., Nye, M., 2008. Re-materialising energy use through transparent monitoring systems. Energy Policy, Foresight Sustainable Energy Management and the Built Environment Project 36, 4454–4459. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.039>
- California Energy Commission, n.d. Energy Efficiency Programs [WWW Document]. URL <http://www.energy.ca.gov/efficiency/> (accessed 7.9.17).
- Cao, B., Ouyang, Q., Zhu, Y., Huang, L., Hu, H., Deng, G., 2012. Development of a multivariate regression model for overall satisfaction in public buildings based on field studies in Beijing and Shanghai. *Build. Environ., International Workshop on Ventilation, Comfort, and Health in Transport Vehicles* 47, 394–399. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.022>
- Cao, X., Dai, X., Liu, J., 2016. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy Build.* 128, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- Cattell, R.B., 1966. The Scree Test For The Number Of Factors. *Multivar. Behav. Res.* 1, 245–276. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10
- CEN/TR15615, 2008. CEN/TR 15615:2008. Explanation of the general relationship between various European Standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella document.
- Christensen, J.E., Chasapis, K., Gazovic, L., Kolarik, J., 2015. Indoor Environment and Energy Consumption Optimization Using Field Measurements and Building Energy Simulation. Energy Procedia, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015 78, 2118–2123. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.281>
- CIBSE Guide F: Energy Efficiency in Buildings, 2004.
- Clevenger, C.M., Haymaker, J., 2006. THE IMPACT OF THE BUILDING OCCUPANT ON ENERGY MODELING SIMULATIONS 10.
- Cowie, A., Hong, T., Feng, X., Darakdjian, Q., 2017. Usefulness of the obFMU Module Examined through a Review of Occupant Modelling Functionality in Building Performance Simulation Programs.
- Cui, W., Cao, G., Park, J.H., Ouyang, Q., Zhu, Y., 2013. Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. *Build. Environ.* 68, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.012>
- Darby, S., 2010. Smart metering: what potential for householder engagement? *Build. Res. Inf.* 38, 442–457. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.492660>
- Darby, S., 2006. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays 22, 1–21.
- Darby, S., 2001. Making it Obvious: Designing Feedback into Energy Consumption, in: *Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 685–696. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56531-1_73

- Darby, S., 1999. Energy advice - what is it worth? Presented at the European Council for an Energy-Efficient Economy Summer Study, p. 13.
- Darby, S.J., 2012. Metering: EU policy and implications for fuel poor households. *Energy Policy*, Special Section: Fuel Poverty Comes of Age: Commemorating 21 Years of Research and Policy 49, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.065>
- Darnton, A., 2008. GSR Behaviour Change Knowledge Review Reference Report: An overview of behaviour change models and their uses. Centre for Sustainable Development, University of Westminster.
- Daum, D., Morel, N., 2010. Identifying important state variables for a blind controller. *Build. Environ.* 45, 887–900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.09.009>
- De Wilde, 2014. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Autom. Constr.* 41, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>
- Delzende, E., Wu, S., Lee, A., Zhou, Y., 2017. The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 1061–1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264>
- Diao, L., Sun, Y., Chen, Z., Chen, J., 2017. Modeling energy consumption in residential buildings: A bottom-up analysis based on occupant behavior pattern clustering and stochastic simulation. *Energy Build.* 147, 47–66. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.072>
- Dietz, T., Gardner, G.T., Gilligan, J., Stern, P.C., Vandenberg, M.P., 2009. Household actions can provide a behavioral wedge to rapidly reduce US carbon emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 18452–18456. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908738106>
- D'Oca, S., Hong, T., 2015. Occupancy schedules learning process through a data mining framework. *Energy Build.* 88, 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.065>
- Duarte, C., Van Den Wymelenberg, K., Rieger, C., 2013. Revealing occupancy patterns in an office building through the use of occupancy sensor data. *Energy Build.* 67, 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.062>
- Ehrhardt-Martinez, K., 2008. Behavior, Energy and Climate Change: PolicyDirections, Program Innovation, and Research Paths (Report No. E087) (No. E087). American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC.
- Ehrhardt-Martinez, K., Laitner, J.A., 2010. People-Centered Initiatives for Increasing Energy Savings (Text). American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC.
- EN 7730, 2005. ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- EN 15251, 2007. CEN EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- Energy Star, n.d. Start Saving Now: ENERGY STAR [WWW Document]. URL <https://www.energystar.gov/campaign/waysToSave> (accessed 7.9.17).
- energy.gov, n.d. Energy Saver Guide: Tips on Saving Money and Energy at Home | Department of Energy [WWW Document]. URL <https://energy.gov/energysaver/energy-saver-guide-tips-saving-money-and-energy-home> (accessed 7.9.17).
- EPBD, 2010. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Off J Eur Union* 3, 13–35.
- European Commission, n.d. Buildings - Energy - European Commission [WWW Document]. Energy. URL [/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings](http://energy/en/topics/energy-efficiency/buildings) (accessed 5.13.18).

- eurostat, 2016. Shedding light on energy in the EU — A guided tour of energy statistics — 2016 edition.
- eurostat, n.d. Energy consumption in households - Statistics Explained [WWW Document]. URL http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households (accessed 5.13.18).
- EVO, 2003. International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Option for Determining Energy Savings in New Construction, Volume III.
- Farmer, S.A., 1971. An Investigation into the Results of Principal Component Analysis of Data Derived from Random Numbers. *J. R. Stat. Soc., D* 20, 63–72. <https://doi.org/10.2307/2986986>
- FEMP, 2008. Federal Energy Management Program, M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0.
- Fischer, C., 2008. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Effic.* 1, 79–104. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7>
- Franklin, S., Thomas, S., Brodeur, M., 2001. Robust Multivariate Outlier Detection Using Mahalanobis' Distance and Modified Stahel-donoho Estimators.
- Frontczak, M., Andersen, R.V., Wargocki, P., 2012. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Build. Environ.* 50, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.012>
- Frontczak, M., Wargocki, P., 2011. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Build. Environ.* 46, 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
- Fujii, H., Lutzenhiser, L., 1992. Japanese residential air-conditioning: natural cooling and intelligent systems. *Energy Build.* 18, 221–233. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90015-9)
- Fung, A.S., Aulenback, A., Ferguson, A., Ugursal, V.I., 2003. Standby power requirements of household appliances in Canada. *Energy Build.* 35, 217–228. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00086-5)
- Gaetani, I., Hoes, P.-J., Hensen, J.L.M., 2016. Occupant behavior in building energy simulation: Towards a fit-for-purpose modeling strategy. *Energy Build.* 121, 188–204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.038>
- Gardner, G.T., Stern, P.C., 2002. *Environmental Problems and Human Behavior*, 1 edition. ed. Pearson Learning Solutions, Boston, Mass.
- Genjo, K., Tanabe, S., Matsumoto, S., Hasegawa, K., Yoshino, H., 2005. Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese households. *Energy Build.* 37, 259–272. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.025>
- Gifford, R., 2014. Environmental Psychology Matters. *Annu. Rev. Psychol.* 65, 541–579. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115048>
- Gilani, S., O'Brien, W., Gunay, H.B., 2018. Simulating occupants' impact on building energy performance at different spatial scales. *Build. Environ.* 132, 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.040>
- Gill, Z.M., Tierney, M.J., Pegg, I.M., Allan, N., 2010. Low-energy dwellings: the contribution of behaviours to actual performance. *Build. Res. Inf.* 38, 491–508. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.505371>
- Gram-Hanssen, K., 2010. Residential heat comfort practices: understanding users. *Build. Res. Inf.* 38, 175–186. <https://doi.org/10.1080/09613210903541527>
- Green, J., Darby, S., Maby, C., 1998. *Advice into Action*. EAGA Charitable Trust.

- Guerra-Santin, O., Itard, L., 2010. Occupants' behaviour: determinants and effects on residential heating consumption. *Build. Res. Inf.* 38, 318–338. <https://doi.org/10.1080/09613211003661074>
- Gunay, H.B., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., 2013. A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. *Build. Environ.* 70, 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.020>
- Gunay, H.B., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., Goldstein, R., Breslav, S., Khan, A., 2014. Coupling stochastic occupant models to building performance simulation using the discrete event system specification formalism. *J. Build. Perform. Simul.* 7, 457–478. <https://doi.org/10.1080/19401493.2013.866695>
- Gupta, R., Gregg, M., 2013. Preventing the overheating of English suburban homes in a warming climate. *Build. Res. Inf.* 41, 281–300. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.772043>
- Guy, S., Shove, E., 2000. *The Sociology of Energy, Buildings and the Environment | Constructing Knowledge, Designing Practice* | Taylor & Francis Group. Taylor & Francis Group.
- Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J., 2010. Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy, The socio-economic transition towards a hydrogen economy - findings from European research, with regular papers* 38, 6111–6119. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.068>
- Health Canada, 2006. *Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality*.
- Heinzerling, D., Schiavon, S., Webster, T., Arens, E., 2013. Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. *Build. Environ.* 70, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.027>
- Hong, T., Chen, Y., Belafi, Z., D'Oca, S., 2018. Occupant behavior models: A critical review of implementation and representation approaches in building performance simulation programs. *Build. Simul.* 11, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0396-6>
- Hong, T., Taylor-Lange, S.C., D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S.P., 2016. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy Build.* 116, 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>
- Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. Educ. Psychol.* <https://doi.org/10.1037/h0071325>
- Huebner, G.M., McMichael, M., Shipworth, D., Shipworth, M., Durand-Daubin, M., Summerfield, A.J., 2015. The shape of warmth: temperature profiles in living rooms. *Build. Res. Inf.* 43, 185–196. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.922339>
- ICE-WISH, n.d. ICE-WISH – Demonstrating through Intelligent Control (smart metering, wireless technology, cloud computing, and user-oriented display information), Energy and Water wastage reductions, In European Social Housing [WWW Document]. ICE-WISH Proejct. URL <http://www.ice-wish.eu> (accessed 8.11.16).
- IEA Energy in Buildings, n.d. IEA Energy in Buildings [WWW Document]. International Energy Agency -Energy Build. URL <https://www.iea.org/buildings/> (accessed 9.1.18).
- Jolliffe, I.T., 2002. *Principal Component Analysis*, 2nd edition. ed. Springer, New York.
- Kaiser, H.F., 1960. The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 141–151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- Kane, T., Firth, S.K., Lomas, K.J., 2015. How are UK homes heated? A city-wide, socio-technical survey and implications for energy modelling. *Energy Build.* 86, 817–832. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.011>
- Kántor, N., Unger, J., 2011. The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment — the mean radiant temperature. *Cent. Eur. J. Geosci.* 3, 90–100. <https://doi.org/10.2478/s13533-011-0010-x>

- Karatasou, S., Laskari, M., Santamouris, M., 2018. Determinants of high electricity use and high energy consumption for space and water heating in European social housing: Socio-demographic and building characteristics. *Energy Build.* 170, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.019>
- Karatasou, S., Laskari, M., Santamouris, M., 2014. Models of behavior change and residential energy use: a review of research directions and findings for behavior-based energy efficiency. *Adv. Build. Energy Res.* 8, 137–147. <https://doi.org/10.1080/17512549.2013.809275>
- Karjalainen, S., 2009. Thermal comfort and use of thermostats in Finnish homes and offices. *Build. Environ.* 44, 1237–1245. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.09.002>
- Kempton, W., Feuermann, D., McGarity, A.E., 1992. “I always turn it on super”: user decisions about when and how to operate room air conditioners. *Energy Build.* 18, 177–191. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90012-6)
- Klein, L., Kwak, J.Y., Kavulya, G., Jazizadeh, F., Becerik-Gerber, B., Varakantham, P., Tambe, M., 2012. Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems. *Autom. Constr.* 525–536. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.11.012>
- Koo, S.Y., Yeo, M.S., Kim, K.W., 2010. Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings. *Build. Environ.* 45, 1508–1520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.014>
- Lai, A.C.K., Mui, K.W., Wong, L.T., Law, L.Y., 2009. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy Build.* 41, 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>
- Lam, J.C., Wan, K.K.W., Cheung, K.L., Yang, L., 2008. Principal component analysis of electricity use in office buildings. *Energy Build.* 40, 828–836. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.06.001>
- Lam, K., Zhao, J., B Ydstie, E., Wirick, J., Qi, M., Park, J., 2014. An energyplus whole building energy model calibration method for office buildings using occupant behavior data mining and empirical data, in: 2014 ASHRAE/IBPSA-USA Building Simulation Conference.
- Langner, M., Scherber, K., Endlicher, W.R., 2014. Indoor heat stress: An assessment of human bioclimate using the UTCI in different buildings in Berlin. *ERDE – J. Geogr. Soc. Berl.* 144, 260–273.
- Laskari, M., Karatasou, S., Santamouris, M., 2017. A methodology for the determination of indoor environmental quality in residential buildings through the monitoring of fundamental environmental parameters: A proposed Dwelling Environmental Quality Index. *Indoor Built Environ.* 26, 813–827. <https://doi.org/10.1177/1420326X16660175>
- Laskari, M., Karatasou, S., Santamouris, M., 2016. The design of an energy and water advice programme for low-income households. *Energy Build.* 110, 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.008>
- Li, N., Cui, H., Zhu, C., Zhang, X., Su, L., 2015. Grey preference analysis of indoor environmental factors using sub-indexes based on Weber/Fechner’s law and predicted mean vote. *Indoor Built Environ.* 1420326X15592940. <https://doi.org/10.1177/1420326X15592940>
- Liang, X., Hong, T., Shen, G.Q., 2016. Occupancy data analytics and prediction: A case study. *Build. Environ.* 102, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.027>
- Lindner, A.J.M., Park, S., Mitterhofer, M., 2017. Determination of requirements on occupant behavior models for the use in building performance simulations. *Build. Simul.* 10, 861–874. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0394-8>
- Lutzenhiser, L., 1992. A question of control: alternative patterns of room air-conditioner use. *Energy Build.* 18, 193–200. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90013-7)

- Marino, C., Nucara, A., Pietrafesa, M., 2012. Proposal of comfort classification indexes suitable for both single environments and whole buildings. *Build. Environ.* 57, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.012>
- Marshall, E., Steinberger, J.K., Dupont, V., Foxon, T.J., 2016. Combining energy efficiency measure approaches and occupancy patterns in building modelling in the UK residential context. *Energy Build.* 111, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.039>
- Matzarakis, A., Amelung, B., 2008. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans, in: *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health, Advances in Global Change Research*. Springer, Dordrecht, pp. 161–172. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6877-5_10
- Mavrogianni, A., Davies, M., Taylor, J., Chalabi, Z., Biddulph, P., Oikonomou, E., Das, P., Jones, B., 2014. The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments. *Build. Environ.* 78, 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.008>
- Moschandreas, D.J., Sofuoglu, S.C., 2004. The Indoor Environmental Index and Its Relationship with Symptoms of Office Building Occupants. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 54, 1440–1451. <https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470999>
- Motlagh, O., Foliente, G., Grozev, G., 2015. Knowledge-Mining the Australian Smart Grid Smart City Data: A Statistical-Neural Approach to Demand-Response Analysis, in: Geertman, S., Ferreira, Jr., Joseph, Goodspeed, R., Stillwell, J. (Eds.), *Planning Support Systems and Smart Cities, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer International Publishing, Cham, pp. 189–207. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18368-8_10
- Mui, K.W., Chan, W.T., 2005. A New Indoor Environmental Quality Equation for Air-Conditioned Buildings. *Archit. Sci. Rev.* 48, 41–46. <https://doi.org/10.3763/asre.2005.4806>
- Mullaly, C., 1998. Home energy use behaviour: a necessary component of successful local government home energy conservation (LGHEC) programs. *Energy Policy* 26, 1041–1052. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(98\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(98)00046-9)
- National Research Council, 2010. *Facilitating Climate Change Responses: A Report of Two Workshops on Knowledge from the Social and Behavioral Sciences*. National Academies Press.
- Ncube, M., Riffat, S., 2012. Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK – A preliminary study. *Build. Environ.* 53, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.003>
- Nicol, J.F., Wilson, M., 2011. A critique of European Standard EN 15251: strengths, weaknesses and lessons for future standards. *Build. Res. Inf.* 39, 183–193. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.556824>
- Ouyang, J., Hokao, K., 2009. Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China. *Energy Build.* 41, 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.003>
- Palmborg, C., 1986. Social habits and energy consumption in single-family homes. *Energy* 11, 643–650. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(86\)90144-1](https://doi.org/10.1016/0360-5442(86)90144-1)
- Pan, S., Wang, X., Wei, S., Xu, C., Zhang, X., Xie, J., Tindall, J., de Wilde, P., 2017. Energy Waste in Buildings Due to Occupant Behaviour. *Energy Procedia*, 8th International Conference on Applied Energy, ICAE2016, 8-11 October 2016, Beijing, China 105, 2233–2238. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.636>
- Pearson, K.F.R.S., 1901. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philos. Mag.* 2, 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>

- Peeters, L., Van der Veken, J., Hens, H., Helsen, L., D'haeseleer, W., 2008. Control of heating systems in residential buildings: Current practice. *Energy Build.* 40, 1446–1455. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.016>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C., 2008. A review on buildings energy consumption information. *Energy Build.* 40, 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Rahman, M.M., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., 2010. Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Appl. Energy* 87, 2994–3004. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.005>
- Rajabi, A., Eskandari, M., Jabbari Ghadi, M., Ghavidel, S., Li, L., Zhang, J., Siano, P., 2019. A pattern recognition methodology for analyzing residential customers load data and targeting demand response applications. *Energy Build.* 203, 109455. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109455>
- Ren, X., Yan, D., Hong, T., 2015. Data mining of space heating system performance in affordable housing. *Build. Environ.* 89, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.009>
- Roulet, C.-A., Flourentzou, F., Labben, H.H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E., Richalet, V., 2002. ORME: A multicriteria rating methodology for buildings. *Build. Environ., Retrofitting of Office Buildings: Papers from the Research Project Office* 37, 579–586. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00005-7)
- Royapoor, M., Roskilly, T., 2015. Building model calibration using energy and environmental data. *Energy Build.* 94, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.050>
- Schieweck, A., Uhde, E., Salthammer, T., Salthammer, L.C., Morawska, L., Mazaheri, M., Kumar, P., 2018. Smart homes and the control of indoor air quality. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 94, 705–718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.057>
- Schweiker, M., Shukuya, M., 2009. Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions. *Build. Environ.* 44, 2137–2149. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.004>
- Simone, M.D., Carpino, C., Mora, D., Gauthier, S., Aragon, V., Harputlugil, G.U., 2018. Reference procedures for obtaining occupancy profiles in residential buildings, IEA EBC Annex 66 – Subtask A Deliverable.
- Sofuoglu, S.C., Moschandreas, D.J., 2003. The link between symptoms of office building occupants and in-office air pollution: the Indoor Air Pollution Index. *Indoor Air* 13, 332–343. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2003.00192.x>
- Solow, A.R., 1994. Detecting Change in the Composition of a Multispecies Community. *Biometrics* 50, 556–565. <https://doi.org/10.2307/2533401>
- SPSS, 2002. The SPSS TwoStep Cluster Component - A scalable component enabling more efficient customer segmentation.
- Steg, L., 2005. Book Review. *J. Environ. Psychol.* 25, 120–123. <https://doi.org/doi:10.1016/j.jenvp.2005.01.003>
- Ueno, T., Sano, F., Saeki, O., Tsuji, K., 2006. Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data. *Appl. Energy* 83, 166–183. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.02.002>
- University of Southampton (UoS), 2016. Scoping review of occupancy patterns, Technical Report Low Carbon Technologies and Household Energy. Department of Energy and Climate Change (DECC).
- USEIA, 2005. US Household Electricity Report 2005. US Energy Information Administration.
- Van Raaij, W.F., Verhallen, T.M.M., 1983. A behavioral model of residential energy use. *J. Econ. Psychol.* 3, 39–63. [https://doi.org/10.1016/0167-4870\(83\)90057-0](https://doi.org/10.1016/0167-4870(83)90057-0)

- VDI, 2008. Environmental meteorology. methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level part1: climate.
- Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F., Endlicher, W., 2015. The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. *Build. Environ.* 84, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.004>
- Wang, H.-F., Kuo, C.-Y., 2004. Factor analysis in data mining. *Comput. Math. Appl.* 48, 1765–1778. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2003.05.016>
- Wei, S., Jones, R., de Wilde, P., 2014. Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings. *Energy Build.* 70, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.001>
- Wilhite, H., Ling, R., 1995. Measured energy savings from a more informative energy bill. *Energy Build.* 22, 145–155. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(94\)00912-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(94)00912-4)
- Wilson, C., Dowlatabadi, H., 2007. Models of Decision Making and Residential Energy Use. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 32, 169–203. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.053006.141137>
- Wong, L.T., Mui, K.W., Hui, P.S., 2008. A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices. *Build. Environ.* 43, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.001>
- Xu, B., Fu, L., Di, H., 2009. Field investigation on consumer behavior and hydraulic performance of a district heating system in Tianjin, China. *Build. Environ.* 44, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.002>
- Yang, Z., Becerik-Gerber, B., 2016. How Does Building Occupancy Influence Energy Efficiency of HVAC Systems? *Energy Procedia, CUE 2015 - Applied Energy Symposium and Summit 2015: Low carbon cities and urban energy systems* 88, 775–780. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.111>
- Yohanis, Y.G., Mondol, J.D., Wright, A., Norton, B., 2008. Real-life energy use in the UK: How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy Build.* 40, 1053–1059. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.09.001>
- Yu, Z. (Jerry), Haghghat, F., Fung, B.C.M., Morofsky, E., Yoshino, H., 2011. A methodology for identifying and improving occupant behavior in residential buildings. *Energy* 36, 6596–6608. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.002>
- Βερύκιος, Β., Καγκλής, Β., Σταυρόπουλος, Η., 2015. Η επιστήμη των δεδομένων μέσα από τη γλώσσα R, Κεφάλαιο 5. Συσταδοποίηση.
- Παναγιώτου, Ν.Α., n.d. Έρευνα Αγοράς Μέρος 2ο - Έλεγχοι Συσχέτισης και Πολυμεταβλητή Στατιστική.
- Πετρίδης, Δ., 2015. Ανάλυση πολυμεταβλητών τεχνικών - Εφαρμογές περιπτώσεων.
- Σιάρδος, Γ.Κ., 2015. Μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης, με την επίλυση ασκήσεων μέσω του προγράμματος SPSS. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Παράρτημα Ι – Αποτελέσματα επαλήθευσης δεδομένων

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα της δοκιμής του μετρητικού συστήματος στις 26 κατοικίες που μελετήθηκαν σε αυτή την ερευνητική εργασία. Τα αποτελέσματα αυτά είναι τα αποτελέσματα του τελικού ελέγχου, που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, με βάση τα οποία το σύστημα καταγραφής δεδομένων κρίθηκε έτοιμο να συμπεριληφθεί στην πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 62 Αποτελέσματα της δοκιμής τους συστήματος καταγραφής δεδομένων στις υπό μελέτη κατοικίες

Μετρούμενη παράμετρος	Κατοικία	Διάστημα ελέγχου	Μέγιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Ελάχιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Μέση ημερήσια μέση*/ συνολική**
Electricity (kWh)	ITA_D2	17/05-31/05/13	3,1	1,5	2,11
Gas (m3)	ITA_D2	15/05-29/05/13	0,34	0,04	0,15
Cold Water (m3)	ITA_D2	15/05-29/05/13	0,12	0,03	0,07
Temperature (oC)	ITA_D2	15/05-29/05/13	20,96	18,77	19,9
RH (%)	ITA_D2	15/05-29/05/13	57,28	44,95	51,77
CO2 (ppm)	ITA_D2	15/05-29/05/13	753,41	626,05	701,69
Electricity (kWh)	ITA_D3	13/04-27/04/13	8,5	5	6,86
Gas (m3)	ITA_D3	13/04-27/04/13	3,19	0,3	1,13
Cold Water (m3)	ITA_D3	13/04-27/04/13	0,37	0,16	0,26
Temperature (oC)	ITA_D3	13/04-27/04/13	22,86	21,51	22,04
RH (%)	ITA_D3	13/04-27/04/13	52,62	40,78	47,06
CO2 (ppm)	ITA_D3	13/04-27/04/13	1121,38	691,25	889,42
Electricity (kWh)	ITA_D4	06/05-20/05/13	12,3	6,4	8,26
Gas (m3)	ITA_D4	06/05-20/05/13	1,25	0,33	0,69
Cold Water (m3)	ITA_D4	06/05-20/05/13	0,63	0,18	0,31
Temperature (oC)	ITA_D4	06/05-20/05/13	23,49	22,31	22,98
RH (%)	ITA_D4	06/05-20/05/13	53,76	42,72	49,79
CO2 (ppm)	ITA_D4	06/05-20/05/13	826,9	622	725,83
Electricity (kWh)	ITA_D5	04/04-18/04/13	6,2	3,1	4,42
Gas (m3)	ITA_D5	04/04-18/04/13	2,38	0,17	0,97
Cold Water (m3)	ITA_D5	04/04-18/04/13	0,59	0,08	0,23
Temperature (oC)	ITA_D5	04/04-18/04/13	22,93	18,8	19,92
RH (%)	ITA_D5	04/04-18/04/13	57,58	49,54	53,8
CO2 (ppm)	ITA_D5	04/04-18/04/13	1315,05	822,52	1076
Electricity (kWh)	ITA_D6	18/04-02/05/13	12,2	6,9	8,78
Gas (m3)	ITA_D6	18/04-02/05/13	0,84	0,17	0,44
Cold Water (m3)	ITA_D6	18/04-02/05/13	0,4	0,13	0,22
Temperature (oC)	ITA_D6	18/04-02/05/13	23,23	20,14	21,55
RH (%)	ITA_D6	18/04-02/05/13	57,38	42,68	49,43
CO2 (ppm)	ITA_D6	18/04-02/05/13	680,36	553,4	606,67
Electricity (kWh)	ITA_D7	16/06-30/06/13	7,2	1,8	4,29
Gas (m3)	ITA_D7	16/06-30/06/13	1,16	0,24	0,63
Cold Water (m3)	ITA_D7	27/08-10/09/13	0,5	0,25	0,39

Μετρούμενη παράμετρος	Κατοικία	Διάστημα ελέγχου	Μέγιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Ελάχιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Μέση ημερήσια μέση*/ συνολική**
Temperature (oC)	ITA_D7	16/06-30/06/13	29,66	24,3	26,59
RH (%)	ITA_D7	16/06-30/06/13	49,09	36,44	41,51
CO2 (ppm)	ITA_D7	16/06-30/06/13	613,71	526,5	565,81
Electricity (kWh)	ITA_D8	30/05-13/06/13	10,9	4	5,69
Gas (m3)	ITA_D8	30/05-13/06/13	1,52	0	0,25
Cold Water (m3)	ITA_D8	30/05-13/06/13	0,6	0	0,11
Temperature (oC)	ITA_D8	30/05-13/06/13	23,73	20,92	22,11
RH (%)	ITA_D8	30/05-13/06/13	56,44	50,35	53,89
CO2 (ppm)	ITA_D8	30/05-13/06/13	869,94	467,39	642,38
Electricity (kWh)	ITA_D9	17/04-01/05/13	9,8	4,9	6,63
Gas (m3)	ITA_D9	17/04-01/05/13	0,9	0,37	0,64
Cold Water (m3)	ITA_D9	17/04-01/05/13	0,46	0,14	0,32
Temperature (oC)	ITA_D9	17/04-01/05/13	24,29	21,13	22,48
RH (%)	ITA_D9	17/04-01/05/13	56,48	45,4	50,83
CO2 (ppm)	ITA_D9	17/04-01/05/13	1061,07	729,15	854,91
Electricity (kWh)	ITA_D10	11/10-25/10/13	4,9	1,7	3,69
Gas (m3)	ITA_D10	06/04-20/04/13	2,11	0,29	0,9
Cold Water (m3)	ITA_D10	06/04-20/04/13	0,57	0,22	0,38
Temperature (oC)	ITA_D10	11/10-25/10/13	23,13	20,11	21,85
RH (%)	ITA_D10	11/10-25/10/13	75,9	59,09	69,32
CO2 (ppm)	ITA_D10	11/10-25/10/13	1894,35	1028,78	1444,75
Electricity (kWh)	ITA_D11	07/05-21/05/13	10	3	5,35
Gas (m3)	ITA_D11	19/05-02/06/13	1,54	0,08	0,6
Cold Water (m3)	ITA_D11	19/05-02/06/13	0,67	0,08	0,31
Temperature (oC)	ITA_D11	07/05-21/05/13	22,93	21,92	22,48
RH (%)	ITA_D11	07/05-21/05/13	56,31	49,42	52,75
CO2 (ppm)	ITA_D11	07/05-21/05/13	1042,9	492,07	869,16
Electricity (kWh)	ITA_D13	23/04-07/05/13	6,6	3,7	5,05
Gas (m3)	ITA_D13	23/04-07/05/13	0,44	0,07	0,25
Cold Water (m3)	ITA_D13	23/04-07/05/13	0,26	0,06	0,13
Temperature (oC)	ITA_D13	23/04-07/05/13	24,26	20,63	22,98
RH (%)	ITA_D13	23/04-07/05/13	55,99	44,29	50,78
CO2 (ppm)	ITA_D13	23/04-07/05/13	967,26	635,31	794,68
Electricity (kWh)	ITA_D14	11/04-25/04/13	6,4	2,8	4,45
Gas (m3)	ITA_D14	11/04-25/04/13	1,14	0,12	0,46
Cold Water (m3)	ITA_D14	11/04-25/04/13	0,38	0,08	0,19
Temperature (oC)	ITA_D14	11/04-25/04/13	26,9	23,11	25
RH (%)	ITA_D14	11/04-25/04/13	42,41	32,13	36,69
CO2 (ppm)	ITA_D14	11/04-25/04/13	838,63	573,02	707,08
Electricity (kWh)	ITA_D16	17/05-31/05/13	18,2	9,9	12,83
Gas (m3)	ITA_D16	15/05-29/05/13	2,43	0,84	1,48
Cold Water (m3)	ITA_D16	15/05-29/05/13	0,83	0,41	0,62

Μετρούμενη παράμετρος	Κατοικία	Διάστημα ελέγχου	Μέγιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Ελάχιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Μέση ημερήσια μέση*/ συνολική**
Temperature (oC)	ITA_D16	15/05-29/05/13	23,32	21,64	22,5
RH (%)	ITA_D16	15/05-29/05/13	54,66	44,61	49,74
CO2 (ppm)	ITA_D16	15/05-29/05/13	1317,15	814,57	1117,16
Electricity (kWh)	ITA_D17	09/05-23/05/13	8,1	2,5	5,2
Gas (m3)	ITA_D17	09/05-23/05/13	0,8	0,21	0,41
Cold Water (m3)	ITA_D17	09/05-23/05/13	0,46	0,11	0,26
Temperature (oC)	ITA_D17	09/05-23/05/13	23,26	21,76	22,58
RH (%)	ITA_D17	09/05-23/05/13	55,56	44,61	49,94
CO2 (ppm)	ITA_D17	09/05-23/05/13	859,28	699,7	781,1
Electricity (kWh)	ITA_D18	27/04-11/05/13	8,9	3,7	5,81
Gas (m3)	ITA_D18	27/04-11/05/13	1,22	0,2	0,75
Cold Water (m3)	ITA_D18	27/04-11/05/13	0,56	0,1	0,34
Temperature (oC)	ITA_D18	27/04-11/05/13	24,14	22,01	23,38
RH (%)	ITA_D18	27/04-11/05/13	60,46	50,75	56,74
CO2 (ppm)	ITA_D18	27/04-11/05/13	1191,75	806,61	1005,86
Electricity (kWh)	ITA_D19	02/11-16/11/13	15,4	7,5	11,24
Gas (m3)	ITA_D19	02/11-16/11/13	1,63	0,38	0,78
Cold Water (m3)	ITA_D19	02/11-16/11/13	0,43	0,15	0,26
Temperature (oC)	ITA_D19	02/11-16/11/13	22,59	20,34	21,35
RH (%)	ITA_D19	02/11-16/11/13	65,58	51,01	58,81
CO2 (ppm)	ITA_D19	02/11-16/11/13	1313,84	840,82	1042,61
Electricity (kWh)	ITA_D20	11/10-25/10/13	9,5	3,7	6,25
Gas (m3)	ITA_D20	11/10-25/10/13	1,31	0,11	0,62
Cold Water (m3)	ITA_D20	11/10-25/10/13	0,55	0,17	0,35
Temperature (oC)	ITA_D20	11/10-25/10/13	22,9	21,21	22,11
RH (%)	ITA_D20	11/10-25/10/13	70,48	52,69	62,88
CO2 (ppm)	ITA_D20	11/10-25/10/13	1230,15	845,5	1037,18
Electricity (kWh)	ITA_D21	17/04-01/05/13	12,2	5,6	8,81
Gas (m3)	ITA_D21	28/04-12/05/13	1,2	0,4	0,78
Cold Water (m3)	ITA_D21	28/04-12/05/13	0,68	0,16	0,42
Temperature (oC)	ITA_D21	17/04-01/05/13	23,37	21,31	22,1
RH (%)	ITA_D21	17/04-01/05/13	56,4	43,38	48,41
CO2 (ppm)	ITA_D21	17/04-01/05/13	691,48	462,17	612,87
Electricity (kWh)	ITA_D22	27/05-10/06/13	8,5	1,1	5,23
Gas (m3)	ITA_D22	05/06-19/06/13	1,57	0	0,49
Cold Water (m3)	ITA_D22	27/05-10/06/13	0,47	0,02	0,3
Temperature (oC)	ITA_D22	27/05-10/06/13	23,23	20,27	21,7
RH (%)	ITA_D22	27/05-10/06/13	61,58	52,42	55,3
CO2 (ppm)	ITA_D22	27/05-10/06/13	1647,01	489,73	986,17
Electricity (kWh)	ITA_D23	17/05-31/05/13	9,4	4,9	6,51
Gas (m3)	ITA_D23	17/05-31/05/13	1,77	0,37	0,88
Cold Water (m3)	ITA_D23	14/05-28/05/13	1	0,23	0,46

Μετρούμενη παράμετρος	Κατοικία	Διάστημα ελέγχου	Μέγιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Ελάχιστη ημερήσια μέση*/ συνολική**	Μέση ημερήσια μέση*/ συνολική**
Temperature (oC)	ITA_D23	14/05-28/05/13	22,72	21,1	21,99
RH (%)	ITA_D23	14/05-28/05/13	55,32	42,23	48,36
CO2 (ppm)	ITA_D23	14/05-28/05/13	1213,03	593,88	783,01
Electricity (kWh)	ITA_D24	07/05-21/05/13	9,1	5,1	7,27
Gas (m3)	ITA_D24	07/05-21/05/13	1,27	0,38	0,75
Cold Water (m3)	ITA_D24	07/05-21/05/13	0,53	0,24	0,39
Temperature (oC)	ITA_D24	07/05-21/05/13	22,86	21,37	22,15
RH (%)	ITA_D24	07/05-21/05/13	56,33	46,6	52,03
CO2 (ppm)	ITA_D24	07/05-21/05/13	847,29	725,22	790,3
Electricity (kWh)	ITA_D25	17/05-31/05/13	4,7	2	3,08
Gas (m3)	ITA_D25	15/05-29/05/13	2,33	0,07	0,58
Cold Water (m3)	ITA_D25	15/05-29/05/13	0,29	0,09	0,18
Temperature (oC)	ITA_D25	15/05-29/05/13	22,62	20,41	21,72
RH (%)	ITA_D25	15/05-29/05/13	55,52	45,31	50,44
CO2 (ppm)	ITA_D25	15/05-29/05/13	1274,45	604,18	822,87
Electricity (kWh)	ITA_D26	08/05-22/05/13	4,2	1,5	2,65
Gas (m3)	ITA_D26	08/05-22/05/13	0,6	0,25	0,42
Cold Water (m3)	ITA_D26	08/05-22/05/13	0,21	0,09	0,16
Temperature (oC)	ITA_D26	08/05-22/05/13	22,27	20,51	21,55
RH (%)	ITA_D26	08/05-22/05/13	59,46	48,26	53,88
CO2 (ppm)	ITA_D26	08/05-22/05/13	827,09	580,92	662,07
Electricity (kWh)	ITA_D27	07/05-21/05/13	8,8	4,6	6,11
Gas (m3)	ITA_D27	07/05-21/05/13	1,05	0,12	0,49
Cold Water (m3)	ITA_D27	07/05-21/05/13	0,51	0,12	0,25
Temperature (oC)	ITA_D27	07/05-21/05/13	23,69	22,43	23,36
RH (%)	ITA_D27	07/05-21/05/13	56,95	47,63	53,41
CO2 (ppm)	ITA_D27	07/05-21/05/13	1201,27	827,72	1029,44
Electricity (kWh)	ITA_D28	03/11-17/11/13	8,8	2,7	4,88
Gas (m3)	ITA_D28	03/11-17/11/13	7,06	0,01	3,63
Cold Water (m3)	ITA_D28	03/11-17/11/13	0,45	0,06	0,16
Temperature (oC)	ITA_D28	03/11-17/11/13	24,45	22,27	23,34
RH (%)	ITA_D28	03/11-17/11/13	59,31	49,1	54,12
CO2 (ppm)	ITA_D28	03/11-17/11/13	1743,71	798,75	1205,66
Electricity (kWh)	ITA_D30	25/05-08/06/13	6,8	4,1	5,78
Gas (m3)	ITA_D30	25/05-08/06/13	0,46	0,17	0,28
Cold Water (m3)	ITA_D30	25/05-08/06/13	0,24	0,15	0,19
Temperature (oC)	ITA_D30	25/05-08/06/13	23,77	20,4	21,4
RH (%)	ITA_D30	25/05-08/06/13	57,39	42,97	49,16
CO2 (ppm)	ITA_D30	25/05-08/06/13	950,08	565,94	752,99

*μέση τιμή για T, RH και CO2

**σύνολικο άθροισμα για ενέργεια και νερό

Παράρτημα II – Αναλυτικοί πίνακες συνδιακύμανσης Κύριων Συνιστωσών

Φυσικό αέριο για θέρμανση

Πίνακας 63 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0,01	-0,02	0,01
4	0	0	0	0	0
5	-0,01	0	0	0,01	-0,05
6	0,28	-0,53	-0,05	0,29	-0,54
7	0,35	0,26	-0,5	-0,39	-0,49
8	0,15	0,48	-0,1	-0,15	-0,07
9	0,01	0,17	0,02	0	0,02
10	0	0,01	-0,01	-0,03	0
11	0	0	0	0	-0,01
12	-0,01	0,07	0	0	0,05
13	0	0,03	0,02	-0,05	0,02
14	0,03	0,06	0,02	0	0,07
15	0,01	0,02	0	0,04	0,03
16	0,11	0,07	0,02	-0,07	0,21
17	0,2	0,19	0,22	-0,23	0,21
18	0,09	0,19	0,81	-0,09	-0,45
19	0,84	-0,09	0,11	0,14	0,34
20	0,05	0,41	-0,12	0,76	-0,02
21	-0,08	0,35	0,02	0,27	-0,2
22	0	-0,01	-0,01	0	-0,04
23	0	0	-0,01	0,01	-0,01
24	0,01	0,01	0	-0,01	0,01
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,84	0,53	0,81	0,76	0,54

Πίνακας 64 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης		
	PC1	PC2	PC3
1	0	0	0

2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	-0,02	0	0,21
6	0,64	0,31	-0,16
7	0,35	0,03	-0,16
8	0,11	-0,01	0,01
9	0	0,01	0
10	-0,01	0,01	0,02
11	0,07	0,04	0,91
12	-0,01	0,04	0,2
13	-0,05	0,04	0,01
14	-0,03	0,01	0,01
15	-0,01	0	0,01
16	-0,01	0,01	0,01
17	0,03	-0,01	-0,04
18	0,49	-0,26	0,12
19	0,12	-0,03	-0,01
20	0,05	0,78	0,07
21	0,02	0,37	0,02
22	-0,03	0,08	0,03
23	0,41	-0,27	0,11
24	0,12	-0,07	-0,03
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,64	0,78	0,91

Πίνακας 65 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0,07	0	-0,14	-0,01	0,06	0,34	0,04
7	0,95	-0,03	0,05	-0,05	-0,05	0,14	0,03
8	-0,03	0,92	0,05	-0,08	0,27	0,06	0,05
9	0,02	0,07	-0,02	0,98	-0,08	0,03	0,01
10	-0,01	0	0	-0,01	0	0,01	0,07

11	0,02	0,05	0,02	0	-0,02	-0,05	0,19
12	0,04	-0,01	0,08	-0,01	0,08	0,02	-0,09
13	0,13	-0,02	-0,1	0,02	0	-0,04	-0,04
14	0,02	0,03	-0,96	-0,02	0,01	0,01	0,03
15	-0,01	0,03	0,07	0,05	0,08	0,38	0,08
16	0,04	0,03	0,01	-0,04	-0,04	0,13	-0,06
17	0,18	0,27	-0,02	0,06	-0,33	-0,16	-0,42
18	0,07	0,04	0,03	0,02	-0,12	-0,08	0,85
19	0,13	-0,14	-0,03	0,12	0,86	-0,02	-0,04
20	0	0,02	-0,06	-0,03	-0,03	0,06	-0,04
21	0,07	0,08	0,01	0,02	-0,02	0,01	-0,11
22	0,09	0,19	-0,12	-0,01	-0,1	-0,3	0,14
23	-0,11	0,04	-0,03	-0,02	-0,18	0,76	0,01
24	0	0	0	-0,02	0	0,01	0,01
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,95	0,92	0,96	0,98	0,86	0,76	0,85

Πίνακας 66 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
1	0,01	0	0,01	0,01	0	-0,02	-0,01	-0,02
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-0,02	-0,01	0,08	0,84	0,08	0,1	-0,02	-0,09
8	-0,09	0,96	-0,01	-0,01	-0,04	0,01	-0,03	-0,02
9	-0,07	-0,01	0,03	-0,31	0,16	0,19	0,06	-0,12
10	-0,01	-0,12	-0,16	-0,23	0,02	0,23	0,4	-0,09
11	0,04	0,05	0,05	0,08	-0,07	-0,06	0,83	0,02
12	-0,03	0,17	0,03	-0,12	0,12	0,08	0,22	0,09
13	0,01	0,03	0,08	-0,02	0,75	0,01	-0,04	0,12
14	0,1	-0,05	-0,13	0,04	0,51	-0,06	0,01	-0,18
15	-0,08	0	-0,06	-0,06	0,11	0,21	0,05	-0,14
16	0,03	0,09	-0,06	-0,01	0,22	0,03	-0,02	-0,33
17	-0,04	-0,02	0,03	0,01	-0,11	-0,03	0,02	-0,86
18	-0,05	-0,02	0,96	-0,1	0,05	-0,02	0,04	-0,04
19	0,94	0,08	0,03	-0,01	0	-0,06	0,04	0

20	0,21	0,02	0,07	-0,17	-0,12	0,63	-0,27	-0,06
21	0,03	0,03	0,03	0,27	0,01	0,57	0,16	0,06
22	-0,15	-0,06	-0,03	0,01	0,04	0,34	0,02	0,15
23	-0,11	0,06	-0,1	-0,06	0,14	-0,05	0	0
24	0,01	0,06	0	0,03	0,05	0,03	0,03	-0,03
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,94	0,96	0,96	0,84	0,75	0,63	0,83	0,86

Πίνακας 67 Φυσικό αέριο για θέρμανση – Κατοικία D28

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης			
	PC1	PC2	PC3	PC4
1	0,33	-0,03	0	-0,01
2	0,38	0,01	-0,1	-0,03
3	0,2	-0,07	0,12	0,08
4	0,43	0,06	-0,16	-0,04
5	0,23	-0,1	0,09	0,06
6	0,31	0,05	-0,04	0,02
7	0,29	-0,03	0,09	-0,04
8	0,26	-0,01	0,05	0,08
9	0,19	-0,14	0,3	0,06
10	0,15	0,07	-0,06	0,11
11	0,06	-0,18	0,21	0,23
12	0,28	0,03	0,06	0
13	-0,06	0,04	0,45	0,11
14	0,01	0,12	0,72	-0,16
15	-0,1	0,58	0,03	0,09
16	0,12	0,62	0,11	-0,15
17	0,02	0,39	-0,17	0,27
18	-0,16	0	0,05	0,48
19	-0,02	0,06	0,08	0,29
20	0,08	0,1	-0,11	0,29
21	-0,04	-0,08	0,05	0,39
22	0,06	0,02	-0,02	0,28
23	0,03	-0,07	0,07	0,3
24	0,13	0,03	-0,04	0,23
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,43	0,62	0,72	0,48

Ηλεκτρική ενέργεια

Πίνακας 68 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	0	-0,03	0,01	0	0,02
2	-0,01	-0,01	0,05	-0,03	0,02
3	-0,01	-0,02	0,02	0	0
4	0	0	0,04	-0,01	0,03
5	0	0,01	0,02	-0,03	0
6	0	0,06	0	-0,01	-0,03
7	0,01	0,01	-0,03	0,1	-0,07
8	0,03	-0,06	-0,01	0,01	0,15
9	-0,03	-0,11	0,03	0,01	0,5
10	0	-0,04	0,02	-0,03	0,35
11	0	-0,07	0,03	0,02	0,42
12	-0,02	-0,01	0,02	0	0,32
13	0,03	-0,02	0	0,02	0,18
14	-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,28
15	-0,02	0	0,02	-0,02	0,18
16	-0,01	0	0,03	-0,01	0,34
17	0,02	0,1	-0,01	-0,02	0,17
18	0,01	0,98	-0,03	0,01	0,11
19	0,99	-0,01	-0,08	-0,02	0,02
20	-0,08	-0,04	-0,98	-0,04	0,06
21	0	0,04	-0,1	0,77	-0,03
22	0,03	-0,04	0,06	0,58	0,04
23	-0,01	-0,04	0,03	0,22	0,05
24	0	-0,03	0,02	0,04	0,09
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,99	0,98	0,98	0,77	0,5

Πίνακας 69 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
1	-0,04	-0,02	-0,05	-0,04	-0,02	0,16	-0,13
2	-0,01	-0,02	0	-0,01	0,02	0,14	0

3	-0,01	0,03	0	-0,03	-0,01	0,06	0
4	-0,02	-0,01	0	-0,05	-0,01	0,1	0
5	0	0,01	-0,01	-0,01	0	0,03	0
6	-0,01	-0,03	-0,03	0	0,01	0,01	-0,02
7	0	-0,05	0	0,05	0	0,04	0,06
8	-0,03	0	0,03	0,02	-0,07	0,01	-0,01
9	0,02	-0,01	-0,04	0,03	0,01	0,18	-0,06
10	-0,01	0	0,02	-0,02	-0,01	0,14	0
11	-0,05	0,06	0,2	-0,36	0,01	-0,02	0,17
12	0,03	0,06	-0,06	-0,68	0,07	-0,03	-0,08
13	0,01	-0,08	-0,05	-0,53	0,02	0,16	-0,03
14	0,01	0	0,02	-0,2	0	0,12	-0,02
15	-0,04	-0,02	-0,01	-0,16	-0,04	0,16	-0,02
16	0,02	0,01	-0,02	-0,09	-0,01	0,23	-0,03
17	0,02	-0,03	-0,04	-0,01	-0,03	0,36	-0,05
18	0,02	-0,06	0,14	0,18	0,02	0,79	0,16
19	-0,03	0,98	-0,02	0,04	0	0,09	-0,06
20	0,08	0,01	-0,08	-0,05	-0,99	0	0,04
21	0,99	0,03	0,02	0,01	0,07	-0,01	-0,02
22	0,01	0,03	0,94	-0,04	-0,07	-0,07	0,02
23	-0,05	-0,08	0,16	0,07	-0,05	0,02	-0,84
24	0,05	0,03	-0,1	-0,03	0	0,08	-0,45
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,99	0,98	0,94	0,68	0,99	0,79	0,84

Πίνακας 70 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
1	0,04	0,03	0,01	-0,03	0,01	0,03	0,02	0,01
2	0	0,04	0,01	-0,03	0	0	0,03	0,01
3	0,01	0,01	-0,05	-0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
4	0	0,03	-0,03	0,01	0	0	0	0
5	0	0	-0,01	0	0,02	-0,01	0,03	-0,01
6	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	0,04	-0,01	0,01	-0,03
7	0,05	-0,06	-0,03	-0,04	0,08	0	0,3	-0,02
8	-0,05	0,09	0,06	0,04	-0,07	0,06	0,93	0
9	0,03	0,89	-0,1	0,03	-0,14	0,13	-0,07	-0,09
10	-0,01	0,33	0,01	0	0,04	-0,06	0	0,03
11	0,01	0,16	0	-0,01	0,1	-0,01	-0,01	0,03

12	0,01	0,13	-0,04	-0,01	0,21	-0,04	0	0,07
13	-0,02	0,08	-0,11	0,01	0,65	-0,04	-0,02	0
14	0,01	0,07	-0,07	-0,02	0,55	0,07	0,01	-0,02
15	0,01	-0,02	0,06	0,05	0,3	-0,05	0,07	-0,02
16	0,02	-0,01	0,04	-0,02	0,24	0,02	0,04	-0,03
17	0	-0,02	0,05	0	0,17	0,05	0,03	-0,01
18	0,05	0	0,31	0,01	0,11	-0,04	0,14	0,02
19	-0,01	0,1	0,92	-0,03	0,05	0,06	-0,11	-0,01
20	0,01	-0,1	-0,03	0	0,03	0,98	-0,04	0,01
21	-0,01	-0,02	0,02	0,99	0,01	0	-0,03	0,04
22	0,99	-0,02	0	0,01	-0,01	-0,01	0,02	-0,02
23	0,03	0,05	0	-0,04	0	0,01	0,01	0,96
24	-0,01	0,02	-0,01	0,01	-0,03	0,01	-0,02	0,23
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,99	0,89	0,92	0,99	0,65	0,98	0,93	0,96

Πίνακας 71 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
1	0,02	0,04	0,01	0	0	0,04	0,01	-0,02	0
2	0	0,01	-0,01	0	0,01	0,02	0,03	-0,01	0
3	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-0,02	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,02	-0,01	-0,01
5	0,01	0,01	-0,01	0,01	0	0	0	0	-0,01
6	0	-0,01	-0,01	0	-0,01	0	0	0	0,02
7	0,03	0	0	-0,01	0,02	0	0	0	0
8	0,02	-0,03	0,06	-0,02	0,02	-0,05	0	0,04	0,2
9	0,02	-0,01	0,02	0,15	-0,02	-0,01	-0,07	0,03	0,87
10	-0,04	0,1	-0,01	0,86	-0,09	0,05	0,08	-0,07	0,05
11	0,03	0,78	0,04	0,22	0,18	-0,12	0,03	0,12	-0,18
12	-0,67	0,42	-0,11	-0,31	-0,21	0,09	0,17	0,01	0,2
13	0,09	-0,1	0,11	-0,02	-0,09	-0,09	0,92	0,04	-0,04
14	0,05	-0,05	0	0,08	-0,88	-0,03	-0,03	0,01	-0,03
15	0,63	0,39	-0,05	-0,24	-0,28	0,06	-0,11	0	0,02
16	0,32	0,09	-0,15	-0,1	0,19	0,45	0,27	-0,06	0,26
17	0	0	-0,04	0,05	0,03	0,48	0,05	-0,02	-0,02
18	-0,16	-0,04	0,13	0,06	-0,11	0,72	-0,1	0,08	-0,19
19	0,02	0,06	0,95	-0,06	0,01	0,03	-0,02	0,02	0,05
20	-0,05	0,13	0,11	-0,08	-0,03	-0,01	-0,06	-0,79	0,07

Ενεργειακή διαχείριση και διασφάλιση κατάλληλων εσωτερικών συνθηκών σε κτίρια κατοικιών με επίκεντρο τον χρήστη - Μαρίνα-Θεώνη Λάσκαρη

21	0,02	-0,02	-0,05	0,04	0,03	0	0,1	-0,53	-0,1
22	0,02	-0,05	-0,04	0,09	0,01	0,03	0,01	-0,24	-0,07
23	0	-0,04	0,03	0,05	-0,02	-0,01	0	-0,04	-0,08
24	0,02	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,67	0,78	0,95	0,86	0,88	0,72	0,92	0,79	0,87

Πίνακας 72 Ηλεκτρική ενέργεια – Κατοικία D28

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	0,04	0,15	-0,03	0,03	-0,01
2	0,01	0,12	0	0,06	0
3	0,04	0,12	-0,07	0,07	0,02
4	0,04	0,14	-0,03	0,06	-0,04
5	0,02	0,12	-0,03	0,07	0,03
6	0,03	0,11	-0,04	0,08	0
7	0,04	0,12	-0,06	0,04	0,03
8	-0,01	0,03	0,01	0,1	-0,02
9	-0,04	0,01	0,05	0,44	-0,02
10	0	0,02	-0,04	0,75	0,01
11	0,04	0,17	-0,08	0,3	0,06
12	0,02	0,12	0,01	0,14	0,02
13	0	0,06	-0,01	-0,01	0,98
14	0,05	-0,04	0,98	0,08	0,02
15	0,77	-0,02	-0,04	-0,09	0,03
16	0,52	-0,01	0,04	-0,01	0,05
17	0,31	0,16	-0,01	0,05	-0,13
18	0,12	0,2	-0,05	0,1	-0,11
19	-0,04	0,17	0,03	0,02	0,04
20	-0,09	0,57	0,1	-0,18	-0,02
21	-0,08	0,54	0,08	-0,18	-0,02
22	0,01	0,22	0	0,05	0,01
23	0,03	0,22	0	0,06	-0,06
24	0,02	0,17	-0,04	0,06	0
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,77	0,57	0,98	0,75	0,98

Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα

Πίνακας 73 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D5

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης		
	PC1	PC2	PC3
1	0,35	-0,01	-0,04
2	0,35	0	-0,04
3	0,35	0	-0,04
4	0,35	0	-0,03
5	0,35	0,01	-0,02
6	0,35	0,01	-0,02
7	0,35	0,02	-0,01
8	0,29	-0,02	0,15
9	0,18	-0,05	0,31
10	0,1	-0,04	0,37
11	0,04	-0,01	0,38
12	0	0	0,37
13	-0,04	0	0,37
14	-0,06	0,01	0,32
15	-0,06	0,01	0,28
16	-0,05	0,01	0,25
17	-0,04	0,02	0,22
18	-0,03	0,1	0,15
19	-0,03	0,29	0,06
20	-0,04	0,46	0,04
21	0	0,46	0,01
22	0,01	0,43	-0,01
23	0,03	0,4	-0,03
24	0,06	0,37	-0,04
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,35	0,46	0,38

Πίνακας 74 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D10

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης		
	PC1	PC2	PC3
1	-0,05	-0,32	0,02
2	-0,03	-0,32	0,02
3	-0,02	-0,32	0,03
4	-0,01	-0,32	0,03
5	-0,01	-0,31	0,03

6	-0,01	-0,31	0,02
7	0	-0,31	0,02
8	0,04	-0,33	-0,02
9	0,04	-0,29	-0,09
10	0,05	-0,24	-0,17
11	0,05	-0,15	-0,25
12	0,06	-0,06	-0,34
13	0,04	-0,02	-0,38
14	0,04	0	-0,38
15	0,02	0,01	-0,36
16	-0,02	0,03	-0,33
17	-0,06	0,05	-0,3
18	-0,13	0,08	-0,29
19	-0,22	0,1	-0,24
20	-0,34	0,07	-0,13
21	-0,46	0	0,01
22	-0,47	-0,03	0,05
23	-0,44	-0,05	0,04
24	-0,4	-0,07	0,05
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,47	0,33	0,38

Πίνακας 75 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D14

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης		
	PC1	PC2	PC3
1	0,31	0,03	0,01
2	0,34	0,02	0,01
3	0,36	0,01	0,02
4	0,37	0	0,01
5	0,38	0	0
6	0,39	0	0
7	0,37	-0,01	-0,05
8	0,22	-0,06	-0,19
9	0,1	-0,02	-0,23
10	0,05	0,01	-0,19
11	0,04	-0,03	-0,21
12	0,03	-0,05	-0,29
13	0	-0,01	-0,35
14	-0,02	-0,01	-0,39
15	-0,04	0	-0,39

16	-0,06	0,03	-0,37
17	-0,06	0,05	-0,32
18	-0,06	0,09	-0,23
19	-0,07	0,25	-0,11
20	-0,02	0,45	0
21	0,01	0,5	0,03
22	0,02	0,45	0,03
23	0,03	0,37	0,01
24	0,05	0,36	0,01
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,39	0,5	0,39

Πίνακας 76 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D17

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης		
	PC1	PC2	PC3
1	0,35	0,04	-0,02
2	0,36	0,01	-0,02
3	0,37	-0,01	-0,01
4	0,36	-0,01	-0,01
5	0,36	-0,01	0
6	0,36	0	-0,01
7	0,34	0	0,04
8	0,25	0,01	0,24
9	0,08	-0,01	0,51
10	-0,07	0,04	0,61
11	-0,06	0	0,5
12	0	-0,07	0,21
13	0,04	-0,08	0,03
14	0,04	-0,07	-0,01
15	0,03	-0,05	-0,03
16	0	0	-0,01
17	-0,05	0,1	0,03
18	-0,08	0,18	0,06
19	-0,07	0,32	0,02
20	-0,05	0,42	-0,01
21	-0,02	0,46	0
22	0,02	0,42	0
23	0,06	0,39	-0,03
24	0,11	0,34	-0,05

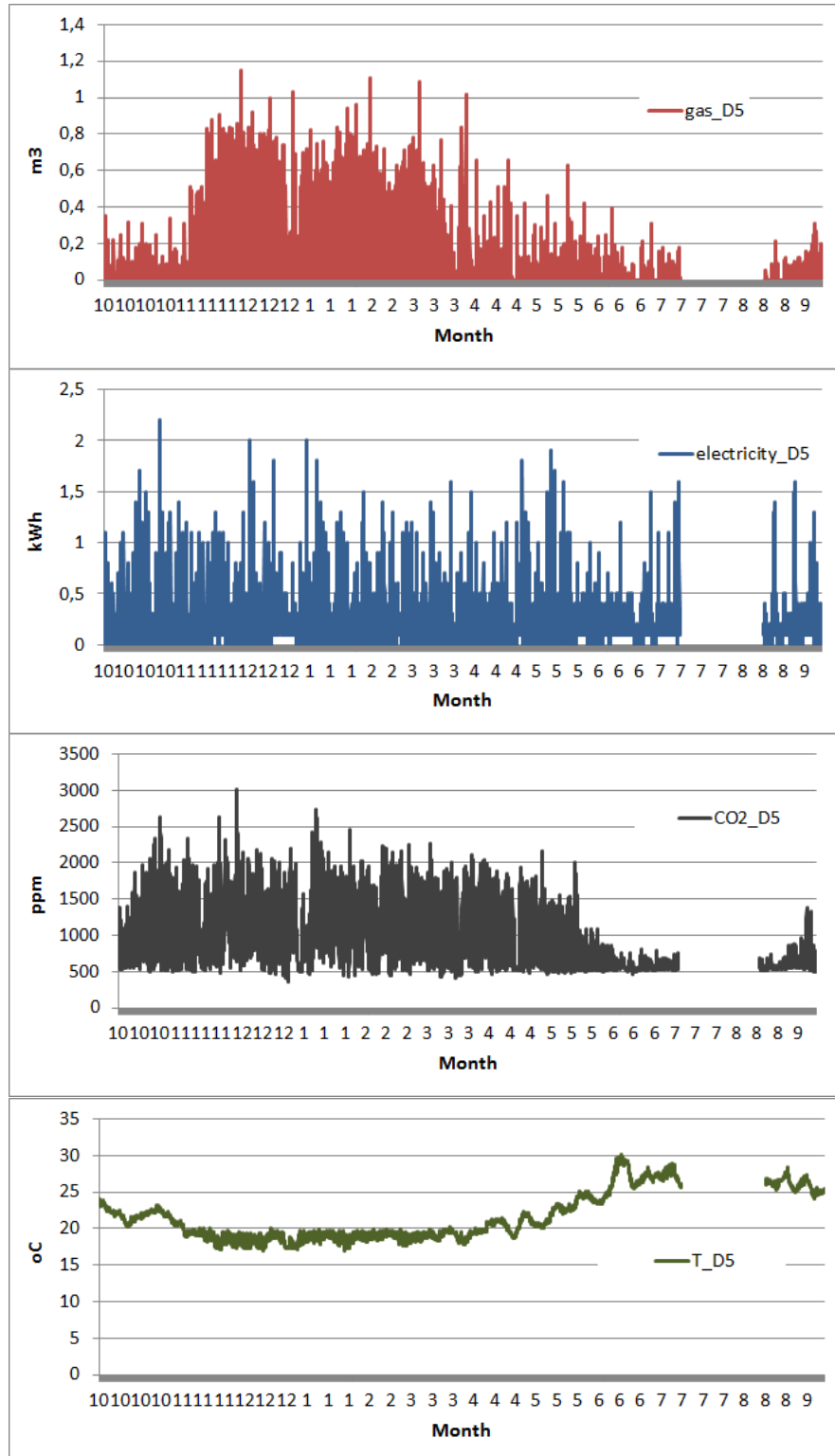
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,37	0,46	0,61
----------------------------------	------	------	------

Πίνακας 77 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα – Κατοικία D28

Ωρα της μέρας	Πίνακας συνδιακύμανσης	
	PC1	PC2
1	0,28	-0,02
2	0,28	-0,02
3	0,28	-0,02
4	0,29	-0,02
5	0,29	-0,02
6	0,29	-0,02
7	0,29	-0,02
8	0,3	-0,02
9	0,3	0
10	0,29	0,03
11	0,27	0,06
12	0,22	0,1
13	0,17	0,14
14	0,08	0,22
15	0	0,29
16	-0,03	0,32
17	-0,05	0,34
18	-0,05	0,35
19	-0,04	0,33
20	-0,02	0,32
21	0	0,29
22	0,02	0,27
23	0,03	0,25
24	0,05	0,24
μέγιστη απόλυτη τιμή συντελεστών	0,3	0,35

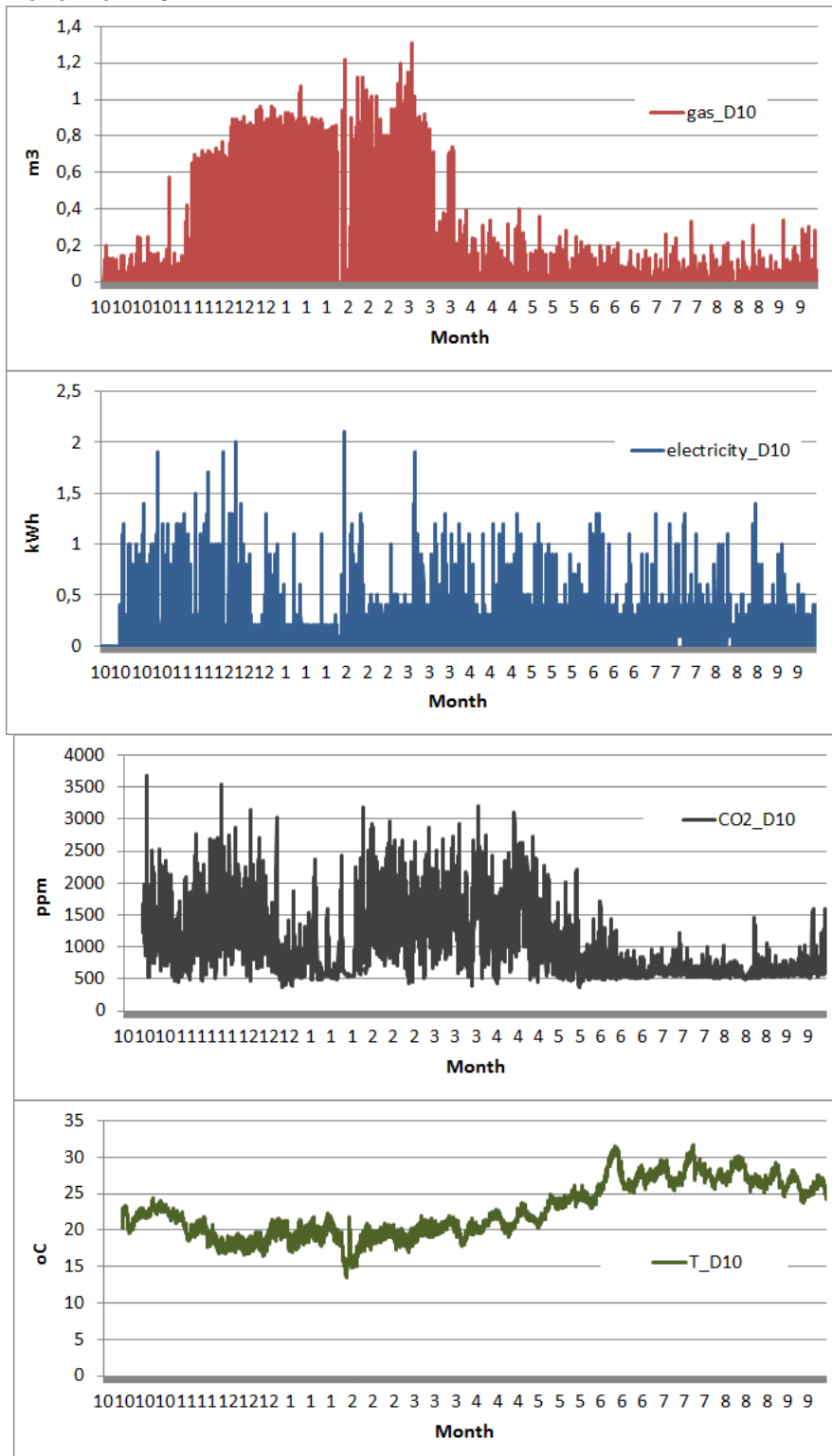
Παράρτημα III – Ετήσια μεταβολή μετρούμενων παραμέτρων

Κατοικία D5



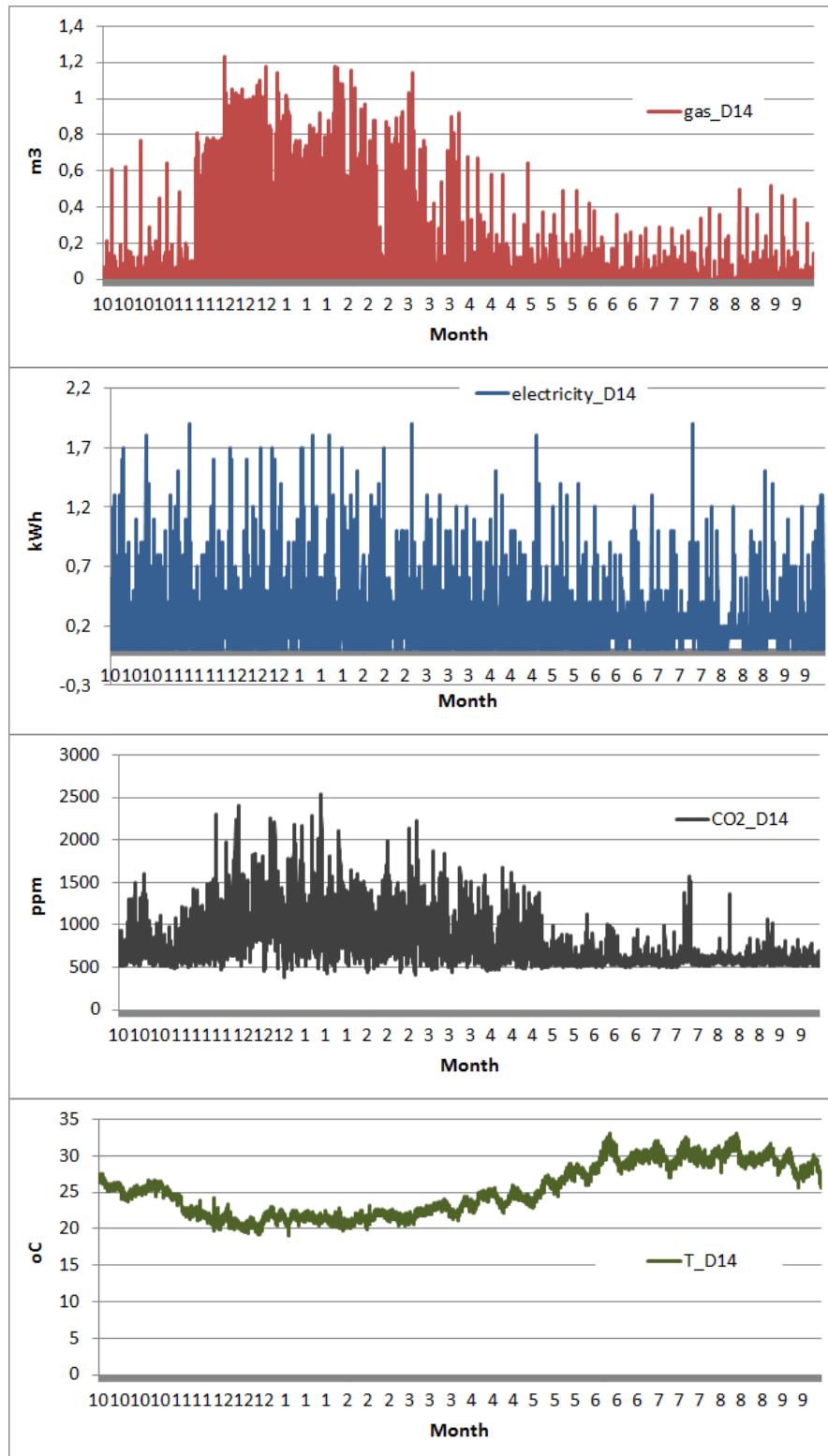
Σχήμα 46 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D5

Κατοικία D10



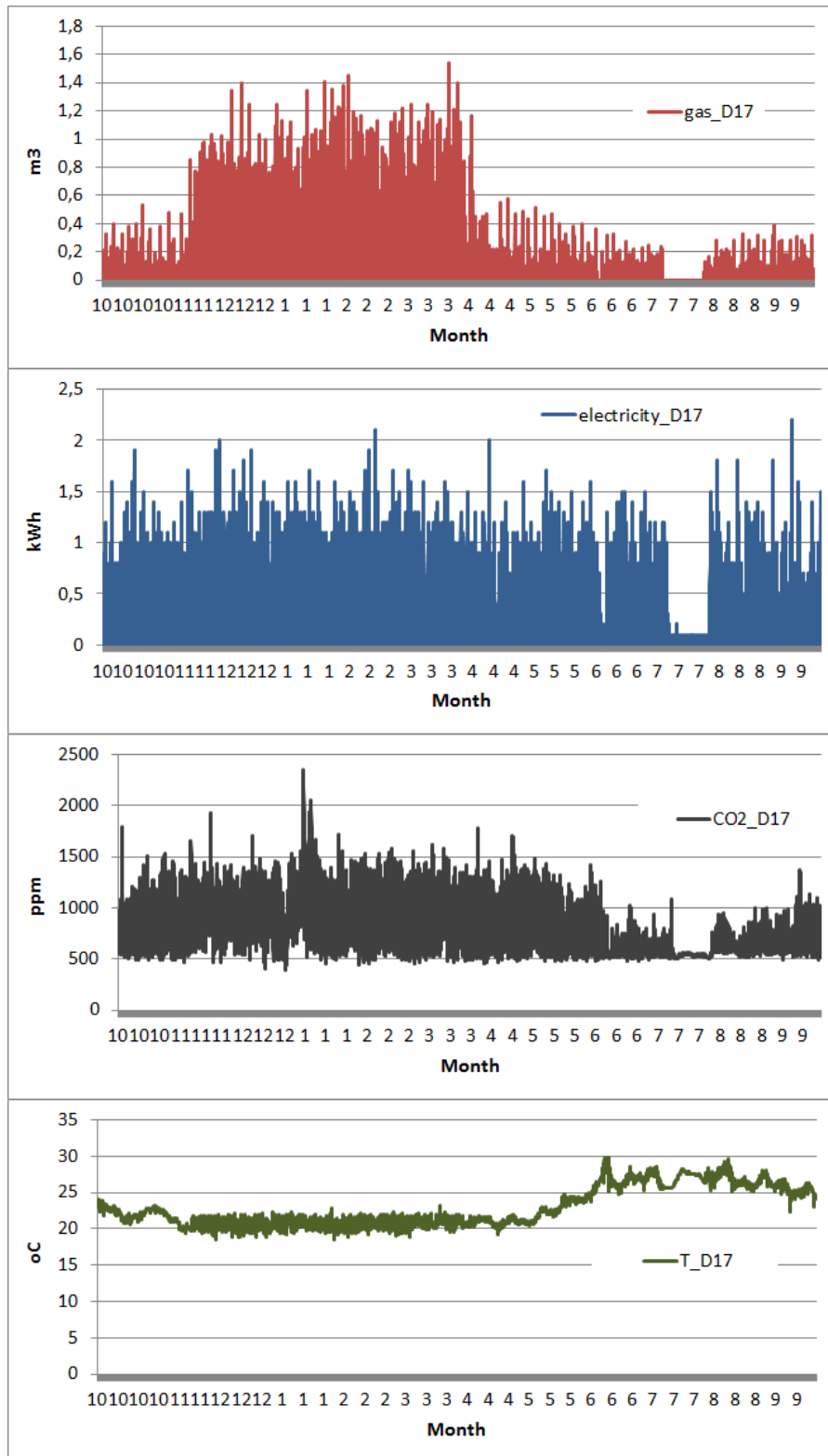
Σχήμα 47 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D10

Κατοικία D14



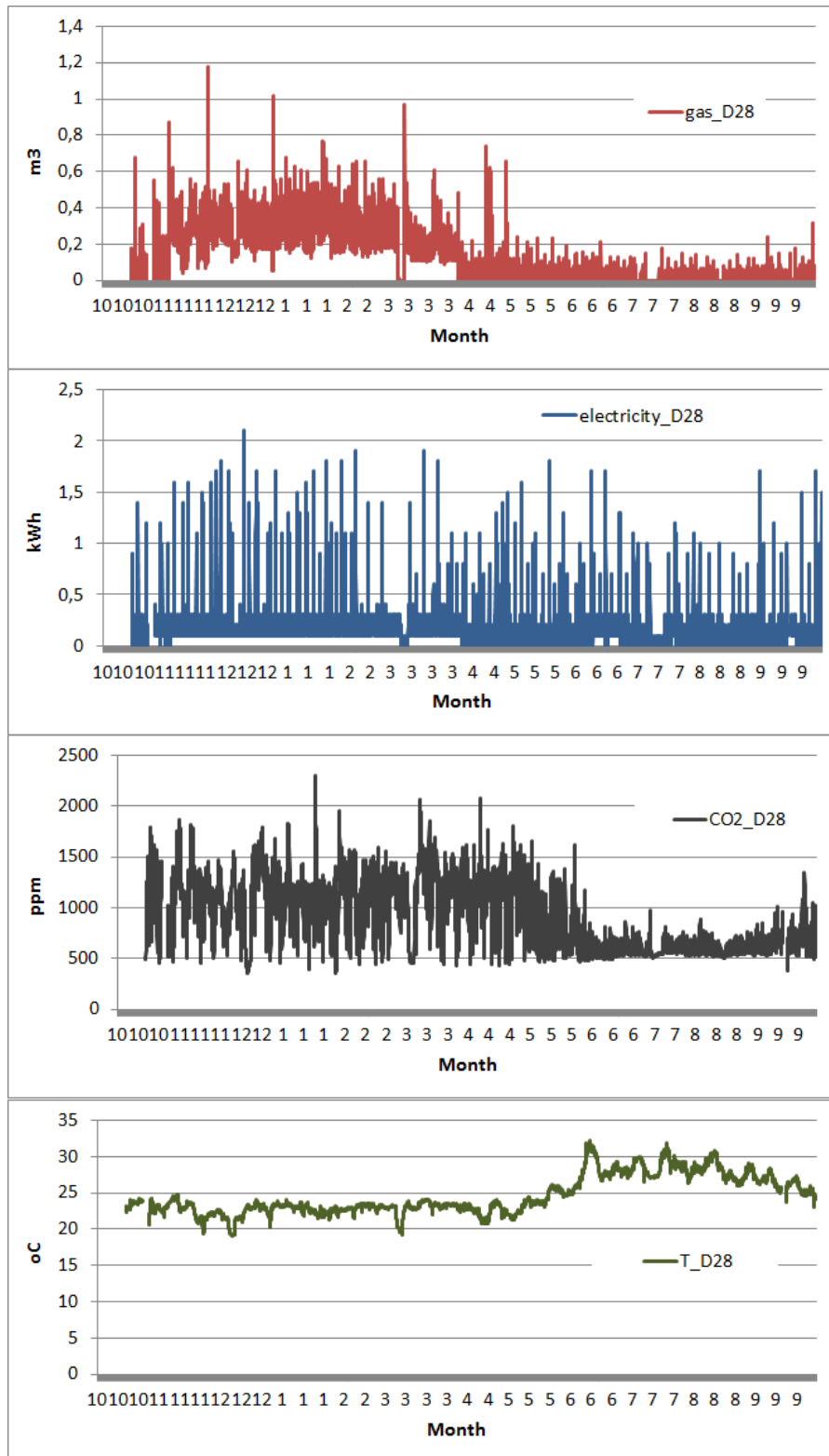
Σχήμα 48 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D14

Κατοικία D17



Σχήμα 49 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17

Κατοικία D28



Σχήμα 50 Ετήσια μεταβολή α) κατανάλωσης φυσικού αερίου, β) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γ) συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα και δ) εσωτερικής θερμοκρασίας για την κατοικία D17

Παράρτημα IV – Αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη DEQI

Το παράρτημα αυτό παρουσιάζει τον αλγόριθμο υπολογισμού του διαγνωστικού «Δείκτη Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος» (Dwelling Environmental Quality Index - DEQI). Η εφαρμογή και χρησιμότητα του δείκτη περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

Detailed Relative Frequency (Detailed Time fraction Matrix)

%T (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις υποκατηγορίες (άνω και κάτω όρια) των 4 βασικών κατηγοριών –I,II,III,IV–)

$$T_I=(data_T>23.5 \& data_T\leq 25.5) / (length);$$

$$T_II_lower=(data_T>23 \& data_T\leq 23.5) / (length);$$

$$T_II_upper=(data_T>25.5 \& data_T\leq 26) / (length);$$

$$T_III_lower=(data_T>22 \& data_T\leq 23) / (length);$$

$$T_III_upper=(data_T>26 \& data_T\leq 27) / (length);$$

$$T_IV_lower=(data_T\leq 22) / (length);$$

$$T_IV_upper=(data_T>27) / (length);$$

Όπου length=το πλήθος όλων των τιμών

$$\text{Και } \sum_{i=1}^4 T_{i,j} = 1$$

$$T_detailed=[T_IV_lower \ T_III_lower \ T_II_lower \ T_I \ T_II_upper \ T_III_upper \ T_IV_upper]$$

%RH (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις υποκατηγορίες (άνω και κάτω όρια) των 4 βασικών κατηγοριών –I,II,III,IV–)

$$RH_I=(data_RH>30 \& data_RH\leq 50) / (length);$$

$$RH_II_lower=(data_RH>25 \& data_RH\leq 30) / (length);$$

$$RH_II_upper=(data_RH>50 \& data_RH\leq 60) / (length);$$

$$RH_III_lower=(data_RH>20 \& data_RH\leq 25) / (length);$$

$$RH_III_upper=(data_RH>60 \& data_RH\leq 70) / (length);$$

$$RH_IV_lower=(data_RH\leq 20) / (length);$$

$$RH_IV_upper=(data_RH>70) / (length);$$

Όπου length=το πλήθος όλων των τιμών

$$\text{Και } \sum_{i=1}^4 RH_{i,j} = 1$$

RH_detailed=[RH_IV_lower RH_III_lower RH_II_lower RH_I RH_II_upper RH_III_upper RH_IV_upper]

%CO2 (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις 4 κατηγορίες)

CO2_I=(data_CO2>=0 & data_CO2<=700) / (length);

CO2_II=(data_CO2>700 & data_CO2<=850) / (length);

CO2_III=(data_CO2>850 & data_CO2<=1150) / (length);

CO2_IV=(data_CO2>1150) / (length);

Όπου length=το πλήθος όλων των τιμών

$$\text{Και } \sum_{i=1}^4 CO2_{i,j} = 1$$

CO2_detailed=[CO2_I CO2_II CO2_III CO2_IV]

Relative Frequency (Time fraction Matrix)

T (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις 4 κατηγορίες)

T_I= T_I;

T_II= T_II_lower + T_II_upper;

T_III= T_III_lower + T_III_upper;

T_IV= T_IV_lower + T_IV_upper;

$$\sum_{i=1}^4 T_i = 1$$

T_detailed=[T_I T_II T_III T_IV]

RH (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις 4 κατηγορίες)

RH_I= RH_I;

RH_II= RH_II_lower + RH_II_upper;

RH_III= RH_III_lower + RH_III_upper;

RH_IV= RH_IV_lower + RH_IV_upper;

$$\sum_{i=1}^4 RH_i = 1$$

$$RH=[RH_I \ RH_II \ RH_III \ RH_IV]$$

CO₂ (ο αριθμός των τιμών από όλο το δείγμα που είναι μεταξύ των αναγραφόμενων ορίων για κάθε μία από τις 4 κατηγορίες)

$$CO2_I= CO2_I;$$

$$CO2_II= CO2_II;$$

$$CO2_III= CO2_III;$$

$$CO2_IV= CO2_IV;$$

$$\sum_{i=1}^4 CO2_i = 1$$

$$CO2=[CO2_I \ CO2_II \ CO2_III \ CO2_IV]$$

SUB-INDEXES

$$T=100*T_I + 70*T_II + 35*T_III + 0*T_IV;$$

$$RH=100*RH_I + 70*RH_II + 35*RH_III + 0*RH_IV;$$

$$CO2=100*CO2_I + 70* CO2_II + 35*CO2_III + 0*CO2_IV;$$

DEQI

One way

$$DEQI= (1/3)*T +(1/3)*RH+(1/3)*CO2;$$

OR

alternative way

Time Fraction Weighted Mean Vector

$$f_i = \sum_{j=1}^3 \frac{1}{3} t_j$$

$$f_I = (1/3)*T_I+(1/3)*RH_I+(1/3)*CO2_I;$$

$$f_II = (1/3)*T_II+(1/3)*RH_II+(1/3)*CO2_II;$$

$$f_III = (1/3)*T_III+(1/3)*RH_III+(1/3)*CO2_III;$$

$$f_IV = (1/3)*T_IV+(1/3)*RH_IV+(1/3)*CO2_IV;$$

$$DEQI = 100 \cdot f_{\text{I}} + 70 \cdot f_{\text{II}} + 35 \cdot f_{\text{III}} + 0 \cdot f_{\text{IV}};$$

Παράρτημα V – Αλγόριθμος παροχής Σύνθετων Συμβουλών

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος για το πρόγραμμα παροχής «Απλών Συμβουλών». Το πρόγραμμα «Σύνθετων Συμβουλών» αποτέλεσε μέρος της τελική βελτιωμένης έκδοσης της υπηρεσίας ΤΠΕ και διατέθηκε στη δεύτερη και τελική φάση της υλοποίησης μετά από αξιολόγηση της υπηρεσίας από τους ίδιους τους χρήστες. Η τελική έκδοση ονομάστηκε «Σύνθετες Συμβουλές» καθώς αφορούσε την συγκεκριμένη κατοικία στην οποία προσφερόταν παρά στο κτίριο γενικότερα και ενημερωνόταν με καινούριες συμβουλές σε πραγματικό χρόνο αντί ανά ημέρα. Το πρόγραμμα παροχής συμβουλών περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 7.

Every time the STB updates (every 15-min) the T/RH/CO2 values in the Home Page and the Current Status Message (named 'my_text' in the algorithm) in the new advice page will take the same respective color, as indicated in the algorithm.

The 'alert' will be a flickering of the T/RH or CO2 value in the Home Page. It will be activated at the occasions described below.

The 'current status message' (=my text in algorithm) will appear in the new advice page under "Current Status". It will have the same color coding as the value in the Home Page. **The message in the advice page will not flicker at any circumstance.**

Some of the values will be fixed (the same for all dwellings and pilots) and some will vary per dwelling as follows:

T_{comfort-winter-lower} = 18

T_{comfort-winter-upper} = 25

T_{comfort-summer-lower} = 22

T_{comfort-summer-upper} = 27

T_{heating-threshold} = 21

T_{dwel_winter_upper} = varies per dwelling (see attached excel)

RH_{limit-low} = 20

RH_{limit-high} = 70

RH_{comfort-low} = 25

RH_{comfort-high} = 60

CO₂comfort = 1150

CO₂health = 3500

Gas_{dwel_heating} = varies per dwelling (see attached excel)

For each season of the year (Mode) the algorithm will behave in a different way. Mode may differ between pilots due to different climates. The modes for the Italian pilot are:

Mode 1: Winter (Months: Oct, Nov, Dec, Jan, Feb, Mar, Apr)

Mode 2: Summer (Months: Jun, July, Aug)

Mode 3: Mid-seasons (Months: May, Sep)

TEMPERATURE

Mode 1 - Winter

%A dummy variable (dum_var) was created to help determine whether heating is on or off at the cases when gas is neither zero neither over the gas threshold value for heating.

The algorithm is to be executed at each i (e.g. every 15 minutes) and it begins with the if command. The line dum_var=0 is the initial value, and not part of the algorithm that is executed at each time step. So, it's only required to be set up once, when the update is installed and the gas value is zero. We can explain this more on skype.

This is only for the cases of Italy, Belgium and Greece where gas is used for heating, hot water and in some cases cooking.

```
dum_var=0;

if Gas(i) ==0 dum_var =0
elseif Gas(i) > Gasdwel_heating
    dum_var =1;
elseif Gas(i) >0 & Gas(i) <= Gasdwel_heating
    if dum_var ==0 dum_var =0;
    else dum_var =1;
    end
end

%(heat is on)
if dum_var==1
if Tin(i) <= Tcomfort-winter-lower (=18)
    my_text(i)= T1-Text1 ;
        No ALERT
        Color = orange
end

if Tdwel_winter_upper < Theating-threshold(=21)
if Tin(i) > Tcomfort-winter-lower (=18) & Tin(i) <= Tdwel_winter_upper
    my_text(i)= T1-Text2 ;
        Color = Green
elseif Tin(i) > Tdwel_winter_upper & Tin(i) <= Theating-threshold(=21)
    my_text(i)= T1-Text5 ;
        Generate ALERT
        Color = yellow
elseif Tin(i) > Theating-threshold(=21)
    my_text(i)= T1-Text4 ;
        Generate ALERT
        Color = orange

end
end
```

```
if Tdwel_winter_upper == Theating-threshold(=21)
if Tin(i) > Tcomfort-winter-lower (=18) & Tin(i) <= Theating-threshold(=21)
    my_text(i) = T1-Text2 ;
    Color = Green
elseif Tin(i) > Theating-threshold(=21)
    my_text(i) = T1-Text4;
    Generate ALERT
    Color = orange
end
end

if Tdwel_winter_upper > Theating-threshold(=21)
if Tin(i) > Tcomfort-winter-lower (=18) & Tin(i) <= Theating-threshold(=21) ;
    my_text(i) = T1-Text2 ;
    Color = Green
elseif Tin(i) > Theating-threshold(=21) & Tin(i) <= Tdwel_winter_upper
my_text(i) = T1-Text3 ;
    Generate ALERT
    Color = yellow
elseif Tin(i) > Tdwel_winter_upper
my_text(i) = T1-Text4 ;
    Generate ALERT
    Color = orange

end
end
end

%(heat is off)
if dum_var==0
if Tin(i) <= Tcomfort-winter-lower (=18)
my_text(i) = T1-Text6;
    No ALERT
    Color = orange
elseif Tin(i) > Tcomfort-winter-lower (=18) & Tin(i) <= Tcomfort-winter-upper(=25)
my_text(i) = T1-Text2;
    Color = Green
elseif Tin(i) > Tcomfort-winter-upper(=25)
my_text(i) = T1-Text7;
    Generate ALERT
    Color = orange

end
end
```

Where:

T1-Text1= Indoor Temperature is relatively low. You could increase your set point temperature.

T1-Text2= Acceptable conditions.

T1-Text 3 (alert message) = You can save energy and money if you lower you thermostat!

T1-Text 4 (alert message) = You can make significant energy and money savings if you lower you thermostat!

T1-Text5 (alert message) = Indoor Temperature is higher than usual. You can save energy and money if you lower you thermostat!

T1-Text6 (alert message) = Indoor Temperature is relatively low. It allows for the use of heating.

T1-Text7= Indoor temperature is unusually high for this time of year. If this is because you are using a heating device then you can save energy and money by operating it at a lower setting.

Mode 2 – Summer, Mode 3 – Mid-seasons

%the only thing that changes between the 2 modes is the advice message appearing in the “click here for more” tab.

– REGARDLESS OF THE VALUE FOR GAS! -

If $T_{in} \leq T_{comfort-winter-lower} (=18\text{ C})$

No ALERT

My_text= “T2-Text1”

Color = orange

ELSEIF $T_{comfort-winter-lower} (=18\text{ C}) < T_{in} \leq T_{comfort-summer-upper} (=27\text{ C})$

No ALERT

My_text= “T2-Text2”

Color = Green

ELSEIF $T_{in} > T_{comfort-summer-upper} (=27\text{ C})$

No ALERT

My_text= “T2-Text3”

Color = yellow

Activate ADVICE MESSAGE tab

Advice message tab = “Passive cooling – Mode(k)”

Where:

T2-Text1= Indoor temperature is rather low for this time of year. If you are feeling too cold you could use a heating device.

T2-Text2= Acceptable conditions.

T2-Text 3 = If you are feeling too warm there are ways to cool down.

K=2:3: (2=Summer, 3=Mid-seasons)

Passive cooling – Mode(2) = see Annex

Passive cooling – Mode(3) = see Annex

RELATIVE HUMIDITY

– REGARDLESS OF THE VALUE FOR GAS! –

%the only thing that changes between the 3 modes is the advice message appearing in the “click here for more” tab.

IF $RH_{in} \leq \underline{RH_{limit-low} (=20\%)}$
Generate ALERT
My_text= “RH-Text1”
Color = orange
Activate ADVICE MESSAGE tab
Advice message tab = “**Low RH – Mode(k)**”

ELSEIF $\underline{RH_{limit-low} (=20\%)}$ < $RH_{in} \leq \underline{RH_{comfort-low} (=25\%)}$
No ALERT
My_text= “RH-Text2”
Color = yellow
Activate ADVICE MESSAGE tab
Advice message tab = “**Low RH – Mode(k)**”

ELSEIF $\underline{RH_{comfort-low} (=25\%)}$ < $RH_{in} \leq \underline{RH_{comfort-high} (=60\%)}$
No ALERT
My_text= “RH-Text3”
Color = green

ELSEIF $\underline{RH_{comfort-high} (=60\%)}$ < $RH_{in} \leq \underline{RH_{limit-high} (=70\%)}$
No ALERT
My_text= “RH-Text4”
Color = yellow
Activate ADVICE MESSAGE tab
Advice message tab = “**High RH – Mode(k)**”

ELSEIF $RH_{in} > \underline{RH_{limit-high} (=70\%)}$
Generate ALERT
My_text= “RH-Text5”
Color = orange
Activate ADVICE MESSAGE tab
Advice message tab = “**High RH – Mode(k)**”

Where:

RH-Text1 (alert message) = Higher Relative Humidity levels would be much healthier.

RH-Text2= Higher Relative Humidity levels could be healthier.

RH-Text3= Acceptable conditions.

RH-Text4= Lower Relative Humidity levels could be healthier.

RH-Text5 (alert message) = Lower Relative Humidity levels would be much healthier.

K=1:3 (1=Winter, 2=Summer, 3=Mid-seasons)

Low RH – Mode(k) = see Annex

High RH – Mode(k) = see Annex

CO₂

%the only thing that changes between the 3 modes is the advice message appearing in the “click here for more” tab.

– REGARDLESS OF THE VALUE FOR GAS! -

IF CO_{2in} <= CO_{2comfort} (=1150 ppm)

No ALERT

My_text= “CO₂-Text1”

Color = green

ELSEIF CO_{2comfort} (=1150 ppm) <CO_{2in} <= CO_{2health} (=3500 ppm)

No ALERT

My_text= “CO₂-Text2”

Color = yellow

Activate ADVICE MESSAGE tab

Advice message tab = “**High CO₂ – Mode(k)**”

ELSEIF CO_{2in} > CO_{2health} (=3500 ppm)

Generate ALERT

My_text= “CO₂-Text3”

Color = orange

Activate ADVICE MESSAGE tab

Advice message tab = “**High CO₂ – Mode(k)**”

Where:

CO₂-Text1 = Acceptable conditions.

CO₂-Text2 = Your indoor air quality could be improved.

CO₂-Text3 (alert message) = CO₂ levels are high! Your indoor air quality should be improved.

K=1:3 (1=Winter, 2=Summer, 3=Mid-seasons)

High CO₂ - Mode(k) = see Annex

ANNEX

High CO₂ – Mode(1) –Winter-

CO₂ is used as indicator for general indoor quality in buildings. The main source of CO₂ in buildings is occupants. CO₂ concentrations can be significantly reduced only by ventilation of the building.

Ventilation through open windows should preferably take place during midday hours in winter when external temperature is at its highest.

When you are ventilating your home don't forget to turn off any heating devices.

Overall, bear in mind that over-ventilating in winter can lead to significant heat losses and therefore to extra cost for heating.

High CO2 –Mode(2) –Summer-

CO2 is used as indicator for general indoor quality in buildings. The main source of CO2 in buildings is occupants. CO2 concentrations can be significantly reduced only by ventilation of the building.

Ventilation through open windows should preferably take place during morning hours in summer when external temperature is at its lowest.

When you are ventilating your home don't forget to turn off any cooling devices.

Overall, bear in mind that over-ventilating in summer can lead to significant heat gains and therefore to extra need cooling.

High CO2 – Mode(3) –Mid-seasons-

CO2 is used as indicator for general indoor quality in buildings. The main source of CO2 in buildings is occupants. CO2 concentrations can be significantly reduced only by ventilation of the building.

When you are ventilating your home through open windows don't forget to turn off any heating or cooling devices.

Overall, bear in mind that over-ventilating can lead to significant heat gains or heat losses, depending on the outdoor conditions, and therefore to extra need cooling or heating.

Low RH - Mode(1) –Winter-

Keeping humidity inside your home during the winter is important for your health, comfort and for your home.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

A very simple way is to add moisture to the air is to place a vessel of water on top of, or very close to a radiator or other heating system.

Another way is to hang your clothes up to dry inside the house.

During or right after taking a hot bath or shower, you could leave the bathroom door open to help the humidity spread from the bathroom to other areas of your home.

Cooking and boiling water are activities that can also add humidity to the air.

Also, a good idea is to open your dishwasher to dry dishes. The steam from the dishwasher will be released into the air improving the percentage of humidity in your house.

Low RH - Mode(2) –Summer-

Keeping humidity inside your home is important for your health, comfort and for your home.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

A good way to add moisture to the air is to hang your clothes up to dry inside the house.

During or right after taking a hot bath or shower, you could leave the bathroom door open to help the humidity spread from the bathroom to other areas of your home.

Cooking and boiling water are activities that can also add humidity to the air.

Also, a good idea is to open your dishwasher to dry dishes. The steam from the dishwasher will be released into the air improving the percentage of humidity in your house.

Low RH – Mode(3) –Mid-seasons-

Keeping humidity inside your home is important for your health, comfort and for your home.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

A good way to add moisture to the air is to hang your clothes up to dry inside the house.

During or right after taking a hot bath or shower, you could leave the bathroom door open to help the humidity spread from the bathroom to other areas of your home.

Cooking and boiling water are activities that can also add humidity to the air.

Also, a good idea is to open your dishwasher to dry dishes. The steam from the dishwasher will be released into the air improving the percentage of humidity in your house.

High RH - Mode(1) –Winter-

Moisture is considered an indoor pollutant.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

Elevated humidity levels may be caused by a number of moisture emitting activities taking place in a home. The most common activities are: cooking, showering, steam-ironing and washing and drying your clothes. People and animals also generate moisture through respiration and perspiration.

A very efficient way of maintaining good relative humidity levels in your home is with a homemade dehumidifier. You could also use an electric dehumidifier but this would mean paying to buy one and for operating it.

You can dilute moisture by ventilating through open windows. *When you are ventilating your home in this way don't forget to turn off any heating devices. Ventilation through open windows enhances heat losses so make sure you don't overdo it.*

In the case of showering, 20 minutes of exhaust fan operation after you are done with the moisture emitting activity are considered adequate.

If you have an exhaust hood, use it when cooking moisture emitting foods.

You can also reduce the amount of moisture introduced into your home by cooking with covered pots, taking cooler and shorter showers, hanging your clothes to dry outside when possible, venting clothes dryers directly to the outside and reducing the number of plants in your home.

High RH - Mode(2) –Summer-

Moisture is considered an indoor pollutant.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

Elevated humidity levels may be caused by a number of moisture emitting activities taking place in a home. The most common activities are: cooking, showering, steam-ironing and washing and drying your clothes. People and animals also generate moisture through respiration and perspiration.

A very efficient way of maintaining good relative humidity levels in your home is with a homemade dehumidifier. You could also use an electric dehumidifier but this would mean paying to buy one and for operating it.

You can dilute moisture by ventilating through open windows. *When you are ventilating your home in this way don't forget to turn off any cooling devices. Ventilation through open windows enhances heat gains so make sure you don't overdo it.*

In the case of showering, 20 minutes of exhaust fan operation after you are done with the moisture emitting activity are considered adequate.

If you have an exhaust hood, use it when cooking moisture emitting foods.

You can also reduce the amount of moisture introduced into your home by cooking with covered pots, taking cooler and shorter showers, hanging your clothes to dry outside when possible, venting clothes dryers directly to the outside and reducing the number of plants in your home.

High RH – Mode(3) –Mid-seasons-

Moisture is considered an indoor pollutant.

Ideally, relative humidity levels in your home should be neither too high neither too low.

Elevated humidity levels may be caused by a number of moisture emitting activities taking place in a home. The most common activities are: cooking, showering, steam-ironing and washing and drying your clothes. People and animals also generate moisture through respiration and perspiration.

A very efficient way of maintaining good relative humidity levels in your home is with a homemade dehumidifier. You could also use an electric dehumidifier but this would mean paying to buy one and for operating it.

You can dilute moisture by ventilating through open windows. *When you are ventilating your home in this way don't forget to turn off any heating or cooling devices. Ventilation through open windows enhances heat gains or heat losses, depending on outdoor conditions, so make sure you don't overdo it.*

In the case of showering, 20 minutes of exhaust fan operation after you are done with the moisture emitting activity are considered adequate.

If you have an exhaust hood, use it when cooking moisture emitting foods.

You can also reduce the amount of moisture introduced into your home by cooking with covered pots, taking cooler and shorter showers, hanging your clothes to dry outside when possible, venting clothes dryers directly to the outside and reducing the number of plants in your home.

Passive Cooling – Mode(2) –Summer-

Open your windows for cooling through ventilation

Consider opening the windows to benefit from free cooling and ventilation. Make sure that external temperature is not significantly higher than internal temperature when you do this. Operating the air conditioning system or using a fan for forced air movement should only be utilized when outdoor air is too hot to allow inside.

Apply shading

Apply any external or internal shading device to keep excess solar radiation out of your home and reduce the need for cooling.

Cool with forced air movement and ventilation

Ceiling fans and portable floor fans use a lot less energy than air conditionings and can be adequate for maintaining satisfactory comfortable levels. Make sure that you turn off your fan when you leave a room to save energy since they don't actually reduce room temperature when operating.

Thermostat settings

If you need to operate a cooling device like an air conditioning set your thermostat as high as is comfortable to save energy. 26 °C are adequate to keep you comfortable. Some people find 27 °C and even 28 °C just as comfortable.

Eliminate excess internal heat gain from inefficient appliances

Inefficient appliances waste energy and give off a lot of heat. Avoid operating them when it is too hot outside.

Shift activities that give off heat to cooler hours of the day

Try to iron or cook in the morning or later in the evening.

Passive Cooling – Mode(3) –Mid-seasons-

Open your windows for cooling through ventilation

Consider opening the windows to benefit from free cooling and ventilation. Make sure that external temperature is not significantly higher than internal temperature when you do this. Operating the air conditioning system or using a fan for forced air movement should only be utilized when outdoor air is too hot to allow inside.

Apply shading

Apply any external or internal shading device to keep excess solar radiation out of your home and reduce the need for cooling.

Cool with forced air movement and ventilation

Ceiling fans and portable floor fans use a lot less energy than air conditionings and can be adequate for maintaining satisfactory comfortable levels. Make sure that you turn off your fan when you leave a room to save energy since they don't actually reduce room temperature when operating.

Eliminate excess internal heat gain from inefficient appliances

Inefficient appliances waste energy and give off a lot of heat. Avoid operating them when it is too hot outside.

Shift activities that give off heat to cooler hours of the day

Try to iron or cook in the morning or later in the evening.