



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή  
Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών  
Χώρων Κτιρίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

**ΣΑΒΒΑ-ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΟΥΛΕΠΟΓΛΟΥ**

**Επιβλέπων: Χρυσόστομος Δούκας**

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή  
Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών  
Χώρων Κτιρίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

**ΣΑΒΒΑ-ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΟΥΛΕΠΟΓΛΟΥ**

**Επιβλέπων: Χρυσόστομος Δούκας**

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13<sup>η</sup> Ιουλίου 2016.

.....  
Χρυσόστομος Δούκας  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Δημήτριος Ασκούνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

.....  
Σάββας-Κωνσταντίνος Κουλέπογλου

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

Copyright © Σάββας-Κωνσταντίνος Κουλέπογλου, 2016  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις της σημερινής εποχής. Αν κανείς αναλογιστεί ότι κύριο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κτίριο αποτελεί η ενέργεια που αφορά τις ανάγκες για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, τότε γίνεται αντιληπτό ότι η συγκεκριμένη πρόκληση ανάγεται σε μια πρόκληση που αφορά την εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας που αφορά το σύστημα Θέρμανσης/Ψύξης του κτιρίου. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση, η μελέτη και η προσομοίωση μοντέλων που στόχο έχουν την βέλτιστη ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων κτιρίου. Τα δύο μοντέλα που μελετήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής είναι το μοντέλο της «Προσαρμοστικής Άνεσης» και το μοντέλο της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης». Τέλος στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα εργαλείο υπολογισμού της εξοικονόμησης ενέργειας με βάση της βαθμοημέρες θέρμανσης/ψύξης. Παράλληλα μελετήθηκαν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας και θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τον υπολογισμό της εξοικονόμησης της ενέργειας σε ένα δημοτικό κτίριο. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο αριθμός και η συμπεριφορά των χρηστών καθώς και η γήρανση του εξοπλισμού του κτιρίου.

### Λέξεις κλειδιά:

«Εξυπνα Κτίρια», Θερμική Άνεση, Μοντέλο Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης, Μοντέλο Προσαρμοστικής Άνεσης, Εργαλείο υπολογισμού Εξοικονόμησης, Βαθμοημέρες, Γήρανση Εξοπλισμού



## **Abstract**

Energy saving in public buildings constitutes one of the main challenges of our time. Given that, the main part of energy consumption in a building concerns its heating and cooling needs, we understand that the challenge in question is that of reducing the consumed energy in the heating/cooling system of the building. The objective of the present thesis is the study, analysis and simulation of models which aim at the optimal regulation of the indoor temperature. The two models, studied in the course of the present thesis, are the “Adaptive Comfort Model” and the “Thermal Comfort Validator” model. Finally, in the frame of this thesis we developed a calculation tool for saving energy based on heating/cooling degree days. In addition, we took under consideration other factors that influence energy consumption in a public building such as the number and behavior of users and the degradation of the equipment.

### **Keywords:**

Smart Buildings, Thermal Comfort, Thermal Comfort Validator Model, Adaptive Comfort Model, Energy Save Calculation Tool, Degree Days, Equipment Degradation





## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Εκμεταλλευόμενος την ευκαιρία που μου δίνεται μέσω της διπλωματικής εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου, κυρίους Ιωάννη Ψαρρά και Χρυσόστομο Δούκα που αφενός μου εμπιστεύτηκαν ένα θέμα διπλωματικής που αφορά ένα τρέχον πρόγραμμα του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης αλλά και αφετέρου για την συνέπεια και το ενδιαφέρον των διαλέξεων τους στα πλαίσια του μαθήματος «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική» που αποτέλεσαν κύριο λόγο και κίνητρο για να επιλέξω τον συγκεκριμένο τομέα για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Βαγγέλη Μαρινάκη για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας. Οι συζητήσεις μας, οι επισημάνσεις και η καθοδήγηση του συνέβαλαν σημαντικά στην αντιμετώπιση των όποιων ζητημάτων παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με στήριξαν ψυχολογικά και υλικά όχι μόνο για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και γενικότερα καθόλη την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου στο Ε.Μ.Π, τους φίλους, τους συναδέλφους και πάνω από όλα την οικογένεια μου που ήταν πάντα στο πλευρό μου.

Σάββας-Κωνσταντίνος Κουλέπογλου,

Αθήνα, 13 Ιουλίου 2016

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....</b>	<b>13</b>
1.1 Έξυπνα Κτίρια .....	15
1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	16
1.3 Φάσεις Υλοποίησης.....	17
1.4 Οργάνωση Τόμου.....	18
<b>Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση του OPTIMUS DSS.....</b>	<b>21</b>
2.1 Επισκόπηση του Συστήματος Λήψης Αποφάσεων .....	23
2.2 Ενσωματωμένη Υπηρεσία OPTIMUS .....	25
2.3 Ανάλυση της Υφιστάμενης Αγοράς.....	26
2.4 Ενσωματωμένη Υπηρεσία OPTIMUS, Business Model.....	40
2.4.1 Τμήμα Πελατών.....	40
2.4.2 Προστιθέμενη Αξία (value proposition).....	41
2.4.3 Κανάλια Επικοινωνίας .....	41
2.4.4 Σχέσεις Πελατών.....	42
2.4.5 Πηγή Εσόδων .....	42
2.4.6 Βασικές Υπηρεσίες .....	42
2.4.7 Κύριες Πηγές Πόρων.....	43
2.4.8 Βασικοί Συνεργάτες .....	43
2.4.9 Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης .....	43
<b>Κεφάλαιο 3: Σχέδια Δράσης Εξοικονόμησης Ενέργειας .....</b>	<b>45</b>
3.1 OPTIMUS Dss και Επαγωγικοί Κανόνες .....	47
3.1.1 Επαγωγικός Κανόνας : Εκλογικευμένη Διαχείριση των Χρηστών .....	48
3.1.2 Επαγωγικός Κανόνας: Βέλτιστη Εκκίνηση/Διακοπή Συστήματος Θέρμανσης .	49
3.1.3 Επαγωγικός Κανόνας : Χρήση Ελεύτερων Επιλογών Ψύξης.....	51
3.1.4 Επαγωγικός Κανόνας : Εκτίμηση της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας για την Συντήρηση των ΦΒ Συστημάτων .....	53
3.1.5 Επαγωγικός Κανόνας : Προγραμματισμός των Θερμικών Φορτίων για την Βέλτιστη Διαχείριση των Ενεργειακών Ροών .....	55
3.1.6 Επαγωγικός Κανόνας : Επιλογή της πιο Συμφέρουσας Πηγής Ενέργειας για την Κάλυψη της Ζήτησης.....	56
3.1.7 Υπόλοιποι Επαγωγικοί Κανόνες.....	57
3.2 Optimus Dss και Σχέδια Δράσης .....	58
<b>Κεφάλαιο 4: Σχέδιο Δράσης «Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων»..</b>	<b>71</b>

4.1	Θερμική Άνεση (Thermal Comfort) .....	73
4.1.1	Βασικοί Παράγοντες .....	73
4.1.2	Μοντέλα Θερμικής Άνεσης.....	79
4.1.2.1	Μοντέλο “PMV/PPD” .....	80
4.1.2.2	Μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης.....	82
4.2	Επαγωγικοί Κανόνες (Inference Rules).....	85
4.2.1	Επαγωγικός Κανόνας - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης (Thermal Comfort Validation).....	86
4.2.2	Επαγωγικός Κανόνας - Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης (Adaptive Comfort Model).....	96
4.3	Επιλογή Κατάλληλου Επαγωγικού Κανόνα.....	98
<b>Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση Σχεδίου Δράσης.....</b>		<b>101</b>
5.1	Εγκαταστάσεις στο Sant Cugat.....	102
5.1.1	Γενικές Πληροφορίες .....	102
5.1.2	Ενεργειακές Εγκαταστάσεις.....	102
5.1.3	Ιστορικά Ενεργειακά Δεδομένα .....	105
5.2	Εφαρμογή στο Πιλοτικό Κτίριο .....	110
5.2.1	Προσομοίωση του Προσαρμοστικού Μοντέλου Άνεσης.....	111
5.2.2	Προσομοίωση του Μοντέλου Επικύρωσης Θερμικής Άνεσης .....	133
5.2.3	Ενσωμάτωση των Μοντέλων και Τελικά Αποτελέσματα της Προσομοίωσης....	151
5.2.4	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	159
<b>Κεφάλαιο 6: Εργαλείο Εξοικονόμησης Ενέργειας .....</b>		<b>162</b>
6.1	Δομή και Σχεδιασμός.....	164
6.1.1	Βασικός Σκοπός και Μεθοδολογία.....	164
6.1.2	Μορφή και Βασικές Λειτουργίες .....	167
6.2	Εφαρμογή στο Πιλοτικό Κτίριο .....	171
6.3	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	174
<b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προοπτικές .....</b>		<b>178</b>
7.1	Συμπεράσματα.....	180
7.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις .....	181
<b>Βιβλιογραφία .....</b>		<b>184</b>



---

## *Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή*

---



## 1.1 Έξυπνα Κτίρια

Ο αυτοματισμός κτιρίων (**Building Automation**) είναι ο αυτοματοποιημένος κεντρικός έλεγχος των μονάδων θέρμανσης, εξαερισμού, ψύξης, φωτισμού ενός κτιρίου μέσω ενός συστήματος διαχείρισης του κτιρίου ή ενός κτιριακού συστήματος αυτοματισμού (**Building Automation System, BAS**). Μέσω του αυτοματισμού βελτιώνονται τα επίπεδα θερμικής άνεσης στο κτίριο, η αποδοτική λειτουργία, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των λειτουργικών εξόδων και ο κύκλος ζωής των εγκαταστάσεων. Ο αυτοματισμός κτιρίων είναι ένα παράδειγμα αποκεντρωμένου συστήματος ελέγχου, δηλαδή ενός συστήματος που περιλαμβάνει ένα δίκτυο υπολογιστών και ηλεκτρικών συσκευών σχεδιασμένο να παρακολουθεί και να ελέγχει τα μηχανικά συστήματα, τον φωτισμό, τον εξαερισμό και το σύστημα θέρμανσης/ψύξης ενός κτιρίου [1].

Ο βασικός πυρήνας λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος προσπαθεί να διατηρήσει το εσωτερικό κλίμα ενός κτιρίου μέσα σε ένα προκαθορισμένο εύρος. Ελέγχει τον φωτισμό και το σύστημα θέρμανσης/ψύξης μιας συγκεκριμένης ζώνης με βάση τον αριθμό των ενοίκων και την ώρα προσέλευσης τους, παρακολουθεί την απόδοση και τα σφάλματα των μηχανικών συστημάτων και προσφέρει πολλών ειδών ειδοποιήσεις (alarms) στο προσωπικό ελέγχου του κτιρίου. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει ιδανικά να οδηγεί στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των κόστων συντήρησης και λειτουργίας του κτιρίου σε σχέση με ένα κτίριο το οποίο δεν διαθέτει κάποιο ανάλογο σύστημα. Τα περισσότερα εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια που κατασκευάστηκαν μετά το 2000, διαθέτουν ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου ενώ ακόμα και παλιότερα κτίρια ανακαινίστηκαν έτσι ώστε να διαθέτουν ένα ανάλογο σύστημα.

Ένα τέτοιο κτίριο το οποίο ελέγχεται από ένα τέτοιο σύστημα αναφέρεται συχνά ως «Έξυπνο Κτίριο» ή «Έξυπνο Σπίτι» αν αναφερόμαστε σε οικιστικά κτίρια. Τα τελευταία χρόνια έχουν δοθεί πολλοί διαφορετικοί ορισμοί για να περιγραφεί το τι εννοούμε με τον όρο «Έξυπνο Κτίριο». Ένας αρκετά αντιπροσωπευτικός ορισμός λέει ότι «Τα έξυπνα κτίρια είναι καλώς διαχειριζόμενα, ενσωματώνουν αναλογικές και ψηφιακές υποδομές και προσφέρουν βέλτιστες υπηρεσίες στους ενοίκους τους με έναν αξιόπιστο, οικονομικά αποδοτικό και βιώσιμο τρόπο. Τα έξυπνα κτίρια βοηθούν τους ιδιοκτήτες, τους λειτουργούς και τους διαχειριστές τους να βελτιώσουν την αξιοπιστία και την απόδοση τους κάτι που με την σειρά του οδηγεί στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, βελτιστοποιεί την χρήση του χώρου και ελαχιστοποιεί την επίδραση του κτιρίου στο περιβάλλον» [2].

Ο όρος «Σύστημα αυτομάτου ελέγχου του κτιρίου» αναφέρεται σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συστήματος θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού ενός κτιρίου. Ωστόσο τα σύγχρονα σύστημα μπορούν να ελέγξουν ακόμα τον εσωτερικό και εξωτερικό φωτισμό του κτιρίου, τα συστήματα ασφαλείας και βασικά οτιδήποτε έχει να κάνει με τον ηλεκτρισμό στο κτίριο. Για να τεθεί σε λειτουργία ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου θα πρέπει να εγκατασταθούν στο κτίριο αισθητήρες οι οποίοι θα καταγράφουν τα απαραίτητα δεδομένα όπως η εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία, η υγρασία καθώς και άλλοι ψηφιακοί αισθητήρες που έχουν να κάνουν με την παρακολούθηση της προσέλευσης των ενοίκων σε μια συγκεκριμένη ζώνη του κτιρίου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από αυτούς τους αισθητήρες, σε συνδυασμό με δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας θα αποτελέσουν τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου για το σύστημα διαχείρισης και λήψης αποφάσεων του κτιρίου. Με

βάση αυτά θα προταθούν και θα αναπτυχθούν συγκεκριμένες δράσεις που ως βασικό τους στόχο θα έχουν την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την μείωση των χρημάτων που δαπανούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

## **1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας**

Στην σημερινή εποχή, η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης αποτελεί προτεραιότητα όχι μόνο σε Ευρωπαϊκό αλλά και σε Διεθνές επίπεδο. Σημαντική επίδραση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας έχει ο κτιριακός τομέας και ειδικότερα τα κτίρια με εμπορικές ή βιομηχανικές χρήσεις. Σε κτίρια γραφείων μια από τις πιο ενεργοβόρες χρήσεις, είναι η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου. Έτσι σε κτίρια που διαθέτουν σύστημα αυτομάτου ελέγχου του συστήματος θέρμανσης/ψύξης μια σημαντική απόφαση είναι η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος (Setpoint), έτσι ώστε να εξασφαλίζονται αφενός τα επιθυμητά επίπεδα θερμικής άνεσης για τους ενοίκους αλλά και αφετέρου να επιτυγχάνεται όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον λοιπόν παρουσιάζουν σχέδια δράσης που σαν στόχο έχουν τον έλεγχο και την επιλογή του βέλτιστου Setpoint με τα κριτήρια που περιγράφηκαν προηγουμένως. Ανάλογα σχέδια δράσης εφαρμόστηκαν και θα συνεχίσουν να εφαρμόζονται στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος OPTIMUS σε πιλοτικά κτίρια ανά την Ευρώπη. Τα κτίρια αυτά είναι:

1. Το δημαρχείο του δήμου του Sant Cugat στην Καταλονιά της Ισπανίας
2. Το δημοτικό θέατρο του δήμου του Sant Cugat στην Καταλονιά της Ισπανίας
3. Το δημαρχείο του Zaanstad της Ολλανδίας
4. Το σχολείο Colombo-Petrini στην Savona της Ιταλίας

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής περιοριζόμαστε στο δημαρχείο του Sant Cugat και εξετάζουμε ανάλογα σχέδια δράσης και την επίδραση αυτών σε τρεις βασικούς δείκτες που είναι:

- Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
- Η μείωση των εκπομπών άνθρακα
- Η μείωση του ενεργειακού κόστους

Πιο συγκεκριμένα ασχοληθήκαμε με το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων». Το σχέδιο δράσης όπως θα εξηγηθεί αναλυτικά στην συνέχεια της διπλωματικής βασίζεται σε δύο κανόνες επαγωγής και δύο μοντέλα, αυτό της «Προσαρμοστικής Άνεσης» και αυτό της «Επικύρωσης της θερμικής άνεσης». Λαμβάνοντας δεδομένα από κατάλληλους αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας του κτιρίου προχωρήσαμε στην προσομοίωση των δύο αυτών μοντέλων και είδαμε την τιμή των τελικών Setpoint που πρότειναν. Εν συνεχεία ακολούθησε η συγκριτική μελέτη μεταξύ των δύο μοντέλων και η ενσωμάτωσή τους στο σχέδιο δράσης έτσι ώστε να προκύψει το τελικό προτεινόμενο Setpoint.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής είναι η προσομοίωση των δύο μοντέλων έτσι ώστε να προκύψει η τελική θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου και η αξιολόγηση της επίδρασης του στην τελική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.



### **1.3 Φάσεις Υλοποίησης**

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Οκτωβρίου 2015 και Ιουνίου 2016 και η πορεία αυτής ακολούθησε τις εξής φάσεις:

- *Φάση 1<sup>η</sup>* – Γνωριμία με το πρόγραμμα Optimus. Μελέτη των εφαρμοζόμενων σχεδίων δράσης των επαγωγικών κανόνων και του τρόπου ενσωμάτωσης στο πρόγραμμα.
- *Φάση 2<sup>η</sup>* – Εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση σχετικά με την αναμενόμενη επίδραση των εφαρμοζόμενων σχεδίων δράσης σε δημοτικά κτίρια με γνώμονα τέσσερις δείκτες, την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, την μείωση του ενεργειακού κόστους, την μείωση εκπομπής ρύπων και την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε.
- *Φάση 3<sup>η</sup>* – Μελέτη των χαρακτηριστικών, της κάτοψης, των ενεργειακών και καιρικών δεδομένων του δημαρχείου του Sant Cugat.
- *Φάση 4<sup>η</sup>* – Συλλογή των απαραίτητων δεδομένων τόσο από τους διαθέσιμους αισθητήρες του κτιρίου όσο και από τυπικές τιμές βιβλιογραφίας για την προσομοίωση των μοντέλων που βασίζεται το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων».
- *Φάση 5<sup>η</sup>* – Προσομοίωση του μοντέλου της «Προσαρμοστικής Άνεσης» και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του.
- *Φάση 6<sup>η</sup>* – Προσομοίωση του μοντέλου της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης» και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του.
- *Φάση 7<sup>η</sup>* – Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων, επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού και ενσωμάτωση τους στα τελικά αποτελέσματα του σχεδίου δράσης.
- *Φάση 8<sup>η</sup>* – Υπολογισμός της τελικής εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης εκπομπών και της εξοικονόμησης χρημάτων από την προσομοίωση του σχεδίου δράσης στο κτίριο. Υπολογισμός της τελικής κατανάλωσης ενέργειας για την εξεταζόμενη περίοδο αφαιρώντας την εξοικονόμηση.
- *Φάση 9<sup>η</sup>* – Σύγκριση της εξεταζόμενης περιόδου με την αντίστοιχη περίοδο των ετών 2013 και 2014. Μελέτη της συσχέτισης μεταξύ της εξοικονόμησης ενέργειας και των βαθμοημερών Θέρμανσης/Ψύξης και κανονικοποίηση με βάση την σχέση αυτή ώστε να προκύψει η πραγματική εξοικονόμηση. Κανονικοποίηση με βάση τον παράγοντα της γήρανσης του τεχνολογικού εξοπλισμού.
- *Φάση 10<sup>η</sup>* – Εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων και αναφορά στις προοπτικές εξέλιξης του παρόντος έργου.

## 1.4 Οργάνωση Τόμου

Αρχικά παρατίθενται μία περίληψη της εργασίας, τόσο στα Ελληνικά όσο και στα Αγγλικά, στην οποία παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια σημεία της. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένας σύντομος πρόλογος, ο πίνακας περιεχομένων. Τέλος, ακολουθεί το κύριο μέρος της εργασίας, που αποτελείται από 7 κεφάλαια:

- **1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Εισαγωγή:**  
Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο στο οποίο γίνεται μία ευρεία περίληψη της εργασίας που περιλαμβάνει το σκοπό της, το αντικείμενό της, καθώς επίσης και τις φάσεις υλοποίησης.
- **2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Παρουσίαση του OPTIMUS Dss:**  
Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται αναλυτική περιγραφή του προγράμματος Optimus, των βασικών μερών του και σχετικές πληροφορίες για την εφαρμογή του.
- **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Σχέδια Δράσης Εξοικονόμησης Ενέργειας:**  
Στο κεφάλαιο (3) περιγράφονται αναλυτικά τα σχέδια δράσης που εφαρμόζονται στα πλαίσια του προγράμματος Optimus. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των κανόνων επαγωγής που βασίζονται καθώς και παρουσιάζονται τα αναμενόμενα αποτελέσματα τους σχετικά με τους δείκτες της εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης εκπομπών άνθρακα, της μείωσης ενεργειακού κόστους και της αύξησης παραγωγής από Α.Π.Ε.
- **4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Σχέδιο Δράσης «Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων»:**  
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται με κάθε λεπτομέρεια οι επαγωγικοί κανόνες στους οποίους στηρίζεται το εν λόγω σχέδιο δράσης.
- **5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Προσομοίωση Σχεδίου Δράσης:**  
Στο κεφάλαιο (5) περιγράφεται η διαδικασία της προσομοίωσης των δύο μοντέλων στα οποία βασίζεται το σχέδιο δράσης και γίνεται εκτενής παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων τους.
- **6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Εργαλείο Υπολογισμού Εξοικονόμησης Ενέργειας:**  
Το κεφάλαιο (6) διερευνάται η σχέση μεταξύ της εξοικονόμησης ενέργειας και των βαθμοημερών θέρμανσης/ψύξης αλλά και του παράγοντα της γήρανσης του εξοπλισμού. Σαν περίοδος αναφοράς χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι μήνες για το έτος 2013-2014.
- **7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο – Επίλογος:**  
Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας όπου παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν και παρουσιάζονται οι προοπτικές περαιτέρω βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου εργαλείου ενεργειακού σχεδιασμού.
- **Βιβλιογραφία:**  
Εδώ παρουσιάζεται η βιβλιογραφία και οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.





---

## *Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση του OPTIMUS DSS*

---



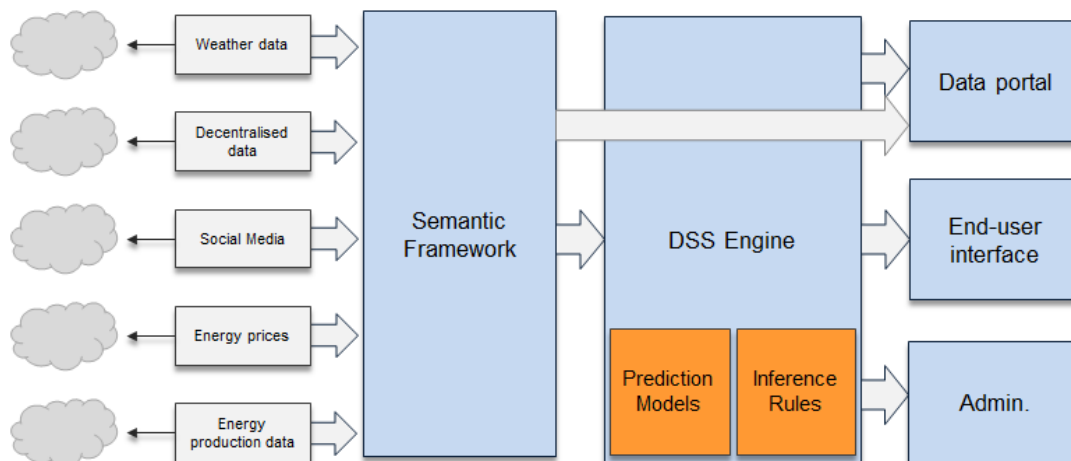
## 2.1 Επισκόπηση του Συστήματος Λήψης Αποφάσεων

Το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα “OPTIMUS” αποτελεί βασική ερευνητική δραστηριότητα του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του ΕΜΠ. Το ακρωνύμιο προέρχεται από την αγγλική φράση “OPTIMising the energy Use in cities with smart decision support system”. Το έργο χρηματοδοτείται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα “FP7” (“Framework Programme 7”), το οποίο ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2013 και αναμένεται να ολοκληρωθεί το Σεπτέμβριο του 2016 [3].

Το OPTIMUS Decision Support System (DSS) είναι ένα από τα βασικά τεχνολογικά αποτελέσματα του έργου. Στόχος είναι η εξαγωγή βραχυπρόθεσμων σχεδίων δράσης για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του εξεταζόμενου κτηρίου. Τα σχέδια δράσης βασίζονται στην ανάλυση πέντε τύπου δεδομένων προερχόμενα από ετερογενείς και δυναμικές πηγές, οι οποίες είναι:

- Οι καιρικές συνθήκες
- Τα κοινωνικά σχόλια
- Τα Δεδομένα από συγκεκριμένους αισθητήρες
- Οι τιμές αγοράς ενέργειας
- Και η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

Οι ανωτέρω πηγές δεδομένων ενσωματώνονται με την χρήση σημασιολογικών τεχνολογιών και χρησιμοποιούνται από κοινού, για την εξαγωγή σχεδίων δράσης, τα οποία δίνουν την δυνατότητα σε εξειδικευμένους χρήστες να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου.



Σχήμα 2.1: Συνιστώσες του OPTIMUS DSS

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από το παραπάνω γράφημα το μίγμα του OPTIMUS DSS περιέχει τα παρακάτω βασικά συστατικά:

- Πέντε μοντέλα συλλογής δεδομένων, τα οποία συλλέγουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και τα στέλνουν σε ένα κοινό σημασιολογικό λειτουργικό πλαίσιο. Τα μοντέλα συλλέγουν δεδομένα από τις καιρικές συνθήκες, το

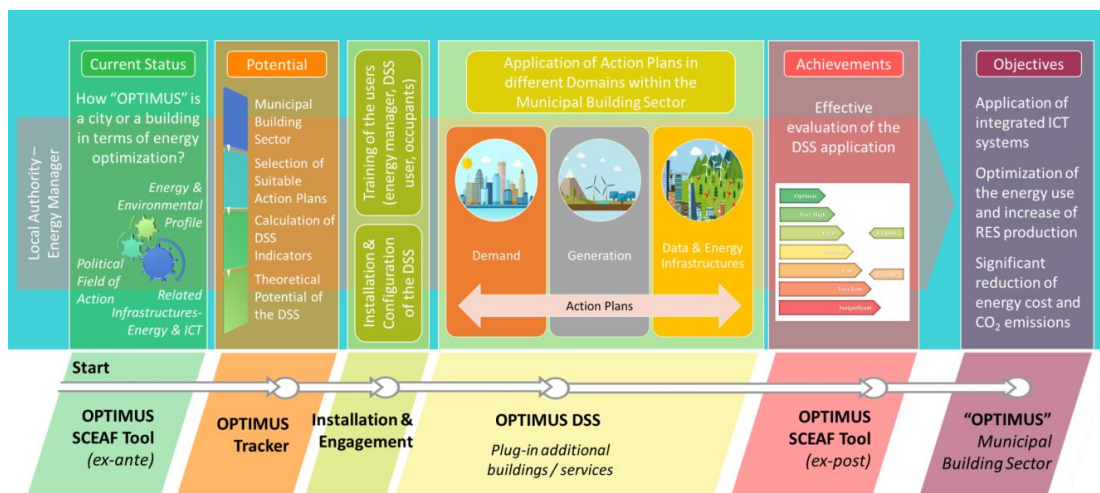
ενεργειακό προφίλ του κτηρίου, τα σκόλια των χρηστών, τις ενεργειακές τιμές και την παραγωγή ενέργειας.

- Το σημασιολογικό λειτουργικό πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από το σύστημα επικοινωνίας, βασισμένο σε σημασιολογικές διαδικτυακές τεχνολογίες που εξυπηρετούν την μεταφορά δεδομένων από τις μεμονωμένες πηγές και την επακόλουθη ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση το περιεχόμενο.
- Η μηχανή DSS, η οποία προτείνει συγκεκριμένα σχέδια δράσης στον τελικό χρήστη. Για τον σκοπό αυτό, ευφυείς κανόνες τροφοδοτούνται με αναμενόμενα, πραγματικού-χρόνου αλλά και στατικά δεδομένα. Η μηχανή DSS αποτελείται από μοντέλα πρόβλεψης, επαγωγικούς κανόνες (inference rules) και μια βάση δεδομένων (MariaDB) για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων.
- DSS περιβάλλοντα. Το Optimus DSS διαθέτει τρία διαφορετικά περιβάλλοντα για διαφορετικούς τύπους χρηστών:
  - Περιβάλλον τελικού χρήστη (End-user environment). Απευθύνεται στους ενεργειακούς διαχειριστές των κτηρίων για την παρακολούθηση των δεδομένων και την πορεία των σχεδίων δράσης.
  - Διαχειριστικό περιβάλλον (management environment). Απευθύνεται στους τεχνικούς για την εγκατάσταση του DSS
  - Περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων (data portal environment). Απευθύνεται σε πολίτες και σε τρίτους που επιθυμούν να πλοηγηθούν στα δεδομένα.



## 2.2 Ενσωματωμένη Υπηρεσία OPTIMUS

Στόχος της υπηρεσίας OPTIMUS είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτήρια, η αλληλεπίδραση της με τα ενεργειακά συστήματα και η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Λόγω του γενικευμένου χαρακτήρα της μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε πόλεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά.



Σχήμα 2.2: Η ενσωματωμένη υπηρεσία Optimus και τα επιμέρους στοιχεία της

Το πρώτο βήμα κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας OPTIMUS είναι η εφαρμογή του πρώτου μέρους του εργαλείου SCEAF (“Smart City Energy Assessment Framework”). Το εργαλείο αυτό εφοδιάζει τις δημοτικές αρχές με ένα κατάλληλο λειτουργικό περιβάλλον για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του/της κτηρίου/πόλης όσον αφορά την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, την μείωση εκπομπής ρύπων CO<sub>2</sub> και την ελαχιστοποίηση του κόστους. Υπάρχουν δύο διαθέσιμες εκδόσεις, η “Whole City Level SCEAF” για την εφαρμογή του εργαλείου συνολικά για έναν δήμο και η “Municipal Building Level SCEAF” για ένα μεμονωμένο δημοτικό κτήριο. Το καθένα από αυτά χρησιμοποιεί τους κατάλληλους δείκτες αξιολόγησης της απόδοσης της/του πόλης/κτηρίου με γνώμονα τρεις άξονες: την πολιτική διάσταση της δράσης, το ενεργειακό και διοικητικό προφίλ αλλά και τις σχετικές υποδομές.

Εν συνεχεία έχουμε το OPTIMUS Tracker για την εκτίμηση της πιθανής ενεργειακής βελτιστοποίησης με την εφαρμογή του OPTIMUS DSS. Παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και επιλέγοντας τα κατάλληλα κάθε φορά σχέδια δράσης, το OPTIMUS Tracker δημιουργεί διαφορετικά σενάρια, τα οποία μπορούν να συγκριθούν με κριτήριο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> και την αύξηση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Εκμεταλλεύόμενο τόσο τα πραγματικού-χρόνου δεδομένα που παρακολουθούνται από μοντέλα συλλογής πληροφοριών όσο και τα προβλεπόμενα από τα αντίστοιχα μοντέλα πρόβλεψης, το OPTIMUS DSS προσφέρει στις δημοτικές αρχές μια σειρά από σχέδια δράσης, βασισμένα σε ένα σύνολο από επαγωγικούς κανόνες. Έτσι προκύπτει ένα σύνολο επτά διαθέσιμων σχεδίων δράσης. Τα σχέδια δράσης αυτά αναφέρονται στην ενεργειακή βελτιστοποίηση σε δημόσια κτήρια, εξετάζοντας το εκάστοτε κτήριο όχι σαν μια ξεχωριστή

οντότητα αλλά μέσα στο ενεργειακό πλαίσιο του συνόλου του δημοτικού κτηριακού τομέα. Λαμβάνοντας υπόψιν την αλληλεπίδραση τους με τα συστήματα ενέργειας, μπορούν να ενθαρρύνουν την αποτελεσματική διαχείριση των ενεργειακών ροών σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, ενσωματώνοντας σε αυτό την ενεργειακή ζήτηση, την παραγωγή και τις υποδομές( ενέργειας και άλλες).

Ακολουθώντας την εγκατάσταση και τις παραμέτρους του OPTIMUS DSS, τα επιλεγόμενα σχέδια δράσης αναμένεται να είναι πλήρως λειτουργικά. Τέλος ακολουθεί η εφαρμογή του τελευταίου τμήματος του εργαλείου OPTIMUS SCEAF , το οποίο επιτρέπει στις δημοτικές αρχές πλήρη εποπτεία των αποτελεσμάτων, όσον αφορά την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> . Οι δείκτες του εργαλείου θα υπολογιστούν εκ νέου , έτσι ώστε να γίνουν ορατά τα οφέλη από την εγκατάσταση ICTs (Information and Communications Technologies) και την επίτευξη των αρχικών στόχων. Η ανάλυση των νέων δεδομένων αναμένεται να οδηγήσει στην βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και να προσδώσει επιπλέον αξία συνολικά στην πόλη.

## **2.3 Ανάλυση της Υφιστάμενης Αγοράς**

Με τον όρο «**Έξυπνη Πόλη**» (Smart City) εννοούμε ένα βιώσιμο και αποτελεσματικό προάστιο το οποίο προσφέρει υψηλό βιωτικό επίπεδο στους κατοίκους του μέσω της ορθής διαχείρισης των πόρων του. Η λειτουργία μιας Έξυπνης Πόλης βασίζεται στην εγκατάσταση ICTs (Information and Communications Technologies) , που οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας , εξόδων και άλλων πόρων αλλά και σε μια καλύτερη ποιότητα ζωής εναθαρρύνοντας την ενεργή συμμετοχή των πολιτών. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα σε μια τέτοια πόλη είναι η διαχείριση της ενέργειας λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων ενέργειας και την ζωτική σημασία τους για την λειτουργία ενός αστικού κέντρου. Οι πόλεις αλλάζουν ραγδαία τον ενεργειακό τομέα, αναπτύσσοντας νέες ενεργειακές πολιτικές , οδηγώντας στην χρήση έξυπνων μετρητών και άλλων ενεργειακά αποδοτικών προγραμμάτων.

Σύμφωνα με το Navigant Research, η παγκόσμια αγορά έξυπνων ενεργειακών λύσεων για Έξυπνες Πόλεις αναμένεται να αυξηθεί από τα \$7.3 δισεκατομμύρια το 2015 στα \$21 δισεκατομμύρια το 2024, παρουσιάζοντας μια συνολική επένδυση περίπου \$140 δισεκατομμυρίων.

Οι κύριες τάσεις που προκαλούν την αλλαγή που λαμβάνει χώρα στον ενεργειακό τομέα εντοπίζονται στα:

- Την ανάδειξη του “Energy Cloud”: μετάβαση από την κεντρική παραγωγή και διανομή ενέργειας σε μια δικτυωμένη, δυναμική υποδομή που συνδυάζει βασιζόμενες στην ζήτηση τεχνολογίες παραγωγής, ανανεώσιμες πηγές αλλά και πιο παραδοσιακές μεθόδους.

- Στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: οι πόλεις θέτουν όλο και περισσότερους στόχους για τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας τους, βασιζόμενες στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και όχι στα ορυκτά καύσιμα, ώστε να συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με τις εκπομπές άνθρακα. Για παράδειγμα, οι πόλεις ενθαρρύνουν τόσο τον οικιακό όσο και τον εμπορικό τομέα μέσω ενεργειακών προγραμμάτων που υποστηρίζουν την χρήση φωτοβολταϊκών, μικρών ανεμογεννητριών, συστημάτων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού και άλλων κοινοτικών ενεργειακών καθεστώτων.
- Υιοθέτηση Smart Grid τεχνολογιών : η υποστήριξη της παραγωγής ενέργειας με την χρήση ανανεώσιμων πηγών από τις δημοτικές αρχές, έχει ως αποτέλεσμα οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας να προσφέρουν μια υποδομή ικανή να ενσωματώσει αυτές τις πηγές με έναν άκρως διαχειρίσιμο τρόπο. Μερικά από τα πιο προηγμένα παραδείγματα Smart Grids, με την χρήση μιας ψηφιακής υποδομής για την παρακολούθηση και την διαχείριση του δικτύου, έχουν συνεισφέρει σε μια στενή συνεργασία μεταξύ των δήμων και των τοπικών φορέων.

Το τελικό σχέδιο μιλάει για μια «Έξυπνη Πόλη» που θα ενσωματώνει μικρής και μεγάλης κλίμακας ενεργειακές πρωτοβουλίες, μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση σε επίπεδο πόλης, διεσπαρμένη παραγωγή και καλύτερη συνεργασία μεταξύ δημοτικών αρχών και τοπικών ενεργειακών οργανισμών με σκοπό την επιτάχυνση της μετάβασης προς βιώσιμα τοπικά ενεργειακά συστήματα. Για αυτό τον σκοπό ο οργανισμός “**Smart Energy Cities**” συνιστά μια στρατηγική ανάπτυξης σε αστικό επίπεδο για την Ευρώπη. Σύμφωνα με αυτή στόχος είναι η παροχή βοήθειας στις πόλεις έτσι ώστε να αξιοποιήσουν τις τρέχουσες τεχνολογικές και οικονομικές ευκαιρίες, έτσι ώστε να παρέχουν με την σειρά τους ένα καλύτερο βιοτικό επίπεδο στους πολίτες τους, ενώ παράλληλα να αντιμετωπίσουν ενεργειακές προκλήσεις , όπως η κλιματική αλλαγή, η έλλειψη πηγών ενέργειας και η ανάγκη για μια βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων , η χρήση δηλαδή μοντέλων και μεθόδων για τον σχεδιασμό και την λειτουργία των ενεργειακών πλατφορμών στο μέλλον.

Στην πραγματικότητα, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των ενεργειακών συστημάτων, τόσο όσον αφορά τις υποδομές όσο και τις λειτουργίες, τόσο πιο αναγκαία γίνεται για τους λειτουργούς του ενεργειακού συστήματος η πρόσβαση σε δεδομένα για την λήψη αποφάσεων. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα, τόσο όσον αφορά το μέγεθος τους όσο και την ποικιλία των πηγών προέλευσης τους. Αυτό σε συνδυασμό με την ανάγκη πολλές φορές για επεξεργασία των δεδομένων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, δημιουργεί την ανάγκη στον ενεργειακό τομέα για ανεπτυγμένα εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο όχι μόνο των ενεργειακών υποδομών αλλά και των κομβικών σημείων του δικτύου (**System’s end points**), εκεί που λαμβάνει χώρα η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.

Γίνεται λοιπόν ορατός ο ζωτικής σημασίας ρόλος των τεχνολογιών επικοινωνιών και επεξεργασίας δεδομένων (**ICT**) για τις σύγχρονες ενεργειακές υποδομές. Οι τεχνολογίες αυτές κερδίζουν συνεχώς έδαφος στην διαχείριση των συστημάτων, δίνοντας την δυνατότητα, σε νοικοκυριά, σε γειτονιές , σε πόλεις και δήμους να μοιραστούν την ικανότητα τους για παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας, να παράγουν ενέργεια σε τοπικό επίπεδο και να γίνουν ενεργειακά αυτόνομες. Η συνδεσιμότητα στα συστήματα ενέργειας,

η οποία γίνεται εφικτή με την χρήση ICT τεχνολογιών, δίνει την δυνατότητα για αμφίδρομη ροή πληροφοριών, συνδέοντας όλα τα επιμέρους στοιχεία του δικτύου έτσι ώστε να επιτρέπεται η ανάπτηξη ενός αποδοτικού, αξιόπιστου και αποκεντρωμένου «**Έξυπνου Δικτύου**» (**Smart Grid**).

Σαν συνέπεια η επιτυχία των **Smart Grids εξαρτάται** από την ανάπτυξη ICT εφαρμογών, ικανών να επεξεργαστούν μεγάλου όγκου δεδομένα (**Big Data**) και να υποστηρίξουν την λήψη αποφάσεων στα πλαίσια ενός αποκεντρωμένου συστήματος παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής ενέργειας. Η ύπαρξη τέτοιων εργαλείων τόσο όσον αφορά ένα μεμονωμένο κτήριο, όσο και συνολικά μια πόλη, είναι βασικά στοιχεία για να χαρακτηριστεί μια πόλη ως «Έξυπνη». Μέσω της χρήσης τέτοιων εργαλείων είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των ευφυών συστημάτων ενός κτηρίου και των διανομικών ενέργειας, έτσι ώστε να ελέγχονται το σύστημα ψύξης-θέρμανσης, ο φωτισμός και τα συστήματα θερμού νερού, έτσι ώστε να διασφαλιστεί μια περισσότερο σταθερή παροχή ενέργειας, βελτιστοποιώντας την διαχείριση των αιχμών ζήτησης και πόρων σε ένα τοπικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη εφαρμογών που βασίζονται στην τεχνολογία επικοινωνιών και επεξεργασίας δεδομένων (ICT) είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την χρήση έξυπνων μετρητών (Smart Meters), οι οποίοι αναπτύσσονται ευρέως στον Ευρωπαϊκό χώρο και δίνουν την δυνατότητα της αλληλεπίδρασης με τους πελάτες πάνω στην κατανάλωση ενέργειας.

Η νέα γενιά των έξυπνων μετρητών κάνουν εφικτή την πώληση της ενέργειας που παράγει ένα κτήριο, σε κάποιο άλλο του ίδιου ευφυούς δικτύου και κατ'επέκταση η επικοινωνία μεταξύ γειτονικών ευφυών δικτύων, αναπτύσσοντας κατά αυτό τον τρόπο μια «Ευφυή Πόλη». Σε αυτό το πλαίσιο είναι απαραίτητη η ύπαρξη εργαλείων για ολόκληρες έξυπνες ενεργειακά περιοχές (Smart Energy Districts), μια κατηγορία που αναγνωρίστηκε ως θέμα υψίστης σημασίας κατά την διάρκεια του συνεδρίου “EERA JP Smart Cities”, στην οποία εμπίπτει και το OPTIMUS.

Το θέμα αυτό στοχεύει στην ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων για την βέλτιστη διαχείριση περιοχών με με μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, με λύσεις για την έξυπνη παραγωγή ενέργειας (Θερμικής και ηλεκτρικής), την αποθήκευση και την κατανάλωση της. Η ανάγκη ενσωμάτωσης ευφυών συστημάτων που στοχεύουν στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, στην μείωση του κόστους και στην μείωση των εκπομπών άνθρακα τόσο σε επίπεδο μιας περιοχής όσο και σε επίπεδο ολόκληρης πόλης, αναμένεται να δημιουργήσουν τις συνθήκες για ανάπτυξη εύχρηστων κι αξιόπιστων λογισμικών για άμεση ενεργειακή αξιολόγηση. Η εκτίμηση του μεγέθους της αγοράς και της αξίας των ευφυών συστημάτων ενέργειας είναι αρκετά περίπλοκη, τόσο λόγω της πρόσφατης ανάπτυξης του τομέα όσο και εξαιτίας του γεγονότος ότι οι εταιρίες του τομέα δραστηριοποιούνται και σε άλλους τομείς, οι οποίοι συχνά είναι αλληλοσυνδεδεμένοι όπως ο τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ICT (Information and Communications Technologies).

Σε αυτό το πλαίσιο, η σχετική βιβλιογραφία δείχνει ότι η ανάγκη για την ανάπτυξη εργαλείων για την λήψη αποφάσεων όσον αφορά την διαχείριση της ενέργειας στον κτηριακό τομέα είναι τεράστια, ειδικά για τις περιοχές, μαζί με την αυξανόμενη τάση για μετάβαση προς τις «Έξυπνες Πόλεις». Για την ακρίβεια, τα εργαλεία λήψης αποφάσεων (**Decision Support Tools**) μπορούν να συντελέσουν στην επίτευξη των βασικών στόχων μιας «Έξυπνης Πόλης», δίνοντας παράλληλα την ευκαιρία για ανάλυση και σύγκριση

μεταξύ των διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των διαφορετικών λύσεων εκσυγχρονισμού της, βοηθώντας κατεπέκταση την εκτίμηση της απόδοσης της επένδυσης.

Με την πάροδο του χρόνου, γίνονται όλο και πιο ορατά τα πλεονεκτήματα που μπορούν να επιφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό οδηγεί στην βελτίωση των διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων και στην αύξηση του μερίδιου που κατέχουν οι ανανεώσιμες πηγές στην αγορά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναμένεται να είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας για τις νέες επεκτάσεις του δικτύου καλύπτοντας τις ανάγκες ισχύος. Συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι θα καλύψουν περίπου τα 2/3 των επεκτάσεων του δικτύου μέχρι το 2020. Η παραγωγή από ΑΠΕ (Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) αυξάνεται συνεχώς, έτσι από το 22% της συνολικής παραγωγής που κατείχε το 2013, αναμένεται να φτάνει το 26% το 2020. Η αιολική ενέργεια είναι περισσότερο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ, καλύπτοντας πάνω από 1/3 της συνολικής παραγωγής από ΑΠΕ, ενώ στην δεύτερη θέση έρχεται η ηλιακή ενέργεια (Φωτοβολταικά).

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του IEA (International Energy Agency), η ετήσια επένδυση σε ΑΠΕ εκτιμάται να φτάσει τα \$230 δισεκατομμύρια, ελαφρώς χαμηλότερη από τα περίπου \$270 δισεκατομμύρια που είχε φτάσει το 2014. Σε αντιστοιχία με την υπάρχουσα κατάσταση στην αγορά, οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταικά αναμένεται να αποτελέσουν τα 2/3 των νέων επενδύσεων. Αυτή η τάση είναι πιθανό να συνεχιστεί εξαιτίας της περαιτέρω μείωσης στα κόστη παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ τα επόμενα χρόνια.

Με εκτίμηση στον κτηριακό τομέα, οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες ΑΠΕ είναι τα φωτοβολταικά (PV) και οι ανεμογεννήτριες, που εγκαθίστανται τόσο σε αστικά όσο και σε βιομηχανικά κτήρια. Οι νέες τεχνολογίες ΑΠΕ είναι περισσότερο οικονομικά αποδοτικές και έτσι ενθαρρύνουν την περαιτέρω ενσωμάτωσή τους όχι μόνο σε ένα μεμονωμένο κτήριο αλλά και σε ολόκληρες γειτονικές περιοχές.

Οι δημοτικές αρχές είναι αναγκαίο να προωθήσουν ενέργειες για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πόλεων. Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός συστήματος λήψης αποφάσεων (Decision Support System, DSS) στοχεύει στην εφαρμογή και στην παρακολούθηση ενεργειακών σχεδίων δράσης, με σκοπό την βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας και την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

### **Ανταγωνιστές**

Σήμερα στην αγορά διατίθεται ένας ικανοποιητικός αριθμός εργαλείων για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης και της ενεργειακής απόδοσης τόσο σε επίπεδο κτηρίου όσο και σε επίπεδο μιας ευρύτερης περιοχής. Ωστόσο, μόνο ορισμένα από αυτά είναι εμπορικά ενώ κάποια άλλα βρίσκονται ακόμα υπό περαιτέρω ανάπτυξη. Παρακάτω παρατίθεται μια λίστα εργαλείων και προϊόντων, συνοδευόμενα με μια συνοπτική περιγραφή των λειτουργιών τους. Κάποια από αυτά έχουν εφαρμογή στον κτηριακό τομέα ενώ άλλα διαθέτουν λειτουργίες για την βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων.

## Attune Advisory Services

Features	ENERGY		
	Awareness	Improvement	Optimization
Communicate energy performance	•	•	•
Track/trend 10 critical energy measures	•	•	•
Weather normalization	•	•	•
Monthly/quarterly reports		•	•
Advanced benchmarking to standards		•	•
Analyst recommendations		•	•
Plant health check & diagnostics			•
Automatic fault detection			•
Dedicated analyst recommendation including ROI			•

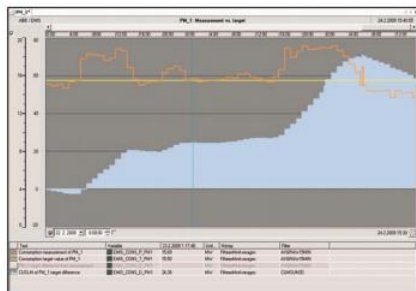
Honeywell

Το Attune Advisory Services επιτρέπει την συνεχή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Το Attune στηρίζεται σε cloud-based και SaaS τεχνολογίες και υποστηρίζεται από ειδικούς σε θέματα ενέργειας και αυτοματισμών, κάτι το οποίο βοηθάει στην εξοικονόμηση χρόνου, χρημάτων και ενέργειας. Προσφέρει τρεις βασικές λειτουργίες:

- Συλλογή δεδομένων από τα συστήματα διαχείρισης του κτηρίου, παρουσιάζοντας τα σε μια κατανοητή μορφή. Διαθέτοντας ένα διαδικτυακό σύστημα παρακολούθησης, υποστηρίζει την συνεχή παρακολούθηση της ενεργειακής ζήτησης και των αιχμών της, καθώς και δίνει πρόσβαση στον HVAC εξοπλισμό, την λειτουργία και τα Setpoint του.
- Μια προληπτική ανάλυση που εντοπίζει διαγνωστικά σφάλματα, προβληματικούς αισθητήρες, παρεκκλίσεις και εσφαλμένες εντολές. Μια κατάλληλη αναφορά προσφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες για τις λειτουργίες του κτηρίου.
- Προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο μέσω της βοήθειας ειδικών αναλυτών του Honeywell's Global Service Response Center. Επίσης αξιολογούν μοτίβα δεδομένων συγκριτικά με άλλους ελέγχους για να εντοπίσουν πιθανά λειτουργικά ζητήματα, που χρήζουν επέμβασης.

Κάθε επίπεδο έχει προγράμματα τα οποία εστιάζουν είτε στην ενεργειακή είτε στην λειτουργική απόδοση. Το Attune διαθέτει ένα ευέλικτο σύνολο από Dashboards και αναφορές πάνω στην ενεργειακή βελτιστοποίηση, που συνοψίζουν τις πραγματικές προτάσεις όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας.

## cpmPlus Energy Manager

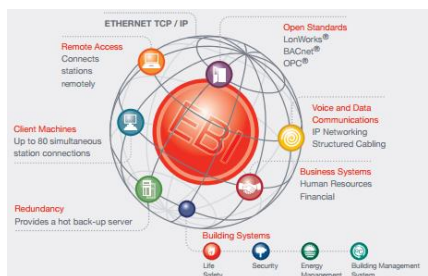


ABB

Το cpmPlus Energy Manager βοηθά τους χρήστες σε μια βιομηχανία να παρακολουθούν, να διαχειρίζονται και να βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας με σκοπό την καλύτερη αποδοτικότητα και την μείωση του κόστους. Απευθύνεται στην επιχειρησιακή πλευρά της διαχείρισης ενέργειας, παράγοντας ακριβή σχέδια ενεργειακής ζήτησης χρησιμοποιώντας τα για τον σχεδιασμό παροχής ενέργειας και την βελτιστοποίηση της. Έχει την δυνατότητα να καταστρώνει τις ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες από την προηγούμενη μέρα εξασφαλίζοντας σημαντική μείωση του ενεργειακού κόστους. Περιλαμβάνει ακόμα εργαλεία ανάλυσης για την αξιολόγηση της χρήσης ενέργειας για τις διάφορες λειτουργίες και την ανίχνευση πιθανών δυνατοτήτων βελτίωσης. Το Energy Manager υπολογίζει το κόστος ενέργειας και προσφέρει υποστήριξη για τον καλύτερο προγραμματισμό της κατανάλωσης ενέργειας κατά την διάρκεια των περιόδων χαμηλής ζήτησης.

Το Energy Manager είναι επιδεκτικό διεύρυνσης. Έτσι μπορεί σε κάποια περίπτωση να χρησιμοποιείται απλά σαν ένα εργαλείο για βασική παρακολούθηση και ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης σε μια μεμονωμένη εγκατάσταση, εν συνεχεία να επεκταθεί έτσι ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες εγκαταστάσεις ακόμα και να χρησιμοποιηθεί από την επιχείρηση με σκοπό την βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και την μείωση των αντίστοιχων κόστων.

## Enterprise Building Integrator (EBI)



Honeywell

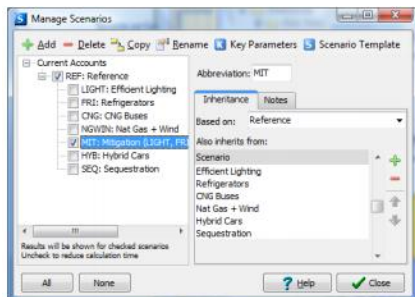
Το EBI είναι μια γενικού τύπου πλατφόρμα αυτοματισμού για όλα τα συστήματα κτηρίου. Χρησιμοποιώντας ευρέα αρχιτεκτονικά και βιομηχανικά πρότυπα, το EBI ενσωματώνει υπάρχοντα κτηριακά συστήματα, παρέχοντας πληροφορίες και έλεγχο πάνω σε λειτουργικά συστήματα διαχείρισης κτηρίων. Προσφέρει μεγάλη γκάμα λύσεων, που μπορούν να συνδυαστούν με οποιοδήποτε τρόπο ανάλογα



με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης:

- Building Manager – διαχείριση κτηρίου και HVAC ελέγχου με διεπαφές για την οδήγηση λύσεων για το σύστημα και HVAC συσκευών
- Security Manager – ενσωματώνει πληροφορίες από συσκευές ασφαλείας, ελέγχου πρόσβασης και παρακολούθησης
- Energy Manager -παρακολουθεί, αξιολογεί και βελτιστοποιεί την χρήση ενέργειας. Οι βασικές λειτουργίες του Energy Manager περιλαμβάνουν παρακολούθηση της ενέργειας, ανάλυση και αναφορές, τιμές και χρεώσεις, πρόβλεψη του ενεργειακού φορτίου, και διαχείριση της ενεργού ζήτησης.

## Long range Energy Alternatives Planning System (LEAP)



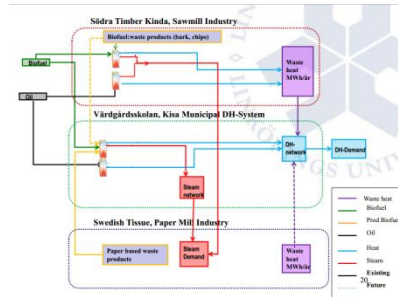
SEI

Το LEAP αποτελεί ένα εργαλείο προσομοίωσης σεναρίων σε θέματα ενέργειας και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης, της παραγωγής και της εξόρυξης πόρων σε ένα δοσμένο ενεργειακό σύστημα κάτω από συγκεκριμένες παραδοχές και υποθέσεις.

Το LEAP είναι κατά βάση ένα υπολογιστικό σύστημα, ωστόσο οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν οικονομικά μοντέλα, προσομοιωτικά μοντέλα και μοντέλα βελτιστοποίησης. Οι χρήστες μπορούν να συνδυάσουν αυτές τις μεθοδολογίες. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να αναπτύξει με λογική top-down, προβλέψεις της ζήτησης της ενέργειας σε έναν συγκεκριμένο τομέα βασιζόμενος σε συγκεκριμένους μακροοικονομικούς δείκτες (τιμή, GDP), ενώ σε άλλους τομείς να αναπτύξει προβλέψεις με bottom-up λογική, έχοντας ως γνώμονα μια μικροσκοπική ανάλυση. Στον τομέα της παραγωγής ενέργειας το LEAP υποστηρίζει μια ευρεία γκάμα μεθόδων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για την μοντελοποίηση τόσο μιας επέκτασης της παραγωγικής ικανότητας αλλά και της κατανομής της ηλεκτροπαραγωγής.

Το LEAP περιλαμβάνει μια ενσωματωμένη τεχνολογική και περιβαλλοντολογική βάση δεδομένων (Technology and Environmental Database ,TED) που περιέχει δεδομένα όσον αφορά τα κόστη, την απόδοση και τις εκπομπές για πάνω από 1000 τεχνολογίες. Το LEAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των διαφορετικών προφίλ εκπομπών αλλά ταυτόχρονα και για την ανάπτυξη σεναρίων γύρω από τις εκπομπές του μη ενεργειακού τομέα (από παραγωγή τσιμέντου, αλλαγή στον τρόπο εκμετάλλευσης της γης, στερεά απόβλητα κ.τ.λ).

### Model for Optimisation of Dynamic Energy Systems with Time (MODEST)

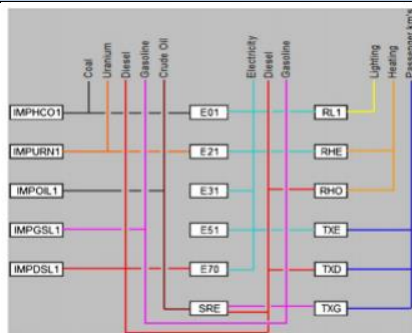


Linköping University

Το MODEST είναι ένα μοντέλο που βασίζεται στον γραμμικό προγραμματισμό το οποίο χρησιμοποιείται για την βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Το πρόγραμμα βελτιστοποιεί το ενεργειακό σύστημα έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις τρεις βασικές ανάγκες: θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό. Το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης δίνει τον αποδοτικότερο συνδυασμό, όσον αφορά το κόστος, εξοπλισμού και καυσίμου έτσι ώστε να ανταπόκρινεται στην ζήτηση κατά την διάρκεια του έτους.

Το λογισμικό μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε ενεργειακό σύστημα το οποίο μπορεί να περιγραφεί με γραμμικές σχέσεις. Έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και την βελτιστοποίηση συστημάτων ηλεκτρισμού και θέρμανσης σε πολλούς δήμους της Σουηδίας. Το σύστημα ενέργειας αναπαρίσταται σαν ένα δίκτυο στοιχείων τα οποία αναπαρίστανται από κόμβους και ενεργειακές ροές. Το μοντέλο περιγράφει εξ'ολοκλήρου το σύστημα, περιλαμβάνοντας μονάδες συνδυασμένου κύκλου, συστήματα μετατροπής, προμήθεια καυσίμων και ζήτηση και αγορά ενέργειας.

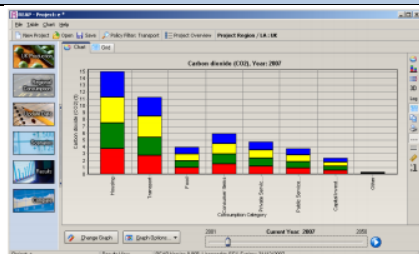
### Open Source energy MODELing SYStem (OSeMOSYS)



KTH, SEI και άλλοι οργανισμοί

Το Open Source MODELing SYStem (OSeMOSYS), είναι ένα απλό, ισχυρό, σαφές, ενεργειακό μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση συστημάτων, με χρήση γραμμικού προγραμματισμού. Αναπτύχθηκε με την GLPK (GNU Linear Programming Kit), μια open source μαθηματική γλώσσα προγραμματισμού. Δημιουργήθηκε από μια ομάδα οργανισμών κάτω από την αιγίδα του KTH, του Βασιλικού Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Σουηδίας (Royal Institute of Technology in Sweden) και άλλων οργανισμών όπως οι SEI, UNIDO, IAEA, και του κέντρου έρευνας σε θέματα ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου (UK Energy Research Center). Το OSeMOSYS διατίθεται σαν ένα απλό αρχείο κειμένου γραμμένο στην γλώσσα GLPK και είναι ενσωματωμένο στο σύστημα LEAP.

## REAP



SEI

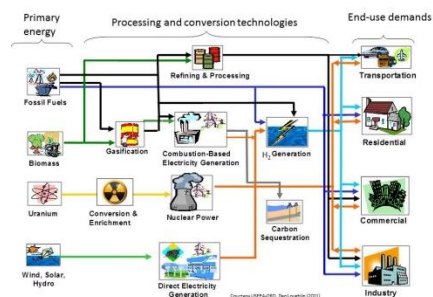
Το REAP προσφέρει δεδομένα και σενάρια μοντελοποίησης των εκπομπών άνθρακα, των αερίων του θερμοκηπίου και των οικολογικών αποτυπωμάτων σε διάφορες περιοχές και δημοτικές αρχές του Ηνωμένου Βασιλείου. Το εργαλείο μεταξύ άλλων προσφέρει:

- Δεδομένα για το οικολογικό απότυπωμα του παραγωγικού τομέα
- Δεδομένα για το οικολογικό αποτύπωμα των νοικοκυριών
- Ένα συγκριτικό εργαλείο για την σύγκριση δεδομένων από διαφορετικές περιοχές
- Μια σύνθετη λειτουργία για να ενώσει τοπικές αρχές ή περιοχές
- Ανάπτυξη και ανάλυση μελλοντικών σεναρίων
- Αξιολόγηση σεναρίων και αποτελεσμάτων

Οι λειτουργίες σεναρίου στο REAP δίνουν την δυνατότητα απάντησης σε ερωτήσεις σχετικά με τα αποτελέσματα των διαφόρων στρατηγικών σε θέματα περιβάλλοντος βοηθώντας έτσι την χάραξη στρατηγικών τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Σενάρια μπορούν να δημιουργηθούν για όλο το φάσμα της κατανάλωσης, δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να δει τις επιπτώσεις των αλλαγών στην κατανάλωση, όπως η ζήτηση ενέργειας, τα ταξίδια και το φαγητό, στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε τοπικό επίπεδο με την πάροδο του χρόνου. Όλα αυτά τα τμήματα της κατανάλωσης μπορούν να αλλάξουν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με κάποια άλλα, επιτρέποντας έτσι στα διάφορα σενάρια να είναι πολύ απλά ή πολύ σύνθετα ανάλογα με τις ανάγκες.

## TIMES/MARKAL

### MARKAL/TIMES Energy System Model



ETSAP

Το MARKAL (MARKet ALlocation) είναι ένα προηγμένο τεχνολογικά ενεργειακό/οικονομικό/περιβαλλοντολογικό μοντέλο. Είναι αποτέλεσμα ομαδικής προσπάθειας κάτω από την αιγίδα του ETSAP (Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Programme). Το MARKAL είναι ένα γενικό μοντέλο ειδικά σχεδιασμένο για να αναπαριστά την εξέλιξη, μέσα σε μια περίοδο 20-50 χρόνων, ενός συγκεκριμένου ενεργειακού συστήματος σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο. Το σύστημα αναπαρίσταται σαν ένα δίκτυο, παρουσιάζοντας όλες τις ροές ενέργειας από τις διάφορες πηγές ενέργειας, στον μετασχηματισμό της μέχρι τον τελικό καταναλωτή και την χρήση της. Κάθε “κρίκος” στο σύστημα χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο τεχνικών συντελεστών (ικανότητα, αποδοτικότητα κ.τ.λ), περιβαλλοντολογικών συντελεστών (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> κ.τ.λ), και οικονομικών συντελεστών (κόστη κεφαλαίου, ημερομηνία κυκλοφορίας κ.τ.λ).

ΤΟ MARKAL βρίσκει την κατάλληλη μορφή Α.Π.Ε για κάθε χρονική περίοδο επιλέγοντας τις καλύτερες επιλογές με ορίζοντα τον συνολικό σχεδιασμό.

## TRACE



World Bank (ESMAP)

Το TRACE Tool for Rapid Assessment of City Energy (Tool for Rapid Assessment of City Energy) είναι ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων, σχεδιασμένο για να βοηθάει τις πόλεις να αναγνωρίζουν εύκολα τομείς με ελλειπή απόδοση, εκτιμώντας την πρόοδο και την δυνατότητα εξοικονόμησης χρημάτων, και δίνοντας προτεραιότητα σε τομείς και ενέργειες που έχουν στόχο την καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα (energy efficiency, EE). Καλύπτει έξι δημοτικούς τομείς: τα Μ.Μ.Μ, τον δημοτικό κτηριακό τομέα, το νερό και την σπατάλη του, τον δημόσιο φωτισμό, τα στερεά απόβλητα, και την ισχύ.

Το TRACE απαρτίζεται από τρία μοντέλα: ένα μοντέλο ενεργειακής αξιολόγησης το οποίο συγκρίνει βασικούς δείκτες απόδοσης μεταξύ όμοιων πόλεων, ένα μοντέλο προτεραιότητας το οποίο αναγνωρίζει εκείνους τους τομείς οι οποίοι προσφέρουν την μεγαλύτερη προοπτική όσον αφορά την μείωση του κόστους για ενέργεια, και ένα μοντέλο επιλογής που

λειτουργεί σαν ένα “playbook” δοκιμασμένων και ελεγμένων δράσεων ενεργειακής αποδοτικότητας και βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων τέτοιου είδους δράσεων.

## TERMIS



Schneider Electric

Το TERMIS είναι μια πλατφόρμα προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων για την βελτίωση του σχεδιασμού και της λειτουργίας τους. Με την χρήση του SCADA το μοντέλο TERMIS μετατρέπεται από ένα απλό εργαλείο σχεδιασμού σε ένα εργαλείο ιδανικό για την λήψη αποφάσεων, που ενσωματώνεται στον ημερήσιο προγραμματισμό δραστηριοτήτων – με άμεσα και ξεκάθαρα πλεονεκτήματα και οικονομικά οφέλη. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Βελτιωμένη εικόνα του δικτύου,
- Πρόβλεψη της ζήτησης,
- Βελτιωμένος σχεδιασμός

Το TERMIS προσφέρει μια συνοπτική εικόνα του δικτύου και επιτρέπει την καλύτερη λειτουργία του, τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική πλευρά. Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να βελτιώνει την κατανάλωση ενέργειας ενώ παράλληλα μειώνει τα κόστη ενέργειας, τα κόστη λειτουργίας, τα παράπονα των πελατών και τις επενδύσεις κεφαλαίου.

Το TERMIS ενσωματώνει σύστημα SCADA και μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να στέλνει κατάλληλο σήμα στο σύστημα SCADA αν προβλέπονται σφάλματα στο δίκτυο. Το TERMIS προβλέπει την ζήτηση του εξεταζόμενου δικτύου, το οποίο βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα αλλά και στις τρέχουσες και μελλοντικές καιρικές συνθήκες. Προσφέρει επίσης υποθετικά σενάρια για να διαφανούν τα αποτελέσματα όσον αφορά την λειτουργία και την συντήρηση του συστήματος, κάνοντας ευκολότερη την επιλογή της ιδανικότερης επιλογής.

Το TERMIS βρίσκεται σε καθημερινή λειτουργία σε πάνω από 500 πόλεις παγκοσμίως, και προμηθεύει με ενέργεια περισσότερα από 100 εκατομμύρια σπίτια.

## StruxureWare Energy Operation EMIS Portfolio



Schneider Electric

Το StruxureWare™ είναι μια πλατφόρμα ανοιχτών, διαλειτουργικών εφαρμογών με δυνατότητα περαιτέρω επέκτασης. Δίνει την δυνατότητα στους ενεργειακούς διαχειριστές να βελτιστοποιήσουν την χρήση ενέργειας μέσω κατάλληλων πρωτοβουλιών, ενεργειών και ελέγχων.

Το Energy Operation είναι μια εφαρμογή του StruxureWare που προσφέρει πρόσβαση σε δεδομένα από διαφορετικά συστήματα. Αυτό δίνει την δυνατότητα στους διαχειριστές να διαγνώσουν περιοχές με δυνατότητα μείωσης των λειτουργικών τους κόστων. Η εφαρμογή παρέχει:

- Εποπτεία των ενεργειακών δεδομένων – Πρόσβαση σε δεδομένα για την ενεργειακή κατανάλωση, απόδοση και αποκλίσεις από πολλές πηγές.
- Συγκριτική αξιολόγηση και KPI ανάλυση – Σύγκριση λειτουργιών για την ανίχνευση χαμηλών επιδόσεων
- Ευελιξία στην μορφή δεδομένων
- Υπολογισμοί ενεργειακής αποδοτικότητας – Σύγκριση μεταξύ του πριν και του μετά της εφαρμογής σεναρίων, για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης χρημάτων από παλιές δράσεις, και λήψη αποφάσεων για πιο αποδοτικές δράσεις στο μέλλον.

## **2.4 Ενσωματωμένη Υπηρεσία OPTIMUS, Business Model**

Το παρακάτω μοντέλο περιγράφει με τον καλύτερο τρόπο τα επιμέρους στοιχεία και τις δράσεις που θα ακολουθήσει η ομάδα του OPTIMUS για να θέσει τα αποτελέσματα του Project προς εμπορική χρήση.

### **2.4.1 Τμήμα Πελατών**

Η ενσωματωμένη υπηρεσία OPTIMUS μπορεί να εφαρμοστεί από κάθε δημοτική αρχή που έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στον δημοτικό κτηριακό τομέα αλλά και κατέπекταση συνολικά για ολόκληρη την πόλη.

Οι δημοτικές αρχές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των Ευρωπαϊκών ενεργειακών και κλιματικών στόχων. Έχουν τον ρόλο να αναπτύξουν κανονισμούς και υιοθετήσουν πρότυπα χρήσης μέσα στα πλαίσια δικαιοδοσίας τους. Θέτουν ακόμα σχέδια που προωθούν την στεγαστική και κοινωνική ανάπτυξη αλλά και την καλύτερη διαχείριση των δημοτικών υποδομών.

Το να αναπτύξουν την τεχνολογική τους κατάρτιση σε θέματα κτηρίων και σε εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας και το να κατανοήσουν τα περιβαλλοντολογικά και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη τους, είναι κρίσιμα έτσι ώστε να συμμετάσχουν οι δημοτικές αρχές στην αγορά ενέργειας ως ένας «Έξυπνος Πελάτης» και να διαχειριστούν αναλύσεις σκοπιμότητας, να καθορίσουν την πολιτική ανάπτυξης που θα ακολουθήσουν και να αυξήσουν την αποδοχή του κοινού σε ενεργειακά ζητήματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, το OPTIMUS θα αποτελέσει ένα βοήθημα για τις δημοτικές αρχές καθώς μπορεί να παρέχει μια συνολική εικόνα των δράσεων που επιτελούν για την βελτίωση της υφιστάμενης απόδοσης των δημοτικών κτηρίων. Έτσι τα αποτελέσματα του εγχειρήματος θα έχουν μια σημαντική επίδραση στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και στην μείωση των εκπομπών άνθρακα τόσο στον κτηριακό τομέα όσο και συνολικά για μια πόλη στο εσωτερικό της Ε.Ε.

Επιπλέον, οι δημοτικές αρχές θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα του OPTIMUS για να μελετήσουν και να αναλύσουν τον κτηριακό τομέα στο επίπεδο της πόλης τους και να βελτιώσουν τους ισχύοντες κανονισμούς. Για την ακρίβεια το OPTIMUS δίνει την δυνατότητα στους φορείς λήψης αποφάσεων να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα που θα έχουν διαφορετικές δράσεις όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα των πόλεων τους.

Πιο συγκεκριμένα, στην ουσία οι χρήστες του OPTIMUS DSS είναι οι Ενεργειακοί Διαχειριστές είτε μιλάμε σε επίπεδο κτηρίου είτε σε επίπεδο πόλης. Με τον όρο Ενεργειακοί Διαχειριστές εννοούμε τους ειδικούς που ασχολούνται με την διαχείριση ενέργειας σε ένα κτήριο ή συνολικά σε μια πόλη. Παρακολουθούν και ελέγχουν την ενέργεια σε ένα κτήριο (ή οργανισμό) με την αρμοδιότητα του να ανιχνεύουν πιθανές προοπτικές για εξοικονόμηση ενέργειας και να αξιολογούν το ποσό της ενέργειας που θα μπορούσε να εξοικονομηθεί μέσω αυτών. Ο τελικός στόχος είναι η μείωση του κόστους, η μείωση των εκπομπών άνθρακα και των περιβαλλοντολογικών και οικονομικών επιπτώσεων τους (επιβολή ρήτρας εκπομπής αερίων) αλλά και η μείωση των ρίσκων που αφορούν την ζήτηση ενέργειας, μειώνοντας την και ελέγχοντας της έτσι ώστε να μπορεί να προβλεφθεί πιο αποτελεσματικά.



Για αυτό τον σκοπό οι διαχειριστές ενέργειας θα πρέπει να έχουν στην διάθεση τους εργαλεία που να επιτρέπουν την εφαρμογή δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας και άλλων τεχνικών μέτρων.

Σε αυτό το πλαίσιο, το ενσωματωμένο σύστημα του OPTIMUS δίνει μια λύση για την διαχείριση της ενέργειας σε ένα δημοτικό κτήριο, προσφέροντας ένα συγκεντρωτικό και εύχρηστο σύστημα. Ακόμα, το DSS υποστηρίζει τον προγραμματισμό των πηγών ενέργειας και την παρακολούθηση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων συγκρίνοντας την πραγματική τους παραγωγή με τις αρχικές προσδοκίες.

#### **2.4.2 Προστιθέμενη Αξία (value proposition)**

Με τον όρο «προστιθέμενη αξία» (**value proposition**) εννοούμε το χειροπιαστό αποτέλεσμα που απολαμβάνει κάποιος από την χρήση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Απευθύνεται σε πραγματικές ανάγκες, που μπορούν να ικανοποιηθούν με διάφορους τρόπους, και μέσω διαφόρων αγαθών/υπηρεσιών, προσφέροντας αναζωογόνηση, καλές επιδόσεις, εξοικονόμηση, φήμη, μείωση κόστους ή ρίσκου κ.τ.λ. Γενικά, η «προστιθέμενη αξία» μπορεί να προσφέρει υλική-ποσοτική αξία (π.χ μέσω της τιμής και της απόδοσης) ή μια ποιοτική αξία στους πελάτες .

Το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε μέσω του προγράμματος OPTIMUS προσφέρει σημαντική επιπλέον αξία σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία της αγοράς, που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα.

Το OPTIMUS DSS αποτελεί μια ανεπτυγμένη, ευφυή , ολοκληρωμένη λύση. Διατέτει τον απαιτούμενο βαθμό γενικότητας, έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί στον εκάστοτε δημοτικό κτηριακό τομέα και στην επίδραση του με τα ενεργειακά συστήματα αλλά και σε πόλεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

#### **2.4.3 Κανάλια Επικοινωνίας**

Η κοινοπραξία του OPTIMUS χρειάζεται διάφορα κανάλια επικοινωνίας για την εξεύρεση πελατών. Σε πρώτη φάση, η κοινοπραξία θα πρέπει να διερευνήσει τις υπάρχουσες εμπορικές επαφές και τα δίκτυα πελατών, προσεγγίζοντας τους πελάτες μέσω άμεσης επικοινωνίας .

Η συμμετοχή σε συνέδρια, εκθέσεις και άλλες εκδηλώσεις θα βοηθήσει στην προώθηση του προϊόντος, λόγω της επαφής με νέους πελάτες και της αναθέρμανσης των ήδη υπάρχοντων επαφών. Τα σχόλια παλαιότερων χρηστών όπως και τα αποτελέσματα του προγράμματος στα πιλοτικά κτήρια θα χρησιμοποιηθούν για την προώθηση του προϊόντος, μέσω βίντεο στο Youtube.

Τέλος θα χρησιμοποιηθούν και πιο παραδοσιακά μέσα όπως η ιστοσελίδα του προγράμματος , τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, ενημερωτικά δελτία και άλλα.

#### **2.4.4 Σχέσεις Πελατών**

Μια πελατειακή σχέση καθορίζει τους συνδέσμους που θέτει μια εταιρεία με τις διάφορες κατηγορίες πελατών της. Για την ανάπτυξη σταθερών πελατειακών σχέσεων, η κοινοπραξία εγγυάται ένα αξιόπιστο σύστημα, καθώς και αποδοτική και επαγγελματικού επιπέδου επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων οργανισμών.

Επιπροσθέτως, για την δημιουργία μιας μακρόπνοης σχέσης, θα προσφέρεται στους πελάτες τεχνική υποστήριξη, τόσο κατά την διάρκεια της εγκαταστάσης του DSS όσο και μετά, σε θέματα που αφορούν την χρήση του OPTIMUS DSS και των διαφόρων εργαλείων του. Η υποστήριξη θα πρέπει να είναι γρήγορη και ακριβής, και θα παρέχεται μέσω ενός συστήματος παροχής βοήθειας. Τέλος θα λαμβάνεται υπόψιν μια ανάλυση ικανοποίησης των πελατών.

#### **2.4.5 Πηγή Εσόδων**

Στην ιστοσελίδα του προγράμματος θα είναι διαθέσιμη μια βασική έκδοση του DSS δίνοντας την δυνατότητα σε κάθε ενδιαφερόμενο χρήστη να την κατεβάσει δωρεάν. Ο πελάτης θα πρέπει να πληρώσει ένα καθορισμένο ποσό για την εγκατάσταση και την πιθανή εξατομίκευση του συνολικού συστήματος, η οποία θα βασίζεται στα επιλεγόμενα σχέδια δράσης.

Επιπροσθέτως, μια επιπλέον πηγή εσόδων αναμένεται να προκύψει από την εκπαίδευση των χρηστών του DSS (τουλάχιστον 2-3 εβδομάδες εκπαίδευσης) και άλλες επιπρόσθετες υπηρεσίες (π.χ. πιθανές επεκτάσεις).

#### **2.4.6 Βασικές Υπηρεσίες**

Μέσω της ενσωματωμένης υπηρεσίας OPTIMUS προσφέρεται ένας αριθμός υπηρεσιών όπως:

- **Ανάκτηση και Ανάλυση δεδομένων**

Μια βασική δραστηριότητα είναι φυσικά η συλλογή πληροφοριών από τα διάφορα κτήρια και εγκαταστάσεις.

- **Εξατομίκευση**

Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την εξατομίκευση του συστήματος είναι αυτές που έχουν να κάνουν με τις ροές δεδομένων και με την επικοινωνία με τους διάφορες αισθητήρες. Η δυνατότητα εξατομίκευσης δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει την υπηρεσία σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες.

- **Συντήρηση Προγραμμάτων**

Το DSS και τα υπόλοιπα εργαλεία της ενσωματωμένης υπηρεσίας OPTIMUS χρειάζονται περιοδική συντήρηση και αναβάθμιση.

- **Εκπαίδευση**

Προσφέρονται δύο βασικά είδη εκπαίδευσης:

- Εκπαίδευση του προσωπικού που θα χρησιμοποιεί το DSS και θα εναρμονιστεί με τα διάφορα σχέδια δράσης.
- Εκπαίδευση όσων επωφεληθούν από την υπηρεσία ή επιδρούν στα διάφορα σενάρια που θα τεθεί αν αντιμετωπίσει το DSS.

#### ▪ **Marketing και προώθηση**

Αυτό του είδους οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν την συμμετοχή σε workshops, συνέδρια και εκδηλώσεις για την προώθηση προγράμματος σε ευρεία κλίμακα καθώς και οργάνωση συναντήσεων με πιθανούς πελάτες για την άμεση ενημέρωση τους σχετικά με τα αποτελέσματα του προγράμματος.

#### **2.4.7 Κύριες Πηγές Πόρων**

Για την επιτυχή λειτουργία του OPTIMUS DSS απαιτούνται πόροι όπως:

- Δεδομένα για την ακρίβεια και την αποδοτικότητα του προγράμματος
- Αισθητήρες
- Τεχνικοί για την εξατομίκευση της υπηρεσίας, ενεργειακοί μελετητές και εκπαιδευτές

#### **2.4.8 Βασικοί Συνεργάτες**

Υπάρχουν βασικοί συνεργάτες που είναι απαραίτητοι για την ομαλή λειτουργία του OPTIMUS Service Business Model. Πιο συγκεκριμένα, για την διάθεση του εργαλείου OPTIMUS DSS, η κοινοπραξία χρειάζεται να αναπτύξει συνεργασίες με φορείς και συλλόγους, για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων σε διαφορετικούς τομείς.

#### **2.4.9 Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης**

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης εξαρτάται από:

- Τους ανθρώπινους πόρους, συμπεριλαμβανομένου τεχνικούς, ενεργειακούς μελετητές και εκπαιδευτές
- Marketing και προώθηση
- Εξοπλισμός
- Κόστη λειτουργίας και συντήρησης



---

## *Κεφάλαιο 3: Σχέδια Δράσης Εξοικονόμησης Ενέργειας*

---



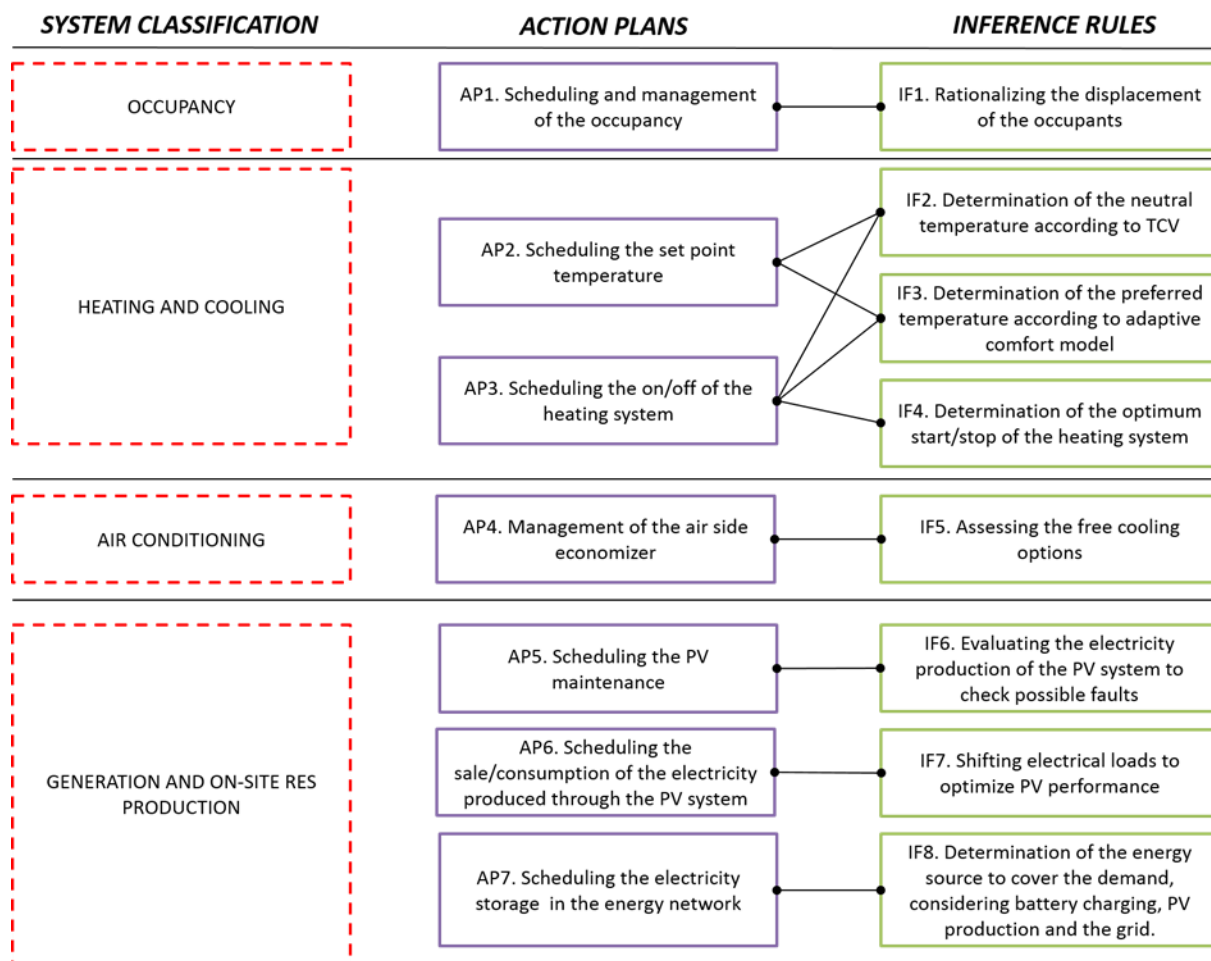
### 3.1 OPTIMUS Dss και Επαγωγικοί Κανόνες

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2, στο πλαίσιο του προγράμματος Optimus, προτάθηκαν συγκεκριμένα σχέδια δράσης εξοικονόμησης ενέργειας, καθένα από τα οποία βασίζεται σε κάποιον επαγωγικό κανόνα (**inference rule**).

Με τον όρο επαγωγικό κανόνα (“inference rule”) εννοούμε μία γνώση βασισμένη σε οδηγίες που μπορούν να εκφραστούν στη λογική μορφή «αν-τότε», με γραφικό τρόπο (διάγραμμα ροής, πίνακας κλπ) ή ως μαθηματική εξίσωση. Σαν πρώτο βήμα προσδιορίζουμε επακριβώς τους επαγωγικούς κανόνες που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη και υλοποίηση του εκάστοτε σχεδίου δράσης. Εν συνεχεία αναπτύσσουμε όλους εκείνους τους «ευφυείς» κανόνες κάνοντας χρήση των διαθέσιμων δεδομένων που προέρχονται από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων [4].

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται πως συνδέονται οι διάφοροι επαγωγικοί κανόνες με τα εφαρμοζόμενα σχέδια δράσης:

**Πίνακας 3.1: Σχέδια δράσης και επαγωγικοί κανόνες**



### **3.1.1 Επαγωγικός Κανόνας : Εκλογικευμένη Διαχείριση των Χρηστών**

Ο στόχος αυτής της δράσης είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω των ενοίκων του κτιρίου έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότερες θερμικές ζώνες και να τίθεται εκτός λειτουργίας το σύστημα θέρμανσης/ψύξης στις ακρησιμοποιητές ζώνες. Αρχικά δίνεται προτεραιότητα στις ζώνες εκείνες που αναμένεται να έχουν την χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση και στην συνέχεια σε εκείνες που χαρακτηρίζονται ως «Ζώνες υψηλής θερμικής άνεσης». Συνεπώς σαν κριτήριο βελτιστοποίησης του κανόνα, τίθεται η ελαχιστοποίηση της καταναλώσεως ενέργειας, ελέγχοντας την ενεργοποίηση ή την απενεργοποίηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης των θερμικών ζωνών του κτιρίου, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν την ανατροφοδότηση από τους ενοίκους μέσα από τα διάφορα μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Ο επαγωγικός κανόνας έχει σαν στόχο να καθορίσει μέσω συγκεκριμένων λογικών κανόνων, εκείνες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν την επόμενη εβδομάδα. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά χρησιμοποιούνται εκείνες οι ζώνες που επιτρέπουν τόσο την βελτιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας όσο και την βελτιστοποίηση των απαιτήσεων θερμικής άνεσης. Ο επαγωγικός κανόνας αναλύεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Καταγραφή των δεδομένων εισόδου μιας εβδομάδας. Σαν δεδομένα εισόδου λαμβάνονται η πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας σε ωριαία βάση, η ανατροφοδότηση των ενοίκων, ο προβλεπόμενος αριθμός ενοίκων καθώς και η ώρα προσέλευσης τους καθώς και οι προγραμματισμένες χρήσεις της κάθε ζώνης.
2. Θέτει το ανώτατο όριο ενοίκων ανά ζώνη
3. Κανονικοποίηση των δεδομένων εισόδου ώστε να έχουν την ίδια χωρική κλίμακα
4. Αθροίζει τις ωριαίες τιμές ενέργειας και θερμικής άνεσης ώστε να αναφέρονται σε μια ολόκληρη ημέρα
5. Κανονικοποίηση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας με βάση τον αριθμό των ενοίκων
6. Απαριθμεί τις ζώνες για τις οποίες έχουν προγραμματιστεί σημαντικές συναντήσεις και δραστηριότητες που δεν μπορούν να μεταφερθούν σε άλλη ζώνη
7. Ταξινομεί τις ζώνες σε αύξουσα σειρά με βάση την προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας
8. Ταξινομεί τις ζώνες σε φθίνουσα σειρά με βάση την θερμική άνεση
9. Προτείνει την μετακίνηση των ενοίκων μεταξύ των διαφορετικών ζωνών. Οι ζώνες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν πρώτα είναι αυτές με προγραμματισμένα γεγονότα, με την μικρότερη προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας και με τα μεγαλύτερα προβλεπόμενα επίπεδα θερμικής άνεσης.



**Πίνακας 3.2: Κριτήρια για την χρησιμοποίηση των ζωνών του κτιρίου**

Zone number	Constraints	Predicted energy consumption	Predicted thermal comfort
Zone 4	Yes	↓ <i>Increasing</i>	↑ <i>Decreasing</i>
Zone 1	Yes		
Zone 2	No		
Zone 3	No	↓	↑

### **3.1.2 Επαγωγικός Κανόνας: Βέλτιστη Εκκίνηση/Διακοπή Συστήματος Θέρμανσης**

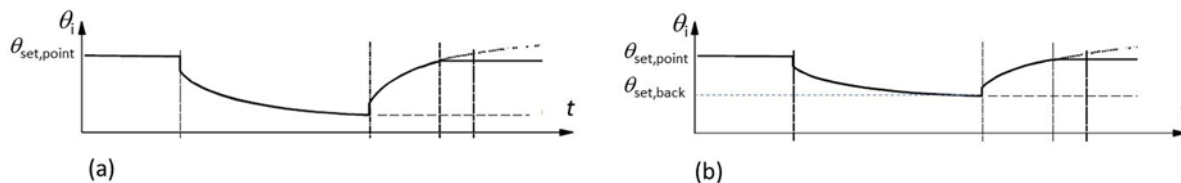
Ο βασικός στόχος του σεναρίου αυτού είναι η επιλογή της βέλτιστης χρονικής στιγμής για την ενεργοποίηση του συστήματος θέρμανσης του κτιρίου έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό Setpoint για την εκάστοτε ζώνη του κτιρίου, όταν αυτή φυσικά χρησιμοποιείται. Για τον επαγωγικό κανόνα απαιτούνται τόσο στατικά όσο και δυναμικά δεδομένα εισόδου. Πιο συγκεκριμένα είναι απαραίτητη η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, οι ενεργειακές τιμές της αγοράς καθώς η ανατροφοδότηση των ενοίκων μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης.

Κατα την διάρκεια που η εξεταζόμενη ζώνη του κτιρίου δεν χρησιμοποιείται, η λειτουργία του συστήματος θέρμανση είναι γενικώς μειωμένη ακολουθώντας ένα εκ των δύο ακόλουθων μοντέλων:

- Μοντέλο “Set Back Temperature”
- Μοντέλο “Cut-Off”

Πριν την έναρξη της περιόδου χρήσης της ζώνης, το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί σε πλήρη ισχύ έτσι ώστε να θερμάνει κατάλληλα τις κτιριακές εγκαταστάσεις και να προσφέρει στους ενοίκους τις επιθυμητές συνθήκες. Το σχέδιο δράσης στοχεύει στην επιλογή της κατάλληλης χρονικής στιγμής για την ενεργοποίηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης. Για την επιλογή αυτή λαμβάνεται υπόψιν η πρόβλεψη της εξωτερικής θερμοκρασίας και η πρόβλεψη της προσέλευσης των ενοίκων. Η επιλογή του βέλτιστου Setpoint βασίζεται στο μοντέλο της Θερμικής Άνεσης ενώ το τεχνικό σύστημα διαχείρισης του κτιρίου μπορεί να επηρεαστεί από την προβλεπόμενη τάση των τιμών ενέργειας. Για να προσδιοριστεί η τάση αυτή θα πρέπει να είναι γνωστά:

- Οι συντελεστές παλινδρόμησης ( $\tau$ ,  $\Phi/H$ )
- Η πρόβλεψη προσέλευσης των ενοίκων για το σύνολο της εβδομάδας
- Η πρόβλεψη της εξωτερικής θερμοκρασίας



**Σχήμα 3.1: Τάση εσωτερικής θερμοκρασίας για το μοντέλο cut-off (a) και το set-back (b)**

Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιορίζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Καταγράφεται η τιμή των συντελεστών παλινδρόμησης για τις εξεταζόμενες περιόδους.
2. Καταγράφεται με κάθε ακρίβεια το πρόγραμμα χρησιμοποιήσεων της εκάστοτε ζώνης, έτσι ώστε να είναι πλήρως ευκρινές για κάθε ώρα, εάν χρησιμοποιείται μια ζώνη ή όχι.
3. Καταγράφεται η εξωτερική θερμοκρασία σε ωριαία βάση για το σύνολο της εβδομάδας.
4. Μόλις υπολογιστεί η εσωτερική θερμοκρασία μιας ζώνης, η θερμοκρασία της τελευταίας μέρας της εβδομάδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αρχή της επομένης.
5. Για τον υπολογισμό του χρόνου που θα πρέπει το σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί σε πλήρη ισχύ θα πρέπει να εφαρμοστεί η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta t = \tau \cdot \ln \frac{\theta_{i,0} - \left( \theta_e + \frac{\Phi}{H} \right)}{\theta_{\text{set,point}} - \left( \theta_e + \frac{\Phi}{H} \right)}$$

Όπου:

- Οι συντελεστές  $\Phi, H, \tau$  είναι οι συντελεστές παλινδρόμησης
  - $\theta_{\text{setpoint}}$ , είναι η επιθυμητή θερμοκρασία
  - $\theta_e$  είναι η μέση εξωτερική θερμοκρασία την ώρα ενεργοποίησης του συστήματος
6. Η περίοδος λειτουργίας του συστήματος σε πλήρη ισχύ ολοκληρώνεται όταν η εσωτερική θερμοκρασία γίνει ίση με το επιθυμητό setpoint. Τα επιθυμητά επίπεδα άνεσης πρέπει να διασφαλιστούν για όλη την διάρκεια χρήσης της ζώνης μέσω της κανονικής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, που θα ακολουθήσει την περίοδο πλήρους ισχύς.
  7. Η κανονική περίοδος λειτουργίας του συστήματος ολοκληρώνεται μόλις η ζώνη εκκενωθεί, όπου το σύστημα λειτουργίας τίθεται εκτός λειτουργίας.
  8. Η διαδικασία υπολογισμού επαναλαμβάνεται για κάθε εργασιακή μέρα.

### **3.1.3 Επαγωγικός Κανόνας : Χρήση Ελεύθερων Επιλογών Ψύξης**

Ο συγκεκριμένος επαγωγικός κανόνας αναφέρεται στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης του συστήματος αέρα (“**air side economizer system**”) μεταβάλλοντας την ποσότητα του εξωτερικού αέρα που επιτρέφει ξανά στον χώρο, έτσι ώστε να διατηρηθεί το επιθυμητό setpoint. Ωστόσο, θα πρέπει σε καμία περίπτωση να τηρούνται τα επίπεδα ποιότητας του αέρα εσωτερικού χώρου. Το σύστημα επιτρέπει στην κλιματιστική μονάδα να χρησιμοποιεί τον εξωτερικό αέρα για την ψύξη του χώρου αντικαθιστώντας ουσιαστικά την μηχανική ψύξη.

Η διαδικασία που ακολουθείται λοιπόν, αφορά τον προγραμματισμό της ποσότητας του εξωτερικού αέρα που θα χρησιμοποιηθεί για την φυσική θέρμανση του χώρου, υπό ορισμένες συνθήκες. Ο κανόνας βασίζεται στον έλεγχο της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού αέρα. Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιορίζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Καταγράφεται η προβλεπόμενη εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία για διάστημα μιας εβδομάδας. Εάν ο κανόνας βασίζεται και στον έλεγχο της ενθαλπίας, τότε καταγράφεται αντίστοιχα και η σχετική υγρασία.
2. Εάν ο έλεγχος βασίζεται στην θερμοκρασία, θα πρέπει να ακολουθηθούν οι παρακάτω κανόνες:

- **Εξωτερική Θερμοκρασία Αέρα:**

Αν  $\Theta_{sup} < \Theta_{est} < \Theta_{tr}$ , τότε όλη η αναγκαία ποσότητα του παρεχόμενου αέρα έρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον

Αν  $\Theta_{lim} < \Theta_{est} < \Theta_{sup}$ , τότε η αναγκαία ποσότητα αέρα προέρχεται τόσο από τον εξωτερικό όσο και από τον ανακυκλώμενο αέρα

Αν  $\Theta_{est} \leq \Theta_{lim,low}$ , τότε απαιτείται μόνο η ελάχιστη ποσότητα εξωτερικού αέρα για να διασφαλιστούν τα απαραίτητα ποιοτικά κριτήρια εσωτερικού

- **Διπλή Θερμοκρασία**

Αν  $\Theta_{sup} < \Theta_{est} < \Theta_{ret}$ , τότε όλη η αναγκαία ποσότητα του παρεχόμενου αέρα έρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον

Αν  $\Theta_{lim} < \Theta_{est} < \Theta_{sup}$ , τότε τότε η αναγκαία ποσότητα αέρα προέρχεται τόσο από τον εξωτερικό όσο και από τον ανακυκλώμενο αέρα

Αν  $\Theta_{est} \leq \Theta_{lim,low}$ , τότε απαιτείται μόνο η ελάχιστη ποσότητα εξωτερικού αέρα για να διασφαλιστούν τα απαραίτητα ποιοτικά κριτήρια εσωτερικού

όπου

$\Theta_{sup}$  είναι η θερμοκρασία του παρεχόμενου αέρα

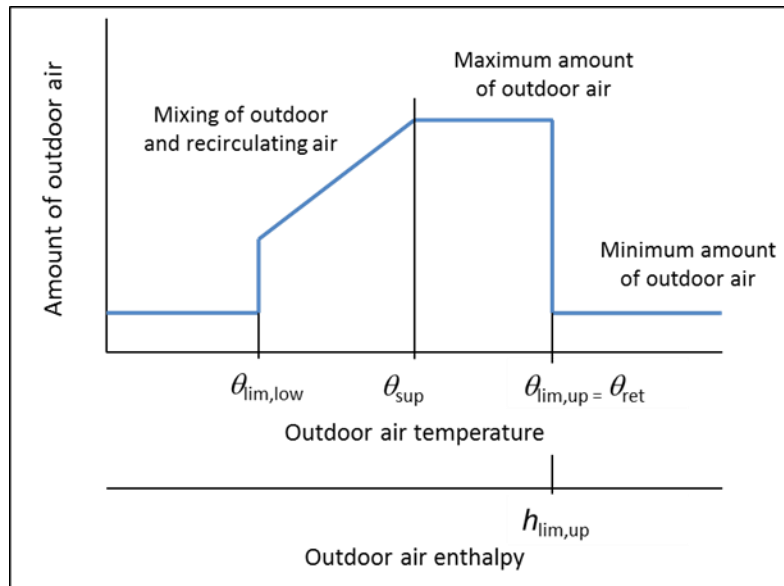
$\Theta_{tr}$  είναι ένα κατώφλι που επιλέγει ο χρήστης

$\Theta_{est}$  είναι η εξωτερική θερμοκρασία

$\Theta_{ret}$  είναι η θερμοκρασία του ανακυκλώμενου αέρα

$\Theta_{lim,low}$  είναι η εξωτερική θερμοκρασία που εξισορροπεί το θερμικό φορτίο του κτιρίου

Αν ο έλεγχος βασίζεται στην τιμή της ενθαλπίας, τότε ισχύουν οι παραπάνω ανισώσεις αντικαθιστώντας απλά τις τιμές θερμοκρασίας με τιμές ενθαλπίας.



Σχήμα 3.2: Γενική δομή σχεδίου δράσης

### **3.1.4 Επαγωγικός Κανόνας : Εκτίμηση της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας για την Συντήρηση των ΦΒ Συστημάτων**

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην αποδοτική διαχείριση του ενεργειακού κόστους ενός κτιρίου. Η διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών μέσω της συχνής συντήρησης κρίνεται αναγκαία για να αποφευχθεί μια μειωμένη απόδοση της εγκατάστασης που μπορεί να επιφέρει μειωμένη παραγωγή ενέργειας, μειωμένα εισοδήματα και αποκλίσεις από τους στόχους μείωσης εκπομπών ρύπων.

Η παραγωγή ενέργειας από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εξαρτάται από μια σειρά από μεταβλητές, όπως οι καιρικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία, συνεφιά), η γήρανση και η κατάσταση λειτουργίας του εξοπλισμού καθώς και η ακριβής μέρα και ώρα.

Συγκρίνοντας τις πραγματικές τιμές παραγόμενης ενέργειας με τις προβλεπόμενες, μπορούν να εντοπιστούν τυχόν αποκλίσεις. Η βασική υπόθεση που πραγματοποιείται σε αυτό το σχέδιο δράσης, είναι ότι κάθε σημαντική απόκλιση οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες, οι οποίοι δεν είχαν ληφθεί υπόψη από το μοντέλο πρόβλεψης και μπορούν να υποδείξουν πιθανές ανάγκες συντήρησης.

Η αναγνώριση λειτουργικών ανωμαλιών και η τακτική συντήρηση της διάταξης, εξασφαλίζουν ότι θα αποφευχθεί τυχόν μείωση της παραγωγής ενέργειας. Ο συγκεκριμένος επαγωγικός κανόνας περιορίζεται στα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

#### **1. Πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα βασιζόμενη στο μοντέλο MLR**

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας είναι οι αξιόπιστες προβλέψεις για την παραγωγή ενέργειας από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση του εξεταζόμενου κτιρίου. Για την πρόβλεψη της ωριαίας παραγωγής ακολουθείται το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (MLR). Στο σημείο αυτό φαίνεται η γραμμική σχέση που έχουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου-καιρικά δεδομένα- ( $x_i$ ) με τις ανεξάρτητες μεταβλητές – παραγωγή ενέργειας- ( $y_i$ ), σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Πραγματική τιμή: } y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{Πρόβλεψη: } y' = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (2)$$

$$\text{Σφάλμα: } \varepsilon = y - y' \quad (3)$$

Το σφάλμα του μοντέλου μπορεί να οφείλεται είτε στην λανθασμένη εκτίμηση των παραμέτρων  $a_i$  και  $b_i$  του μοντέλου είτε σε επιπλέον μεταβλητές που αμελήθηκαν όπως η σκόνη στα φωτοβολταϊκά πάνελ, η ελλειπής συντήρηση κ.τ.λ

## **2. Προδιαγραφές του διαστήματος εμπιστοσύνης**

Παρόλο που οι προβλέψεις σημείου που προκύπτουν από το μοντέλο τείνουν να είναι ακριβείς, υπάρχει πάντα μια απόκλιση μεταξύ των πραγματικών τιμών και της πρόβλεψης. Έτσι πέρα από τις συγκεκριμένες προβλέψεις σημείου, το μοντέλο εξάγει και ένα διάστημα εμπιστοσύνης με πιθανότητα επιβεβαίωσης 95%. Η κύρια ιδέα του κανόνα είναι ότι για κάθε παρατήρηση έξω από το διάστημα αυτό, ευθύνεται ένας παράγοντας ο οποίος δεν έχει ληφθεί υπόψη από το μοντέλο όπως μια πιθανή βλάβη, σκόνη στα πάνελ ή μια πιθανή αστοχία του συστήματος καταγραφής.

## **3. Έλεγχος απόκλισης μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής τιμής**

Δεδομένου ότι το μοντέλο έχει σχεδιασθεί για να προσφέρει 95% ακρίβεια, όταν παρατηρηθεί μια απόκλιση που ξεπερνά το αποδεκτό σφάλμα (5%), τότε θα πρέπει να σταλεί μια ειδοποίηση (**alarm**) από το σύστημα, έτσι ώστε να ενημερωθεί ο χρήστης για μια πιθανή ανάγκη για συντήρηση της μονάδας. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ελέγχει για περιπτώσεις σαν και αυτές που περιγράφηκαν προηγουμένως σω ωριαία βάση και δημιουργεί έναν πίνακα με «Ωριαίους Συναγερμούς» με τιμές 1 και 0 για μειρήσεις που ξεπερνούν το αποδεκτό σφάλμα και για τιμές που είναι εντός ορίων αντίστοιχα.

## **4. Υπολογισμός των «Σκορ κινδύνου»**

Αναμφίβολα δεν σηματοδοτεί κάθε απλός «συναγερμός» ανάγκη για συντήρηση της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, μια μη αναμενόμενη συννεφιασμένη μέρα θα οδηγήσει σε χαμηλά επίπεδα παραγωγής ενέργειας και πιθανώς σε πολλούς ωριαίους συναγερμούς, παρόλο που το φαινόμενο αυτό δεν σχετίζεται με την συντήρηση της εγκατάστασης. Έτσι λοιπόν πέρα από αυτές τις ειδοποιήσεις, υπολογίζονται οι ημερήσιοι και οι εβδομαδιαίοι «συναγερμοί». Έτσι κάθε ημέρα αποκτά ένα σκορ κινδύνου βασιζόμενο στους συναγερμούς της εξεταζόμενης ημέρας αλλά και σε αυτούς που συνέβησαν σε διάστημα μια εβδομάδας πριν την εξεταζόμενη. Στην συνέχεια το σκορ κινδύνου κανονικοποιείται και έτσι εξαλείφονται προσωρινά σφάλματα του μοντέλου.

## **5. Αξιολόγηση των συνολικών σκορ κινδύνου και δημιουργία των ειδοποιήσεων (alerts)**

Όπως περιγράφηκε στο βήμα 4, μη συστηματικά σφάλματα αναμένεται να λάβουν ένα χαμηλό σκορ ρίσκου λόγω της τυχαίας φύσης τους. Αντίστοιχα, όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα που λαμβάνονται τέτοιου είδους ειδοποιήσεις σε διάστημα μιας εβδομάδας, τόσο μεγαλύτερο αναμένεται να είναι το συνολικό σκορ κινδύνου. Για να δώσουμε απάντηση στο ερώτημα ποιά σκορ είναι σημαντικά και υποδεικνύουν πιθανή βλάβη στο σύστημα, παρουσιάζουμε την κατανομή των ειδοποιήσεων και εντοπίζουμε το top 90% εξεταζόμενου δείγματος. Κάθε μέρα εντός αυτού του διαστήματος χαρακτηρίζεται σαν μέρα υψηλού κινδύνου και αποστέλλεται σχετική ειδοποίηση στον χρήστη.

### **3.1.5 Επαγωγικός Κανόνας : Προγραμματισμός των Θερμικών Φορτίων για την Βέλτιστη Διαχείριση των Ενεργειακών Ροών**

Η δράση αυτή αφορά την βελτιστοποίηση της πώλησης ή της χρησιμοποίησης της ενέργειας που παράγεται από το σύστημα των φωτοβολταϊκών λαμβάνοντας υπόψιν διάφορα σενάρια της αγοράς ενέργειας. Κατά την διάρκεια των ωρών παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, η αγορά ενέργειας μπορεί να προσφέρει κυμαινόμενες τιμές πώλησης/αγοράς της ενέργειας.

Στα πλαίσια αυτού του επαγωγικού κανόνα, μπορούν να ακολουθηθούν τρεις διαφορετικές στρατηγικές ανάλογα με την προτεραιότητα και της απόφασης της διοίκησης του δημοτικού κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα μπορούν να ακολουθηθούν οι στρατηγικές:

- η πράσινη στρατηγική (Green Strategy)
- η οικονομική στρατηγική (Finance Strategy)
- η στρατηγική αιχμής (Peak Strategy)

#### **Πράσινη στρατηγική**

Η πράσινη στρατηγική βασίζεται στην διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ενέργειας που χρησιμοποιείται από το κτίριο. Περιλαμβάνει έναν έλεγχο τιμής (price check) κατά την διάρκεια των ωρών που παρατηρείται πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά. Ο έλεγχος τιμής είναι θετικός εάν η τιμή πώλησης της ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά είναι δύο φορές μεγαλύτερη από το κόστος ενέργειας από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή ο επαγωγικός κανόνας προτείνει την πώληση της ενέργειας στο δίκτυο. Σε αντίθετη περίπτωση, η μείωση του κόστους από την ενέργεια που δεν χρειάζεται να αγοραστεί από το δίκτυο, είναι μεγαλύτερη σε σχέση με όποιο πιθανό εισόδημα από την πώληση της ενέργειας στο δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή ο επαγωγικός κανόνας προτείνει την μετάθεση των ηλεκτρικών φορτίων έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το ποσό της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και χρησιμοποιείται για ίδιες χρήσεις του κτιρίου.

#### **Οικονομική στρατηγική**

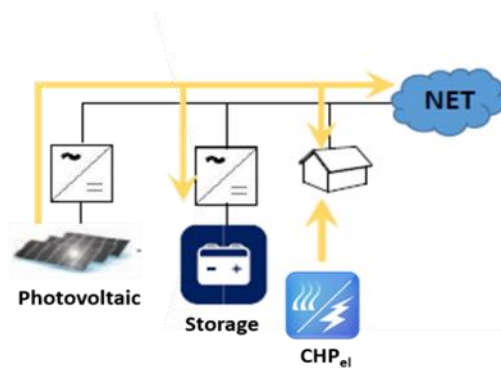
Κατά την οικονομική στρατηγική, όταν η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά δεν καλύπτει την ζήτηση, αλλά ο έλεγχος της τιμής είναι θετικός, ο κανόνας προτείνει την μείωση της ενεργειακής ζήτησης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενεργειακού πλεονάσματος που μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο. Κατά την διάρκεια των ωρών που υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας και ο έλεγχος της ενέργειας είναι θετικός ο επαγωγικός κανόνας προτείνει την πώληση της ενέργειας με τρόπο παρόμοιο με την πράσινη στρατηγική. Αντίθετα όταν παρατηρείται πλεόνασμα ενέργειας αλλά ο έλεγχος τιμής είναι αρνητικός ο κανόνας προτείνει να διακριθούν οι ώρες κατά τις οποίες ο έλεγχος είναι θετικός και είναι πιθανό να δημιουργηθεί ενεργειακό πλεόνασμα είτε από ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας είτε από κάποια μετατόπιση των ηλεκτρικών φορτίων. Στην δεύτερη περίπτωση ο κανόνας προτείνει την μετάθεση των ηλεκτρικών φορτίων σε ώρες που παρατηρείτε πλεονάζουσα ενέργεια με αρνητικό έλεγχο τιμής έτσι ώστε να ενισχύσει την ίδια χρήση ενέργειας του κτιρίου.

## Στρατηγική αιχμής

Η στρατηγική αυτή βασίζεται στην δυνατότητα να παραμείνει η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κάτω από ένα ανώτατο ημερήσιο όριο το οποίο έχει τεθεί εκ των προτέρων από τον χρήστη. Η στρατηγική αυτή θα μπορούσε να είναι ιδανική κατά την περίπτωση που το κτίριο σαν πελάτης ενέργειας έχει υπογράψει σύμβαση με τον πάροχο, σύμφωνα με την οποία κάθε πιθανή υπέρβαση του ορίου αυτού επιφέρει μια οικονομική ποινή. Ο στόχος του κανόνα αυτού είναι να πείσει τον πελάτη ενέργειας να χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής μεταθέτοντας τα ηλεκτρικά φορτία σε ώρες εκτός των ωρών αιχμής.

### 3.1.6 Επαγωγικός Κανόνας : Επιλογή της πιο Συμφέρουσας Πηγής Ενέργειας για την Κάλυψη της Ζήτησης

Ο συγκεκριμένος επαγωγικός κανόνας αποφασίζει ποιά πηγή ενέργειας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη της ζήτησης του εξεταζόμενου κτιρίου. Οι πηγές ενέργειας μεταξύ των οποίων γίνεται η κατάλληλη επιλογή είναι οι μπαταρίες, η παραγωγή από φωτοβολταικά και το δίκτυο. Επιτρέπει σε κτίρια με υβριδικά συστήματα όπως αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως (περιλαμβάνουν τόσο συστήματα παραγωγής ενέργειας όσο και συστήματα αποθήκευσης) να βελτιστοποιήσουν τις ενεργειακές ροές από και προς τις μπαταρίες και την στρατηγική αγοράς και πώλησης από και προς το δίκτυο. Αυτό αναμένεται να μειώσει την ενέργεια που προέρχεται από το δίκτυο, να αυξήσει τα έσοδα του κτιρίου και να μειώσει την εκπομπή ρύπων.



**Σχήμα 3.3: Ηλεκτρικό δίκτυο αποτελούμενο από φωτοβολταικά, σύστημα αποθήκευσης, CHP και το δίκτυο**

Ο επαγωγικός κανόνας λαμβάνει υπόψιν, σε ωριαία βάση, την ενέργεια που παράγεται και καταναλώνεται από το κτίριο και προτείνει ποιά δράση θα πρέπει να ακολουθηθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στο έπακρον οι ίδιες πηγές του κτιρίου και να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια που προέρχεται από το δίκτυο. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών άνθρακα και σε πιθανή αύξηση των εισοδημάτων του κτιρίου στην



περίπτωση που η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά ξεπερνά τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου.

Για να συμβεί αυτό, ο επαγωγικός κανόνας δίνει πλήρη προτεραιότητα στην φόρτιση των μπαταριών, κάτι το οποίο σημαίνει ότι αν η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση, οι μπαταρίες θα φορτιστούν πλήρως (αν είναι εφικτό) και η υπόλοιπη ενέργεια θα πωληθεί στο δίκτυο. Στον αντίποδα, οι μπαταρίες θα εκφορτιστούν μέχρι το ελάχιστο δυνατό επίπεδο και η επιπλέον ενέργεια που χρειάζεται για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου θα αγοραστεί από το δίκτυο. Έτσι ακολουθούνται οι ακόλουθοι κανόνες:

- Η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση
  - Είναι οι μπαταρίες πλήρως φορτισμένες;
    - Ναι: Πούλησε την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο
    - Όχι: Φόρτισε την μπαταρία και πούλα την υπόλοιπη
- Η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά είναι μικρότερη της ζήτησης
  - Είναι η στάθμη φόρτισης της μπαταρίας η ελάχιστη δυνατή;
    - Ναι: Αγόρασε ενέργεια από το δίκτυο
    - Όχι: Εκφόρτισε την μπαταρία και αγόρασε ότι επιπλέον απαιτείται

Αναμφίβολα, η επίδραση του παρόντος κανόνα αναφοράς είναι στενά συνδεδεμένη με την ικανότητα των μπαταριών και με το επίπεδο παραγωγής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκρινόμενα με τα επίπεδα ζήτησης του κτιρίου.

### **3.1.7 Υπόλοιποι Επαγωγικοί Κανόνες**

Οι επαγωγικοί κανόνες «**Επικύρωση της θερμικής άνεσης**» και «**Προσαρμοστική αντίληψη θερμικής άνεσης**» περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Και οι δύο επαγωγικοί κανόνες έχουν να κάνουν με την επιλογή του βέλτιστου Setpoint λειτουργίας του συστήματος Θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου. Στόχος είναι αφενός η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και η οικονομική λειτουργία του συστήματος, κάτι το οποίο θα έχει άμεση επίδραση στην μείωση του ενεργειακού κόστους και στην μείωση των εκπομπών άνθρακα για τις οποίες είναι υπεύθυνο το εξεταζόμενο κτίριο και αφετέρου η διασφάλιση ενός επιθυμητού επιπέδου θερμικής άνεσης για τους ενοίκους.

### 3.2 Optimus Dss και Σχέδια Δράσης

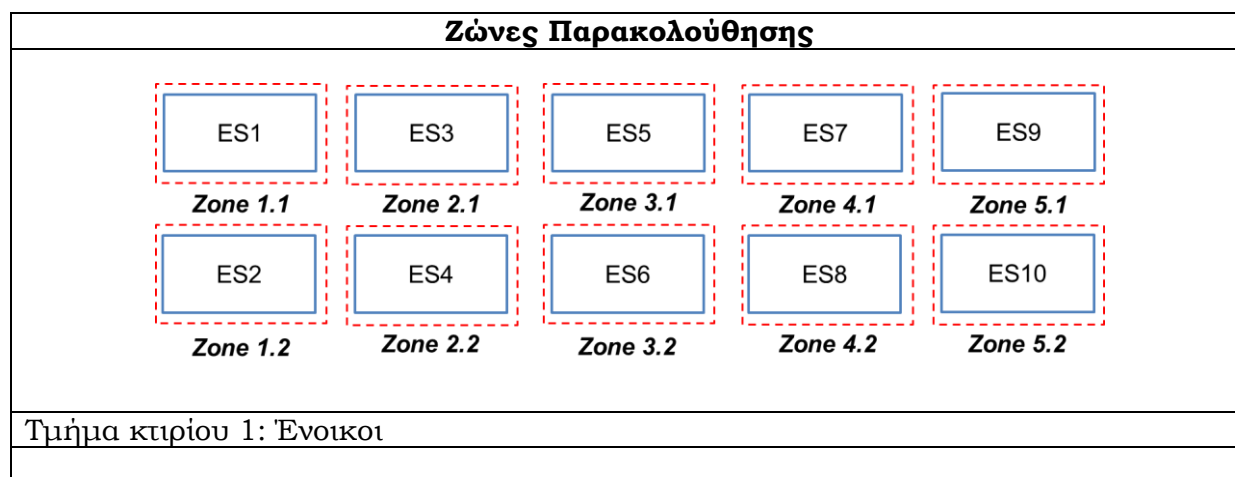
Τα σχέδια δράσης που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος Optimus βασίζονται στους κανόνες επαγωγής που περιγράφηκαν πλήρως στην προηγούμενη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα:

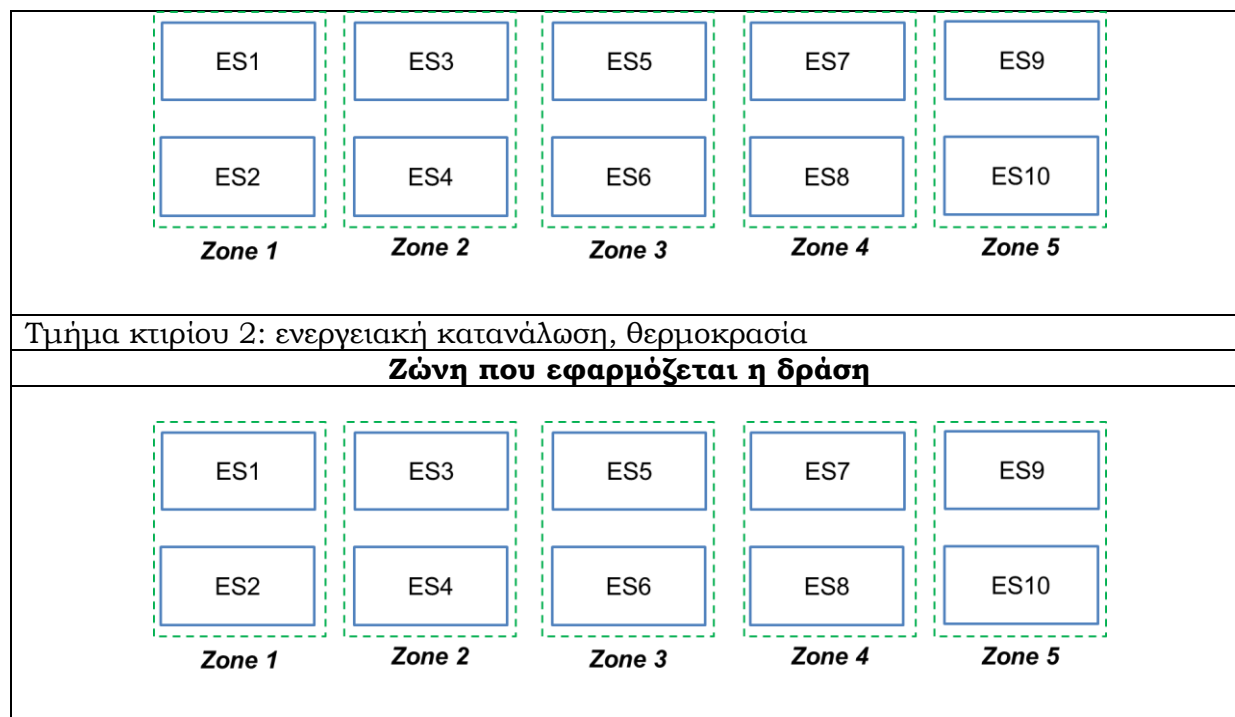
#### Προγραμματισμός και Διαχείριση του Αριθμού των Χρηστών του Κτιρίου

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης.

**Πίνακας 3.3: Λίστα των μεταβλητών εισόδου**

Μεταβλητή εισόδου		Μονάδες Μέτρησης	Πηγή	Χώρος
Ένοικοι	Αριθμός Ενοίκων	-	-	Τμήμα 1
				Τμήμα 1
	Αριθμός Ωρών	-	-	Τμήμα 1
				Τμήμα 1
	Περιορισμοί	-	-	Τμήμα 1
Κλιματικά Δεδομένα	Εξωτερική θερμοκρασία	°C	-	-
	Συνολική ηλιακή ακτινοβολία	W/m <sup>2</sup>	-	
Σύστημα παραγωγής ενέργειας	Ενεργειακή Κατανάλωση	kWh	-	Τμήμα 2
Θερμική Άνεση	Εσωτερική θερμοκρασία	°C	-	Τμήμα 2





Σχήμα 3.4: Ζώνες του εξεταζόμενου κτιρίου

Βιβλιογραφικά η διαχείριση των ενοίκων, της προσέλευσης και της συμπεριφοράς τους αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση σε ένα κτίριο. Στον πίνακα στο τέλος του κεφαλαίου φαίνεται η αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας από την εφαρμογή του σχεδίου δράσης.

### **Προγραμματισμός του Setpoint Θερμοκρασίας**

Το σχέδιο δράσης βασίζεται στους επαγωγικούς κανόνες που περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 της παρούσας διπλωματικής. Ανάλογα με το ποιός από τους δύο επαγωγικούς κανόνες ακολουθείται απαιτούνται διαφορετικά δεδομένα εισόδου από τον χρήστη. Εάν για παράδειγμα εφαρμοστεί ο επαγωγικός κανόνας «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης», ο χρήστης θα κληθεί να απαντήσει σε ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με την θερμική άνεση που απολαμβάνει.

Date \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_ Time: \_\_\_:\_\_\_ AM/PM Location: \_\_\_ Gender: MALE / FEMALE

---

**Question 1: TEMPERATURE**  
How do you rate your thermal sensation?

Cold    Cool    Slightly cool    Neutral    Slightly warm    Warm    Hot

How do you perceive the temperature?

Clearly Acceptable    Just Acceptable    Just unacceptable    Clearly Unacceptable

Do you want the room temperature?

Higher    No change    Lower

---

**Question 2: WIND**  
Would you like?

More air movement    No Change    Less air movement

---

**Question 3: SUN**  
Would you like?

More sun    No Change    More shade

---

**Question 4: CLOTHING**  
Circle ALL the items closest to what you are wearing at this moment:

Shorts OR short skirt    Jeans OR other long pants OR long skirt  
Jumper AND/OR jacket    Vest OR singlet top  
Short sleeved shirt    Long sleeved shirt  
Shoes AND/OR socks    Sandals OR thongs

Are your clothes mainly    LIGHT    or    DARK    in color?

---

**Question 5: ACTIVITY**  
For the last half hour have you been mainly:

Sleeping    Sitting    Standing    Walking

Σχήμα 3.5: Ερωτηματολόγιο TCV

Αντίθετα εάν εφαρμοστεί ο επαγωγικός κανόνας «Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης», τότε θα πρέπει να συμπληρωθούν τα δεδομένα εισόδου που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4: Δεδομένα εισόδου Adaptive Comfort

Δεδομένα Εισόδου	Μονάδα μέτρησης	Πηγή	Χώρος
Θερμοκρασία	°C	Τοπικός σταθμός	-
Μήνας	-	Μηχανή DSS	-
Ώρα	-	Μηχανή DSS	-

### Προγραμματισμός της ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του συστήματος θέρμανσης

Το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης βασίζεται κατα βάση στον επαγωγικό κανόνα «Βέλτιστη Εκκίνηση/Διακοπή Συστήματος Θέρμανσης», όπως αυτός περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Ωστόσο μπορεί να συμπεριλάβει και τους επαγωγικούς κανόνες «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» και «Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης» σε

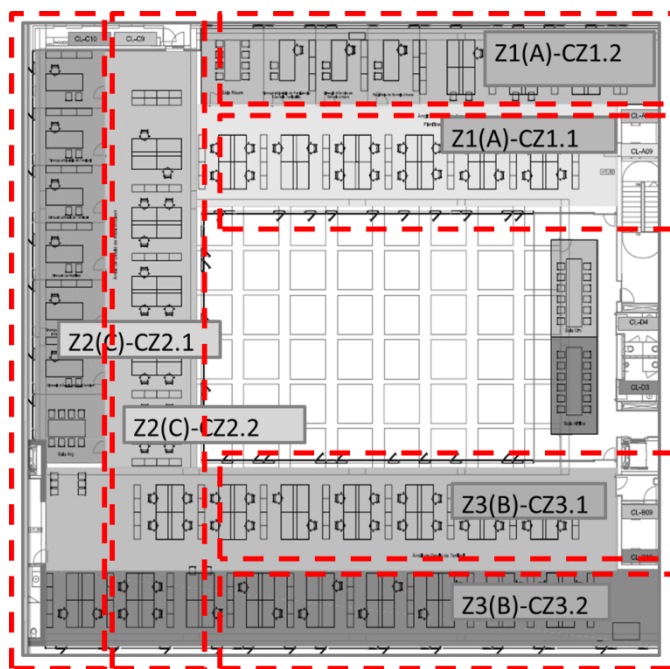
περίπτωση που εφαρμοστεί παράλληλα και το σχέδιο δράσης που αφορά την επιλογή του κατάλληλου Setpoint Θερμοκρασίας που είδαμε.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την εφαρμογή του εν λόγω σχεδίου δράσης.

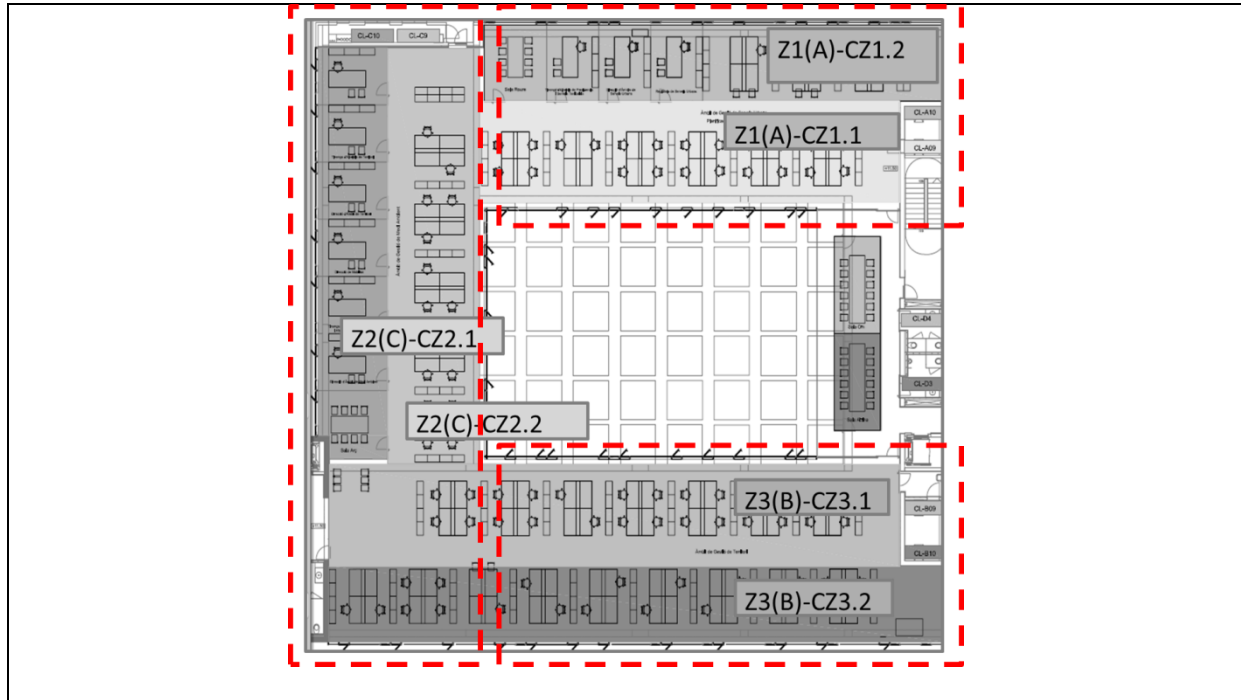
**Πίνακας 3.5 : Λίστα μεταβλητών εισόδου**

Μεταβλητή εισόδου	Μονάδες	Πηγή	Χώρος
Κατειλημμένος/Μη κατειλημμένος χώρος	-	Μηχανή DSS	Ζώνη Κτιρίου
Προγραμματισμός της ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του συστήματος θέρμανσης/ψύξης	-	Μηχανή DSS	Ζώνη Κτιρίου
Ικανότητα Θέρμανσης/Ψύξης του χώρου	W	Μηχανή DSS	Ζώνη Κτιρίου
Εξωτερική θερμοκρασία	°C	Τοπικός Σταθμός	-
Ενεργειακή κατανάλωση	kWh	Επί τόπιο σύστημα καταγραφής	Ζώνη Κτιρίου
Εσωτερική Θερμοκρασία	°C		Ζώνη Κτιρίου

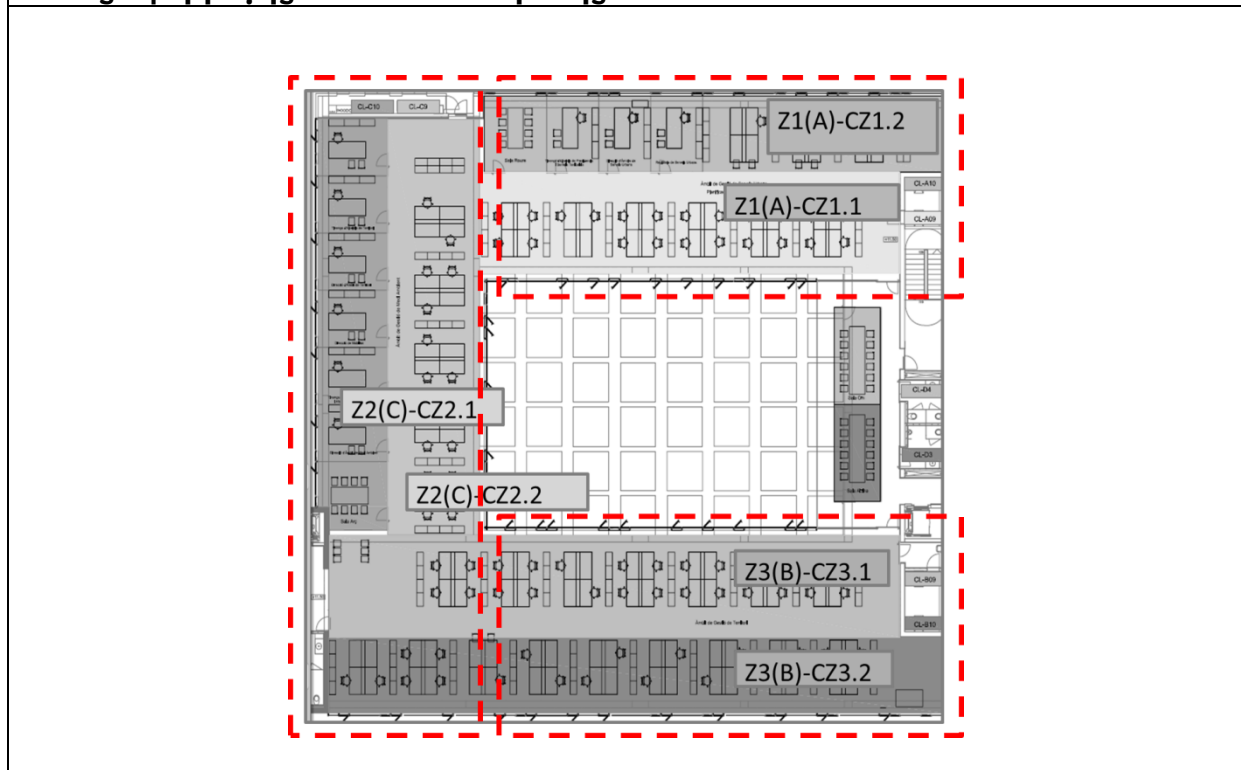
**Ζώνη Παρακολούθησης.** Τμήμα κτιρίου 1: Εσωτερική Θερμοκρασία, κατειλημμένος/μη κατειλημμένος χώρος, σύστημα on/off, ικανότητα συστήματος



**Ζώνη Παρακολούθησης.** Τμήμα κτιρίου 2: ενεργειακή κατανάλωση



**Ζώνες εφαρμογής του σχεδίου δράσης**



**Σχήμα 3.6: Κάτωψη εξεταζόμενου κτιρίου**

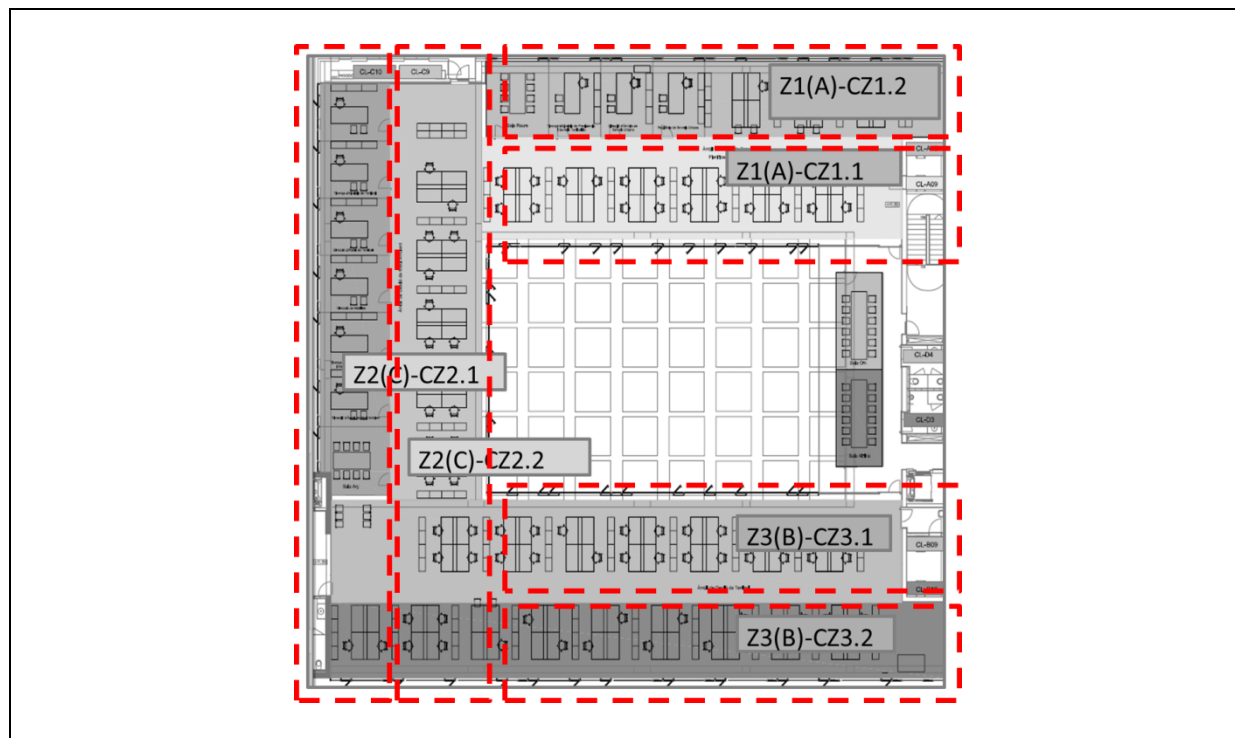
### **Αξιοποίηση Ελεύθερης Ψύξης**

Το σχέδιο δράσης αυτό βασίζεται στον επαγωγικό κανόνα « Χρήση Ελεύθερων Επιλογών Ψύξης». Για την εφαρμογή του σχεδίου δράσης απαιτείται ένα σύνολο πληροφοριών που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 3.5: Δεδομένα εισόδου σχεδίου δράσης «Αξιοποίηση Ελεύθερης Ψύξης»**

<b>Μεταβλητή εισόδου</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>	<b>Πηγή</b>	<b>Χώρος</b>
Εξωτερική Θερμοκρασία	°C	Τοπικός Σταθμός	-
Σχετική Υγρασία	%	Τοπικό Σταθμός	-
Εσωτερική Θερμοκρασία	°C	Επί τόπιο σύστημα παρακολούθησης	Ζώνη Κτιρίου

**Ζώνη Παρακολούθησης.** Τμήμα κτιρίου 1: Εσωτερική Θερμοκρασία



Σχήμα 3.7: Επιμέρους ζώνες για το σχέδιο δράσης

### Συντήρηση ΦΒ Συστημάτων

Το σχέδιο δράσης βασίζεται στον επαγωγικό κανόνα «Εκτίμηση της Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας για την Συντήρηση των Φωτοβολταϊκών». Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα η παραγωγή των φωτοβολταϊκών προβλέπται για κάθε ώρα χρησιμοποιώντας ένα γραμμικό MLR μοντέλο. Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε να μοντελοποιηθεί με τον βέλτιστο τρόπο η επίδραση κάθε στιγμής στην ανεξάρτητη τιμή, οδηγώντας έτσι στο ελάχιστο «**Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα**». Ακολουθεί ο πίνακας με τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή του σχεδίου δράσης:

**Πίνακας 3.6: Δεδομένα εισόδου για το μοντέλο, Προγραμματισμός της συντήρησης των Φωτοβολταϊκών του κτιρίου**

Δεδομένα Εισόδου	Μονάδα Μέτρησης	Πηγή	Χώρος
Παραγωγή Ενέργειας	W	Επιτόπιο σύστημα παρακολούθησης	Ολόκληρο το κτίριο
Θερμοκρασία	°C	Τοπικός Σταθμός	-
Υγρασία	-	Τοπικός Σταθμός	-
Πίεση	Pa	Τοπικός Σταθμός	-
Κατεύθυνση	-	Τοπικός Σταθμός	-



Αέρα			
Ηλιακή Ακτινοβολία	W/m <sup>2</sup>	Τοπικός Σταθμός	-
Σημείο Δρόσου	°C	Τοπικός Σταθμός	-
Ταχύτητα αέρα	Km/h	Τοπικός Σταθμός	-
Μήνας	-	Μηχανή DSS	-
Ωρα	-	Μηχανή DSS	-

### **Προγραμματισμός της Πώλησης/Ιδιοκατανάλωσης της Παραγόμενης Ενέργειας από τα Φωτοβολταικά**

Το σχέδιο δράσης βασίζεται στον κανόνα επαγωγής «Προγραμματισμός των Θερμικών Φορτίων για την Βέλτιστη Διαχείριση των Ενεργειακών Ροών», κύριο αντικείμενο του οποίου είναι η μετατόπιση των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου. Το σχέδιο δράσης λαμβάνει υπόψιν την παραγωγή ενέργειας, την ζήτηση ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου και τις τιμές ενέργειας της αγοράς. Σαν πρώτο βήμα υπολογίζει πιθανό ενεργειακό πλεόνασμα έτσι ώστε ανάλογα με την στρατηγική που ακολουθείται (πράσινη, οικονομική, αιχμής) να επιλεγεί η βέλτιστη ενέργεια. Εν συνεχεία ελέγχεται το πρόσημο του ελέγχου τιμής κάτι το οποίο θα σηματοδοτήσει το εάν θα επιλεγεί χρησιμοποίηση της ενέργειας από τα φωτοβολταικά για ίδια χρήση ή την πώληση της στο δίκτυο.

### **Προγραμματισμός της Αποθήκευσης Ενέργειας σε Συσσωρευτές για την Βέλτιστη Διαχείριση των Ενεργειακών Ροών**

Το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης βασίζεται στον επαγωγικό κανόνα «Επιλογή της πιο Συμφέρουσας Πηγής Ενέργειας για την Κάλυψη της Ζήτησης». Κύριος στόχος του DSS είναι ο προγραμματισμός της αποθήκευσης ενέργειας ενός μικροδικτύου λαμβάνοντας υπόψιν τόσο την παραγωγή ενέργειας όσο και την κατανάλωση της σε ωριαία βάση. Ωστόσο, επειδή ο επαγωγικός κανόνας αναφέρεται στην ερχόμενη εβδομάδα σε σχέση με αυτή που μελετάμε, είναι αναγκαία η πρόβλεψη ενός συνόλου μεταβλητών που επηρεάζουν το μοντέλο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πρόβλεψη των επιπέδων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας καθώς και την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών.

### **Επίδραση της εφαρμογής των σχεδίων δράσης**

Τα επτά παραπάνω σχέδια δράσης και οι κανόνες επαγωγής στους οποίους βασίζονται, έχουν σαν στόχο την βελτίωση τεσσάρων βασικών παραγόντων που αποτελούν τους κύριους δείκτες του Optimus DSS. Οι τέσσερις αυτοί παράγοντες είναι η κατανάλωση ενέργειας, το ενεργειακό κόστος, οι εκπομπές άνθρακα και η παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. Συνεπώς τα σχέδια δράσης που περιγράφηκαν αναλυτικά στις προηγούμενες ενότητες έχουν σαν στόχο να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτίριο και κατεπέκταση το κόστος, να αυξήσουν την ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε όπως τα φωτοβολταικά, εκμεταλεύοντας στον βέλτιστο βαθμό την ικανότητα τους και να μειώσουν την εκπομπή των ρύπων άνθρακα κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει και άμεσα

οικονομικά αποτελέσματα, καθώς είναι πιθανό να αποφευχθούν ποινές που μπορούν να επιβάλλονταν σε περίπτωση που οι εκπομπές άνθρακα ξεπέρναγαν ένα ανώτατο όριο.

Κάθε ένα από τα σχέδια δράσης αυτά στοχεύει στην βελτίωση κάποιων από τους παραπάνω δείκτες και όχι απαραίτητα σε όλους. Η πραγματική επίδραση των δράσεων αυτή θα φανεί έπειτα από μακροχρόνια εφαρμογή τους στα πιλοτικά κτίρια που μελετώνται στα πλαίσια του προγράμματος Optimus και αφού πρώτα έχουν προηγηθεί δράσεις προώθησης του προγράμματος και των αποτελεσμάτων του. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά πως μπορεί να επηρεάσει καθεμία από τις δράσεις αυτές τους προαναφερθέντες δείκτες:

**Πίνακας 3.7: Αναμενόμενα αποτελέσματα από την εφαρμογή των σχεδίων δράσης**

Σχέδιο Δράσης		Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας			Αναφορά
		Χρήση	MIN	MAX	
1	Προγραμματισμός και διαχείριση του αριθμού των Χρηστών Κτιρίου	Ψύξη	5%	9%	“Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως 4,4% για θέρμανση και 9% για ψύξη” [5] “8-11% εξοικονόμηση ενέργειας” [6]
		Θέρμανση	2%	4%	
2	Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων	Ψύξη	5%	9%	“Για κάθε βαθμό βελτίωσης του Setpoint, υπάρχει περίπου 5% με 6% μείωση στην συνολική κατανάλωση ενέργεια του συστήματος , ανάλογα με το κλίμα” [7] “Μια μείωση ενός βαθμού στην εσωτερική ενέργεια μπορεί να μειώσει την κατανάλωση περίπου 6%”[8] “οι εξοικονομήσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου της προσαρμοστικής άνεσης κυμαίνονται από 10 ÷ 18% του συνολικού φορτίου κλιματισμού”[9] “μέσω της χρήσης του μοντέλου Προσαρμοστικής Άνεσης, το ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης κυμαινόταν από 3.0% έως 8.8%” [10]
		Θέρμανση	5%	9%	
3	Βέλτιστη Εκκίνηση/Διακοπή συστήματος Θέρμανσης	Θέρμανση	5%	10%	“Η αντικατάσταση της υπάρχουσας ώρας έναρξης του συστήματος με την βέλτιστη μπορεί να προκαλέσει 10% εξοικονόμηση ενέργειας” [11] “Ο έλεγχος της βέλτιστης Εκκίνησης/Διακοπής μπορεί να επιφέρει 10% μείωση” [12] , [13]

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

4	Διαχείριση του συστήματος “air side economizer”	Ψύξη	10%	20%	<p>“20% εξοικονόμηση στην ηλεκτρική ενέργεια για κλιματισμό είναι πιθανή με τον έλεγχο του εξαερισμού με βάση την ζήτηση” [14]</p> <p>“Η άνεση βελτιώνεται με την απουσία μηχανικής ψύξης και ικανοποιεί τα συνηθισμένα κριτήρια ενώ η μείωση στην ζήτηση περιορίζεται στο 10%” [15]</p> <p>“ Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη λειτουργία μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 28.9% σε σχέση με την κανονική λειτουργία” [16]</p>
		Θέρμανση	5%	10%	
<b>Σχέδιο δράσης</b>		<b>Αύξηση Παραγωγής από Α.Π.Ε</b>		<b>Αναφορά</b>	
			<b>MIN</b> <b>MAX</b>		
5	Προγραμματισμός συντήρησης φωτοβολταϊκών	της των	3%	8%	<p>Εμπειρική από την εφαρμογή του σχεδίου δράσης στα πιλοτικά κτίρια</p> <p>“Μεγάλο μέρος αυτών των απωλειών σχετίζεται με τις επιπτώσεις των σφαλμάτων και αγγίζει το 5% με 11% της συνολικής ενέργειας” [17]</p>
<b>Σχέδιο δράσης</b>		<b>Μείωση ενεργειακού κόστους</b>		<b>Αναφορά</b>	
			<b>MIN</b> <b>MAX</b>		
6	Προγραμματισμός πώλησης/κατανάλωσης της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά	της	5%	10%	<p>“Η εξοικονόμηση στο κόστος που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή της οικονομικής στρατηγικής κυμαίνεται μεταξύ 10-15%” [18]</p>
7	Προγραμματισμός λειτουργίας των συστημάτων ενέργειας για την ελαχιστοποίηση του κόστους	της	5%	10%	<p>“Η εξοικονόμηση χρημάτων μπορεί να φτάσει το 13,5%” [19]</p> <p>“οι έρευνες δείχνουν ότι το 20%-30% της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου</p>

				μπορεί να εξοικονομηθεί μέσω της βέλτιστης χρήσης και διαχείρισης του συστήματος προμήθειας ενέργειας του κτιρίου” [20] “Ενεργειακά κόστη με και χωρίς μπαταρία” (μειώσεις μεταξύ 7 και 10%) [21]
--	--	--	--	--

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται τα ποσοστά βελτίωσης που μπορεί να επιφέρει η εφαρμογή των σχεδίων δράσης ενώ γίνεται συνοπτική αναφορά στην πηγή από την οποία αντλήθηκαν τα επιμέρους ποσοστά.





---

*Κεφάλαιο 4: Σχέδιο Δράσης  
«Ρύθμιση της Θερμοκρασίας  
Εσωτερικών Χώρων»*

---





## 4.1 Θερμική Άνεση (*Thermal Comfort*)

Με τον όρο «**Θερμική άνεση**» εννοούμε την κατάσταση του νου που εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται υποκειμενικά (“ANSI/ASHRAE Standard 55”). Κατά την σχεδίαση συστημάτων “HVAC” (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός) βασικό στόχος είναι η διατήρηση του προτύπου θερμικής άνεσης για τους ενοίκους. Πέρα από το Πρότυπο “ASHRAE 55” υπάρχουν και άλλα πρότυπα άνεσης όπως το “EN 15251” και το πρότυπο “ISO 7730” [22].

Η θερμική άνεση σχετίζεται άμεσα με την απόδοση των εργαζομένων. Έχει αποδειχθεί ότι υπάλληλοι γραφείου που είναι ικανοποιημένοι με το θερμικό τους περιβάλλον, είναι πιο αποδοτικοί στην δουλειά τους. Η έννοια της θερμικής άνεσης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια του θερμικού στρες. Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι οι άνθρωποι δεν λειτουργούν αποδοτικά υπό καταστάσεις θερμικού στρες. Πιο συγκεκριμένα η πώση της απόδοσης είναι περίπου 11% σε σχέση με την απόδοση υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό το ποσοστό βέβαια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της εργασίας.

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι αυτοί που επηρεάζουν την πρόσληψη και την απώλεια θερμότητας. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο μεταβολικός ρυθμός, ο ρουχισμός, η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία. Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζουν και άλλες ψυχολογικές παράμετροι, όπως οι ατομικές προσδοκίες.

### 4.1.1 Βασικοί Παράγοντες

Η θερμική άνεση επηρεάζεται από έξι βασικούς παράγοντες, που μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τους προσωπικούς παράγοντες, που είναι τα προσωπικά χαρακτηριστικά των ενοίκων και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, που είναι συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ο μεταβολικός ρυθμός και η ένδυση, ενώ στην δεύτερη η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία. Παρότι οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να μεταβληθούν με την πάροδο του χρόνου, τα πρότυπα συνήθως αναφέρονται σε μία σταθερή κατάσταση για τη μελέτη της θερμικής άνεσης, επιτρέποντας απλά περιορισμένες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας [23].

- Μεταβολικός Ρυθμός (Metabolic Rate)

Κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικό μεταβολικό ρυθμό, που μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Με βάση το πρότυπο “ASHRAE 55-2010”, ο μεταβολικός ρυθμός είναι το επίπεδο μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο μέσω μεταβολικών δραστηριοτήτων εντός ενός οργανισμού. Μονάδα μέτρησης του μεταβολικού ρυθμού είναι οι “met”. Οι met ορίζονται ως εξής:  $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$  ( $18.4 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2$ ), και είναι ίση με την ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας (η επιφάνεια του μέσου ανθρώπου είναι  $1,8 \text{ m}^2$  ( $19 \text{ ft}^2$ )) ενός μέσου ατόμου που κάθεται σε ανάπαυση.

Το πρότυπο “ASHRAE 55” παρέχει έναν πίνακα τιμών “met” για έναν αριθμό βασικών δραστηριοτήτων. Για μη συνεχόμενες δραστηριότητες, το Πρότυπο τόνιζει ότι είναι

επιτρεπτό να χρησιμοποιείται ένας χρονικά σταθμισμένος μέσος μεταβολικός ρυθμός εάν οι άνθρωποι εκτελούν διαφορετικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια περιόδου μικρότερης ή ίσης της μίας ώρας. Αντίθετα για μεγαλύτερες περιόδους, πρέπει να θεωρηθούν διαφορετικοί μεταβολικοί ρυθμοί. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι άτομα μεγαλύτερης ηλικίας εμφανίζουν συνήθως ηπιότερη δραστηριότητα σε σχέση με τα νεότερα.

**Πίνακας 4.1: Πίνακας μεταβολικών ρυθμών για τυπικές δραστηριότητες**

Δραστηριότητα	Μεταβολικός Ρυθμός	
	W/m <sup>2</sup>	Met
Ανάπαυση	46	0,8
Καθιστή, ξεκούραστη	58	1,0
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, κατοικία, σχολείο, εργαστήριο)	70	1,2
Όρθια, ελαφριά δραστηριότητα (ψώνια, εργαστήριο, ελαφριά βιομηχανία)	93	1,6
Όρθια, μέτρια δραστηριότητα (εμποροϋπάλληλος, οικιακή εργασία, εργασία μηχανήματος)	116	2,0
Δουλεύοντας σε επίπεδο έδαφος:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Σύμφωνα με το Εγχειρίδιο του “ASHRAE”, η ακρίβεια της εκτίμησης των “met” για δραστηριότητες με “met” πάνω από 2 είναι αρκετά μικρή. Έτσι το πρότυπο δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται για δραστηριότητες με ένα μέσο επίπεδο υψηλότερο από 2 met. Πέρα από τις τιμές του παραπάνω πίνακα, υπάρχει δυνατότητα οι “met” να καθοριστούν με την βοήθεια άλλων μεθόδων. Η συνηθέστερη είναι μέσω μιας εμπειρικής εξίσωσης που λαμβάνει ως παράμετρο το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου και παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από το αναπνευστικό. Μία άλλη αποτελεσματική αλλά λιγότερο ακριβής μέθοδος, έχει να κάνει με τον καρδιακό ρυθμό, καθώς όπως έχει αποδειχθεί είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την παραγωγή οξυγόνου.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον μεταβολικό ρυθμό είναι οι συνήθειες του φαγητού και ποτού, καθώς αυτές επηρεάζουν έμμεσα τις θερμικές προτιμήσεις, καθώς και ο σωματότυπος. Για τον τελευταίο έχει παρατηρηθεί ότι άνθρωποι με λιγότερο στρογγυλό σωματότυπο, όπως ένας ψηλός και αδύνατος άνθρωπος, μπορούν να αντέξουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο που παρουσιάζουν σε σχέση με ένα άτομο με πιο στρογγυλό σωματότυπο.

- Θερμοκρασία αέρα (Air Temperature)

Η θερμοκρασία αέρα δεν είναι τίποτα άλλο από την μέση θερμοκρασία αέρα που περιβάλλει έναν ένοικο σε συγκεκριμένο χώρο και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55”, μέσος όρος που αφορά τον χώρο λαμβάνει υπόψη τα επίπεδα του αστράγαλου, της μέσης και του κεφαλιού, που διαφέρουν για καθιστούς και όρθιους ενοίκους. Ο μέσος όρος που αφορά τον χρόνο, βασίζεται σε 30-λεπτα διαστήματα με τουλάχιστον 18 ισαπέχοντα σημεία στο χρόνο.

- Ένδυση (Clothing)

Η ένδυση που φοράει ένα άτομο έχει σημαντική επίδραση στη θερμική άνεση, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απώλεια θερμότητας και έτσι την θερμική ισορροπία του ατόμου. Εάν τα ρούχα περιέχουν μονωτικά υλικά, βοηθούν στην διατήρηση της θερμότητας του σώματος. Όσο πιο παχύ είναι ένα ένδυμα, τόσο μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα έχει.

Η μόνωση ένδυσης μετριέται σε “CLO”. Πιο συγκεκριμένα: 1 CLO είναι ίσο με 0,155 m<sup>2</sup>·K/W (0,88 °F·ft<sup>2</sup>·h/Btu). Η μόνωση ένδυσης (I<sub>cl</sub>) μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα για τυπικούς συνδυασμούς ενδυμάτων (οι τιμές είναι για στατική θερμική μόνωση), ή έμμεσα, μέσω άθροισης των επιμέρους τιμών μόνωσης για κάθε ρούχο, I<sub>clu</sub>.

**Πίνακας 4.2: Θερμική μόνωση για τυπικούς συνδυασμούς ενδυμάτων**

Ενδυμασία εργασίας	I <sub>cl</sub>		Καθημερινή ενδυμασία	I <sub>cl</sub>	
	Clo	m <sup>2</sup> ·K/W		Clo	m <sup>2</sup> ·K/W
Εσώρουκα, κοστούμι, κάλτσες, παπούτσια	0,70	0,110	Κιλότα, “T-shirt”, σορτς, ελαφριές κάλτσες, σανδάλια	0,30	0,050
Εσώρουκα, πουκάμισο, κοστούμι, κάλτσες, παπούτσια	0,80	0,125	Εσώρουκα, πουκάμισο με κοντά μανίκια, ελαφρύ παντελόνι, ελαφριές κάλτσες, παπούτσια	0,50	0,080
Εσώρουκα, πουκάμισο, παντελόνι, μπλούζα εργασίας, κάλτσες, παπούτσια	0,90	0,140	Κιλότα, μεσοφόρι, καλσόν, φόρεμα, παπούτσια	0,70	0,105
Εσώρουκα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,00	0,140	Εσώρουκα, πουκάμισο, παντελόνι, κάλτσες, παπούτσια	0,70	0,110
Εσώρουκα με μακριά πόδια και μανίκια, θερμο-μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,20	0,155	Κιλότα, πουκάμισο, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,00	0,155

Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, βαρύ καπιτονέ εξωτερικό μπουφάν και φόρμες, κάλτσες, παπούτσια, σκούφος, γάντια	1,40	0,185	Κιλότα, καλσόν, μπλούζα, μακριά φούστα, σακάκι, παπούτσια	1,10	0,170
Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, βαρύ καπιτονέ εξωτερικό μπουφάν και φόρμες, κάλτσες, παπούτσια	2,00	0,310	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, πουλόβερ με λαιμό “V”, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,30	0,200
Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πόδια, θερμο-μπουφάν και παντελόνι, ζακέτα με βαριά γέμιση, φόρμες με βαριά γέμιση, κάλτσες, παπούτσια, σκούφος, γάντια	2,55	0,395	Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, γιλέκο, μπουφάν, παλτό, κάλτσες, παπούτσια	1,50	0,230

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την αλλαγή στη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας που είναι αναγκαία για να διατηρηθεί η θερμική άνεση σε ουδέτερα επίπεδα όταν ένα ένδυμα αφαιρείται σε ελαφριά καθιστική δραστηριότητα (1,2 met).

**Πίνακας 4.3: Θερμική μόνωση για ενδύματα και αλλαγές στη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας**

Ένδυμα	Iclu		Αλλαγή στη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας, °C
	Clo	m <sup>2</sup> *K/W	
<b>Εσώρουχα</b>			
Κιλότες	0,03	0,005	0,2
Σλιπ με μακριά πόδια	0,10	0,016	0,6
Αθλητική φανέλα			
Κοντομάνικη μπλούζα	0,04	0,006	0,3
Πουκάμισο με μακριά μανίκια	0,09	0,014	0,6
	0,12	0,019	0,8
Εσώρουχα και σουτιέν	0,03	0,005	0,2

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

<b>Πουκάμισα/Μπλούζες</b>			
Κοντά μανίκια	0,15	0,023	0,9
Ελαφριά, μακριά μανίκια	0,20	0,031	1,3
Κανονική, μακριά μανίκια	0,25	0,039	1,6
Φανέλα πουκάμισο, μακριά μανίκια	0,30	0,047	1,9
Ελαφριά μπλούζα, μακριά μανίκια	0,15	0,023	0,9
<b>Παντελόνι</b>			
Σορτς	0,06	0,009	0,4
Ελαφρύ	0,20	0,031	1,3
Κανονικό	0,25	0,039	1,6
Φανέλα	0,28	0,043	1,7
<b>Φορέματα/Φούστες</b>			
Ελαφριά φούστα (καλοκαίρι)	0,15	0,023	0,9
Βαριά φούστα (χειμώνας)	0,25	0,039	1,6
Ελαφρύ φόρεμα, κοντά μανίκια	0,20	0,031	1,3
Χειμωνιάτικο φόρεμα, μακριά μανίκια	0,40	0,062	2,5
Σακάκι	0,55	0,085	3,4
<b>Πουλόβερ</b>			
Αμάνικο γιλέκο	0,12	0,019	0,8
Λεπτό πουλόβερ	0,20	0,031	1,3
Πουλόβερ	0,28	0,043	1,7
Χοντρό πουλόβερ	0,35	0,054	2,2
<b>Μπουφάν</b>			
Ελαφρύ καλοκαιρινό μπουφάν	0,25	0,039	1,6
Μπουφάν	0,35	0,054	2,2
Μπλούζα εργασίας	0,30	0,047	1,9
<b>Υψηλής μόνωσης</b>			
Σακάκι	0,90	0,140	5,6
Παντελόνι	0,35	0,054	2,2
Μπουφάν	0,40	0,062	2,5
Γιλέκο	0,20	0,031	1,3
<b>Ενδυμασία εξωτερικού χώρου</b>			
Παλτό	0,60	0,093	3,7
Εσωτερικό μπουφάν	0,55	0,085	3,4
Γούνινο πανωφόρι με κουκούλα κεφαλής	0,70	0,109	4,3
Φόρμες	0,55	0,085	3,4
<b>Διάφορα</b>			
Κάλτσες	0,02	0,003	0,1

Χοντρές κάλτσες μέχρι τον αστράγαλο	0,05	0,008	0,3
Χοντρές, μακριές κάλτσες	0,10	0,016	0,6
Νάιλον καλσόν	0,03	0,005	0,2
Παπούτσια (με λεπτή σόλα)	0,02	0,003	0,1
Παπούτσια (με χοντρή σόλα)	0,04	0,006	0,3
Μπότες	0,10	0,016	0,6
Γάντια	0,05	0,008	0,3

Για καθιστούς ανθρώπους, η καρέκλα μπορεί να συνεισφέρει μία πρόσθετη μόνωση από 0 έως 0,4 clo. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο Διεθνές Πρότυπο “ISO 9920”.

**Πίνακας 4.4: Τιμές θερμικής μόνωσης για καρέκλες**

Είδος καρέκλας	Iclu	
	Clo	m <sup>2</sup> *K/W
Σκέτη/μεταλλική καρέκλα	0,00	0,00
Ξύλινο σκαμπό	0,01	0,002
Τυπική καρέκλα γραφείου	0,1	0,016
Εκτελεστική καρέκλα	0,15	0,023

Οι τιμές αυτές μπορούν να προστεθούν στις τιμές των παραπάνω πινάκων.

- Θερμοκρασία λειτουργίας (Operation Temperature)

Η θερμοκρασία λειτουργίας έχει στόχο να ενσωματώσει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών αέρα και της μέσης ακτινοβολίας σε μία μετρική. Συχνά προκύπτει ως ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα ξηρού βολβού και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη θέση του δωματίου. Στην περίπτωση δωματίων με χαμηλή θερμική μάζα, η θερμοκρασία λειτουργίας καταλήγει κάποιες φορές να είναι απλά η θερμοκρασία αέρα.

- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature)

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει να κάνει με την ποσότητα θερμότητας ακτινοβολίας που μεταφέρεται από μία επιφάνεια, και εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να απορροφά ή να εκπέμπει θερμότητα. Εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και την ικανότητα των περιβαλλουσών επιφανειών να απορροφούν ή να εκπέμπουν θερμότητα, καθώς επίσης και από το ποσοστό του αντικειμένου που είναι “ορατό”. Έτσι, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας που δέχεται ένας άνθρωπος, ο οποίος βρίσκεται σε ένα χώρο στον οποίο υπάρχει συνεχής ροή της ακτινοβολίας του ηλίου, διαφέρει ανάλογα με το ποσοστό του σώματός του που βρίσκεται εκτεθειμένο στον ήλιο.

- Σχετική υγρασία (Relative Humidity)

Η σχετική υγρασία ορίζεται ως είναι η αναλογία των υδρατμών στον αέρα σε σχέση με τους υδρατμούς που θα μπορούσε κανονικά να κρατήσει ο αέρας στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση. Για την ανίχνευση της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιούνται έμμεσοι μηχανισμοί. Για παράδειγμα η εφύδρωση αποτελεί έναν μηχανισμό απώλειας θερμότητας που βασίζεται στην εξάτμιση από το δέρμα. Σε κλιματιζόμενα κτήρια το επίπεδο εσωτερικής υγρασίας που συνίσταται κυμαίνεται μεταξύ 30 και 60%. Ωστόσο τα νέα πρότυπα, όπως το προσαρμοστικό μοντέλο, επιτρέπουν τιμές υγρασίας εκτός του παραπάνω εύρους, σε αναλογία με τους υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση.

Ακόμα η αντιληπτή θερμική άνεση επηρεάζεται από την υγρασία του δέρματος σε διαφορετικές περιοχές του σώματος. Η εξωτερική υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της υγρασίας του δέρματος σε διαφορετικές περιοχές του σώματος, προκαλώντας έτσι την αντίληψη τοπικής δυσφορίας. Τα τοπικά όρια θερμικής άνεσης διαφέρουν για τις διαφορετικές περιοχές του σώματος. Πιο συγκεκριμένα, τα άκρα είναι περισσότερο ευαίσθητα στη θερμική δυσφορία από υγρότητα σε σχέση με τον κορμό. Παρότι η τοπική θερμική δυσφορία μπορεί να επηρεαστεί από την υγρασία, η θερμική άνεση του σώματος στο σύνολο του, δεν θα επηρεαστεί από την υγρασία ορισμένων περιοχών.

- Ταχύτητα αέρα (Air Velocity)

Με τον όρο ταχύτητα αέρα ορίζουμε τον ρυθμό κίνησης αέρα σε ένα σημείο, αγνοώντας την κατεύθυνση. Σύμφωνα με το Πρότυπο “ANSI/ASHRAE 55”, είναι η μέση ταχύτητα του αέρα στον οποίο εκτίθεται το σώμα, σε σχέση με το χρόνο και την τοποθεσία. Ο χρονικός μέσος όρος είναι το ακριβώς ίδιος με την θερμοκρασία αέρα, ενώ ο χωρικός βασίζεται στην υπόθεση ότι το σώμα έρχεται σε επαφή με μία ομοιόμορφη ταχύτητα αέρα, σύμφωνα με το θερμο-φυσιολογικό μοντέλο “SET”. Παρόλο αυτά, σε κάποιους χώρους είναι πιθανό να υπάρχουν ισχυρά ανομοιόμορφα πεδία ταχύτητας αέρα και συνεπώς απώλειες θερμότητας μέσω του δέρματος, τις οποίες δεν μπορούμε να τις θεωρήσουμε ομοιόμορφες. Έτσι, ο σχεδιαστής του συστήματος μπορεί να αποφασίσει κατά μέσο όρο, συμπεριλαμβάνοντας κυρίως την ταχύτητα αέρα που προσπίπτει σε μη ντυμένα μέρη του σώματος, που επιδρούν πιο έντονα στην ψύξη και διαθέτουν την ικανότητα για για τοπική δυσφορία.

#### **4.1.2 Μοντέλα Θερμικής Άνεσης**

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1970 εκτελέστηκαν πολλές μελέτες γύρω από τους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση. Όπως αποδείχθηκε, η αντιληπτή θερμική άνεση είναι συνάρτηση των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όπως προέκυψε, για την ικανοποίηση των περισσότερων ανθρώπων θα πρέπει η αντιληπτή θερμική άνεση να είναι εντός ορισμένων ορίων. Όσο απομακρυνόμαστε από αυτά τα όρια τόσο μεγαλύτερη δυσφορία προκαλείται στο άτομο. Η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να εκφραστεί ως το ποσοστό των ατόμων που εξέφρασαν ικανοποίηση από τις συνθήκες άνεσης και ως το “predicted mean vote (PMV)”. Το παραπάνω μοντέλο αμφισβητήθηκε έντονα από το προσαρμοστικό μοντέλο (Adaptive Comfort Model) που αναπτύχθηκε κατά

το έργο “ASHRAE 884”, και έδειξε ότι οι ένοικοι ήταν ικανοποιημένοι με ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Την τελευταία εικοσαετία, αναπτύχθηκαν μοντέλα θερμικής άνεσης που μελετούν το ανθρώπινο σώμα σε πολλά ξεχωριστά τμήματα, προβλέποντας την τοπική θερμική δυσφορία θεωρώντας τη θερμική ισορροπία. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας νέας κατηγορίας μοντέλων θερμικής άνεσης που στόχο έχουν την θέρμανση/ψύξη συγκεκριμένων μερών του σώματος. Σήμερα τα δύο επικρατέστερα μοντέλα θερμικής άνεσης είναι το στατικό μοντέλο (“PMV/PPD”) και το προσαρμοστικό μοντέλο.

Το στατικό μοντέλο, “Predicted Mean Vote (PMV)”, αναπτύχθηκε βασιζόμενο στις αρχές της ισορροπίας θερμότητας και σε μετρήσεις που συλλέγονται σε ένα θάλαμο ελεγχόμενου κλίματος υπό κανονικές συνθήκες. Το προσαρμοστικό μοντέλο, από την άλλη, αναπτύχθηκε στηριζόμενο σε εκατοντάδες μελέτες έχοντας ως κεντρική ιδέα ότι οι ένοικοι μπορούν να αλληλεπιδρούν δυναμικά με το περιβάλλον τους. Οι ένοικοι ελέγχουν το θερμικό περιβάλλον τους, μέσω παραγόντων όπως, η ένδυση, τα ανοιγόμενα παράθυρα, οι ανεμιστήρες κ.τ.λ. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο αυτά βασικά μοντέλα θερμικής άνεσης.

#### **4.1.2.1 Μοντέλο “PMV/PPD”**

Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον P. O. Fanger. Ο Fanger χρησιμοποίησε εξισώσεις θερμικής ισορροπίας και διάφορες εμπειρικές μελέτες σχετικά με τη θερμοκρασία του δέρματος, για να προσδιορίσει την θερμική άνεση. Στις τυπικές έρευνες θερμικής άνεσης, τα υποκείμενα ρωτούνται σχετικά με τη θερμική τους αίσθηση σε μία 7-βάθμια κλίμακα από το πολύ κρύο (-3) έως το πολύ ζεστό (+3). Οι εξισώσεις του Fanger χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη “Predicted Mean Vote (PMV)” για μία μεγάλη ομάδα ατόμων για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό θερμοκρασίας αέρα, μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας αέρα, μεταβολικού ρυθμού και μόνωσης ρουχισμού. Ιδανικά η τιμή αυτού του δείκτη είναι μηδέν, μια τιμή που αντιπροσωπεύει τη θερμική ουδετερότητα. Η ζώνη άνεσης προσδιορίζεται από τους συνδυασμούς εκείνους των έξι παραμέτρων που το “PMV” είναι εντός των προτεινόμενων ορίων ( $-0,5 < PMV < +0,5$ ). Για να καθορίσουμε τις συνθήκες άνεσης, ένα πρώτο βήμα είναι η πρόβλεψη της θερμικής αίσθησης του πληθυσμού. Παρόλο αυτά, είναι περισσότερο σημαντικό να λάβουμε υπόψη το κατά πόσο οι άνθρωποι θα είναι ικανοποιημένοι ή όχι στις συγκεκριμένες συνθήκες. Έτσι ο Fanger ανέπτυξε μία ακόμη εξίσωση για τον συσχετισμό του “PMV” και του “Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)”. Η σχέση αυτή μεταξύ των δύο δεικτών στηρίχτηκε σε έρευνες που ρωτούσαν υποκείμενα σε ένα δωμάτιο όπου οι συνθήκες εσωτερικού χώρου μπορούν να ελέγχονται με ακρίβεια.

Στην μέθοδο αυτή, όλοι οι ένοικοι αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο και αγνοούνται παράμετροι όπως η τοποθεσία και η προσαρμογή στο θερμικό περιβάλλον. Αναφέρει ότι η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου θα πρέπει να είναι σταθερή καθόλη την διάρκεια του χρόνου και να μην μεταβάλλεται μεβάζση τις εποχές. Άρα αυτό συνεπάγεται ότι οι άνθρωποι δε χρειάζεται να προσαρμόζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, αφού η θερμοκρασία θα είναι πάντα σταθερή.

Το Πρότυπο “ASHRAE 55-2010” χρησιμοποιεί το μοντέλο “PMV” προκειμένου να θέσει απαιτήσεις για θερμικές συνθήκες εσωτερικού χώρου. Απαιτεί ότι τουλάχιστον το 80% των ενοίκων θα είναι ικανοποιημένοι.



ο Μέθοδος αυξημένης ταχύτητας αέρα

Το “ASHRAE 55 2013” λογαριάζει για ταχύτητες αέρα πάνω από 0,2 m/s χωριστά από το μοντέλο βασικής γραμμής (“baseline”). Η κίνηση αέρα μπορεί να παρέχει απευθείας ψύξη σε ανθρώπους, ειδικότερα εάν δε φοράνε υπερβολικά πολλά ρούχα, και έτσι είναι πιθανό υψηλότερες θερμοκρασίες να είναι πιο άνετες σε σχέση με αυτές που προβλέπει το μοντέλο “PMV”. Ταχύτητες αέρα πάνω από 0,8 m/s επιτρέπονται χωρίς τοπικό έλεγχο ενώ για ταχύτητες πάνω από 1,2 m/s είναι απαραίτητος ο τοπικός έλεγχος. Αυτή η αυξημένη κίνηση αέρα μπορεί να αυξήσει τη μέγιστη θερμοκρασία για ένα χώρο γραφείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού από 27,5°C σε 30°C .

ο Τυπική ενεργή θερμοκρασία

Το “Standard effective temperature (SET)” είναι ένα μοντέλο ανθρώπινης απόκρισης στο θερμικό περιβάλλον. Αναφέρεται συχνά ως το μοντέλο “Pierce Two-Node”. Ανακαλύφθηκε από τον A. P. Gagge και το 1986 έγινε αποδεκτό από το “ASHRAE”. Ο υπολογισμός του είναι όμοιος με του “PMV” διότι πρόκειται για έναν ολοκληρωμένο δείκτη άνεσης που βασίζεται σε εξισώσεις θερμικής ισορροπίας, που ενσωματώνουν τους παράγοντες ένδυσης και μεταβολικού ρυθμού. Η διαφορά του σε σχέση με τον “PMV” είναι ότι είναι αναγκαία μία μέθοδος δύο κόμβων μέσω της οποίας θα αναπαρασταθεί η ανθρώπινη φυσιολογία μετρώντας τη θερμοκρασία και την υγρασία του δέρματος.

Στο “ASHRAE 55-2010” ορίζεται ο δείκτης ως «η θερμοκρασία ενός υποθετικού περιβάλλοντος με σχετική υγρασία 50%, μέση ταχύτητα αέρα <0,1 m/s, και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ίση με τη μέση θερμοκρασία αέρα, στην οποία η συνολική απώλεια θερμότητας από το δέρμα ενός υποθετικού ενοίκου με επίπεδο δραστηριότητας 1,0 met και επίπεδο ένδυσης 0,6 clo είναι η ίδια με αυτή από έναν άνθρωπο στο πραγματικό περιβάλλον, με πραγματικό ρουχισμό και επίπεδο δραστηριότητας».

Από σχετικές έρευνες διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο υπερεκτιμά συχνά τη θερμοκρασία του δέρματος και έχει την τάση να υποτιμά την υγρασία του δέρματος.

ο Τοπική θερμική δυσφορία

Η θερμική άνεση, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, αναφέρεται σε ολόκληρο το σώμα ως σύνολο. Ωστόσο θερμική δυσανεξία μπορούμε να έχουμε μόνο για ένα συγκεκριμένο μέρος του σώματος, λόγω μη επιθυμητών τοπικών πηγών θέρμανσης, ψύξης ή κίνησης του αέρα. Οι βασικές αιτίες της θερμικής δυσφορίας είναι τέσσερις σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55-2010”. Ένα τμήμα του προτύπου καθορίζει τις απαιτήσεις για αυτούς τους παράγοντες, οι οποίοι ισχύουν για ανθρώπους με ελαφρύ ρουχισμό που ασκούν σχεδόν καθιστική σωματική δραστηριότητα. Αυτό συμβαίνει διότι οι άνθρωποι με υψηλότερο μεταβολικό ρυθμό και περισσότερη μόνωση ρουχισμού είναι λιγότερο θερμικώς ευαίσθητα, και έτσι εμφανίζουν μικρότερη πιθανότητα θερμικής δυσφορίας. Κάποιοι από τους παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν τοπική δυσανεξία φαίνονται παρακάτω :

✓ Ασυμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας

Μεγάλες διαφορές στη θερμική ακτινοβολία των επιφανειών που περιβάλλουν έναν άνθρωπο μπορεί να προκαλέσουν τοπική δυσφορία ή να μειώσουν την αποδοχή των

θερμικών συνθηκών. Με βάση το Πρότυπο “ASHRAE 55” η οροφή ενός κτιρίου θα πρέπει να μην είναι παραπάνω από 5°C (9,0 °F) θερμότερη σε σχέση με άλλες επιφάνειες, Όσον αφορά τους τοίχους το αντίστοιχο όριο μπορεί να είναι μέχρι και 23°C (41 °F).

✓ Ρεύμα αέρα

Ενώ υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κίνηση αέρα προσφέρει άνεση στους ενοίκους, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μπορεί να είναι ανεπιθύμητη και να προκαλέσει δυσαρέσκεια. Η ανεπιθύμητη κίνηση αέρα ονομάζεται ρεύμα και είναι περισσότερο διαδεδομένη όταν η θερμική αίσθηση του συνολικού σώματος είναι ψυχρή. Είναι πιο πιθανό ένας άνθρωπος να αισθάνεται ρεύμα σε ακάλυπτες περιοχές του σώματος. Τέτοιες είναι το κεφάλι, ο λαιμός, οι ώμοι, οι αγκώνες, οι αστραγάλοι, οι πατούσες και τα πόδια. Ακόμα όμως η αίσθηση εξαρτάται άλλους παράγοντες όπως η ταχύτητα του αέρα, η θερμοκρασία του αέρα, η δραστηριότητα και η ένδυση.

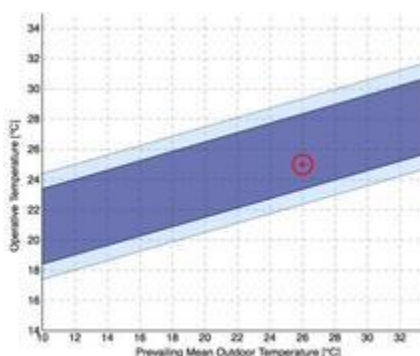
✓ Κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας αέρα

Λόγω της θερμικής διαστρωμάτωσης, η θερμοκρασία του αέρα στο ύψος του κεφαλιού είναι υψηλότερη από ό,τι στο επίπεδο του αστραγάλου. Η διαφορά αυτή αν είναι εκτός κάποιων ορίων μπορεί να προκαλέσει θερμική δυσφορία. Το Πρότυπο “ASHRAE 55” προτείνει αυτή η διαφορά να μην ξεπερνά τους 3 °C (5,4 ° F).

✓ Θερμοκρασία επιφάνειας πατώματος

Το “ASHRAE 55” προτείνει οι θερμοκρασίες πατώματος να διατηρούνται μεταξύ των τιμών 19-29 °C (66–84 °F). Αυτό το εύρος αναφέρεται σε χώρους όπου οι ένοικοι θα φοράνε ελαφριά υποδήματα.

#### 4.1.2.2 Μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης



**Σχήμα 4.1: Προσαρμοστικό διάγραμμα σύμφωνα με το Πρότυπο “ASHRAE 55-2010”**

Το προσαρμοστικό μοντέλο βασίζεται στην ιδέα ότι το κλίμα εξωτερικού χώρου επηρεάζει την θερμική άνεση εσωτερικού χώρου, καθώς οι άνθρωποι μπορούν να προσαρμοζονται

σε διαφορετικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια διαφορετικών περιόδων του έτους. Μεγάλος αριθμός ερευνητών έχουν διεξάγει μελέτες σε κτίρια ανά τον κόσμο για να ερευνήσουν τους ενοίκους τους σχετικά με τη θερμική άνεσή τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα περιβαλλοντικές μετρήσεις. Από τα πειράματα αυτά προέκυψε μια βάση δεδομένων με αποτελέσματα από 160 από τα παραπάνω κτίρια, δείχνοντας ότι οι ένοικοι φυσικά αεριζόμενων κτιρίων αποδέχονται ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών από τους αντίστοιχους σε κλειστά, κλιματιζόμενα κτίρια. Αυτό οφείλεται στο ότι η επιθυμητή τους θερμοκρασία εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες. Το προσαρμοστικό διάγραμμα που φαίνεται παραπάνω συσχετίζει την εσωτερική θερμοκρασία άνεσης με την επικρατούσα εξωτερική θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζει ζώνες που αντιστοιχούν σε 80% και 90% ικανοποίηση.

Το Πρότυπο “ASHRAE-55 2010” εισήγαγε την επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία ως μεταβλητή εισόδου για το προσαρμοστικό μοντέλο. Βασίζεται στον μέσο όρο των μέσων ημερήσιων εξωτερικών θερμοκρασιών για όχι λιγότερες από 7 και όχι περισσότερες από 30 διαδοχικές ημέρες πριν από την εξεταζόμενη ημέρα. Είναι δυνατό ακόμα να υπολογιστεί σταθμίζοντας τις θερμοκρασίες με διαφορετικούς συντελεστές (βάρη), δίνοντας μεγαλύτερη σημασία στις πιο πρόσφατες θερμοκρασίες. Για να είναι δυνατή η εφαρμογή του μοντέλου θα πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Απουσία μηχανικού συστήματος ψύξης του χώρου
- Η κύρια ενασχόληση των ενοίκων θα πρέπει να είναι καθιστικές δραστηριότητες με μεταβολικούς ρυθμούς 1-1,3 met
- Η μέση θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη των 10 °C (50 °F) και μικρότερη των 33,5 °C (92,3 °F).

Το μοντέλο εφαρμόζεται με μεγαλύτερη επιτυχία σε φυσικά κλιματιζόμενους και ελεγχόμενους από τους ενοίκους χώρους, όπου το κλίμα εξωτερικού χώρου επηρεάζει ουσιαστικά τις εσωτερικές συνθήκες και κατεπέκταση τη ζώνη άνεσης. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα οι ένοικοι φυσικά αεριζόμενων χώρων είναι μπορούν να ανεχτούν ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών. Το γεγονός αυτό προκύπτει τόσο από τις συμπεριφορικές όσο και από τις φυσιολογικές προσαρμογές, δεδομένου ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη προσαρμοστικών διαδικασιών. Σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55-2010” οι αλλαγές στις πρόσφατες θερμικές εμπειρίες, οι αλλαγές στα ρούχα, η εναλλακτικές επιλογές αλλά και οι αλλαγές των προσδοκιών των ενοίκων μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στις θερμικές αποκρίσεις των ανθρώπων.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες θερμικής προσαρμογής: η συμπεριφορική, η φυσιολογική και η ψυχολογική. Η ψυχολογική προσαρμογή αναφέρεται σε μία αλλαγμένη θερμική αντίληψη λόγω των παρελθοντικών εμπειριών και προσδοκιών. Είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που δικαιολογεί τη διαφορά ανάμεσα στις επιτόπιες παρατηρήσεις και στις προβλέψεις που προκύπτουν από το “PMV” μοντέλο σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια. Στα παραπάνω κτίρια, η συσχέτιση μεταξύ των εξωτερικών θερμοκρασιών και των εσωτερικών επιπέδων άνεσης είναι δύο φορές πιο ισχυρή από την προβλεπόμενη. Στην συνέχεια ακολουθή μια συνοπτική περιγραφή των τριών διαφορετικών ειδών προσαρμογής που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

- Φυσιολογική και Ψυχολογική Προσαρμογή

Το σώμα έχει διάφορους μηχανισμούς προσαρμογής για να επιβιώσει σε διαφορετικά θερμοκρασιακά περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα ψυχρό περιβάλλον το σώμα μέσω της αγγειοσύσπασης μειώνει τη ροή του αίματος στο δέρμα, τη θερμοκρασία του δέρματος και τη διάχυση θερμότητας. Αντίθετα μέσα σε ένα θερμότερο περιβάλλον, μέσω της αγγειοδιαστολής θα αυξηθεί η ροή του αίματος στο δέρμα, η θερμοκρασία του δέρματος η μεταφορά και η διάχυση θερμότητας. Αν παρόλο αυτούς τους μηχανισμούς προσαρμογής υπάρχει μία θερμική ανισορροπία, τότε σε ένα ζεστό περιβάλλον: θα ξεκινήσει η παραγωγή ιδρώτα και θα παρέχει ψύξη μέσω εξάτμισης, και εάν αυτό δεν επαρκεί, θα τεθεί σε εφαρμογή η υπερθερμία, η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να φτάσει τους 40 °C (104 °F) και μπορεί να έχουμε θερμοπληξία. Αντίθετα σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον θα αρχίσει το ρίγος, αναγκάζοντας ακουσίως τους μύες να εργάζονται και έτσι να αυξήσουν την θερμότητα στο σώμα σε ένα σημαντικό βαθμό. Εάν δεν επανέλθει η θερμική ισορροπία τότε θα τεθεί σε εφαρμογή η υποθερμία, η οποία μπορεί να αποβεί μοιραία. Εάν απαιτείται κάποια μακροχρόνια προσαρμογή, λόγω έκθεσης σε ακραίες θερμοκρασίες για διαστήματα από μερικές ημέρες έως έξι μήνες, τότε μπορεί να οδηγηθούμε σε καρδιαγγειακές και ενδοκρινικές προσαρμογές.

Για παράδειγμα, σε ένα θερμότερο κλίμα μπορεί η αύξηση του όγκου του αίματος μπορεί να ενισχύσει την απόδοση του μηχανισμού του ιδρώτα και να αναπροσαρμόσει τις θερμικές προτιμήσεις. Αντίθετα σε ψυχρές ή συνθήκες, η αγγειοσυστολή είναι πιθανό να γίνει μόνιμη, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο όγκο αίματος και αυξημένο μεταβολικό ρυθμό .

- Συμπεριφορική Προσαρμογή

Σε κτίρια στα οποία υπάρχει η δυνατότητα για φυσικό αερισμό, οι ένοικοι συχνά λαμβάνουν μέτρα για να διατηρήσουν την θερμική τους άνεση όταν αυτό απαιτείται. Τέτοια μέτρα μπορεί να είναι ο χειρισμός παραθύρων και ανεμιστήρων, η ρύθμιση των ρολών και των σκιάστρων, η αλλαγή ρούχων και η κατανάλωση τροφίμων και ποτών. Μέσω αυτών των δράσεων οι ένοικοι οι οποίοι τείνουν να αισθάνονται ψυχρότερα σε πιο υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με αυτούς που δεν λαμβάνουν κάποιο ανάλογο μέτρο.

Οι ερευνητές για να αντιμετωπίσουν τέτοιες συμπεριφορές έχουν αναπτύξει πολλά μοντέλα, έτσι ώστε να βελτιώσουν τα αποτελέσματα προσομοίωσης. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα για το άνοιγμα των παραθύρων, αλλά δεν υπάρχει ομοφωνία μεταξύ των ερευνητών σχετικά με τους παράγοντες που οδηγούν στο άνοιγμα του παραθύρου.

## 4.2 Επαγωγικοί Κανόνες (Inference Rules)

Το Σχέδιο Δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» εφαρμόζεται σε δημοτικά κτίρια. Βασικός στόχος του είναι αφενός η επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων θερμικής άνεσης για τους ενοίκους και αφετέρου η εξοικονόμηση ενεργειακών και χρηματικών πόρων. Όπως είναι λογικό, δεν είναι δυνατό να ορίζεται αυθαίρετα από κάποιον η εσωτερική θερμοκρασία σε ένα δημοτικό κτίριο καθώς πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένοι τεχνικοί περιορισμοί. Έτσι ο ρόλος του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης είναι διττός. Σχεδιάστηκε για να βοηθήσει τους ενεργειακούς διαχειριστές δημοτικών κτιρίων να ρυθμίσουν τις παραμέτρους θερμικής άνεσης έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η ενεργειακή χρήση αλλά και παράλληλα να διατηρείται η θερμική άνεση σε συγκεκριμένα αποδεκτά επίπεδα.

Το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης αλλά και κάθε σχέδιο δράσης βασίζεται σε συγκεκριμένους επαγωγικούς κανόνες. Με τον όρο επαγωγικό κανόνα (“inference rule”) εννοούμε μία γνώση βασισμένη σε οδηγίες που μπορούν να εκφραστούν στη λογική μορφή «αν-τότε», με γραφικό τρόπο (διάγραμμα ροής, πίνακας κλπ) ή ως μαθηματική εξίσωση. Σαν πρώτο βήμα προσδιορίζουμε επακριβώς τους επαγωγικούς κανόνες που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη και υλοποίηση του εκάστοτε σχεδίου δράσης. Εν συνεχεία αναπτύσσουμε όλους εκείνους τους «ευφυείς» κανόνες κίνησης χρήση των διαθέσιμων δεδομένων που προέρχονται από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων. Τέλος μένει η υλοποίηση των κανόνων επαγωγής, που έχουμε αναπτύξει, στο “inference/DSS engine”. Κατά την υλοποίηση των επαγωγικών κανόνων αυτοί περιγράφονται τεχνικά ως “PHP” κλάσεις.

Για το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης, οι επαγωγικοί κανόνες που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στο μοντέλο πρόβλεψης για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου. Πιο συγκεκριμένα είναι η «Επικύρωση Θερμικής Άνεσης» και η «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης». Ο πρώτος κανόνας δέχεται σαν είσοδο :

- την ανατροφοδότηση των χρηστών μέσω ενός ερωτηματολογίου επικύρωσης της θερμικής άνεσης (για τον υπολογισμό του δείκτη “Actual Mean Vote – AMV”)
- τις προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας για την επόμενη εβδομάδα (για τον υπολογισμό του δείκτη “Predicted Mean Vote – PMV”)
- τις παρατηρούμενες σε πραγματικό χρόνο τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου και της υγρασίας με βάση αισθητήρες (για τον υπολογισμό του “Observed Mean Vote – OMV”).

Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος επαγωγικός κανόνας λαμβάνει ως είσοδο τις εκτιμώμενες τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας για την επόμενη εβδομάδα όπως προκύπτουν από το αντίστοιχο μοντέλο πρόβλεψης και τον δείκτη μόνωσης ρουχισμού των ενοίκων.

**Σχήμα 4.2: Προτεινόμενες δράσεις και δεδομένα εισόδου**

Suggested actions			Input data																	
			Weather forecasting				De-centralized										Social media	Energy prices	RES production	
Building technical management	Occupant behaviour optimisation	Building maintenance	Outdoor air temperature	Solar radiation	Wind speed/direction	Outdoor humidity	E.C. for heating/cooling	E.C. for ventilation	E.C. for DHW	E.C. for air conditioning	E.C. for lighting	Indoor air temp	Indoor humidity	CO <sub>2</sub> concentration	Occupancy	Illuminance				Supply temp.
Schedule the indoor set point temperature according to - occupancy/ occupied space - climatic data (adaptative comfort) - standard level - feedback from social media	Set the indoor set point temperature according to - occupancy/occupied space - climatic data - feedback from social media	Check heating/cooling system	X	X			X					X			X		X	X		X

#### 4.2.1 Επαγωγικός Κανόνας - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης (Thermal Comfort Validation)

Ο πρώτος επαγωγικός κανόνας σχετίζεται, με την επικύρωση της θερμικής άνεσης (“thermal comfort validation – TCV”) και στηρίζεται στη Θεωρία Θερμικής Άνεσης “PMV”, σύμφωνα με την οποία η υποκειμενική θερμική άνεση υπολογίζεται, μεταξύ άλλων, με χρήση του δείκτη “Predicted Mean Vote (PMV)”, μία 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης που βαθμολογεί με 0 την ουδέτερη θερμική αίσθηση και με -3, 3 τις ακραίες τιμές κρύου και ζέστης αντίστοιχα. Ενδιάμεσες τιμές αντανακλούν ενδιάμεσα στάδια θερμικής άνεσης. Με αυτόν τον τρόπο προβλέπεται η μέση τιμή των ψήφων μίας μεγάλης ομάδας ανθρώπων με βάση τη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος. Η θερμική ισορροπία επιτυγχάνεται όταν η εσωτερική θερμική παραγωγή του σώματος ισούται με την απώλεια θερμοκρασίας προς το περιβάλλον. Σε ένα μέσο περιβάλλον, το ανθρώπινο σύστημα ρύθμισης θερμοκρασίας θα προσπαθήσει αυτόματα να τροποποιήσει τη θερμοκρασία μετάβασης και την έκκριση ιδρώτα για να διατηρήσει τη θερμική ισορροπία.

Ο δείκτης “PMV” μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικώς με χρήση ενός αριθμού μεταβλητών, που αφορούν τόσο σε συνθήκες εσωτερικού χώρου, όπως θερμοκρασία αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, σχετική υγρασία και ταχύτητα αέρα, όσο και σε παραμέτρους εξαρτώμενες από τα προφίλ των ενοίκων, όπως ο μεταβολικός ρυθμός και το επίπεδο ένδυσης.

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$PMV = [0,303 \cdot (\exp(-0,036 \cdot M) + 0,028)] \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)$$

(1)

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

(2)

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} \text{ for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \text{ for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

(3)

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \text{ for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

(4)

όπου

M είναι ο μεταβολικός ρυθμός (W/m<sup>2</sup>)

W είναι η ενεργή μηχανική ισχύς (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>cl</sub> είναι η μόνωση του ρουχισμού (m<sup>2</sup>K /W)

f<sub>cl</sub> είναι ο παράγοντας επιφάνειας ρουχισμού

t<sub>a</sub> είναι η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος (°C)

$\bar{t}_r$  είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)

v<sub>ar</sub> είναι η σχετική ταχύτητα του αέρα (m/s)

p<sub>a</sub> είναι η μερική πίεση υδρατμού (Pa)

h<sub>c</sub> είναι ο συντελεστής συναγωγής μεταφοράς θερμότητας [(W/m<sup>2</sup>K)]

t<sub>cl</sub> είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας ρουχισμού (°C)

Ο δείκτης “PMV” προκύπτει από σταθερές συνθήκες αλλά μπορεί να εφαρμοστεί με καλή προσέγγιση κατά τη διάρκεια μικρών διακυμάνσεων μίας ή περισσότερων μεταβλητών, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται οι σταθμισμένες χρονικά μέσες τιμές των μεταβλητών κατά τη διάρκεια της προηγούμενης μίας ώρας.

Για το θερμικό περιβάλλον, τα σχεδιαστικά κριτήρια για τη θερμοκρασία λειτουργίας βασίζονται σε τυπικά επίπεδα δραστηριότητας, για ρουχισμό της τάξης του 0,5 clo κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού («περίοδος ψύξης») και 1,0 clo κατά τη διάρκεια του χειμώνα («περίοδος θέρμανσης»). Τα κριτήρια για τη μέση ταχύτητα αέρα ισχύουν για ένταση τύρβης περίπου 40% (μικτός εξαερισμός).

Η υγρασία μπορεί να εκφραστεί ως σχετικό ή απόλυτο μέγεθος (βλ. “ISO 7726”). Η απόλυτη υγρασία, εκφρασμένη ως πίεση υδρατμών στον αέρα, επηρεάζει την εξατμιστική απώλεια θερμότητας από ένα άτομο, γεγονός που επιδρά στη γενική θερμική άνεση του σώματος (θερμική ισορροπία). Υποθέτουμε ότι η σχετική υγρασία ισούται με 50%, ωστόσο σε μέτρια περιβάλλοντα (θερμοκρασίες < 26 °C και επίπεδα μέτριας δραστηριότητας) η υγρασία του αέρα έχει μόνο μία ελαφριά επιρροή στη θερμική αίσθηση, άρα και στα βέλτιστα και αποδεκτά θερμοκρασιακά εύρη. Τυπικά μία σχετική υγρασία κατά 10% υψηλότερη γίνεται αισθητή ως τόσο θερμή όσο μία αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας κατά 0,3 °C. Η επίδραση της υγρασίας είναι μεγαλύτερη για υψηλότερες θερμοκρασίες και δραστηριότητες ή υπό μεταβατικές συνθήκες.

Η ταχύτητα του αέρα σε έναν χώρο επηρεάζει τη μεταγωγική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ενός ατόμου και του περιβάλλοντος. Αυτό επηρεάζει τη γενική θερμική άνεση του σώματος (απώλεια θερμότητας), που εκφράζεται από το δείκτη “PMV-PPD” και την τοπική θερμική δυσφορία λόγω ρεύματος αέρα. Ωστόσο, η αυξημένη ταχύτητα του αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντισταθμίσει την αίσθηση ζεστασιάς που προκαλείται από την αυξημένη θερμοκρασία.

Συχνά, η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται με το άνοιγμα παράθυρων ή τη χρήση ανεμιστήρων για την προσαρμογή σε θερμότερα περιβάλλοντα. Υπό συνθήκες καλοκαιρίας, η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί πάνω από το επίπεδο που επιτρέπεται για άνεση αν παρέχεται ένα μέσο επίσης για να ανυψώσει την ταχύτητα του αέρα. Τα οφέλη που κερδίζονται από την αύξηση της ταχύτητας του αέρα εξαρτώνται από την ένδυση, τη δραστηριότητα, και τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας επιφάνειας του ρουχισμού/δέρματος και της θερμοκρασίας του αέρα.

Όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι χαμηλή και η θερμοκρασία αέρα είναι υψηλή, η ανυψωμένη ταχύτητα του αέρα είναι πιο αποτελεσματική στην αύξηση της απώλειας θερμότητας όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι υψηλή και η θερμοκρασία του αέρα χαμηλή. Μεγάλες ατομικές διαφορές υπάρχουν μεταξύ ανθρώπων αναφορικά με την προτιμώμενη ταχύτητα του αέρα. Ως εκ τούτου, η αυξημένη ταχύτητα του αέρα πρέπει να είναι υπό τον άμεσο έλεγχο των επηρεαζόμενων ενοίκων και ρυθμισίμη σε βήματα όχι μεγαλύτερα από 0,15 m/s.

Σημειώνουμε ότι ο μεταβολικός ρυθμός μπορεί να εκτιμηθεί με χρήση του προτύπου “ISO 8996”, λαμβάνοντας υπόψη το είδος της εργασίας. Για διάφορους μεταβολικούς ρυθμούς, θα πρέπει να εκτιμηθεί ο σταθμισμένος χρονικά μέσος όρος κατά τη διάρκεια της προηγούμενης μίας ώρας. Η θερμική αντίσταση του ρουχισμού και της καρέκλας μπορούν να προσεγγιστούν με χρήση του προτύπου “ISO 9920”, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο του χρόνου.

Ο δείκτης “PMV” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει το εάν ένα δοσμένο θερμικό περιβάλλον συμμορφώνεται στα κριτήρια άνεσης, και να εγκαθιδρύσει απαιτήσεις για διαφορετικά επίπεδα αποδοχής. Προφανώς, ο στόχος είναι να έχουμε  $PMV = 0$  (ουδέτερη θερμική αίσθηση), ώστε να έχουμε όλους τους ενοίκους ικανοποιημένους από την άποψη της θερμικής άνεσης, αλλά και αντίστροφα, θέτοντας  $PMV=0$ , προκύπτει μία εξίσωση που προβλέπει τους συνδυασμούς δραστηριότητας, ρουχισμού και περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα παρέχουν κατά μέσο όρο μία θερμικώς ουδέτερη αίσθηση.

Όπως προαναφέρθηκε, ο δείκτης “PMV” προβλέπει τη μέση τιμή των θερμικών ψήφων μίας μεγάλης ανθρώπων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον. Αλλά οι ατομικές ψήφοι είναι διάσπαρτες γύρω από αυτήν τη μέση τιμή και είναι χρήσιμο να μπορεί να προβλεφθεί ο αριθμός των ατόμων που ενδέχεται να αισθάνονται άβολα λόγω ζέστης ή κρύου. Ο δείκτης “PPD” καθορίζει μία ποσοτική πρόβλεψη του ποσοστού των θερμικά δυσαρεστημένων ανθρώπων που αισθάνονται υπερβολικό κρύο ή ζέστη. Διευκρινίζεται ότι θερμικά δυσαρεστημένοι άνθρωποι είναι εκείνοι που θα ψηφίσουν “hot”, “warm”, “cool” ή “cold” στην 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης.

Με προσδιορισμένη την τιμή του “PMV”, υπολογίζουμε τον “PPD” με χρήση της εξίσωσης



$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

Ο ατομικός έλεγχος της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ή της ταχύτητας του αέρα μπορεί να συνεισφέρει στην εξισορρόπηση των αρκετά μεγάλων διαφορών μεταξύ των ατομικών απαιτήσεων και, κατά συνέπεια, μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερους δυσαρεστημένους. Μεταβολή του ρουχιισμού μπορεί επίσης να συνεισφέρει στην εξισορρόπηση των μεμονωμένων διαφορών.

Η θερμοκρασία λειτουργίας σε όλες τις περιοχές μέσα στην κατειλημμένη ζώνη ενός χώρου θα έπρεπε σε κάθε στιγμή να βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων. Αυτό σημαίνει ότι το αποδεκτό εύρος θα πρέπει να καλύπτει τόσο χωρικές όσο και χρονικές διακυμάνσεις, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων που προκαλούνται από το σύστημα ελέγχου. Συνεπώς, ο εν λόγω κανόνας επαγωγής αξιολογεί την ανατροφοδότηση των ενοίκων και εάν για το προβλεπόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας ο δείκτης “PMV” βρίσκεται εκτός των αποδεκτών ορίων θερμικής άνεσης [-0.5, 0.5], αναπροσαρμόζει το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες ελαχιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης που θα διασφαλίζουν παράλληλα τη θερμική άνεση των χρηστών.

Για έναν δεδομένο χώρο υπάρχει μία βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας που αντιστοιχεί σε  $PMV = 0$ , ανάλογα με τη δραστηριότητα και το ρουχισμό των ενοίκων. Η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας και η επιτρεπόμενη περιοχική θερμοκρασίας, που ποικίλλει ανάλογα με την κατηγορία του θερμικού περιβάλλοντος, είναι συνάρτηση των ειδών ένδυσης και της δραστηριότητας.

Εξαιτίας μεμονωμένων διαφοροποιήσεων, είναι πιθανό να καθοριστεί ένα θερμικό περιβάλλον που να μην τους ικανοποιεί όλους. Θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό δυσαρεστημένων ενοίκων. Αλλά είναι δυνατό να προσδιοριστούν περιβάλλοντα που να είναι αποδεκτά από ένα συγκεκριμένο ποσοστό των ενοίκων. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο “ISO 10551”, για τη λήψη ανατροφοδότησης από τους δυσαρεστημένους χρήστες προτείνεται η χρήση υποκειμενικών ερωτηματολογίων σε έρευνες πεδίου.

Η ανάδραση του χρήστη μπορεί να προέλθει είτε από εξόρυξη σχετικών δεδομένων από λογαριασμούς κοινωνικής δικτύωσης (“twitter”, “facebook”) και μία διαδικασία ανάλυσης προτύπων προκειμένου να αναγνωριστεί η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη αναφορικά με τη θερμική του αίσθηση (“sentimental analysis”), είτε από μία διαδικτυακή εφαρμογή, που είναι επίσης διαθέσιμο σε «έξυπνα» τηλέφωνα και ταμπλέτες, και ονομάζεται “Thermal Comfort Validator (TCV)”. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο που ελέγχει τις παραμέτρους θερμικής άνεσης των ενοίκων

Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου κανόνα επαγωγής, υπολογίζονται και εξετάζονται οι εξής τρεις κύριες τιμές:

- 1) PMV (Predicted Mean Vote): Αυτή η τιμή εξαρτάται από έξι μεταβλητές, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, τη σχετική ταχύτητα αέρα, τη σχετική υγρασία, τη μόνωση του ρουχιισμού, το μεταβολικό ρυθμό και υπολογίζεται από τις εξισώσεις (1)-(4), σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005”. Μέσα στο πλαίσιο αυτού του κανόνα επαγωγής, οι προβλεπόμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου

για μία εβδομάδα μπροστά χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστεί το “PMV” σε μία ωριαία βάση.

- 2) AMV (Actual Mean Vote): Αυτή η τιμή δεν υπολογίζεται, αλλά παρέχεται στο σύστημα μέσω του “Thermal Comfort Validator (TCV)”, μίας διαδικτυακής εφαρμογής που είναι προσβάσιμη μέσω υπολογιστών ή κινητών τηλεφώνων, όπου οι χρήστες του κτιρίου ενθαρρύνονται να υποβάλλουν ανατροφοδότηση αναφορικά με τη θερμική τους αίσθηση. Κατόπιν, αυτή η ανάδραση αναλύεται και αξιολογείται προκειμένου να υπολογιστεί ο πραγματικός δείκτης “PMV” βάσει των εμπειριών χρήστη. Ο δείκτης “AMV” είναι το άμεσο αποτέλεσμα του “TCV” κατά τη διάρκεια των ημερών της εβδομάδας υπό εξέταση.
- 3) OMV (Observed Mean Vote): Η τιμή του “OMV” υπολογίζεται από τις εξισώσεις του “PMV”, κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση εβδομάδας, με τη χρήση παρατηρούμενων, και όχι προβλεπόμενων, τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας, όπως μετρώνται από τους αισθητήρες του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές της εξίσωσης θεωρούνται ότι είναι οι ίδιες, καθώς δεν μπορούν να ελεγχθούν.

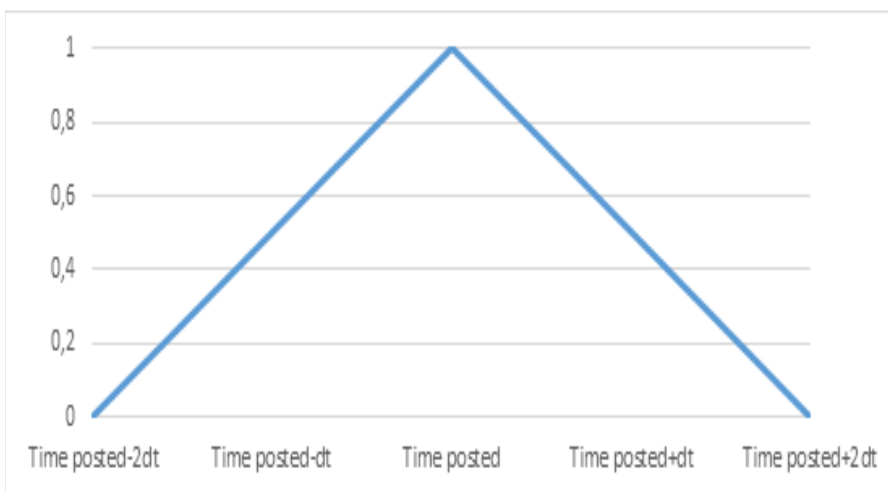
Η μεθοδολογία του εν λόγω κανόνα επαγωγής συνίσταται από την ακόλουθη σειρά βημάτων:

1. Υπολογισμός του “PMV”: Το “PMV” είναι ένας “ex-ante” δείκτης του μοντέλου. Οι προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται στην εξίσωση “PMV”, προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του “Predicted Mean Vote” για μία εβδομάδα μπροστά. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε ωριαία χρονικά διαστήματα. Η τιμή της θερμοκρασίας αέρα παρέχεται από το μοντέλο πρόβλεψης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου (“Indoor Temperature Prediction Model”), η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λαμβάνεται ίση με την θερμοκρασία αέρα, η σχετική ταχύτητα αέρα, το επίπεδο ρουχισμού και ο μεταβολικός ρυθμός λαμβάνονται σε πρώτο στάδιο ως σταθερές τιμές που καθορίζονται με βάση τη βιβλιογραφία, ενώ η σχετική υγρασία παρέχεται από τον χρήστη.

Step 1: PMV Calculation									
PREDICTED (PMV)		Air Temperature [°C]	Mean Radiant Temperature [°C]	Relative Air Velocity [m/s]	Relative Humidity [%]	Humidity [g/kg]	Clothing [met]	Metabolic Rate [met]	PMV
DATE	Time	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[g/kg]	[met]		
15-Ιουν	0:00 - 1:00	26,98	26,98	0,15	55,41	0,5	1,1	0,44	
15-Ιουν	1:00 - 2:00	27,07	27,07	0,15	55,60	0,5	1,1	0,48	
15-Ιουν	2:00 - 3:00	26,31	26,31	0,15	58,39	0,5	1,1	0,23	
15-Ιουν	3:00 - 4:00	26,77	26,77	0,15	59,32	0,5	1,1	0,41	
15-Ιουν	4:00 - 5:00	26,90	26,90	0,15	58,02	0,5	1,1	0,44	
15-Ιουν	5:00 - 6:00	26,66	26,66	0,15	58,76	0,5	1,1	0,36	
15-Ιουν	6:00 - 7:00	26,99	26,99	0,15	59,13	0,5	1,1	0,48	
15-Ιουν	7:00 - 8:00	26,79	26,79	0,15	57,83	0,5	1,1	0,40	
15-Ιουν	8:00 - 9:00	26,98	26,98	0,15	57,83	0,5	1,1	0,46	
15-Ιουν	9:00 - 10:00	26,63	26,63	0,15	55,41	0,5	1,1	0,32	
15-Ιουν	10:00 - 11:00	26,90	26,90	0,15	53,74	0,5	1,1	0,40	
15-Ιουν	11:00 - 12:00	26,66	26,66	0,15	52,07	0,5	1,1	0,30	
15-Ιουν	12:00 - 13:00	27,05	27,05	0,15	48,72	0,5	1,1	0,41	
15-Ιουν	13:00 - 14:00	27,18	27,18	0,15	47,60	0,5	1,1	0,45	
15-Ιουν	14:00 - 15:00	27,12	27,12	0,15	47,23	0,5	1,1	0,43	
15-Ιουν	15:00 - 16:00	27,25	27,25	0,15	45,19	0,5	1,1	0,45	
15-Ιουν	16:00 - 17:00	27,34	27,34	0,15	46,67	0,5	1,1	0,50	
15-Ιουν	17:00 - 18:00	27,27	27,27	0,15	46,12	0,5	1,1	0,47	
15-Ιουν	18:00 - 19:00	27,18	27,18	0,15	45,56	0,5	1,1	0,43	
15-Ιουν	19:00 - 20:00	27,07	27,07	0,15	45,93	0,5	1,1	0,40	
15-Ιουν	20:00 - 21:00	26,88	26,88	0,15	47,79	0,5	1,1	0,35	
15-Ιουν	21:00 - 22:00	26,74	26,74	0,15	46,86	0,5	1,1	0,29	
15-Ιουν	22:00 - 23:00	26,53	26,53	0,15	47,42	0,5	1,1	0,22	
15-Ιουν	23:00 - 0:00	26,41	26,41	0,15	51,51	0,5	1,1	0,21	
16-Ιουν	0:00 - 1:00	27,11	27,11	0,15	55,41	0,5	1,1	0,49	
16-Ιουν	1:00 - 2:00	27,20	27,20	0,15	55,60	0,5	1,1	0,53	
16-Ιουν	2:00 - 3:00	26,43	26,43	0,15	58,39	0,5	1,1	0,28	
16-Ιουν	3:00 - 4:00	26,91	26,91	0,15	59,32	0,5	1,1	0,45	

2. Ανάκτηση του “AMV” από το “TCV Web App”: Η ανάδραση του χρήστη του κτιρίου καταγράφεται μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής “TCV”, ανακτάται σε πραγματικό χρόνο ανά ώρα και, με βάση τις μεμονωμένες υποβολές, εκτιμάται το μέσο θερμικό αίσθημα των χρηστών. Οι χρήστες συνεισφέρουν με το να συμπληρώσουν σε ένα ερωτηματολόγιο, εάν αισθάνονται πολύ κρύο, ψύχρα, λίγο ψύχρα, ουδέτερα, λίγο ζέστη, ζέστη ή έντονη ζέστη. Αυτή η είσοδος μεταφράζεται σε τιμές αντιστοίχως -3, -2, -1, 0, 1, 2 και 3.

Αφότου συλλεχθεί το μεμονωμένο “feedback” από το “TCV application”, ανακλύπτει ερώτημα σχετικά με τον ακριβή όπου ο χρήστης νιώθει άβολα. Η διαδικτυακή εφαρμογή καταγράφει τον χρόνο πρόσβασης του χρήστη, αλλά αυτό δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με το χρονικό διάστημα που ο χρήστης νιώθει δυσάρεστα. Έτσι, μία υπόθεση που μπορεί να γίνει είναι ότι η τιμή “AMV” του ερωτηματολογίου αναφέρεται στο επίπεδο άνεσης ακριβώς για το χρόνο που συμπληρώθηκε, επεκταμένο πριν και μετά κατά ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτή η υπόθεση βασίζεται στη θεώρηση του χρόνου που απαιτείται μέχρι ο χρήστης να αποφασίσει να μοιραστεί τη θερμική του αίσθηση, όπως επίσης και στην αδράνεια του συστήματος να αντανακλά μία αλλαγή. Έτσι, η κύρια ανάδραση του χρήστη που λαμβάνεται από το ερωτηματολόγιο μπορεί να επεκταθεί ωριαία πριν και μετά τον ακριβή χρόνο υποβολής, μειωμένη κατά 0,5 μονάδες, μέχρι να φτάσει το 0.



Step 2: AMV Definition: Feedback from TCV Web App																					
ACTUAL (AMV)		User 1	User 2	User 3	User 4	User 5	User 6	User 7	User 8	User 9	User 10	User 11	User 12	User 13	User 14	User 15	User 16	User 17	User 18	User 19	User 20
Time																					
0:00	1:00																				
1:00	2:00																				
2:00	3:00																				
3:00	4:00																				
4:00	5:00							-0,5													
5:00	6:00	-0,5						-1,0													
6:00	7:00	-1,0			-0,5			-1,5						-0,5							
7:00	8:00	-1,5	-0,5		-1,0	-0,5		-2,0						-1,0							
8:00	9:00	-2,0	-1,0	-0,5	-1,5	-1,0	-0,5	-2,5		-0,5			-0,5	-1,5							
9:00	10:00	-1,5	-0,5	-1,0	-2,0	-0,5	-1,0	-3,0		-1,0			-1,0	-2,0							
10:00	11:00	-1,0	-0,5	-1,5	-1,5	-2,5	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,5	-0,5	-1,5								
11:00	12:00	-0,5			-1,0	-2,0	-2,0	-1,0	-2,0	-1,0			-1,0								
12:00	13:00				-0,5	-1,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,5			-0,5								
13:00	14:00					-1,0	-1,0		-1,0												
14:00	15:00					-0,5	-0,5		-0,5												
15:00	16:00																				
16:00	17:00																				
17:00	18:00													-0,5	-0,5						
18:00	19:00													-1,0	-1,0						
19:00	20:00													-1,5	-1,5		-0,5				
20:00	21:00													-2,0	-2,0	-0,5	-1,0				
21:00	22:00													-1,5	-1,5	-1,0	-0,5				
22:00	23:00													-1,0	-1,0	-0,5					
23:00	0:00													-0,5	-0,5						
0:00	1:00																				
1:00	2:00																				
2:00	3:00																				
3:00	4:00																				

3. **Φιλτράρισμα του “AMV”:** Η μέση τιμή των εισόδων του “TCV” υπολογίζεται ανά ωριαία χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, περαιτέρω φιλτράρισμα εφαρμόζεται στις τιμές του “AMV”, προκειμένου να αποκλειστεί η παρεχόμενη είσοδος κατά τη διάρκεια των ωρών μη λειτουργίας του κτιρίου. Έτσι διατηρείται μόνο το feedback μεταξύ 8:00 και 21:00, δηλαδή μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας των δημοτικών κτιρίων. Επιπλέον, η ύπαρξη λιγότερων από 3 εγγραφών υποδεικνύει ανακριβή

## Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

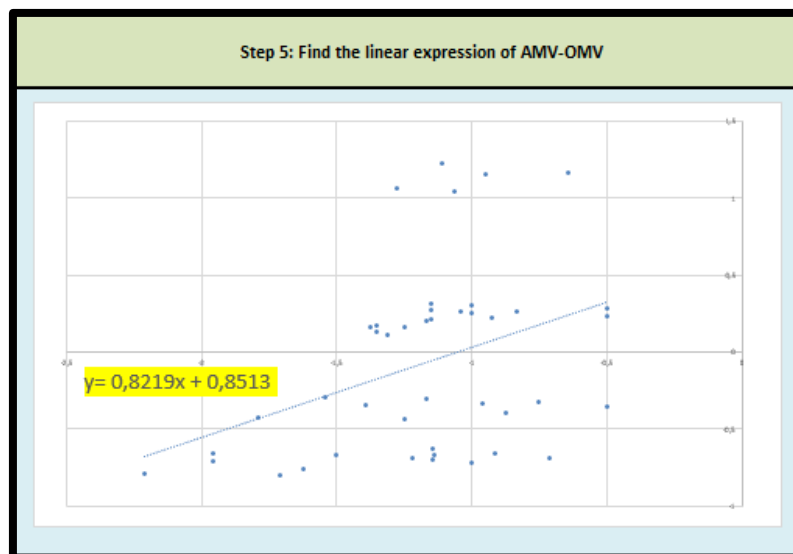
είσοδο, με αποτέλεσμα να αγνοείται. Μετά από τη διαδικασία φιλτραρίσματος, οι ωριαίες τιμές του AMV οριστικοποιούνται.

Step 2: AMV Definition: Feedback from TCV Web App																								Step 3: AMV Filtering				
ACTUAL (AMV)		Uset 1	Uset 2	Uset 3	Uset 4	Uset 5	Uset 6	Uset 7	Uset 8	Uset 9	Uset 10	Uset 11	Uset 12	Uset 13	Uset 14	Uset 15	Uset 16	Uset 17	Uset 18	Uset 19	Uset 20	Uset s	Average	Operational Issues?	Step 4) Feedback?	AMV		
Time																												
0:00	1:00																							-	0	0		
1:00	2:00																							-	0	0		
2:00	3:00																							-	0	0		
3:00	4:00																							-	0	0		
4:00	5:00																							-	0	0		
5:00	6:00																							1	-0.50	0	0	
6:00	7:00																							2	-0.75	0	0	
7:00	8:00																							4	-0.88	0	0	
8:00	9:00																							6	-1.08	0	0	
9:00	10:00																							10	-1.15	-1.15	Yes	-1.15
10:00	11:00																							10	-1.35	-1.35	Yes	-1.35
11:00	12:00																							10	-1.15	-1.15	Yes	-1.15
12:00	13:00																							8	-1.31	-1.31	Yes	-1.31
13:00	14:00																							7	-0.93	-0.93	Yes	-0.93
14:00	15:00																							3	-1.00	-1.00	Yes	-1.00
15:00	16:00																							3	-0.50	-0.50	Yes	-0.50
16:00	17:00																							0	NA	NA	No	NA
17:00	18:00																							0	NA	NA	No	NA
18:00	19:00																							2	-0.50	-0.50	No	NA
19:00	20:00																							3	-1.00	-1.00	No	NA
20:00	21:00																							3	-1.17	-1.17	Yes	-1.17
21:00	22:00																							4	-1.38	-1.38	Yes	-1.38
22:00	23:00																							4	-1.13	0	0	
23:00	0:00																							3	-0.83	0	0	
0:00	1:00																							2	-0.50	0	0	
1:00	2:00																							0	-	0	0	
2:00	3:00																							0	-	0	0	
3:00	4:00																							0	-	0	0	

4. Υπολογισμός του “OMV”: Κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση εβδομάδας, ο δείκτης “OMV” υπολογίζεται με βάση την αντίστοιχη εξίσωση και με χρήση των παρατηρούμενων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας από τους αισθητήρες του κτιρίου.

Step 4: OMV Calculation								
OBSERVED (OMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	OMV
Time		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[metQ]	
0:00	1:00	26,44	26,44	0,15	55,41	0,5	1,1	0,25
1:00	2:00	26,53	26,53	0,15	55,60	0,5	1,1	0,29
2:00	3:00	25,79	25,79	0,15	58,39	0,5	1,1	0,05
3:00	4:00	26,24	26,24	0,15	59,32	0,5	1,1	0,21
4:00	5:00	26,36	26,36	0,15	58,02	0,5	1,1	0,25
5:00	6:00	26,13	26,13	0,15	58,76	0,5	1,1	0,17
6:00	7:00	26,45	26,45	0,15	59,13	0,5	1,1	0,29
7:00	8:00	26,26	26,26	0,15	57,83	0,5	1,1	0,21
8:00	9:00	26,44	26,44	0,15	57,83	0,5	1,1	0,27
9:00	10:00	26,09	26,09	0,15	55,41	0,5	1,1	0,13
10:00	11:00	26,36	26,36	0,15	55,74	0,5	1,1	0,21
11:00	12:00	26,13	26,13	0,15	52,07	0,5	1,1	0,12
12:00	13:00	26,51	26,51	0,15	48,72	0,5	1,1	0,22
13:00	14:00	26,63	26,63	0,15	47,60	0,5	1,1	0,26
14:00	15:00	26,58	26,58	0,15	47,23	0,5	1,1	0,23
15:00	16:00	26,71	26,71	0,15	45,19	0,5	1,1	0,26
16:00	17:00	26,80	26,80	0,15	46,67	0,5	1,1	0,31
17:00	18:00	26,72	26,72	0,15	46,12	0,5	1,1	0,28
18:00	19:00	26,63	26,63	0,15	45,56	0,5	1,1	0,24
19:00	20:00	26,53	26,53	0,15	45,93	0,5	1,1	0,20
20:00	21:00	26,55	26,55	0,15	47,79	0,5	1,1	0,16
21:00	22:00	26,20	26,20	0,15	46,86	0,5	1,1	0,10
22:00	23:00	26,00	26,00	0,15	47,42	0,5	1,1	0,03
23:00	0:00	25,88	25,88	0,15	51,51	0,5	1,1	0,02
0:00	1:00	26,57	26,57	0,15	55,41	0,5	1,1	0,30
1:00	2:00	26,66	26,66	0,15	55,60	0,5	1,1	0,33
2:00	3:00	25,92	25,92	0,15	58,39	0,5	1,1	0,09
3:00	4:00	26,37	26,37	0,15	59,32	0,5	1,1	0,26

5. Υπολογισμός συσχέτισης μεταξύ “AMV-OMV”: Δημιουργείται ένα γράφημα, με τις τιμές του “AMV” στον x άξονα και τις τιμές του “OMV” στον ψ άξονα, χρησιμοποιώντας τα ζευγάρια των φιλτραρισμένων τιμών του “AMV” (όπου έχουμε αποκλείσει τις ώρες μη λειτουργίας και τις ώρες με ανεπαρκές “feedback”) και του “OMV” των αντίστοιχων ωριαίων χρονικών διαστημάτων, που θα χρησιμεύσουν ως σημεία. Επίσης, υπολογίζεται η γραμμική εξίσωση “AMV-OMV” που περιγράφει καλύτερα τη συσχέτισή τους.



6. Προσδιορισμός της τιμής του “OMV” που αντιστοιχεί σε  $AMV = 0$ , με βάση την προηγούμενη εξίσωση. Σε αυτό το βήμα το “AMV” τίθεται στην τιμή 0 και υπολογίζεται το αντίστοιχο “OMV”. Αυτό σημαίνει ότι προσδιορίζεται η τιμή του “OMV”, καθώς οι χρήστες έχουν ουδέτερο (0) αίσθημα άνεσης.
7. Προσδιορισμός της τιμής θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αυτό το “OMV”: Για την τιμή του “OMV” που καθορίστηκε στο προηγούμενο βήμα, επιλύεται η αντίστροφη εξίσωση “OMV”, προκειμένου να βρεθεί η θερμοκρασία που την προκαλεί, δεδομένου ότι οι υπόλοιπες τιμές θεωρούνται ίσες με τις μέσες εβδομαδιαίες τιμές. Αυτή η τιμή θερμοκρασίας είναι το κύριο αποτέλεσμα του κανόνα επαγωγής: αποτελεί την πρόταση για το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας κατά την επόμενη εβδομάδα.

**Step 7: Find the temperature that gives this OMV (by solving the PMV<sup>-1</sup> equation, with all the other values considered as the average of weekly data)**

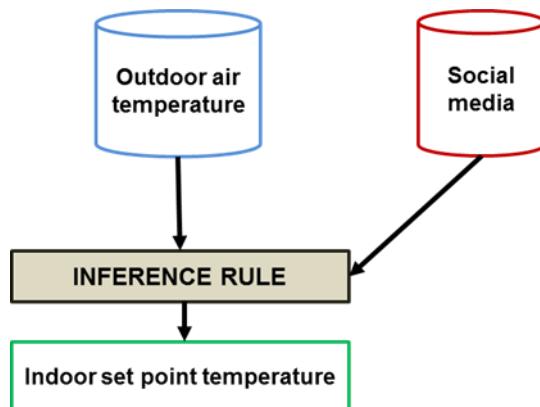
Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	OMV
28.20	28.20	0.15	52.004	0.5	1.1	0.851

8. Επικύρωση του “AMV”: Σε αυτό το τελευταίο βήμα, τα αποτελέσματα επικυρώνονται. Όταν το “PMV” ισούται με το “OMV”, η πραγματική θερμική άνεση των χρηστών υποτίθεται ότι είναι αποδεκτή. Αυτό σημαίνει ότι θέτοντας  $PMV = OMV$  στην προαναφερθείσα γραμμική εξίσωση, το “AMV” θα έπρεπε να ανήκει στο διάστημα  $[-0.5, 0.5]$  προκειμένου να συμμορφώνεται με τα Πρότυπα “ASHRAE”.

Step 1: PMV Calculation								Step 9: AMV Validation		
PREDICTED (PMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	ASHRAE Range (-0.5 to 0.5)	
Time		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]			
0:00	1:00	26.98	26.98	0.15	55.41	0.5	1.1	0.44	-0.29	Acceptable
1:00	2:00	27.07	27.07	0.15	55.60	0.5	1.1	0.48	-0.23	Acceptable
2:00	3:00	26.81	26.81	0.15	58.39	0.5	1.1	0.23	-0.65	Change set point
3:00	4:00	26.77	26.77	0.15	59.32	0.5	1.1	0.41	-0.36	Acceptable
4:00	5:00	26.90	26.90	0.15	58.02	0.5	1.1	0.44	-0.30	Acceptable
5:00	6:00	26.66	26.66	0.15	58.76	0.5	1.1	0.36	-0.44	Acceptable
6:00	7:00	26.99	26.99	0.15	59.13	0.5	1.1	0.48	-0.23	Acceptable
7:00	8:00	26.79	26.79	0.15	57.83	0.5	1.1	0.40	-0.37	Acceptable
8:00	9:00	26.98	26.98	0.15	57.83	0.5	1.1	0.46	-0.26	Acceptable
9:00	10:00	26.63	26.63	0.15	55.41	0.5	1.1	0.32	-0.51	Change set point
10:00	11:00	26.90	26.90	0.15	53.74	0.5	1.1	0.40	-0.36	Acceptable
11:00	12:00	26.66	26.66	0.15	52.07	0.5	1.1	0.30	-0.53	Change set point
12:00	13:00	27.05	27.05	0.15	48.72	0.5	1.1	0.41	-0.35	Acceptable
13:00	14:00	27.18	27.18	0.15	47.60	0.5	1.1	0.45	-0.29	Acceptable
14:00	15:00	27.12	27.12	0.15	47.23	0.5	1.1	0.43	-0.32	Acceptable
15:00	16:00	27.25	27.25	0.15	45.19	0.5	1.1	0.45	-0.28	Acceptable
16:00	17:00	27.34	27.34	0.15	46.67	0.5	1.1	0.50	-0.20	Acceptable
17:00	18:00	27.27	27.27	0.15	46.12	0.5	1.1	0.47	-0.25	Acceptable
18:00	19:00	27.18	27.18	0.15	45.56	0.5	1.1	0.43	-0.32	Acceptable
19:00	20:00	27.07	27.07	0.15	45.93	0.5	1.1	0.40	-0.38	Acceptable
20:00	21:00	26.88	26.88	0.15	47.79	0.5	1.1	0.35	-0.46	Acceptable
21:00	22:00	26.74	26.74	0.15	46.86	0.5	1.1	0.29	-0.56	Change set point
22:00	23:00	26.53	26.53	0.15	47.42	0.5	1.1	0.22	-0.68	Change set point
23:00	0:00	26.41	26.41	0.15	51.51	0.5	1.1	0.21	-0.70	Change set point
0:00	1:00	27.11	27.11	0.15	55.41	0.5	1.1	0.45	-0.21	Acceptable
1:00	2:00	27.20	27.20	0.15	55.60	0.5	1.1	0.53	-0.15	Acceptable
2:00	3:00	26.45	26.45	0.15	58.39	0.5	1.1	0.23	-0.57	Change set point
3:00	4:00	26.91	26.91	0.15	59.32	0.5	1.1	0.45	-0.28	Acceptable

#### 4.2.2 Επαγωγικός Κανόνας - Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης (Adaptive Comfort Model)

Η γενική δομή της προσομοίωσης του μοντέλου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σε αυτό εμπλέκονται οι ακόλουθες μονάδες καταγραφής δεδομένων: η πρόγνωση καιρού και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η διαδικασία του κανόνα επαγωγής συνίσταται από λογικούς κανόνες που συνδέουν το προβλεπόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας με την έξοδο από τη μονάδα των μέσων κοινωνικής δικτύωσης. Η εξαγωγή του προβλεπόμενου σημείου γίνεται σύμφωνα με το “adaptive comfort concept”.

Σύμφωνα με τη θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης και τα αποτελέσματα διεθνών ερευνών, προτείνεται μία εξίσωση παλινδρόμησης που στοχεύει στον προγραμματισμό του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση της μέσης τρέχουσας θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου. Στην προσαρμοστική προσέγγιση ο ένοικος θεωρείται ως ένα ενεργό υποκείμενο που αλληλεπιδρά με το περιβάλλον και συνεισφέρει στον καθορισμό των συνθηκών άνεσης, μέσω συνεχόμενων ανατροφοδοτήσεων. Οι θερμικές προτιμήσεις εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο οι ένοικοι μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον τους, αλλάζοντας τη συμπεριφορά τους και ρυθμίζοντας τις προσδοκίες τους. Χάρη σε αυτό το γεγονός, μπορούν να αξιοποιηθούν κάποιες ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας για κλιματισμό, θεωρώντας λιγότερο περιοριστικά σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας (π.χ. χαμηλότερη θερμοκρασία σε περιόδους θέρμανσης και υψηλότερη θερμοκρασία σε περιόδους ψύξης), αντί για σταθερές τιμές. Συνεπώς, οι δείκτες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων προς βελτιστοποίηση είναι οι εξής: ενεργειακή κατανάλωση, εκπομπές CO<sub>2</sub> και η θερμική άνεση.

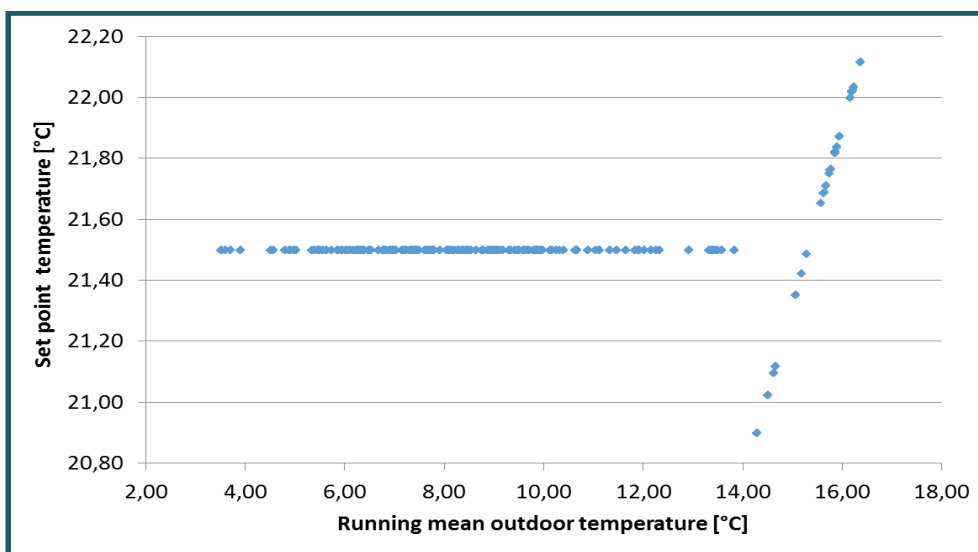
Η διαδικασία του εν λόγω κανόνα επαγωγής συνίσταται στον προσδιορισμό μίας γραμμικής παλινδρόμησης της θερμοκρασίας λειτουργίας που παρέχει άνεση εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση ενός δείκτη της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα, που ονομάζεται “running mean outside temperature”. Πρόκειται για έναν εκθετικά σταθμισμένο μέσο όρο εξωτερικής θερμοκρασίας, που αναγνωρίζεται ως ένας σημαντικός δείκτης συσχετισμένος με την εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας που παρέχει άνεση. Διαφορετικές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτός ο δείκτης έχει καλύτερη συσχέτιση με τις θερμοκρασίες άνεσης, συγκρινόμενος με άλλους, όπως ο μηνιαίος μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας.



Επιπρόσθετα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι άνθρωποι τείνουν να προσαρμόζουν το ρουχισμό τους, όχι μόνο στις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, αλλά και στις θερμικές συνθήκες που τυπικά αναμένονται σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου. Αυτή η προσαρμογή είναι εντονότερη στην περίπτωση που έχουμε φυσικά αεριζόμενα περιβάλλοντα (μερικώς μηχανικός έλεγχος), συγκριτικά με την περίπτωση που έχουμε τελείως μηχανικά ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Οι De Dear και Brager καταδεικνύουν ότι σε φυσικά αεριζόμενα περιβάλλοντα θερμοκρασίες που κρίνονται ως «ουδέτερες» εξαρτώνται τόσο από εξωτερικές όσο και από εσωτερικές κλιματικές συνθήκες. Στην περίπτωση κτιρίων με μηχανικό κλιματικό έλεγχο, οι De Dear και Brager υποδεικνύουν μία συσχέτιση μεταξύ της εσωτερικής θερμοκρασίας λειτουργίας ουδετερότητας και της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας λειτουργίας.

Υποθέτοντας ότι η μέση εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας είναι περίπου ίση με το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας και θεωρώντας τις μελέτες πάνω στη σχέση μεταξύ της τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας ουδέτερης άνεσης, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος με καμπύλη παλινδρόμησης για τα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας σε περιβάλλοντα με μηχανικό έλεγχο, ως μία εναλλακτική στο σταθερό σημείο ρύθμισης.

Η καμπύλη παλινδρόμησης που επιτρέπει την αξιολόγηση των σημείων ρύθμισης θερμοκρασίας ως συνάρτηση της τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας έχει βρεθεί σύμφωνα με τη θεωρία προσαρμοστικής άνεσης και στη βάση του πεδίου έρευνας άνεσης που διεξάγεται από τους ερευνητές του “Politecnico di Torino”.



Η βασική μεθοδολογία για το συγκεκριμένο επαγωγικό κανόνα συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Η προβλεπόμενη ωριαία εξωτερική θερμοκρασία αέρα καταγράφεται για 8 ημέρες
2. Υπολογίζεται η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία
3. Η τρέχουσα μέση εξωτερική θερμοκρασία (“running mean outside temperature –  $\theta_{RMn}$ ”) υπολογίζεται εφαρμόζοντας την παρακάτω εξίσωση, όπου θεωρείται η μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά την ημέρα n (για n=6)

$$\theta_{RMn} = (1 - c) \cdot [\theta_{DM(n-1)} + c\theta_{DM(n-2)} + c^2\theta_{DM(n-3)} + \dots]$$

όπου c σταθερά με τιμή 0,8.

4. Το ημερήσιο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου υπολογίζεται συναρτήσει της αντίστοιχης τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας από την εξής γραμμική παλινδρομική σχέση:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Εάν } \theta_{RMn} < 14^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 21,5^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } 14^{\circ}\text{C} < \theta_{RMn} < 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 0,5861 \cdot \theta_{RMn} + 12,531^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } \theta_{RMn} > 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 26^{\circ}\text{C}. \end{array} \right.$$

### **4.3 Επιλογή Κατάλληλου Επαγωγικού Κανόνα**

Κατά την διαδικασία υλοποίησης του σχεδίου δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» εφαρμόζονται ταυτόχρονα και οι δύο προαναφερθέντες κανόνες αναφοράς, λαμβάνοντας σαν είσοδο τις απαραίτητες παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Για την εκάστοτε μέρα που εξετάζουμε επιλέγεται εκείνος ο κανόνας αναφοράς που έχει το βέλτιστο αποτέλεσμα για το εξεταζόμενο δημοτικό κτίριο. Ως βέλτιστο αποτέλεσμα ορίζουμε εκείνο που η ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας πρόσφερε ανεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης αλλά και παράλληλα μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Σαν αποτέλεσμα, το συνολικό σχέδιο δράσης προβλέπεται να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση, τις αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και το σχετικό ενεργειακό κόστος.





---

## *Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση Σχεδίου Δράσης*

---

## **5.1 Εγκαταστάσεις στο Sant Cugat**

### **5.1.1 Γενικές Πληροφορίες**

Ο δήμος του Sant Cugat βρίσκεται βόρεια της Βαρκελώνης, στην περιοχή της Καταλωνίας. Είναι μέλος της ένωσης “Covenant of Mayors” από το 2008. Κατέθεσε το 2008 το προσωπικό της SEAP (Sustainable Energy Action Plan) και πλέον ολοκληρώνει μια νέα έκδοση με νέους στόχους εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης εκπομπών [24].

Το δημαρχείο του Sant Cugat είναι ένα νεόδμητο κτίριο, το οποίο χτίστηκε το 2007 και αναμενεται να χρησιμοποιηθεί πολλά ακόμα χρόνια για τον ίδιο σκοπό. Το κτίριο καλύπτει μια έκταση 8.593 τ.μ και αποτελείται από:

1. 3 όροφοι, όπου στεγάζονται τα περισσότερα γραφεία των υπαλλήλων καθώς και κάποιοι χώροι συνεδριάσεων.
2. Το ισόγειο όπου είναι ο χώρος εξυπηρέτησης των πολιτών καθώς και κάποια ακόμα γραφεία για τους υπαλλήλους και άλλες υπηρεσίες του δημαρχείου.
3. Το πρώτο υπόγειο όπου υπάρχουν και άλλα γραφεία, το αρχείο και τεχνικά γραφεία.
4. Το δεύτερο υπόγειο με το χώρο στάθμευσης και κάποια ακόμα τεχνικά γραφεία.

Το κτίριο χωρίζεται σε έξι ορόφους. Είναι ανοικτό από τις 7:30 μέχρι τις 22:00. Οι συνήθεις ώρες λειτουργίας των γραφείων είναι από τις 8:00 μέχρι τις 15:00. Κατά μέσο όρο, στο κτίριο εργάζονται 350 υπάλληλοι και περίπου 400 επισκέπτες ημερησίως. Διαθέτει μοντέρνο σχεδιασμό και εξυπηρετεί τους πολίτες μέσω μιας ευρείας γκάμας υπηρεσιών. Παρόλο αυτά παρουσιάζει κάποιες αξιοσημείωτες ελλείψεις όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα και την διαχείριση των ενεργειακών καταναλώσεων. Το κτίριο έχει καταταχθεί στην ενεργειακή κλάση D, παρουσιάζοντας μια συνολική κατανάλωση ενέργειας περί των 357 kWh ανά τ.μ ετησίως. Όσον αφορά τις εκπομπές το κτίριο βρίσκεται στην κλάση C με εκπομπές CO<sub>2</sub> emissions περί των 86 kgCO<sub>2</sub> ανά τ.μ τον χρόνο.

Πιο συγκεκριμένα, το δημαρχείο διαθέτει μη επαρκή θερμική μόνωση τόσο στο κτιριακό σκελετό όσο και στην οροφή. Από την άλλη πλευρά, είναι εξοπλισμένο με διπλά παράθυρα παρουσιάζοντας εξαιρετική ενεργειακή απόδοση παρά τις μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχονται στο κτίριο από την νότια πρόσοψη.

### **5.1.2 Ενεργειακές Εγκαταστάσεις**

Το δημαρχείο τροφοδοτείται με υψηλή τάση, που μετατρέπεται σε χαμηλή μέσω μιας ειδικής εγκατάστασης. Σε περίπτωση “Black Out”, οι ενεργειακές καταναλώσεις εξυπηρετούνται μέσω μιας εφεδρικής ντιζελογεννήτριας. Όσον αφορά την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου καλύπτονται πλήρως με ηλεκτρική ενέργεια μέσω ειδικών αντλιών θερμότητας.

Η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς είναι περίπου 850 kW, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς 550 kW. Δεν διατίθενται συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας και συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στην οροφή του κτιρίου, είναι εγκατεστημένο σύστημα φωτοβολταϊκής παραγωγής συνολικής ισχύος 17kW, το οποίο είναι απευθείας συνδεδεμένο στο δίκτυο. Αυτό συνεπάγεται ότι η παραγωγή των φωτοβολταϊκών δεν χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Ωστόσο, λόγω της ρευστής νομοθεσίας και των συνεχώς φθίνουσων τιμών πώλησης της ενέργειας, η διοίκηση εξετάζει το ενδεχόμενο της αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ καλύπτουν συνολική έκταση 125 τ.μ. Η παραγωγή από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση φτάνει τις 23.000 kWh τον χρόνο.

Μεταξύ 2012 και 2014 καταγράφηκε μια σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, περίπου 20% , λόγω δύο βασικών παρεμβάσεων:

- Το 2012, η ταυτόχρονη λειτουργία του συστήματος αντλιών μεταφοράς ψυχρού και θερμού νερού από την οροφή στις κλιματιστικές μονάδες τροποποιήθηκε, επιτρέποντας την αποκλειστική χρήση ζεστού ή ψυχρού νερού (πριν την παρέμβαση, και τροφοδοτούνταν και οι δύο γραμμές για τον έλεγχο της σχετικής υγρασίας).
- Εγκατάσταση διακοπών για τον φωτισμό. Μέχρι την παρέμβαση αυτή ο φωτισμός ελεγχόταν αποκλειστικά από το αυτόματο σύστημα BMS. Οι εργαζόμενοι έχουν πλέον την δυνατότητα να κλείνουν τα φώτα όταν εγκαταλείπουν τον χώρο εργασίας τους.

Πιο συγκεκριμένα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το 2013 ήταν 1.221.954 kWh ενώ για τον προηγούμενο χρόνο 1.352.871 kWh και για το 2011 ήταν 1.498.107 kWh. Είναι φανερό ότι η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε δραματικά. Ωστόσο, εξαιτίας της αύξησης των ενεργειακών τιμών, το συνολικό κόστος παρέμεινε περίπου το ίδιο για τα τρία προαναφερθέντα έτη (193.343 € ,193.772 € και 194.558 € αντίστοιχα).

Έχει παρατηρηθεί ότι η άνεση στην κύρια αίθουσα του ισόγειου είναι το πιο σημαντικό ζήτημα όσον αφορά την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.Υπάρχουν κάποιες ανεξέλεγκτες καταναλώσεις εξαιτίας κάποιων ατομικών ηλεκτρικών συσκευών και ανεμιστήρων. Ως εκ τούτου, τα σχέδια δράσης ενεργειακής εξοικονόμησης θα πρέπει να αναφέρονται σε αυτό το κομμάτι του κτιρίου. Όσον αφορά τον φωτισμό, το σύστημα έχει ήδη αναβαθμιστεί μέσω ενός προηγμένου συστήματος διαχείρισης και κάποιων απλών διακοπών .

### **Ενεργειακές Εταιρείες και Προμηθευτές**

Ο αποκλειστικός προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εταιρεία ENDESA ENERGIA S.A. UNIPERS. Οι συμβάσεις είναι μονοετούς διάρκειας και ανανεώνονται σε ετήσια βάση.

### **Διαθέσιμα Συστήματα**

Το κτίριο έχει εξοπλιστεί με τεχνολογικά προηγμένο λειτουργικό για την μέτρηση, την ανάλυση και την διαχείριση των ενεργειακών καταναλώσεων. Τα συστήματα μέτρησης αποτελούνται από έναν αριθμό μετρητών. Καταγράφουν την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία. Η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου καταγράφεται από τις κλιματιστικές μονάδες και κάποιους επιπλέον μετρητές σε συγκεκριμένους χώρους. Η διοίκηση του κτιρίου σχεδιάζει την εγκατάσταση επιπλέον μετρητών σε όλους τους χώρους του κτιρίου.

Μεταξύ άλλων μετριούνται η εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία, η σχετική εσωτερική και εξωτερική υγρασία και οι εκπομπές ρύπων.

Πέρα από τους μετρητές, το κτίριο διαθέτει και τέσσερις τύπους λογισμικού για διαφορετικού τύπου εφαρμογές. Αυτοί είναι:

- 1) Το Desigo, της Siemens, είναι το κεντρικό σύστημα διαχείρισης του κτιρίου, όπου μπορούν να υποστηριχθούν διάφορες τροποποιήσεις όπως το OPTIMUS.
- 2) Το Gemweb, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των λογαριασμών, την δημιουργία αρχείου κ.τ.λ.
- 3) Το Energea, για τον έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης και της θερμικής άνεσης
- 4) Το εργαλείο SMA για τις φωτοβολταϊκές μονάδες, για την παρακολούθηση της απόδοσης της εγκατάστασης.

### **Προτεινόμενες Ενέργειες μέσω του OPTIMUS DSS**

Η διοίκηση του κτιρίου συζητά διάφορα σχέδια δράσης για την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών άνθρακα. Κάποιες από αυτές είναι:

- Το OPTIMUS DSS παρέχει στους ενεργειακούς διαχειριστές του κτιρίου προτάσεις σχετικά με την επιλογή της λειτουργίας ON/OFF των συστημάτων, κάνοντας χρήση των καιρικών προβλέψεων.
- Προτάσεις για ενσωμάτωση των δεδομένων σχετικά με τον αριθμό των ενοίκων και των προβλέψεων για τον μελλοντικό αριθμό ενοίκων στο OPTIMUS DSS. Η δράση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους χώρους του κτιρίου με σκοπό την εξοικονόμηση του κτιρίου. Το DSS μπορεί κατεπέκταση να ελέγξει την χρήση του συστήματος φωτισμού, του συστήματος θέρμανσης/ψύξης, συνεισφέροντας σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- Μια άλλη δυνατότητα έχει να κάνει με την αναβάθμιση του λειτουργικού Desigo, με σκοπό την βελτιστοποίηση του συστήματος κλιματισμού.

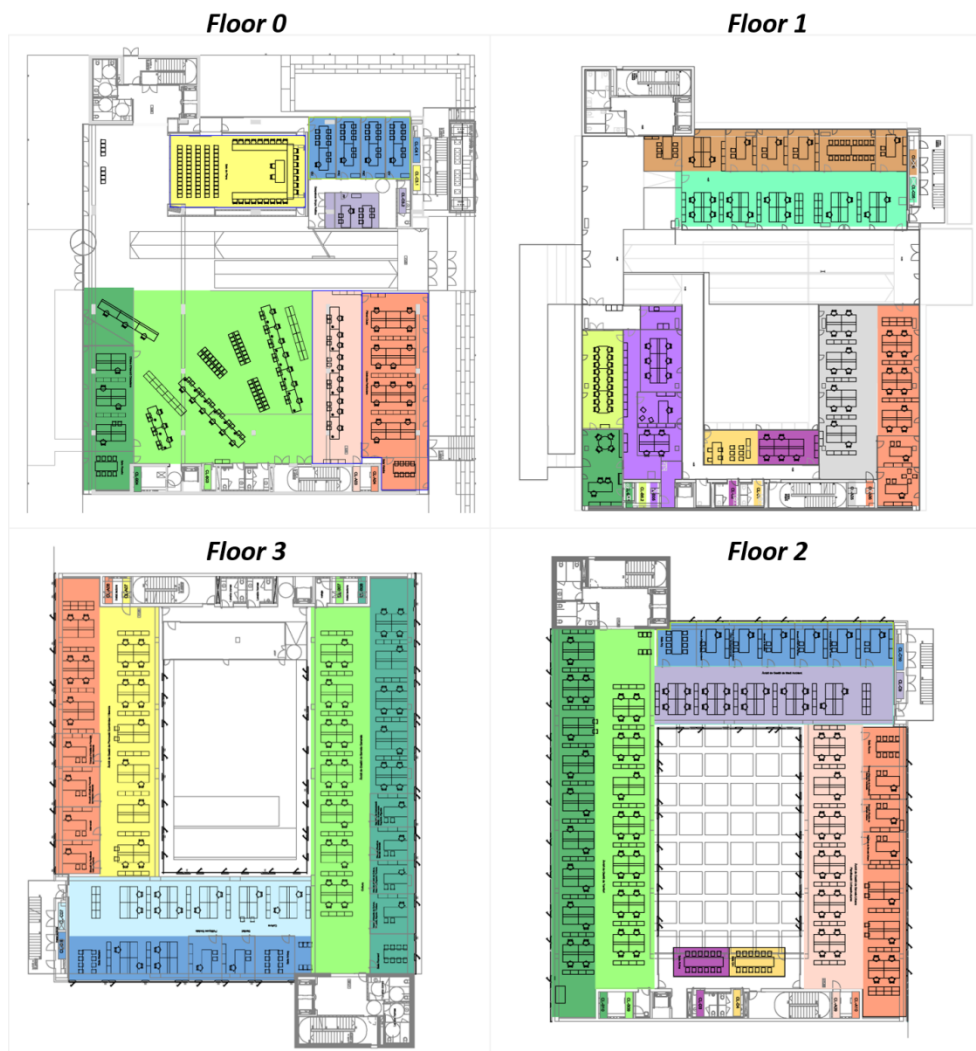
### **Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης**

Ο δήμος του Sant Cugat και ειδικότερα το δημαρχείο διαθέτει πολυάριθμα προφίλ στο Facebook και στο Twitter. Επιπροσθέτως διατίθεται ένα ιδιωτικό δίκτυο για την επικοινωνία των υπαλλήλων του δημαρχείου. Τα κοινωνικά δίκτυα του δημαρχείου ενημερώνουν τους πολίτες και τους υπαλλήλους σχετικά με την χρήση ενέργειας, νερού και υλικών καθώς και σχετικά με περιβαλλοντικά ζητήματα. Επιπροσθέτως η διοίκηση του δημαρχείου ενημερώνει τους υπαλλήλους και τους επισκέπτες σχετικά με τα προαναφερθέντα ζητήματα, χρησιμοποιώντας φυλλάδια, αφίσες και άλλα μέσα.



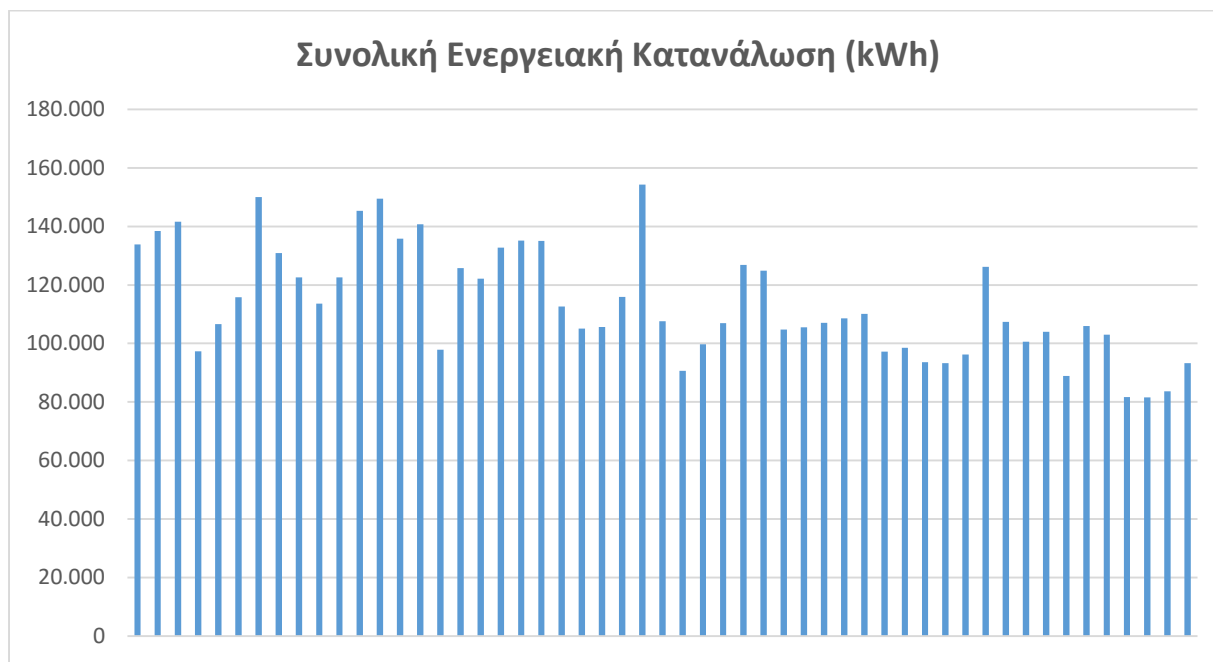
### 5.1.3 Ιστορικά Ενεργειακά Δεδομένα

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κάτοψη του ισογείου και των τριών ορόφων του δημαρχείου στο Sant Cugat.



**Σχήμα 5.1: Sant Cugat πρόσοψη ορόφων**

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το διάστημα από τον Ιανουάριο του 2010 έως και τον Μάιο του 2014.



Σχήμα 5.2: Sant Cugat Δημαρχείο, μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση

### Αισθητήρες

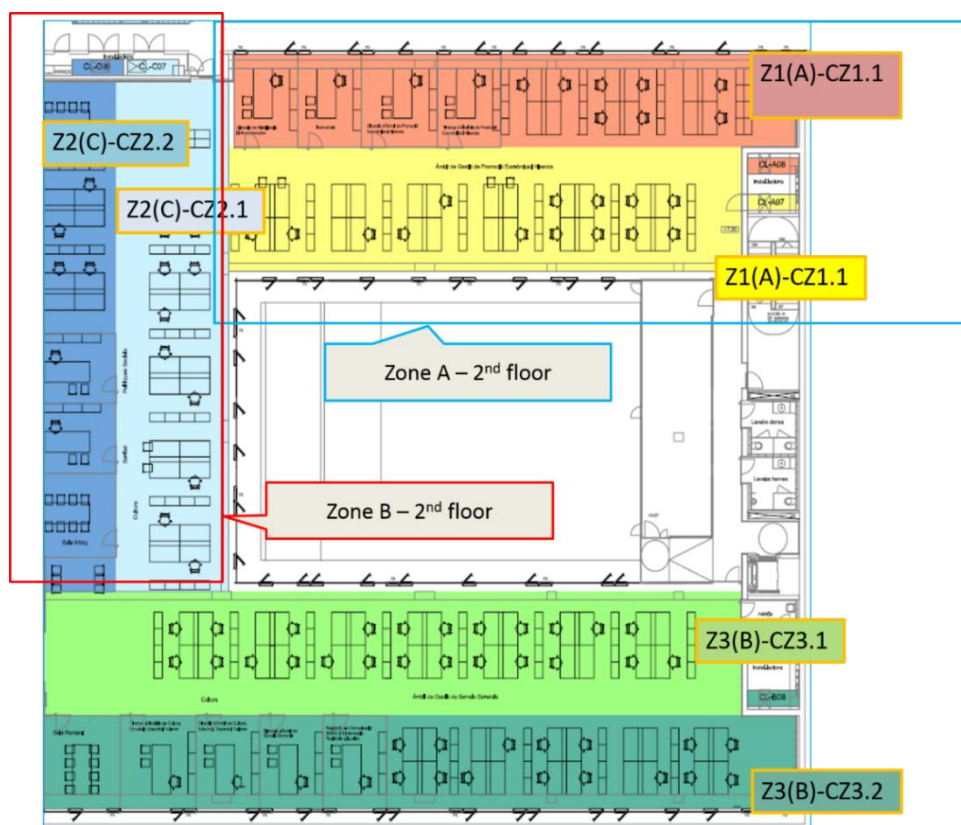
Η κατανάλωση ενέργειας που παρακολουθείται από τους εγκατεστημένους μετρητές δεν αντιπροσωπεύει όλες τις ενεργειακές χρήσεις του κτιρίου. Πέρα από τον αισθητήρα που καταγράφει την συνολική ηλεκτρική ενέργεια του κτιρίου, έχει υπολογιστεί ότι μόλις το 37% των επιμέρους ενεργειακών χρήσεων καταγράφεται από τους υπόλοιπους αισθητήρες. Η χρήση μετρητών επιτρέπει την ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων και την καλύτερη διαχείριση τους. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται κάποιες από τις ενεργειακές χρήσεις που παρακολουθούνται μέσω των αισθητήρων καθώς και τα αντίστοιχα Data Streams.

**Πίνακας 5.1: Δημαρχείο Sant Cugat Data Streams**

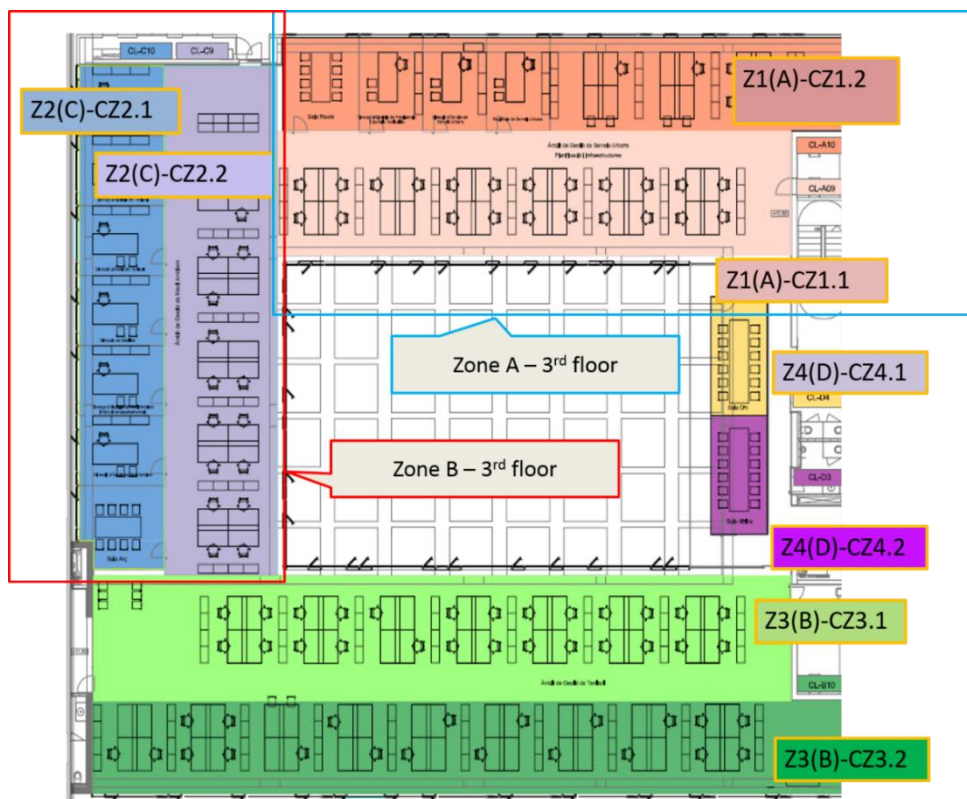
Δεδομένα	Μονάδες	Αναγνωριστικά	Σχόλια
Συνολική Ηλεκτρική Ενέργεια	kWh	energea_totalenergy	Ωριαία μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD4
Ηλεκτρική Ενέργεια στο δωμάτιο εξυπηρετητών (Server), όροφος 2	kWh	energea_unifler1consumption	Ωριαία μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD6
Ηλεκτρική Ενέργεια στο δωμάτιο αρχείου, όροφος 1	kWh	energea_unifler2consumption	Ωριαία μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD5
Ηλεκτρική Ενέργεια για το σύστημα αερισμού στην Ζώνη A, όροφος 2	kWh	energea_2ndtotalconsumption	Ωριαία Μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD9
Ηλεκτρική Ενέργεια για το σύστημα αερισμού στην Ζώνη A, όροφος 3	kWh	energea_3ndtotalconsumption	Ωριαία Μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD10
Ηλεκτρική Ενέργεια για τον φωτισμό στο τμήμα CLA07, Ζώνη A όροφος 2	kWh	energea_2ndlightsconsumption	Ωριαία Μέτρηση 40% της Ζώνης A <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD7
Ηλεκτρική Ενέργεια για τον φωτισμό στο τμήμα CLA09, Ζώνη A όροφος 3	kWh	energea_3ndlightsconsumption	Ωριαία Μέτρηση 40% της A Ζώνης <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD8
Ηλεκτρική Ενέργεια για τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και	kWh	energea_acconsumption	Ωριαία Μέτρηση <u>Όνομα Αισθητήρα:</u> DCD3

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

αερισμού			
Θερμοκρασία Ζώνη Α όροφος 3	°C	energea_temperature1	Ωριαία Μέτρηση
Θερμοκρασία Ζώνη Β όροφος 3	°C	energea_temperature2	Ωριαία Μέτρηση
Σχετική υγρασία, Ζώνη Α όροφος 3	%	energea_humidity	Ωριαία Μέτρηση
CO <sub>2</sub> συγκέντρωση , Ζώνη Α όροφος 3	ppm	energea_CO <sub>2</sub>	Ωριαία Μέτρηση

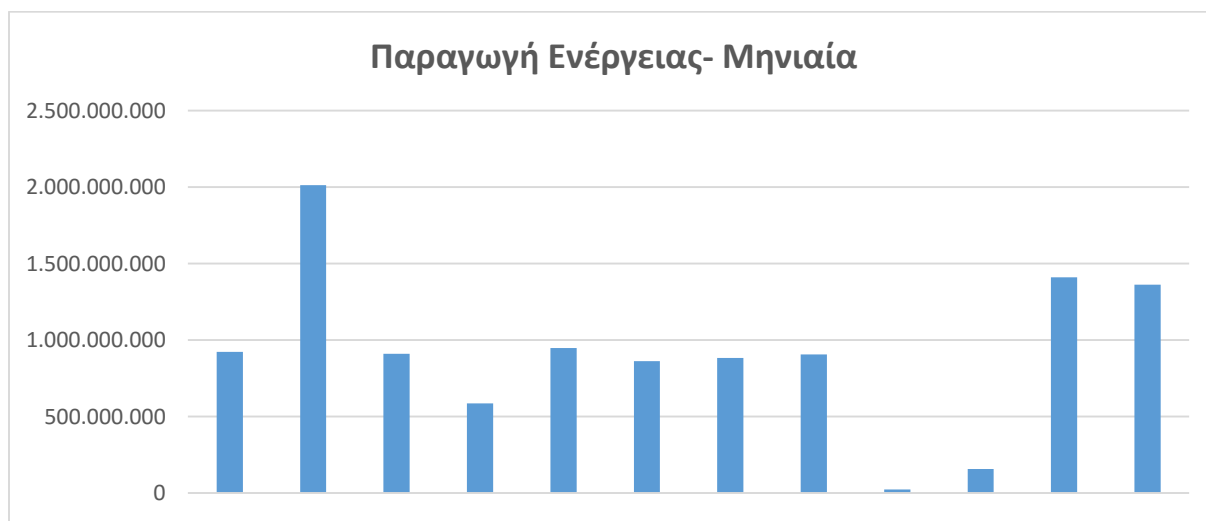


Σχήμα 5.3: Επιμέρους Ζώνες 2<sup>ος</sup> Όροφος



Σχήμα 5.4: Επιμέρους Ζώνες 3<sup>ος</sup> Όροφος

Τέλος ακολουθεί η ετήσια παραγωγή της φωτοβολταϊκής μονάδας και πιο συγκεκριμένα στο διάστημα από τον Απρίλιο του 2014 έως και τον Απρίλιο του 2015.



Σχήμα 5.5: Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκής μονάδας

## 5.2 Εφαρμογή στο Πιλοτικό Κτίριο

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 4, το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων» βασίζεται σε δύο κανόνες αναφοράς. Ο μὲν πρώτος στηρίζεται στο Προσαρμοστικό Μοντέλο Άνεσης (Adaptive Comfort Model) ενώ ο δεύτερος στο μοντέλο της Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης (Thermal Comfort Validation) και ειδικότερα στο PMV μοντέλο.

Βασικός στόχος του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης είναι η επιλογή εκείνης της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου που θα προσφέρει όχι μόνο ένα ευχάριστο επίπεδο άνεσης για τους ενοίκους αλλά ταυτόχρονα θα συμβάλλει στην βέλτιστη χρήση της ενέργειας, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας, χρημάτων και μείωση εκπομπών άνθρακα.

Κύρια επιδίωξη της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε είναι η διερεύνηση των πιθανών εξοικονομήσεων και της μείωσης των εκπομπών άνθρακα που θα πετύχαινε η εφαρμογή του ανωτέρου σχεδίου δράσης, για ένα δημοτικό κτίριο. Σαν κτίριο εφαρμογής της προσομοίωσης επιλέχθηκε το δημαρχείο της πόλης του Sant Cugat, του οποίου τα γενικά χαρακτηριστικά και οι ενεργειακές ανάγκες περιγράφηκαν εκτενώς στην ενότητα 5.1 .

### **Sant Cugat Δημαρχείο**

Όροφοι: 3 + 2 υπόγεια

Συνολική Έκταση: 8.593 m<sup>2</sup>

Ετήσια Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας: 1.221.954 kWh

Ετήσια Κατανάλωση Αερίου: -

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν ενεργειακά δεδομένα αλλά και δεδομένα καιρού για την συμπλήρωση των αντίστοιχων παραμέτρων των δύο μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι αισθητήρες για την καταγραφή των απαιτούμενων δεδομένων:

- i. Total Energy
- ii. Air Temperature Forecast
- iii. CLA07 Temperature Return
- iv. Humidity

Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος αισθητήρας επιστρέφει το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για τις ανάγκες του κτιρίου. Ο δεύτερος και ο τρίτος αισθητήρας είναι αισθητήρες θερμοκρασίας με την απλή διαφορά ότι ο πρώτος δίνει μια πρόβλεψη της εξωτερικής θερμοκρασίας ενώ ο τρίτος της εσωτερικής. Χωρίς βλάβη τη γενικότητας, επιλέξαμε τον αισθητήρα που επιστρέφει την εσωτερική θερμοκρασία του τμήματος CLA07 του κτιρίου. Θα μπορούσαμε να επιλέξουμε οποιοδήποτε άλλο αισθητήρα που επιστρέφει την εσωτερική θερμοκρασία κάποιου άλλου τμήματος, αφού οι διαφορές μεταξύ των τιμών είναι μηδαμινές. Ο τελευταίος αισθητήρας αφορά την εσωτερική

υγρασία, παράμετρο αναγκαία για την προσομοίωση του μοντέλου της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης». Ως περίοδος εφαρμογής της προσομοίωσης ορίστηκε ένα έτος και συγκεκριμένα το διάστημα από τον Ιούνιο 2015 έως και τον Μάιο 2016.

Σκοπός είναι να διερευνηθεί μια πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας από την εφαρμογή του σχεδίου δράσης. Για να επιτύχουμε μια τέτοια εξοικονόμηση θα πρέπει η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος (Setpoint) ψύξης/θέρμανσης του κτιρίου να είναι ενεργειακά πιο “αποδοτική” σε σχέση με το Setpoint που έχουν ήδη θέσει οι χρήστες του κτιρίου.

Διακρίνουμε δύο περιόδους λειτουργίας για το έτος της προσομοίωσης, την χειμερινή και την εαρινή. Ως χειμερινή περίοδο θεωρούμε όλους τους μήνες από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο ενώ οι υπόλοιποι μήνες (Μάιος-Σεπτέμβριος) αποτελούν την εαρινή περίοδο λειτουργίας. Όπως είναι προφανές κατά την χειμερινή περίοδο γίνεται χρήση του συστήματος θέρμανσης ενώ κατά την εαρινή του συστήματος ψύξης. Οι χρήστες έχουν επιλέξει σαν Setpoint για την χειμερινή περίοδο τους 23 C° ενώ για την εαρινή τους 25 C°.

Σαν “ενεργειακά πιο αποδοτική” θερμοκρασία θεωρούμε κάθε θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος ψύξης/θέρμανσης που θα είχε σαν αποτέλεσμα μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Είναι προφανές πως μια τέτοια θερμοκρασία κατά την χειμερινή περίοδο, είναι κάθε θερμοκρασία μικρότερη από τους 23 C° ενώ κατά την εαρινή περίοδο, κάθε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25 C°.

Για την προσομοίωση του σχεδίου δράσης, χρησιμοποιήσαμε σαν βάση το «Μοντέλο Προσαρμοστικής Άνεσης» (Adaptive Comfort Model), το οποίο εφαρμόστηκε για όλη την διάρκεια του εξεταζόμενου έτους. Σε εκείνους τους μήνες που τα αποτελέσματα δεν ήταν τα πλέον επιθυμητά εφαρμόσαμε και το έτερο μοντέλο αυτό της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης» έτσι ώστε να εξάγουμε μια ενεργειακά πιο αποδοτική θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος ψύξης/θέρμανσης, αυξάνοντας κατά αυτό τον τρόπο τα ποσά εξοικονόμησης ενέργειας, χρημάτων και μείωσης εκπομπών άνθρακα.

### **5.2.1 Προσομοίωση του Προσαρμοστικού Μοντέλου Άνεσης**

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφηκε αναλυτικά το μοντέλο, η μεθοδολογία και το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται το «Προσαρμοστικό μοντέλο Άνεσης». Όπως αναφέρθηκε και εκεί οι απαραίτητοι παράμετροι που χρειάζεται να συμπληρωθούν για την εφαρμογή του και κατεπέκταση για την προσομοίωση που εκτελέσαμε, είναι:

- Εξωτερική Θερμοκρασία
- Μόνωση Ρουχισμού (Clothing)

Με βάση τους δύο παραπάνω παράγοντες, το μοντέλο προτείνει την βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος Θέρμανσης/Ψύξης του κτιρίου (Setpoint). Η πρόβλεψη δίνεται ανά ώρα.

Η εξωτερική Θερμοκρασία συμπληρώνεται ανά ώρα, όπως φάνηκε παραπάνω από τις ανάγκες της προσομοίωσης. Για την εξωτερική θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του αισθητήρα **Air Temperature Forecast** για την περίοδο Ιανουάριος-Μάιος 2016. Για τους προηγούμενους μήνες, όπου οι αισθητήρες θερμοκρασίας δεν είχαν τεθεί ακόμη σε λειτουργία, χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα από ιστοσελίδες πρόβλεψης και καταγραφής καιρικών συνθηκών [25].

Για την μόνωση ρουκισμού στον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του μοντέλου, εφαρμόζεται μια μορφή κανονικοποίησης της τιμής. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οι τιμές [0,8 , 0,6 , 0,5 , 0,4 , 0,3 , 0,2] clo. Η τιμή 0,8 met αντιστοιχεί ουσιαστικά σε μια τυπική ένδυση κατά την χειμερινή περίοδο ενώ η τιμή 0,2 για μια πολύ ελαφριά ένδυση κατά την εαρινή περίοδο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η φόρμα συμπλήρωσης των παραμέτρων για μια τυπική ημέρα. Ο χρήστης εισάγει την εξωτερική θερμοκρασία στην στήλη **Best** . Το μοντέλο ακολουθώντας τα απαιτούμενα βήματα εξάγει το προτεινόμενο σημείο λειτουργίας στην στήλη **T\_setpoint\_Scat**.

Date/Time	Best	Month	Hour	Daily mean temperature	TMR80	Top,min,1	Top,max,1	Top,min,2	Top,max,2	Top,min,3	Top,max,3	T_setpoint_SCAT
04/13 01:00:00	10,8	4	1	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 02:00:00	10,56	4	2	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 03:00:00	10,5	4	3	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 04:00:00	10,12	4	4	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 05:00:00	10,24	4	5	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 06:00:00	10,28	4	6	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 07:00:00	10,4	4	7	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 08:00:00	10,5	4	8	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 09:00:00	10,6	4	9	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 10:00:00	12,2	4	10	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 11:00:00	13,8	4	11	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 12:00:00	15,38	4	12	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 13:00:00	16,3	4	13	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 14:00:00	17,26	4	14	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 15:00:00	18,2	4	15	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 16:00:00	18,24	4	16	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 17:00:00	18,3	4	17	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 18:00:00	18,4	4	18	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 19:00:00	17,06	4	19	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 20:00:00	15,76	4	20	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 21:00:00	14,42	4	21	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 22:00:00	13,4	4	22	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 23:00:00	12,42	4	23	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12
04/13 24:00:00	11,4	4	0	13,61	12,35	21,75	24,88	20,75	25,88	19,75	26,88	23,12

Σχήμα 5.6: Καρτέλα Προσομοίωσης



Όπως είναι λογικό δεν είναι δυνατή η παρουσίαση όλων των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στο παρόν κεφάλαιο λόγω του όγκου των δεδομένων. Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε ενδεικτικά τα δεδομένα και τα αποτελέσματα για τέσσερις εβδομάδες του έτους. Οι εβδομάδες επιλέχθηκαν έτσι ώστε να ανήκει κάθε μια σε μια διαφορετική εποχή του χρόνου, αν και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ανάλυση και η προσομοίωση γίνεται σε δύο βασικές περιόδους την χειμερινή και την εαρινή.

Η πρώτη εβδομάδα που θα δούμε είναι μια εβδομάδα του χειμώνα και συγκεκριμένα η εβδομάδα 08/02 έως 14/02. Τα καιρικά δεδομένα για την συγκεκριμένη εβδομάδα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ημερομηνία	Θερμοκρασία
02/08 01:00:00	9,8
02/08 02:00:00	9,183333
02/08 03:00:00	9,2
02/08 04:00:00	8,92
02/08 05:00:00	8,62
02/08 06:00:00	8,7
02/08 07:00:00	8,78
02/08 08:00:00	8,88
02/08 09:00:00	9,52
02/08 10:00:00	10,18
02/08 11:00:00	10,84
02/08 12:00:00	12,14
02/08 13:00:00	13,42
02/08 14:00:00	14,7
02/08 15:00:00	15,04
02/08 16:00:00	15,38
02/08 17:00:00	15,74
02/08 18:00:00	14,64
02/08 19:00:00	13,58
02/08 20:00:00	12,5
02/08 21:00:00	12,06
02/08 22:00:00	11,58
02/08 23:00:00	11,14
02/08 24:00:00	10,84
02/09 01:00:00	10,52
02/09 02:00:00	10,08333
02/09 03:00:00	10,46
02/09 04:00:00	10,22
02/09 05:00:00	9,94
02/09 06:00:00	9,9

02/09 07:00:00	9,88
02/09 08:00:00	9,84
02/09 09:00:00	10,44
02/09 10:00:00	11,1
02/09 11:00:00	11,72
02/09 12:00:00	12,52
02/09 13:00:00	13,36
02/09 14:00:00	14,16
02/09 15:00:00	14,34
02/09 16:00:00	14,52
02/09 17:00:00	14,7
02/09 18:00:00	13,96
02/09 19:00:00	13,24
02/09 20:00:00	12,48
02/09 21:00:00	12,24
02/09 22:00:00	11,98
02/09 23:00:00	11,72
02/09 24:00:00	11,54
02/10 01:00:00	11,38
02/10 02:00:00	11,53333
02/10 03:00:00	11,18
02/10 04:00:00	10,48
02/10 05:00:00	9,74
02/10 06:00:00	9,5
02/10 07:00:00	9,26
02/10 08:00:00	9,04
02/10 09:00:00	9,44
02/10 10:00:00	9,9
02/10 11:00:00	10,34
02/10 12:00:00	11,26
02/10 13:00:00	12,16
02/10 14:00:00	13,06
02/10 15:00:00	13,02
02/10 16:00:00	13
02/10 17:00:00	12,92
02/10 18:00:00	11,78
02/10 19:00:00	10,62
02/10 20:00:00	9,46
02/10 21:00:00	8,9
02/10 22:00:00	8,34
02/10 23:00:00	7,8

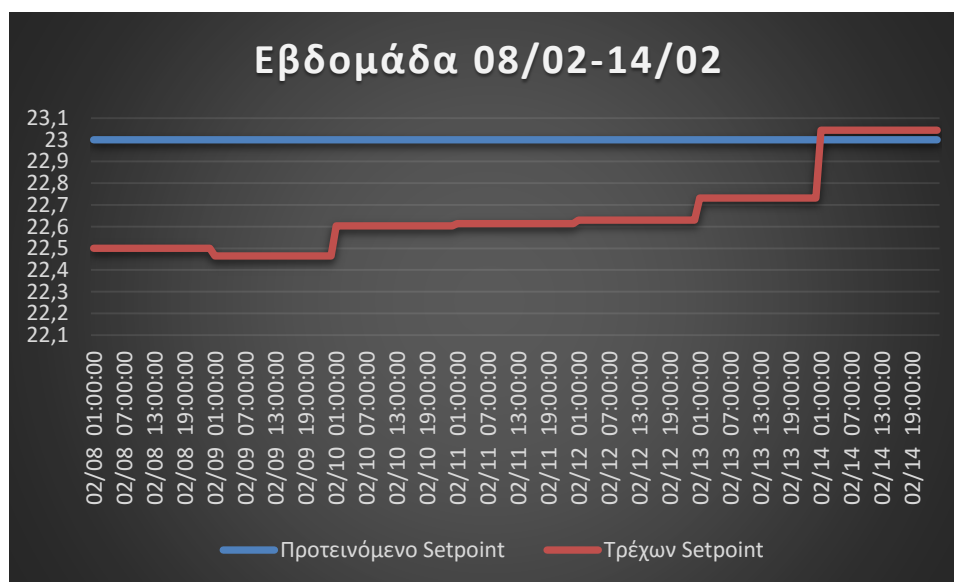
02/10 24:00:00	7,54
02/11 01:00:00	7,3
02/11 02:00:00	7,433333
02/11 03:00:00	7,78
02/11 04:00:00	7,66
02/11 05:00:00	7,6
02/11 06:00:00	7,74
02/11 07:00:00	7,86
02/11 08:00:00	8
02/11 09:00:00	8,68
02/11 10:00:00	9,4
02/11 11:00:00	10,14
02/11 12:00:00	11,32
02/11 13:00:00	12,5
02/11 14:00:00	13,72
02/11 15:00:00	14,12
02/11 16:00:00	14,48
02/11 17:00:00	14,86
02/11 18:00:00	13,76
02/11 19:00:00	12,7
02/11 20:00:00	11,6
02/11 21:00:00	11,12
02/11 22:00:00	10,66
02/11 23:00:00	10,2
02/11 24:00:00	9,9
02/12 01:00:00	9,6
02/12 02:00:00	9,28
02/12 03:00:00	9,825
02/12 04:00:00	9,525
02/12 05:00:00	9,25
02/12 06:00:00	8,975
02/12 07:00:00	8,7
02/12 08:00:00	8,425
02/12 09:00:00	9,2
02/12 10:00:00	9,95
02/12 11:00:00	10,725
02/12 12:00:00	11,775
02/12 13:00:00	12,85
02/12 14:00:00	13,875
02/12 15:00:00	14,1
02/12 16:00:00	14,3

02/12 17:00:00	14,475
02/12 18:00:00	14,1
02/12 19:00:00	13,75
02/12 20:00:00	13,35
02/12 21:00:00	13,325
02/12 22:00:00	13,275
02/12 23:00:00	13,25
02/12 24:00:00	13,125
02/13 01:00:00	12,975
02/13 02:00:00	12,52
02/13 03:00:00	12,58
02/13 04:00:00	12,58
02/13 05:00:00	12,64
02/13 06:00:00	12,76
02/13 07:00:00	12,84
02/13 08:00:00	12,94
02/13 09:00:00	13,8
02/13 10:00:00	14,7
02/13 11:00:00	15,6
02/13 12:00:00	16,52
02/13 13:00:00	17,5
02/13 14:00:00	18,48
02/13 15:00:00	18,44
02/13 16:00:00	18,4
02/13 17:00:00	18,32
02/13 18:00:00	17,16
02/13 19:00:00	16
02/13 20:00:00	14,82
02/13 21:00:00	14,14
02/13 22:00:00	13,46
02/13 23:00:00	12,78
02/13 24:00:00	12,68
02/14 01:00:00	12,56
02/14 02:00:00	12,42
02/14 03:00:00	12,275
02/14 04:00:00	12,075
02/14 05:00:00	11,875
02/14 06:00:00	11,25
02/14 07:00:00	10,625
02/14 08:00:00	10
02/14 09:00:00	10,75

02/14 10:00:00	11,525
02/14 11:00:00	12,25
02/14 12:00:00	12,875
02/14 13:00:00	13,5
02/14 14:00:00	14,125
02/14 15:00:00	13,975
02/14 16:00:00	13,875
02/14 17:00:00	13,75
02/14 18:00:00	12,35
02/14 19:00:00	10,95
02/14 20:00:00	9,55
02/14 21:00:00	9,15
02/14 22:00:00	8,7
02/14 23:00:00	8,275
02/14 24:00:00	7,975

**Σχήμα 5.7: Δεδομένα Καιρού Εβδομάδας 08/02 – 14/02**

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και το προτεινόμενο Setpoint. Επίσης φαίνεται το ήδη εφαρμοζόμενο Setpoint, ώστε να γίνει ορατή η διαφορά:



**Σχήμα 5.8: Προτεινόμενο Setpoint Εβδομάδας 08/02 – 14/02**

Στην ίδια ακριβώς λογική θα δούμε τα καιρικά δεδομένα και τα αποτελέσματα για τις εβδομάδες, 11/04-17/04 (Εβδομάδα Άνοιξης), 11/07-17/07 (Εβδομάδα Καλοκαιριού) και 12/09-18/09 (Εβδομάδα Φθινοπώρου):

Ημερομηνία	Θερμοκρασία
------------	-------------

04/11 01:00:00	10,35
04/11 02:00:00	10,275
04/11 03:00:00	10,14
04/11 04:00:00	10,15
04/11 05:00:00	9,95
04/11 06:00:00	9,75
04/11 07:00:00	9,775
04/11 08:00:00	9,8
04/11 09:00:00	9,8
04/11 10:00:00	11,525
04/11 11:00:00	13,2
04/11 12:00:00	14,925
04/11 13:00:00	15,575
04/11 14:00:00	16,25
04/11 15:00:00	16,95
04/11 16:00:00	16,9
04/11 17:00:00	16,825
04/11 18:00:00	16,75
04/11 19:00:00	15,7
04/11 20:00:00	14,625
04/11 21:00:00	13,525
04/11 22:00:00	12,45
04/11 23:00:00	11,375
04/11 24:00:00	10,3
04/12 01:00:00	9,775
04/12 02:00:00	9,25
04/12 03:00:00	9,06
04/12 04:00:00	8,78
04/12 05:00:00	8,46
04/12 06:00:00	8,16
04/12 07:00:00	8,52
04/12 08:00:00	8,82
04/12 09:00:00	9,16
04/12 10:00:00	11
04/12 11:00:00	12,8
04/12 12:00:00	14,6
04/12 13:00:00	15,54
04/12 14:00:00	16,52
04/12 15:00:00	17,5
04/12 16:00:00	17,4
04/12 17:00:00	17,32

04/12 18:00:00	17,22
04/12 19:00:00	15,98
04/12 20:00:00	14,8
04/12 21:00:00	13,58
04/12 22:00:00	12,74
04/12 23:00:00	11,88
04/12 24:00:00	11,02
04/13 01:00:00	10,8
04/13 02:00:00	10,56
04/13 03:00:00	10,5
04/13 04:00:00	10,12
04/13 05:00:00	10,24
04/13 06:00:00	10,28
04/13 07:00:00	10,4
04/13 08:00:00	10,5
04/13 09:00:00	10,6
04/13 10:00:00	12,2
04/13 11:00:00	13,8
04/13 12:00:00	15,38
04/13 13:00:00	16,3
04/13 14:00:00	17,26
04/13 15:00:00	18,2
04/13 16:00:00	18,24
04/13 17:00:00	18,3
04/13 18:00:00	18,4
04/13 19:00:00	17,06
04/13 20:00:00	15,76
04/13 21:00:00	14,42
04/13 22:00:00	13,4
04/13 23:00:00	12,42
04/13 24:00:00	11,4
04/14 01:00:00	10,74
04/14 02:00:00	10,06
04/14 03:00:00	9,55
04/14 04:00:00	9,083333
04/14 05:00:00	8,6
04/14 06:00:00	8,1
04/14 07:00:00	8,183333
04/14 08:00:00	8,233333
04/14 09:00:00	8,316667
04/14 10:00:00	10,81667

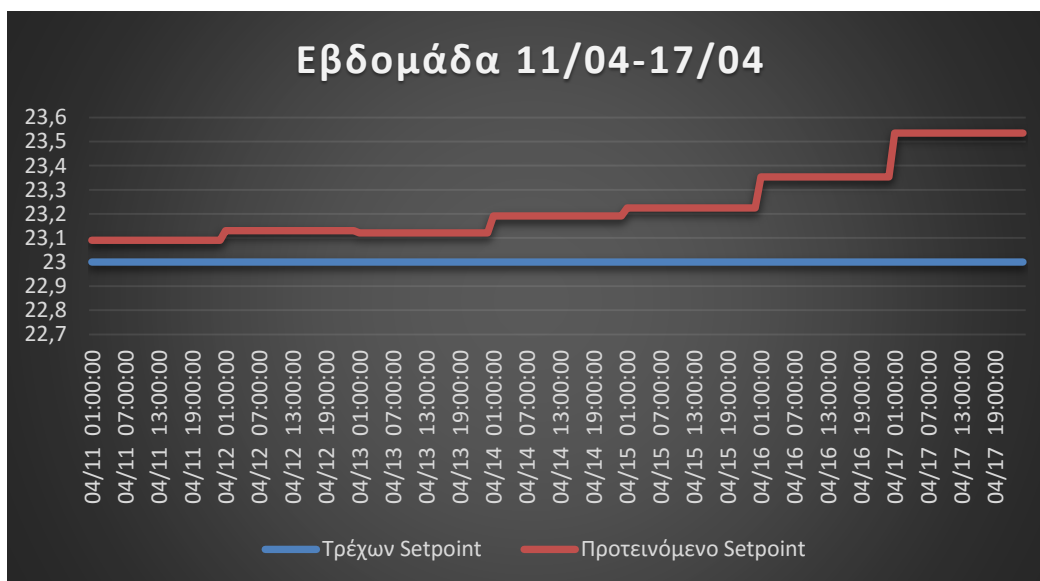
04/14 11:00:00	13,36667
04/14 12:00:00	15,9
04/14 13:00:00	16,65
04/14 14:00:00	17,43333
04/14 15:00:00	18,18333
04/14 16:00:00	17,96667
04/14 17:00:00	17,76667
04/14 18:00:00	17,55
04/14 19:00:00	16,48333
04/14 20:00:00	15,43333
04/14 21:00:00	14,35
04/14 22:00:00	13,35
04/14 23:00:00	12,3
04/14 24:00:00	11,31667
04/15 01:00:00	10,98333
04/15 02:00:00	10,65
04/15 03:00:00	10,3
04/15 04:00:00	10,2
04/15 05:00:00	9,84
04/15 06:00:00	9,48
04/15 07:00:00	9,6
04/15 08:00:00	9,72
04/15 09:00:00	9,88
04/15 10:00:00	12,2
04/15 11:00:00	14,56
04/15 12:00:00	16,92
04/15 13:00:00	17,86
04/15 14:00:00	18,82
04/15 15:00:00	19,8
04/15 16:00:00	19,58
04/15 17:00:00	19,36
04/15 18:00:00	19,16
04/15 19:00:00	17,9
04/15 20:00:00	16,66
04/15 21:00:00	15,42
04/15 22:00:00	14,28
04/15 23:00:00	13,1
04/15 24:00:00	11,94
04/16 01:00:00	11,52
04/16 02:00:00	11,14
04/16 03:00:00	10,76



04/16 04:00:00	10,475
04/16 05:00:00	10,05
04/16 06:00:00	9,625
04/16 07:00:00	9,8
04/16 08:00:00	9,975
04/16 09:00:00	10,2
04/16 10:00:00	13,15
04/16 11:00:00	16,125
04/16 12:00:00	19,1
04/16 13:00:00	19,875
04/16 14:00:00	20,675
04/16 15:00:00	21,45
04/16 16:00:00	21,325
04/16 17:00:00	21,2
04/16 18:00:00	21,1
04/16 19:00:00	19,575
04/16 20:00:00	18,1
04/16 21:00:00	16,6
04/16 22:00:00	15,25
04/16 23:00:00	13,95
04/16 24:00:00	12,625
04/17 01:00:00	12,075
04/17 02:00:00	11,45
04/17 03:00:00	10,925
04/17 04:00:00	10,73333
04/17 05:00:00	10,46667
04/17 06:00:00	10,16667
04/17 07:00:00	10,5
04/17 08:00:00	10,9
04/17 09:00:00	11,2
04/17 10:00:00	14
04/17 11:00:00	16,73333
04/17 12:00:00	19,46667
04/17 13:00:00	20,4
04/17 14:00:00	21,23333
04/17 15:00:00	22,13333
04/17 16:00:00	21,96667
04/17 17:00:00	21,83333
04/17 18:00:00	21,7
04/17 19:00:00	20,23333
04/17 20:00:00	18,83333

04/17 21:00:00	17,4
04/17 22:00:00	16,26667
04/17 23:00:00	15,16667
04/17 24:00:00	14,06667

Σχήμα 5.9: Δεδομένα Θερμοκρασίας 11/04 – 17/04



Σχήμα 5.10: Προτεινόμενο Setpoint Εβδομάδας 11/04 – 17/04

Ημερομηνία	Θερμοκρασία
07/11 01:00:00	27,96667
07/11 02:00:00	26,40833
07/11 03:00:00	25,85833
07/11 04:00:00	28,36667
07/11 05:00:00	28,56667
07/11 06:00:00	26,55
07/11 07:00:00	27,39167
07/11 08:00:00	29,15
07/11 09:00:00	28,56667
07/11 10:00:00	26,9
07/11 11:00:00	28,85833
07/11 12:00:00	30,5
07/11 13:00:00	29,60833
07/11 14:00:00	27,25
07/11 15:00:00	27,825
07/11 16:00:00	30,65833
07/11 17:00:00	30,01667
07/11 18:00:00	27,39167
07/11 19:00:00	28,075

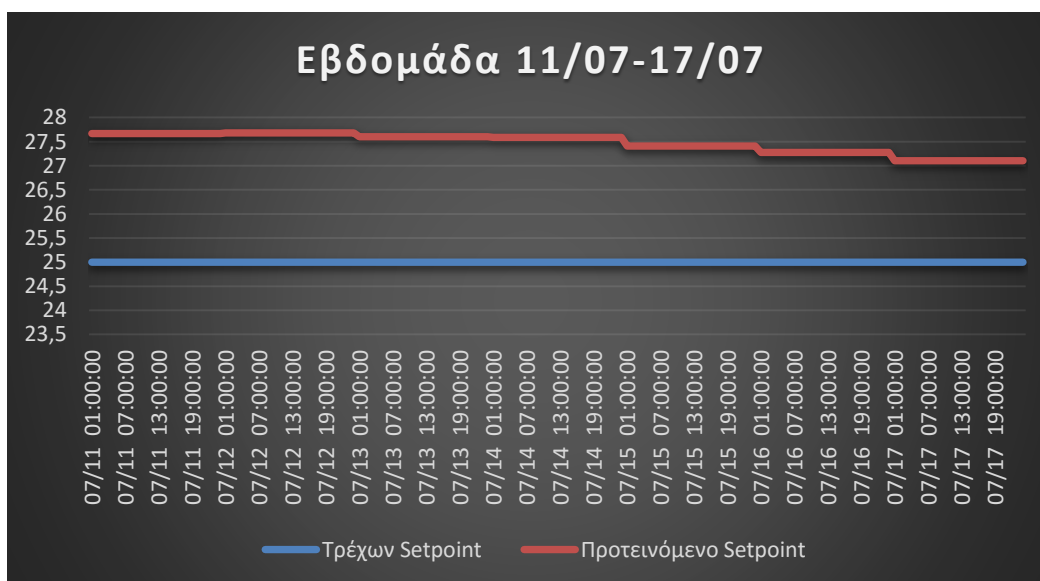
07/11 20:00:00	29,50833
07/11 21:00:00	28,5
07/11 22:00:00	26,20833
07/11 23:00:00	24,4
07/11 24:00:00	24,05
07/12 01:00:00	24,04167
07/12 02:00:00	28,025
07/12 03:00:00	30,45
07/12 04:00:00	29,56667
07/12 05:00:00	27,68333
07/12 06:00:00	25,925
07/12 07:00:00	24,66667
07/12 08:00:00	24,24167
07/12 09:00:00	26,8
07/12 10:00:00	28,38333
07/12 11:00:00	29,35
07/12 12:00:00	27,825
07/12 13:00:00	25,775
07/12 14:00:00	24,1
07/12 15:00:00	23,34167
07/12 16:00:00	25,61667
07/12 17:00:00	29,025
07/12 18:00:00	29,26667
07/12 19:00:00	27,79167
07/12 20:00:00	26,58333
07/12 21:00:00	25,85833
07/12 22:00:00	25,58333
07/12 23:00:00	24,525
07/12 24:00:00	28,55833
07/13 01:00:00	30,86667
07/13 02:00:00	30,63333
07/13 03:00:00	27,99167
07/13 04:00:00	26,60833
07/13 05:00:00	24,58333
07/13 06:00:00	23,66667
07/13 07:00:00	29,275
07/13 08:00:00	32,05
07/13 09:00:00	30,68333
07/13 10:00:00	27,56667
07/13 11:00:00	26,14167
07/13 12:00:00	24,6

07/13 13:00:00	24,025
07/13 14:00:00	27,25833
07/13 15:00:00	29,5
07/13 16:00:00	29,45833
07/13 17:00:00	28,68333
07/13 18:00:00	26,84167
07/13 19:00:00	25,14167
07/13 20:00:00	24,575
07/13 21:00:00	25,8
07/13 22:00:00	28,875
07/13 23:00:00	29,74167
07/13 24:00:00	28,73333
07/14 01:00:00	27,61667
07/14 02:00:00	26,31667
07/14 03:00:00	24,65
07/14 04:00:00	24,575
07/14 05:00:00	25,19167
07/14 06:00:00	25,48333
07/14 07:00:00	25,80833
07/14 08:00:00	24,375
07/14 09:00:00	22,63333
07/14 10:00:00	21,85
07/14 11:00:00	22,8
07/14 12:00:00	26,53333
07/14 13:00:00	28,25833
07/14 14:00:00	28,85
07/14 15:00:00	27,08333
07/14 16:00:00	25,35
07/14 17:00:00	24,28333
07/14 18:00:00	24,375
07/14 19:00:00	25,325
07/14 20:00:00	25,43333
07/14 21:00:00	25,28333
07/14 22:00:00	24,39167
07/14 23:00:00	24,15
07/14 24:00:00	23,04167
07/15 01:00:00	23,45
07/15 02:00:00	24,31667
07/15 03:00:00	23,725
07/15 04:00:00	25,05
07/15 05:00:00	25,98333

07/15 06:00:00	25,675
07/15 07:00:00	24,44167
07/15 08:00:00	24,15
07/15 09:00:00	24,51667
07/15 10:00:00	26,66667
07/15 11:00:00	28,63333
07/15 12:00:00	29,075
07/15 13:00:00	28,30833
07/15 14:00:00	25,79167
07/15 15:00:00	25,01667
07/15 16:00:00	23,95833
07/15 17:00:00	24,425
07/15 18:00:00	25,28333
07/15 19:00:00	24,525
07/15 20:00:00	23,99167
07/15 21:00:00	23,46667
07/15 22:00:00	21,68333
07/15 23:00:00	21,29167
07/15 24:00:00	22,1
07/16 01:00:00	24,73333
07/16 02:00:00	24,90833
07/16 03:00:00	24,86667
07/16 04:00:00	22,84167
07/16 05:00:00	21,61667
07/16 06:00:00	21,275
07/16 07:00:00	22,5
07/16 08:00:00	25,075
07/16 09:00:00	24,575
07/16 10:00:00	23,21667
07/16 11:00:00	21,50833
07/16 12:00:00	20,25833
07/16 13:00:00	19,8
07/16 14:00:00	22,975
07/16 15:00:00	26,225
07/16 16:00:00	26,725
07/16 17:00:00	26,55
07/16 18:00:00	24,76667
07/16 19:00:00	22,71667
07/16 20:00:00	22,53333
07/16 21:00:00	22,75
07/16 22:00:00	26,06667

07/16 23:00:00	28,975
07/16 24:00:00	28,81667
07/17 01:00:00	28,325
07/17 02:00:00	26,94167
07/17 03:00:00	25,375
07/17 04:00:00	27,19167
07/17 05:00:00	25,11667
07/17 06:00:00	28,09167
07/17 07:00:00	28,03333
07/17 08:00:00	27,075
07/17 09:00:00	25,33333
07/17 10:00:00	22,875
07/17 11:00:00	22,29167
07/17 12:00:00	21,5
07/17 13:00:00	24,65833
07/17 14:00:00	29,53333
07/17 15:00:00	30,53333
07/17 16:00:00	28,8
07/17 17:00:00	25,8
07/17 18:00:00	23,21667
07/17 19:00:00	22,95833
07/17 20:00:00	22,18333
07/17 21:00:00	24,83333
07/17 22:00:00	28,44167
07/17 23:00:00	29,4
07/17 24:00:00	28,875

Σχήμα 5.11: Δεδομένα Θερμοκρασίας 11/07 -17/07



**Σχήμα 5.12: Προτεινόμενο Setpoint Εβδομάδας 11/07 – 17/07**

Ημερομηνία	Θερμοκρασία
09/12 01:00:00	22,875
09/12 02:00:00	25,40833
09/12 03:00:00	26,3
09/12 04:00:00	26,40833
09/12 05:00:00	25,88333
09/12 06:00:00	26,375
09/12 07:00:00	26,63333
09/12 08:00:00	25,775
09/12 09:00:00	24,625
09/12 10:00:00	23,35833
09/12 11:00:00	22,41667
09/12 12:00:00	21,25833
09/12 13:00:00	20,675
09/12 14:00:00	20,625
09/12 15:00:00	20,23333
09/12 16:00:00	19,675
09/12 17:00:00	18,98333
09/12 18:00:00	18,45
09/12 19:00:00	17,83333
09/12 20:00:00	17,33333
09/12 21:00:00	16,91667
09/12 22:00:00	16,63333
09/12 23:00:00	16,81667
09/12 24:00:00	18,41667
09/13 01:00:00	21,69167
09/13 02:00:00	25,03333
09/13 03:00:00	26,45
09/13 04:00:00	27,8
09/13 05:00:00	28,65833
09/13 06:00:00	28,54167
09/13 07:00:00	28,99167
09/13 08:00:00	27,45
09/13 09:00:00	26,10833
09/13 10:00:00	24,66667
09/13 11:00:00	23,25833
09/13 12:00:00	22,81667
09/13 13:00:00	22,26667

09/13 14:00:00	21,575
09/13 15:00:00	20,83333
09/13 16:00:00	20,05
09/13 17:00:00	19,10833
09/13 18:00:00	18,63333
09/13 19:00:00	18,68333
09/13 20:00:00	20,06667
09/13 21:00:00	18,775
09/13 22:00:00	19,025
09/13 23:00:00	20,73333
09/13 24:00:00	21,525
09/14 01:00:00	22,475
09/14 02:00:00	23,01667
09/14 03:00:00	23,475
09/14 04:00:00	24,5
09/14 05:00:00	24,725
09/14 06:00:00	26,39167
09/14 07:00:00	25,80833
09/14 08:00:00	25,7
09/14 09:00:00	21,73333
09/14 10:00:00	19,55833
09/14 11:00:00	19,19167
09/14 12:00:00	18,675
09/14 13:00:00	18,21667
09/14 14:00:00	17,89167
09/14 15:00:00	17,55
09/14 16:00:00	17
09/14 17:00:00	16,325
09/14 18:00:00	15,56667
09/14 19:00:00	15,36667
09/14 20:00:00	15,1
09/14 21:00:00	16,40833
09/14 22:00:00	19,33333
09/14 23:00:00	22,93333
09/14 24:00:00	24,65833
09/15 01:00:00	23,69167
09/15 02:00:00	24,69167
09/15 03:00:00	25,23333
09/15 04:00:00	25,60833
09/15 05:00:00	25,025
09/15 06:00:00	24,60833

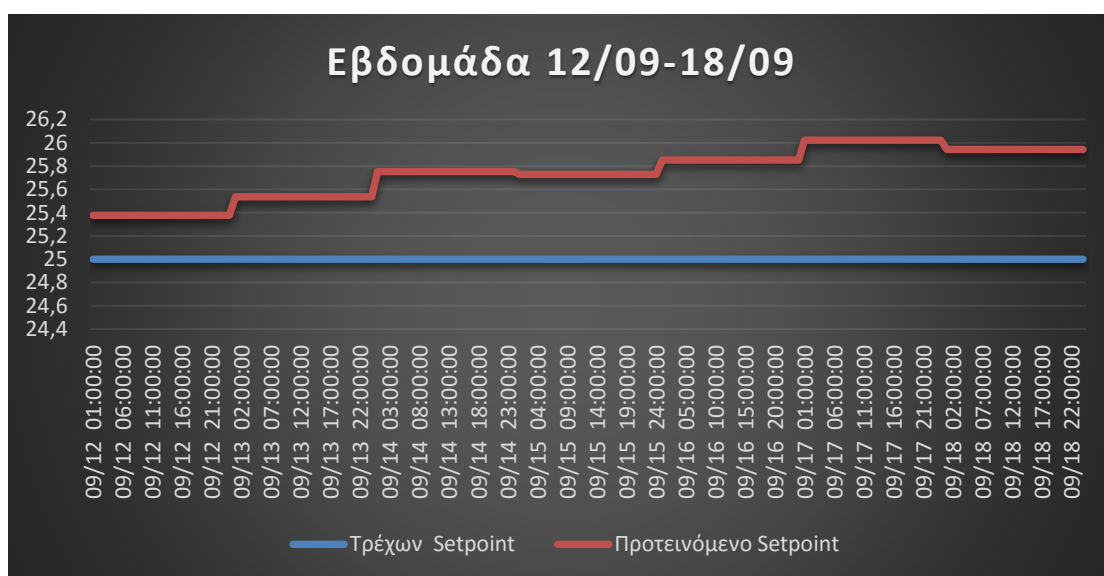


09/15 07:00:00	24,35833
09/15 08:00:00	22,975
09/15 09:00:00	22,18333
09/15 10:00:00	21,55
09/15 11:00:00	20,975
09/15 12:00:00	20,325
09/15 13:00:00	19,86667
09/15 14:00:00	20,05
09/15 15:00:00	19,5
09/15 16:00:00	19,09167
09/15 17:00:00	18,775
09/15 18:00:00	18,33333
09/15 19:00:00	18,625
09/15 20:00:00	19,00833
09/15 21:00:00	21,44167
09/15 22:00:00	24,93333
09/15 23:00:00	26,48333
09/15 24:00:00	27,81667
09/16 01:00:00	28,1
09/16 02:00:00	28,19167
09/16 03:00:00	28,625
09/16 04:00:00	26,5
09/16 05:00:00	25,99167
09/16 06:00:00	26,44167
09/16 07:00:00	25,34167
09/16 08:00:00	23,78333
09/16 09:00:00	23,29167
09/16 10:00:00	22,74167
09/16 11:00:00	21,2
09/16 12:00:00	20,66667
09/16 13:00:00	20,83333
09/16 14:00:00	21,25
09/16 15:00:00	21,20833
09/16 16:00:00	21,225
09/16 17:00:00	20,45833
09/16 18:00:00	20,025
09/16 19:00:00	19,85
09/16 20:00:00	20,5
09/16 21:00:00	21,075
09/16 22:00:00	22,16667
09/16 23:00:00	23,63333

09/16 24:00:00	24,48333
09/17 01:00:00	25,73333
09/17 02:00:00	26,49167
09/17 03:00:00	27,28333
09/17 04:00:00	27,39167
09/17 05:00:00	26,625
09/17 06:00:00	24,69167
09/17 07:00:00	20,86667
09/17 08:00:00	19,86667
09/17 09:00:00	18,96667
09/17 10:00:00	18,36667
09/17 11:00:00	17,35833
09/17 12:00:00	16,725
09/17 13:00:00	15,80833
09/17 14:00:00	15,675
09/17 15:00:00	15,325
09/17 16:00:00	15,1
09/17 17:00:00	15,44167
09/17 18:00:00	15,36667
09/17 19:00:00	16,425
09/17 20:00:00	18,99167
09/17 21:00:00	20,8
09/17 22:00:00	21,68333
09/17 23:00:00	22,49167
09/17 24:00:00	24,275
09/18 01:00:00	25,41667
09/18 02:00:00	24,46667
09/18 03:00:00	23,44167
09/18 04:00:00	22,025
09/18 05:00:00	20,33333
09/18 06:00:00	18,95
09/18 07:00:00	18,60833
09/18 08:00:00	17,65
09/18 09:00:00	16,40833
09/18 10:00:00	16,16667
09/18 11:00:00	16,6
09/18 12:00:00	15,725
09/18 13:00:00	14,95833
09/18 14:00:00	14,425
09/18 15:00:00	13,88333
09/18 16:00:00	13,85

09/18 17:00:00	13,86667
09/18 18:00:00	15,66667
09/18 19:00:00	19,13333
09/18 20:00:00	21,75
09/18 21:00:00	23,55833
09/18 22:00:00	24,11667
09/18 23:00:00	24,41667
09/18 24:00:00	24,925

Σχήμα 5.13: Δεδομένα Θερμοκρασίας Εβδομάδας 12/09 – 18/09



Σχήμα 5.14: Εβδομάδα 12/09 – 18/09

Συμπληρώνοντας λοιπόν την εξωτερική θερμοκρασία όχι μόνο για τις τέσσερις παραπάνω εβδομάδες αλλά και για το συνολικό χρονικό διάστημα που αναφέραμε προηγουμένως, λάβαμε τα προτεινόμενα Setpoints όπως φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

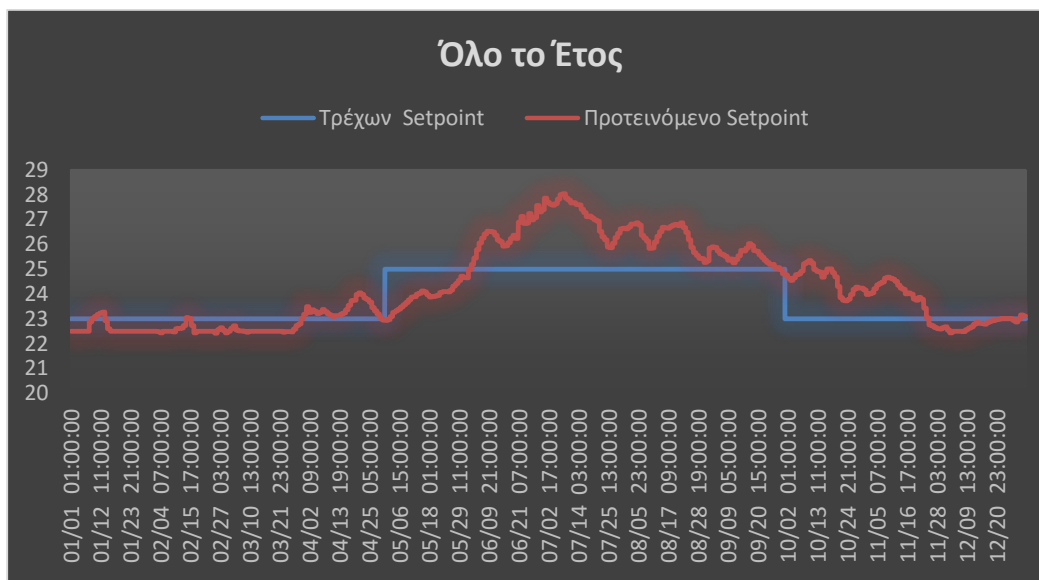
Πίνακας 5.2: Προτεινόμενα Setpoints από το μοντέλο Προσαρμοστικής Άνεσης

Μήνας	Τρέχων Setpoint	Προτεινόμενο Setpoint	Διαφορά
Ιούνιος 2015	25	26,36	+1,36
Ιούλιος 2015	25	27,13	+2,13
Αύγουστος 2015	25	26,33	+1,33
Σεπτέμβριος 2015	25	25,50	+0,5
Οκτώβριος 2015	23	24,60	-1,6
Νοέμβριος 2015	23	23,83	-0,83
Δεκέμβριος 2015	23	22,80	+0,2
Ιανουάριος 2016	23	22,64	+0,37

Φεβρουάριος 2016	23	22,57	+0,43
Μάρτιος 2016	23	22,56	+0,44
Απρίλιος 2016	23	23,41	-0,41
Μάιος 2016	25	23,87	-1,13

Στον παραπάνω πίνακα όπου έχουμε διαφορές με θετικό πρόσημο σημαίνει ότι το προτεινόμενο Setpoint αναμένεται να προκαλέσει εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας και σαν συνέπεια και βελτίωση στους άλλους δύο δείκτες, το κόστος και την μείωση των ρύπων. Όπως φαίνεται εύκολα από τον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά για τους περισσότερους από τους εξεταζόμενους μήνες. Ωστόσο υπάρχουν μήνες όπως ο Απρίλιος που το προτεινόμενο από το μοντέλο Setpoint είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που έχουν ήδη θέσει οι ένοικοι του κτιρίου. Όπως είναι αναμενόμενο, αν ακολουθηθεί το προτεινόμενο Setpoint όχι μόνο δεν θα έχουμε συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά θα έχουμε σαν αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας.

Περισσότερο εποπτικά αυτή η διαφορά φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Εδώ βλέπουμε το προτεινόμενο Setpoint ανά μέρα καθώς και το εφαρμοζόμενο. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως επιθυμούμε κατά την εαρινή περίοδο να προτείνουμε ένα Setpoint το οποίο είναι μεγαλύτερο από το ήδη εφαρμοζόμενο ενώ την χειμερινή περίοδο ένα Setpoint αισθητά μικρότερο. Με αυτό τον τρόπο θα πετύχουμε μια σημαντική εξοικονόμηση της τελικής ενέργειας που δαπανάται για το σύστημα Θέρμανσης/Ψύξης.



**Σχήμα 5.15: Προτεινόμενο Setpoint για όλο το έτος**

Η διάκριση μεταξύ χειμερινής και εαρινής περιόδου φαίνεται από την γραμμή του ήδη εφαρμοζόμενου Setpoint. Το ποιοί μήνες παρουσιάζουν αποδεκτά αποτελέσματα και το ποιοί όχι φαίνεται εύκολα από το παραπάνω διάγραμμα, συγκρίνοντας την γραμμή του εφαρμοζόμενου με του προτεινόμενου Setpoint. Φαίνεται λοιπόν ότι τον Απρίλη, τον Οκτώβρη και τον Νοέμβρη (Χειμερινή Περίοδος) το προτεινόμενο Setpoint είναι

μεγαλύτερο σε σχέση με το εφαρμοζόμενο. Άρα είναι βέβαιο πως δεν θα επιτύχουμε καμία εξοικονόμηση. Αντίστοιχα για τον μήνα Μάιο (Εαρινή Περίοδο) το προτεινόμενο Setpoint είναι εμφανώς μικρότερο από το εφαρμοζόμενο, κάτι το οποίο με την σειρά του δεν θα προκαλέσει καμία εξοικονόμηση στην καταναλισκόμενη ενέργεια.

Για τους μήνες αυτούς αλλά και για αυτούς που η θετική μεν διαφορά είναι πολύ μικρή θα εφαρμόσουμε και το έταιρο μοντέλο, το TCV δηλαδή το μοντέλο της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης». Έτσι θα εφαρμόσουμε το μοντέλο για τους μήνες **Απρίλιος, Μάιος, Οκτώβριος, Νοέμβριος** και **Δεκέμβριος**.

### **5.2.2 Προσομοίωση του Μοντέλου Επικύρωσης Θερμικής Άνεσης**

Η θεωρία και η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή του μοντέλου της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης» περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

Για την εφαρμογή του μοντέλου είναι απαραίτητη η συμπλήρωση των ακόλουθων παραγόντων:

- Εσωτερική Θερμοκρασία
- Εσωτερική Υγρασία
- Μόνωση Ρουχισμού
- Μεταβολικός Ρυθμός
- Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία
- Ταχύτητα αέρα

Για την συμπλήρωση των παραμέτρων, Εσωτερική Θερμοκρασία, Εσωτερική Υγρασία και Μέση ακτινοβολούμενη Θερμοκρασία, χρησιμοποιήσαμε τις ενδείξεις των μετρητών που αναφέραμε προηγουμένως. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους έγιναν χρήση τυπικών τιμών για το είδος της εργασίας και του κτιρίου που εξετάζουμε. Πιο συγκεκριμένα, για την μόνωση του ρουχισμού επιλέξαμε την τιμή 1,0 clo για την χειμερινή περίοδο και 0,5 clo για την εαρινή περίοδο όπως αυτές ορίστηκαν σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου. Οι δύο αυτές τιμές αντιστοιχούν σε τυπικές ενδυμασίες των εξεταζόμενων περιόδων (κουστούμι για την χειμερινή περίοδο, ελαφριά ένδυση κατά την εαρινή). Για τον μεταβολικό ρυθμό, επιλέχθηκε η τιμή 1,2 met. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε καθιστική κυρίως εργασία με κάποιες λίγες σε αριθμό και ήπιες μετακινήσεις. Τέλος για τον παράγοντα Ταχύτητα αέρα, θέσαμε μια τυπική ταχύτητα αέρα για δημοτικά κτίρια με τα χαρακτηριστικά του δημαρχείου του Sant Cugat και πιο συγκεκριμένα την τιμή 0,1 m/s.

## Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

PREDICTED (PMV)			Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	AMV for the PMV	ASHRAE filter (Category 4 0.5-cfm)
DATE	Time		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]			
10-Mar	0:00	1:00	22,655	22,65	0,15	50	0,9	1,2	0,00	4,71	Change set point
10-Mar	1:00	2:00	22,62	22,62	0,15	50	0,9	1,2	0,00	4,67	Change set point
10-Mar	2:00	3:00	22,5925	22,59	0,15	50	0,9	1,2	-0,01	4,63	Change set point
10-Mar	3:00	4:00	20,9725	20,97	0,15	50	0,9	1,2	-0,40	2,53	Change set point
10-Mar	4:00	5:00	22,435	22,43	0,15	50	0,9	1,2	-0,05	4,43	Change set point
10-Mar	5:00	6:00	22,41	22,41	0,15	50	0,9	1,2	-0,05	4,39	Change set point
10-Mar	6:00	7:00	22,5425	22,54	0,15	50	0,9	1,2	-0,02	4,57	Change set point
10-Mar	7:00	8:00	23,2325	23,23	0,15	50	0,9	1,2	0,14	5,47	Change set point
10-Mar	8:00	9:00	24,0425	24,04	0,15	50	0,9	1,2	0,34	6,53	Change set point
10-Mar	9:00	10:00	24,68	24,68	0,15	50	0,9	1,2	0,50	7,38	Change set point
10-Mar	10:00	11:00	24,92	24,92	0,15	50	0,9	1,2	0,55	7,70	Change set point
10-Mar	11:00	12:00	25,61333	25,61	0,15	50	0,9	1,2	0,72	8,62	Change set point
10-Mar	12:00	13:00	25,74	25,74	0,15	50	0,9	1,2	0,76	8,79	Change set point
10-Mar	13:00	14:00	25,865	25,86	0,15	50	0,9	1,2	0,79	8,95	Change set point
10-Mar	14:00	15:00	25,5775	25,58	0,15	50	0,9	1,2	0,72	8,57	Change set point
10-Mar	15:00	16:00	25,23	25,23	0,15	50	0,9	1,2	0,63	8,11	Change set point
10-Mar	16:00	17:00	24,975	24,97	0,15	50	0,9	1,2	0,57	7,77	Change set point
10-Mar	17:00	18:00	24,71	24,71	0,15	50	0,9	1,2	0,50	7,42	Change set point
10-Mar	18:00	19:00	24,435	24,43	0,15	50	0,9	1,2	0,44	7,05	Change set point
10-Mar	19:00	20:00	24,195	24,19	0,15	50	0,9	1,2	0,38	6,74	Change set point
10-Mar	20:00	21:00	23,985	23,98	0,15	50	0,9	1,2	0,33	6,46	Change set point
10-Mar	21:00	22:00	23,81	23,81	0,15	50	0,9	1,2	0,28	6,23	Change set point
10-Mar	22:00	23:00	23,685	23,68	0,15	50	0,9	1,2	0,25	6,06	Change set point
10-Mar	23:00	0:00	23,56	23,56	0,15	50	0,9	1,2	0,22	5,90	Change set point
11-Mar	0:00	1:00	23,465	23,46	0,15	50	0,9	1,2	0,20	5,77	Change set point
11-Mar	1:00	2:00	23,39	23,39	0,15	50	0,9	1,2	0,18	5,68	Change set point
11-Mar	2:00	3:00	23,325	23,32	0,15	50	0,9	1,2	0,17	5,59	Change set point
11-Mar	3:00	4:00	21,5775	21,58	0,15	50	0,9	1,2	-0,25	3,31	Change set point

**Σχήμα 5.16: Καρτέλα προσομοίωσης TCV**

Η προσομοίωση του μοντέλου της Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης εκτελέστηκε, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για εκείνους τους μήνες που το προτεινόμενο Setpoint από το μοντέλο της Προσαρμοστικής Άνεσης δεν συνείσφερε στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, η προσομοίωση περιορίστηκε στους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο του 2015 και τους μήνες Απρίλιο και Μάιο του 2016. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι δεν ήταν δυνατή η εκμετάλλευση της ανατροφοδότησης των χρηστών του κτιρίου στην οποία εν πολλοίς βασίζεται το μοντέλο. Ο λόγος που δεν κατέστησε δυνατή την λειτουργία αυτή, είναι ουσιαστικά το γεγονός ότι το OPTIMUS και πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή των σχεδίων δράσεων βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και έτσι δεν είναι διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα δεδομένα. Εντούτοις για την πληρότητα της εργασίας θα δείξουμε στο σημείο αυτό παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου σε εβδομάδες του Ιουνίου 2016 που αποτελεί επί της ουσίας τον πρώτο μήνα με πληθώρα δεδομένων σχετικά με την ανατροφοδότηση των χρηστών και έτσι μπορεί να μελετηθεί η επιρροή αυτού του παράγοντα στο τελικά προτεινόμενο Setpoint. Πιο συγκεκριμένα θα εξετάσουμε τις εβδομάδες 30/05-03/06 και 06/06-10/06. Το Setpoint που θα προκύψει θα αποτελέσει την θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος Θέρμανσης/Ψύξης για την επόμενη εβδομάδα της εκάστοτε εξεταζόμενης.

Για την εβδομάδα λοιπόν 30/05-03/06 κάναμε αρχικά χρήση της εσωτερικής θερμοκρασίας όπως αυτή καταγράφηκε από τον αντίστοιχο αισθητήρα. Όλα τα δεδομένα εισόδου πέρα από την ανατροφοδότηση των χρηστών φαίνονται ανά ημέρα στις παρακάτω εικόνες:

OBSERVED (OMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	OMV
Time		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]	
0:00	1:00	25,55	25,55	0,15	60,00	0,5	1,2	0,19
1:00	2:00	25,50	25,50	0,15	60,00	0,5	1,2	0,17
2:00	3:00	24,95	24,95	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
3:00	4:00	24,72	24,72	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,08
4:00	5:00	24,60	24,60	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,12
5:00	6:00	24,69	24,69	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,09
6:00	7:00	25,38	25,38	0,15	60,00	0,5	1,2	0,13
7:00	8:00	26,38	26,38	0,15	60,00	0,5	1,2	0,45
8:00	9:00	24,71	24,71	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,08
9:00	10:00	24,11	24,11	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,28
10:00	11:00	25,99	25,99	0,15	60,00	0,5	1,2	0,33
11:00	12:00	27,37	27,37	0,15	60,00	0,5	1,2	0,77
12:00	13:00	27,99	27,99	0,15	60,00	0,5	1,2	0,98
13:00	14:00	26,21	26,21	0,15	60,00	0,5	1,2	0,40
14:00	15:00	24,00	24,00	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
15:00	16:00	24,48	24,48	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,16
16:00	17:00	26,22	26,22	0,15	60,00	0,5	1,2	0,40
17:00	18:00	26,36	26,36	0,15	60,00	0,5	1,2	0,45
18:00	19:00	26,24	26,24	0,15	60,00	0,5	1,2	0,41
19:00	20:00	26,15	26,15	0,15	60,00	0,5	1,2	0,38
20:00	21:00	25,99	25,99	0,15	60,00	0,5	1,2	0,33
21:00	22:00	25,88	25,88	0,15	60,00	0,5	1,2	0,29
22:00	23:00	25,81	25,81	0,15	60,00	0,5	1,2	0,27
23:00	0:00	25,74	25,74	0,15	60,00	0,5	1,2	0,25
0:00	1:00	25,69	25,69	0,15	60,00	0,5	1,2	0,23
1:00	2:00	25,64	25,64	0,15	60,00	0,5	1,2	0,22
2:00	3:00	25,60	25,60	0,15	60,00	0,5	1,2	0,20
3:00	4:00	25,55	25,55	0,15	60,00	0,5	1,2	0,19
4:00	5:00	23,74	23,74	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,39
5:00	6:00	24,01	24,01	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

6:00	7:00	23,93	23,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
7:00	8:00	24,01	24,01	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
8:00	9:00	24,00	24,00	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
9:00	10:00	25,52	25,52	0,15	60,00	0,5	1,2	0,18
10:00	11:00	26,05	26,05	0,15	60,00	0,5	1,2	0,35
11:00	12:00	23,98	23,98	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
12:00	13:00	23,93	23,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
13:00	14:00	24,09	24,09	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,28
14:00	15:00	23,85	23,85	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,36
15:00	16:00	24,01	24,01	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
16:00	17:00	24,61	24,61	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,11
17:00	18:00	25,25	25,25	0,15	60,00	0,5	1,2	0,09
18:00	19:00	25,65	25,65	0,15	60,00	0,5	1,2	0,22
19:00	20:00	25,66	25,66	0,15	60,00	0,5	1,2	0,22
20:00	21:00	25,53	25,53	0,15	60,00	0,5	1,2	0,18
21:00	22:00	25,47	25,47	0,15	60,00	0,5	1,2	0,16
22:00	23:00	25,42	25,42	0,15	60,00	0,5	1,2	0,14
23:00	0:00	25,38	25,38	0,15	60,00	0,5	1,2	0,13
0:00	1:00	25,34	25,34	0,15	60,00	0,5	1,2	0,12
1:00	2:00	25,29	25,29	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
2:00	3:00	25,25	25,25	0,15	60,00	0,5	1,2	0,09
3:00	4:00	25,22	25,22	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
4:00	5:00	23,62	23,62	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,43
5:00	6:00	23,84	23,84	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,36
6:00	7:00	23,95	23,95	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
7:00	8:00	23,94	23,94	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
8:00	9:00	24,07	24,07	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,29
9:00	10:00	24,50	24,50	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,15
10:00	11:00	23,87	23,87	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,35
11:00	12:00	24,02	24,02	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
12:00	13:00	23,97	23,97	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
13:00	14:00	24,13	24,13	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,27
14:00	15:00	23,98	23,98	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
15:00	16:00	24,10	24,10	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,28
16:00	17:00	23,98	23,98	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
17:00	18:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
18:00	19:00	25,42	25,42	0,15	60,00	0,5	1,2	0,14
19:00	20:00	25,48	25,48	0,15	60,00	0,5	1,2	0,16



Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

20:00	21:00	25,37	25,37	0,15	60,00	0,5	1,2	0,13
21:00	22:00	25,28	25,28	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
22:00	23:00	25,22	25,22	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
23:00	0:00	25,16	25,16	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06
0:00	1:00	25,11	25,11	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
1:00	2:00	25,09	25,09	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
2:00	3:00	24,57	24,57	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,13
3:00	4:00	24,34	24,34	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,20
4:00	5:00	24,15	24,15	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,26
5:00	6:00	24,18	24,18	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,25
6:00	7:00	24,68	24,68	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,09
7:00	8:00	25,62	25,62	0,15	60,00	0,5	1,2	0,21
8:00	9:00	26,37	26,37	0,15	60,00	0,5	1,2	0,45
9:00	10:00	24,75	24,75	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,07
10:00	11:00	24,02	24,02	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,30
11:00	12:00	23,95	23,95	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
12:00	13:00	23,99	23,99	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
13:00	14:00	24,00	24,00	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
14:00	15:00	23,97	23,97	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
15:00	16:00	24,01	24,01	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
16:00	17:00	24,06	24,06	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,29
17:00	18:00	25,40	25,40	0,15	60,00	0,5	1,2	0,14
18:00	19:00	25,70	25,70	0,15	60,00	0,5	1,2	0,23
19:00	20:00	25,60	25,60	0,15	60,00	0,5	1,2	0,20
20:00	21:00	25,48	25,48	0,15	60,00	0,5	1,2	0,16
21:00	22:00	25,36	25,36	0,15	60,00	0,5	1,2	0,13
22:00	23:00	25,28	25,28	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
23:00	0:00	25,22	25,22	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
0:00	1:00	25,16	25,16	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06
1:00	2:00	25,11	25,11	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
2:00	3:00	25,09	25,09	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
3:00	4:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
4:00	5:00	23,49	23,49	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,47
5:00	6:00	23,87	23,87	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,35
6:00	7:00	24,06	24,06	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,29
7:00	8:00	24,04	24,04	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,30
8:00	9:00	23,94	23,94	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,33
9:00	10:00	23,98	23,98	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

10:00	11:00	19,19	19,19	0,15	60,00	0,5	1,2	-1,81
11:00	12:00	23,99	23,99	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
12:00	13:00	24,00	24,00	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
13:00	14:00	23,98	23,98	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
14:00	15:00	24,07	24,07	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,29
15:00	16:00	24,08	24,08	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,29
16:00	17:00	23,96	23,96	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,32
17:00	18:00	25,20	25,20	0,15	60,00	0,5	1,2	0,07
18:00	19:00	25,66	25,66	0,15	60,00	0,5	1,2	0,22
19:00	20:00	25,52	25,52	0,15	60,00	0,5	1,2	0,18
20:00	21:00	25,40	25,40	0,15	60,00	0,5	1,2	0,14
21:00	22:00	25,27	25,27	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
22:00	23:00	25,20	25,20	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
23:00	0:00	25,17	25,17	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06

Σχήμα 5.17: Καιρικά δεδομένα εβδομάδας 30/05-03/06

Στο σενάριο θα λάβουμε υπόψιν την ανατροφοδότηση από τους χρήστες. Το σενάριο που θα εξετάσουμε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

		ACTUAL (AMV)	User 1	User 2	User 3
DATE	Time				
30-Μαΐ	0:00 1:00				

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

30-Μαΐ	1:00	2:00			
30-Μαΐ	2:00	3:00			
30-Μαΐ	3:00	4:00			
30-Μαΐ	4:00	5:00			
30-Μαΐ	5:00	6:00			
30-Μαΐ	6:00	7:00			
30-Μαΐ	7:00	8:00			
30-Μαΐ	8:00	9:00			
30-Μαΐ	9:00	10:00			
30-Μαΐ	10:00	11:00			
30-Μαΐ	11:00	12:00			
30-Μαΐ	12:00	13:00			
30-Μαΐ	13:00	14:00			
30-Μαΐ	14:00	15:00	-0,5		
30-Μαΐ	15:00	16:00	-1,0		
30-Μαΐ	16:00	17:00	-0,5		
30-Μαΐ	17:00	18:00			
30-Μαΐ	18:00	19:00			
30-Μαΐ	19:00	20:00			
30-Μαΐ	20:00	21:00			
30-Μαΐ	21:00	22:00			
30-Μαΐ	22:00	23:00			
30-Μαΐ	23:00	0:00			
31-Μαΐ	0:00	1:00			
31-Μαΐ	1:00	2:00			
31-Μαΐ	2:00	3:00			
31-Μαΐ	3:00	4:00			
31-Μαΐ	4:00	5:00			
31-Μαΐ	5:00	6:00			
31-Μαΐ	6:00	7:00			
31-Μαΐ	7:00	8:00			
31-Μαΐ	8:00	9:00			
31-Μαΐ	9:00	10:00			
31-Μαΐ	10:00	11:00		-0,5	
31-Μαΐ	11:00	12:00		-1,0	
31-Μαΐ	12:00	13:00	-0,5	-1,5	
31-Μαΐ	13:00	14:00	-1,0	-2,0	
31-Μαΐ	14:00	15:00	-0,5	-2,5	
31-Μαΐ	15:00	16:00		-3,0	

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

31-Μαϊ	16:00	17:00		-2,5	
31-Μαϊ	17:00	18:00		-2,0	
31-Μαϊ	18:00	19:00		-1,5	
31-Μαϊ	19:00	20:00		-1,0	
31-Μαϊ	20:00	21:00		-0,5	
31-Μαϊ	21:00	22:00			
31-Μαϊ	22:00	23:00			
31-Μαϊ	23:00	0:00			
1-Ιουν	0:00	1:00			
1-Ιουν	1:00	2:00			
1-Ιουν	2:00	3:00			
1-Ιουν	3:00	4:00		-0,5	
1-Ιουν	4:00	5:00		-1,0	-0,5
1-Ιουν	5:00	6:00		-1,5	-1,0
1-Ιουν	6:00	7:00		-2,0	-1,5
1-Ιουν	7:00	8:00		-2,5	-2,0
1-Ιουν	8:00	9:00		-3,0	-2,5
1-Ιουν	9:00	10:00		-2,5	-3,0
1-Ιουν	10:00	11:00		-2,0	-2,5
1-Ιουν	11:00	12:00		-1,5	-2,0
1-Ιουν	12:00	13:00		-1,0	-1,5
1-Ιουν	13:00	14:00		-0,5	-1,0
1-Ιουν	14:00	15:00			-0,5
1-Ιουν	15:00	16:00			
1-Ιουν	16:00	17:00			
1-Ιουν	17:00	18:00			
1-Ιουν	18:00	19:00			
1-Ιουν	19:00	20:00			
1-Ιουν	20:00	21:00			
1-Ιουν	21:00	22:00			
1-Ιουν	22:00	23:00			
1-Ιουν	23:00	0:00			
2-Ιουν	0:00	1:00			
2-Ιουν	1:00	2:00			
2-Ιουν	2:00	3:00			
2-Ιουν	3:00	4:00			
2-Ιουν	4:00	5:00			
2-Ιουν	5:00	6:00			
2-Ιουν	6:00	7:00			

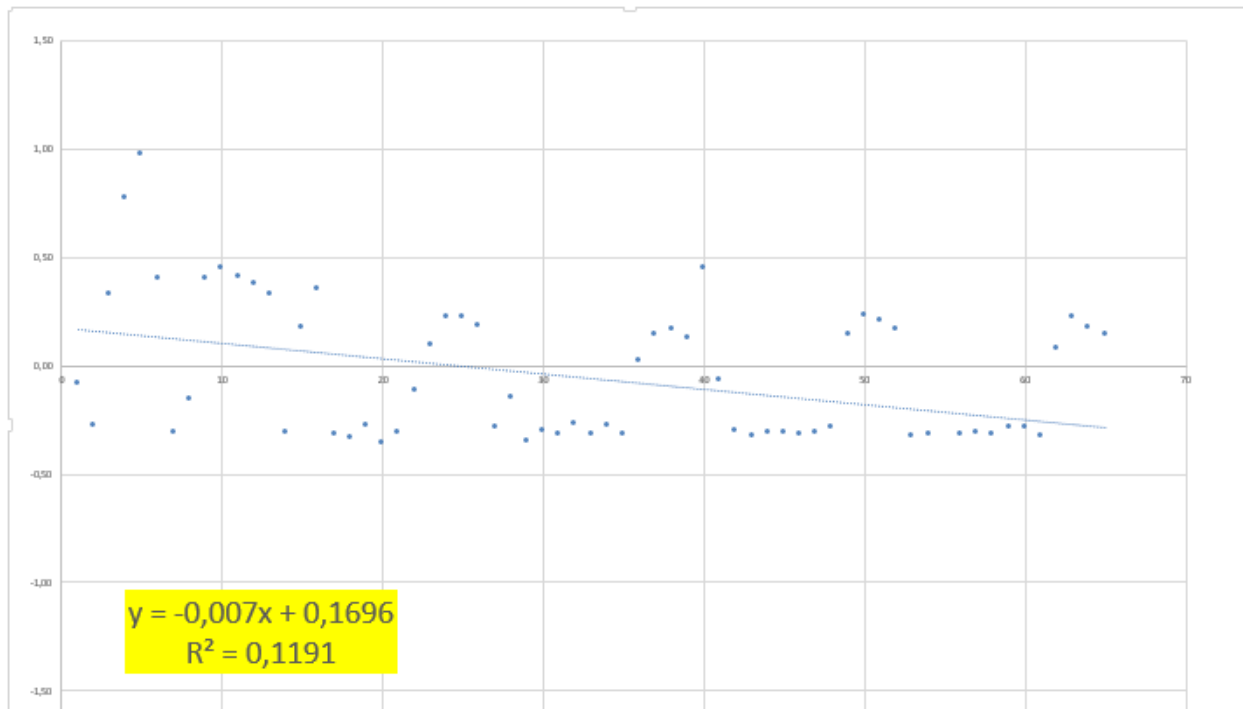
Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

2-Ιουν	7:00	8:00	-0,5		-0,5
2-Ιουν	8:00	9:00	-1,0		-1,0
2-Ιουν	9:00	10:00	-1,5		-1,5
2-Ιουν	10:00	11:00	-2,0	0,0	-2,0
2-Ιουν	11:00	12:00	-2,5		-2,5
2-Ιουν	12:00	13:00	-3,0		-3,0
2-Ιουν	13:00	14:00	-2,5		-2,5
2-Ιουν	14:00	15:00	-2,0		-2,0
2-Ιουν	15:00	16:00	-1,5		-1,5
2-Ιουν	16:00	17:00	-1,0		-1,0
2-Ιουν	17:00	18:00	-0,5		-0,5
2-Ιουν	18:00	19:00			
2-Ιουν	19:00	20:00			
2-Ιουν	20:00	21:00			
2-Ιουν	21:00	22:00			
2-Ιουν	22:00	23:00			
2-Ιουν	23:00	0:00			
3-Ιουν	0:00	1:00			
3-Ιουν	1:00	2:00			
3-Ιουν	2:00	3:00			
3-Ιουν	3:00	4:00			
3-Ιουν	4:00	5:00			
3-Ιουν	5:00	6:00			
3-Ιουν	6:00	7:00			
3-Ιουν	7:00	8:00			
3-Ιουν	8:00	9:00	-0,5	-0,5	-0,5
3-Ιουν	9:00	10:00	-1,0	-1,0	-1,0
3-Ιουν	10:00	11:00	-1,5	-1,5	-1,5
3-Ιουν	11:00	12:00	-2,0	-2,0	-2,0
3-Ιουν	12:00	13:00	-2,5	-2,5	-2,5
3-Ιουν	13:00	14:00	-3,0	-3,0	-3,0
3-Ιουν	14:00	15:00	-2,5	-2,5	-2,5
3-Ιουν	15:00	16:00	-2,0	-2,0	-2,0
3-Ιουν	16:00	17:00	-1,5	-1,5	-1,5
3-Ιουν	17:00	18:00	-1,0	-1,0	-1,0
3-Ιουν	18:00	19:00	-0,5	-0,5	-0,5
3-Ιουν	19:00	20:00			
3-Ιουν	20:00	21:00			
3-Ιουν	21:00	22:00			

3-Ιουν	22:00	23:00			
3-Ιουν	23:00	0:00			

Σχήμα 5.18: Ανατροφοδότηση Χρηστών εβδομάδας 30/05-03/06

Έτσι η προκύπτουσα ευθεία είναι:



Σχήμα 5.19: Προκύπτουσα ευθεία εβδομάδας 30/05-03/06

Και το τελικό Setpoint:

**Step 8: Find the temperature that gives this OMV (by solving the PMV<sup>-1</sup> equation, with all the other values considered as the average of weekly data)**

Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	
24,44	24,44	0,1	60	0,5	1,2	-0,0178

Σχήμα 5.20: Επιλογή τελικού Setpoint Εβδομάδα; 30/05-03/06

το οποίο είναι **24,08 C°**.

Για την έταιρη εβδομάδα 06/06-10/06 έχουμε:

OBSERVED (OMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	OMV
Time		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]	
0:00	1:00	25,79	25,79	0,15	60,00	0,5	1,2	0,26
1:00	2:00	25,75	25,75	0,15	60,00	0,5	1,2	0,25
2:00	3:00	25,71	25,71	0,15	60,00	0,5	1,2	0,24
3:00	4:00	25,70	25,70	0,15	60,00	0,5	1,2	0,23
4:00	5:00	23,46	23,46	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,48
5:00	6:00	24,09	24,09	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,28
6:00	7:00	24,00	24,00	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,31
7:00	8:00	24,25	24,25	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,23
8:00	9:00	24,88	24,88	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,03
9:00	10:00	25,28	25,28	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
10:00	11:00	27,18	27,18	0,15	60,00	0,5	1,2	0,71
11:00	12:00	24,93	24,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
12:00	13:00	25,02	25,02	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
13:00	14:00	24,96	24,96	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
14:00	15:00	24,96	24,96	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
15:00	16:00	24,98	24,98	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
16:00	17:00	25,14	25,14	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
17:00	18:00	26,30	26,30	0,15	60,00	0,5	1,2	0,43

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

18:00	19:00	26,49	26,49	0,15	60,00	0,5	1,2	0,49
19:00	20:00	26,30	26,30	0,15	60,00	0,5	1,2	0,43
20:00	21:00	26,18	26,18	0,15	60,00	0,5	1,2	0,39
21:00	22:00	26,12	26,12	0,15	60,00	0,5	1,2	0,37
22:00	23:00	26,04	26,04	0,15	60,00	0,5	1,2	0,34
23:00	0:00	25,95	25,95	0,15	60,00	0,5	1,2	0,32
0:00	1:00	25,90	25,90	0,15	60,00	0,5	1,2	0,30
1:00	2:00	25,85	25,85	0,15	60,00	0,5	1,2	0,28
2:00	3:00	25,81	25,81	0,15	60,00	0,5	1,2	0,27
3:00	4:00	25,76	25,76	0,15	60,00	0,5	1,2	0,25
4:00	5:00	24,59	24,59	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,12
5:00	6:00	24,99	24,99	0,15	60,00	0,5	1,2	0,01
6:00	7:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
7:00	8:00	24,81	24,81	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,05
8:00	9:00	24,93	24,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
9:00	10:00	25,10	25,10	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
10:00	11:00	24,91	24,91	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
11:00	12:00	25,10	25,10	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
12:00	13:00	25,02	25,02	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
13:00	14:00	24,89	24,89	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
14:00	15:00	25,02	25,02	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
15:00	16:00	24,90	24,90	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
16:00	17:00	25,02	25,02	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
17:00	18:00	26,95	26,95	0,15	60,00	0,5	1,2	0,64
18:00	19:00	26,89	26,89	0,15	60,00	0,5	1,2	0,62
19:00	20:00	26,76	26,76	0,15	60,00	0,5	1,2	0,58
20:00	21:00	26,72	26,72	0,15	60,00	0,5	1,2	0,56
21:00	22:00	26,61	26,61	0,15	60,00	0,5	1,2	0,53
22:00	23:00	26,47	26,47	0,15	60,00	0,5	1,2	0,48
23:00	0:00	26,21	26,21	0,15	60,00	0,5	1,2	0,40
0:00	1:00	26,15	26,15	0,15	60,00	0,5	1,2	0,38
1:00	2:00	26,10	26,10	0,15	60,00	0,5	1,2	0,36
2:00	3:00	26,03	26,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,34
3:00	4:00	26,00	26,00	0,15	60,00	0,5	1,2	0,33
4:00	5:00	24,93	24,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
5:00	6:00	25,06	25,06	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
6:00	7:00	24,93	24,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
7:00	8:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02



Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

8:00	9:00	24,98	24,98	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
9:00	10:00	25,05	25,05	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
10:00	11:00	24,91	24,91	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
11:00	12:00	25,25	25,25	0,15	60,00	0,5	1,2	0,09
12:00	13:00	25,24	25,24	0,15	60,00	0,5	1,2	0,09
13:00	14:00	25,23	25,23	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
14:00	15:00	25,21	25,21	0,15	60,00	0,5	1,2	0,08
15:00	16:00	25,20	25,20	0,15	60,00	0,5	1,2	0,07
16:00	17:00	25,19	25,19	0,15	60,00	0,5	1,2	0,07
17:00	18:00	25,18	25,18	0,15	60,00	0,5	1,2	0,07
18:00	19:00	25,16	25,16	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06
19:00	20:00	25,15	25,15	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06
20:00	21:00	25,14	25,14	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
21:00	22:00	25,13	25,13	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
22:00	23:00	25,12	25,12	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
23:00	0:00	25,10	25,10	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
0:00	1:00	25,09	25,09	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
1:00	2:00	25,08	25,08	0,15	60,00	0,5	1,2	0,04
2:00	3:00	25,07	25,07	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
3:00	4:00	25,06	25,06	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
4:00	5:00	25,04	25,04	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
5:00	6:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
6:00	7:00	25,02	25,02	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
7:00	8:00	25,01	25,01	0,15	60,00	0,5	1,2	0,01
8:00	9:00	24,99	24,99	0,15	60,00	0,5	1,2	0,01
9:00	10:00	24,98	24,98	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
10:00	11:00	24,97	24,97	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
11:00	12:00	24,96	24,96	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
12:00	13:00	24,95	24,95	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
13:00	14:00	24,93	24,93	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
14:00	15:00	24,92	24,92	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
15:00	16:00	24,91	24,91	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,02
16:00	17:00	25,06	25,06	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
17:00	18:00	26,74	26,74	0,15	60,00	0,5	1,2	0,57
18:00	19:00	27,15	27,15	0,15	60,00	0,5	1,2	0,70
19:00	20:00	26,95	26,95	0,15	60,00	0,5	1,2	0,64
20:00	21:00	26,88	26,88	0,15	60,00	0,5	1,2	0,62
21:00	22:00	26,91	26,91	0,15	60,00	0,5	1,2	0,63

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

22:00	23:00	26,75	26,75	0,15	60,00	0,5	1,2	0,57
23:00	0:00	26,61	26,61	0,15	60,00	0,5	1,2	0,53
0:00	1:00	26,51	26,51	0,15	60,00	0,5	1,2	0,50
1:00	2:00	26,46	26,46	0,15	60,00	0,5	1,2	0,48
2:00	3:00	26,40	26,40	0,15	60,00	0,5	1,2	0,46
3:00	4:00	26,36	26,36	0,15	60,00	0,5	1,2	0,45
4:00	5:00	25,12	25,12	0,15	60,00	0,5	1,2	0,05
5:00	6:00	25,05	25,05	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
6:00	7:00	24,85	24,85	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,04
7:00	8:00	25,07	25,07	0,15	60,00	0,5	1,2	0,03
8:00	9:00	25,17	25,17	0,15	60,00	0,5	1,2	0,06
9:00	10:00	25,03	25,03	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
10:00	11:00	25,04	25,04	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
11:00	12:00	24,94	24,94	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,01
12:00	13:00	25,27	25,27	0,15	60,00	0,5	1,2	0,10
13:00	14:00	25,00	25,00	0,15	60,00	0,5	1,2	0,01
14:00	15:00	25,04	25,04	0,15	60,00	0,5	1,2	0,02
15:00	16:00	24,96	24,96	0,15	60,00	0,5	1,2	0,00
16:00	17:00	24,76	24,76	0,15	60,00	0,5	1,2	-0,07
17:00	18:00	26,52	26,52	0,15	60,00	0,5	1,2	0,50
18:00	19:00	26,97	26,97	0,15	60,00	0,5	1,2	0,65
19:00	20:00	26,93	26,93	0,15	60,00	0,5	1,2	0,63
20:00	21:00	26,94	26,94	0,15	60,00	0,5	1,2	0,64
21:00	22:00	26,96	26,96	0,15	60,00	0,5	1,2	0,64
22:00	23:00	26,88	26,88	0,15	60,00	0,5	1,2	0,62
23:00	0:00	26,73	26,73	0,15	60,00	0,5	1,2	0,57

Σχήμα 5.20: Δεδομένα καιρού Εβδομάδας 06/06-10/06

ενώ όσον αφορά την ανατροφοδότηση έχουμε:

DATE	Time				
6-Ιουν	0:00	1:00			
6-Ιουν	1:00	2:00			
6-Ιουν	2:00	3:00			
6-Ιουν	3:00	4:00			
6-Ιουν	4:00	5:00			

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

6-Ιουν	5:00	6:00			
6-Ιουν	6:00	7:00		-0,5	
6-Ιουν	7:00	8:00		-1,0	
6-Ιουν	8:00	9:00		-1,5	
6-Ιουν	9:00	10:00		-2,0	
6-Ιουν	10:00	11:00		-2,5	
6-Ιουν	11:00	12:00		-3,0	
6-Ιουν	12:00	13:00	-0,5	-2,5	
6-Ιουν	13:00	14:00	-1,0	-2,0	
6-Ιουν	14:00	15:00	-1,5	-1,5	
6-Ιουν	15:00	16:00	-2,0	-1,0	
6-Ιουν	16:00	17:00	-1,5	-0,5	
6-Ιουν	17:00	18:00	-1,0		
6-Ιουν	18:00	19:00	-0,5		
6-Ιουν	19:00	20:00			
6-Ιουν	20:00	21:00			
6-Ιουν	21:00	22:00			
6-Ιουν	22:00	23:00			
6-Ιουν	23:00	0:00			
7-Ιουν	0:00	1:00			
7-Ιουν	1:00	2:00			
7-Ιουν	2:00	3:00			
7-Ιουν	3:00	4:00			
7-Ιουν	4:00	5:00			
7-Ιουν	5:00	6:00			
7-Ιουν	6:00	7:00		-0,5	
7-Ιουν	7:00	8:00		-1,0	
7-Ιουν	8:00	9:00		-1,5	
7-Ιουν	9:00	10:00		-2,0	
7-Ιουν	10:00	11:00		-2,5	
7-Ιουν	11:00	12:00		-3,0	
7-Ιουν	12:00	13:00	-0,5	-2,5	
7-Ιουν	13:00	14:00	-1,0	-2,0	
7-Ιουν	14:00	15:00	-1,5	-1,5	
7-Ιουν	15:00	16:00	-2,0	-1,0	
7-Ιουν	16:00	17:00	-1,5	-0,5	
7-Ιουν	17:00	18:00	-1,0		
7-Ιουν	18:00	19:00	-0,5		
7-Ιουν	19:00	20:00			

Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

7-Ιουν	20:00	21:00			
7-Ιουν	21:00	22:00			
7-Ιουν	22:00	23:00			
7-Ιουν	23:00	0:00			
8-Ιουν	0:00	1:00			
8-Ιουν	1:00	2:00			
8-Ιουν	2:00	3:00			
8-Ιουν	3:00	4:00			
8-Ιουν	4:00	5:00			
8-Ιουν	5:00	6:00	-0,5	-0,5	-0,5
8-Ιουν	6:00	7:00	-1,0	-1,0	-1,0
8-Ιουν	7:00	8:00	-1,5	-1,5	-1,5
8-Ιουν	8:00	9:00	-2,0	-2,0	-2,0
8-Ιουν	9:00	10:00	-2,5	-2,5	-2,5
8-Ιουν	10:00	11:00	-3,0	-3,0	-3,0
8-Ιουν	11:00	12:00	-2,5	-2,5	-2,5
8-Ιουν	12:00	13:00	-2,0	-2,0	-2,0
8-Ιουν	13:00	14:00	-1,5	-1,5	-1,5
8-Ιουν	14:00	15:00	-1,0	-1,0	-1,0
8-Ιουν	15:00	16:00	-0,5	-0,5	-0,5
8-Ιουν	16:00	17:00			
8-Ιουν	17:00	18:00			
8-Ιουν	18:00	19:00			
8-Ιουν	19:00	20:00			
8-Ιουν	20:00	21:00			
8-Ιουν	21:00	22:00			
8-Ιουν	22:00	23:00			
8-Ιουν	23:00	0:00			
9-Ιουν	0:00	1:00			
9-Ιουν	1:00	2:00			
9-Ιουν	2:00	3:00			

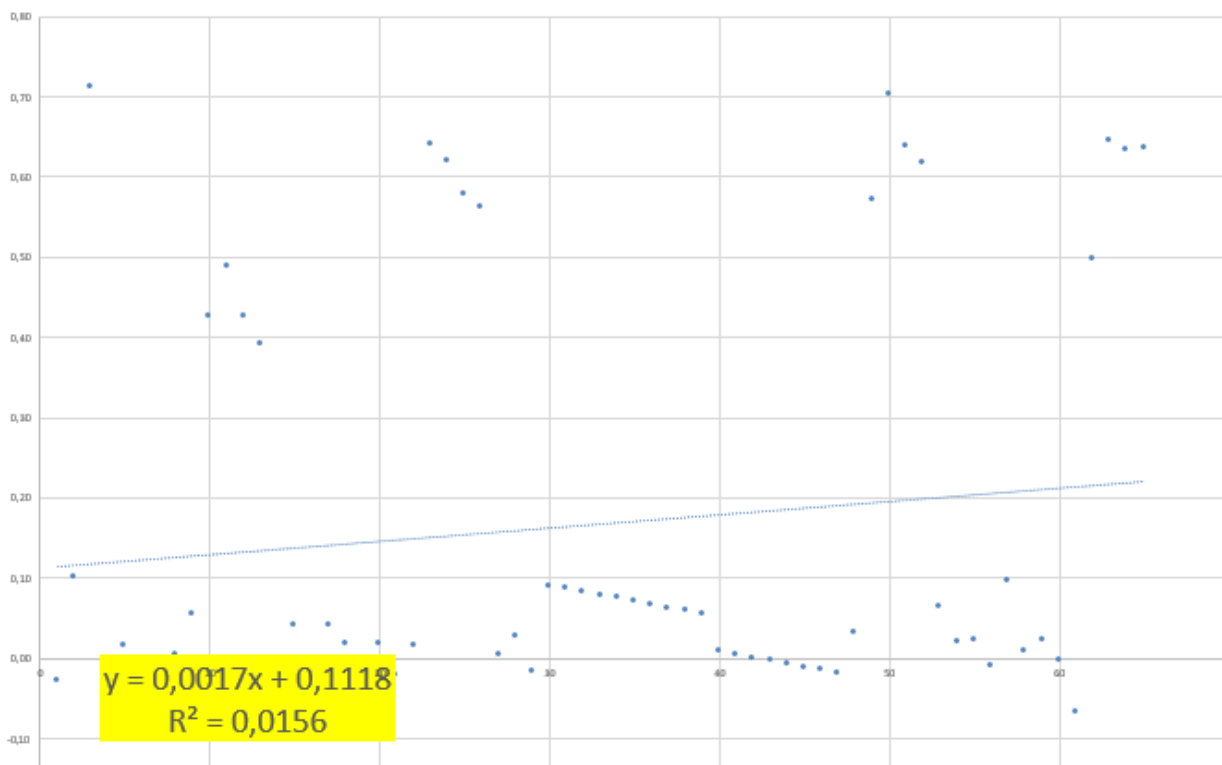
Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

9-Ιουν	3:00	4:00			
9-Ιουν	4:00	5:00			
9-Ιουν	5:00	6:00			
9-Ιουν	6:00	7:00			
9-Ιουν	7:00	8:00			
9-Ιουν	8:00	9:00			
9-Ιουν	9:00	10:00			
9-Ιουν	10:00	11:00			
9-Ιουν	11:00	12:00			
9-Ιουν	12:00	13:00			
9-Ιουν	13:00	14:00			
9-Ιουν	14:00	15:00			
9-Ιουν	15:00	16:00			
9-Ιουν	16:00	17:00			
9-Ιουν	17:00	18:00			
9-Ιουν	18:00	19:00			
9-Ιουν	19:00	20:00			
9-Ιουν	20:00	21:00			
9-Ιουν	21:00	22:00			
9-Ιουν	22:00	23:00			
9-Ιουν	23:00	0:00			
10-Ιουν	0:00	1:00			
10-Ιουν	1:00	2:00			
10-Ιουν	2:00	3:00			
10-Ιουν	3:00	4:00			
10-Ιουν	4:00	5:00			
10-Ιουν	5:00	6:00			
10-Ιουν	6:00	7:00			
10-Ιουν	7:00	8:00			
10-Ιουν	8:00	9:00			
10-Ιουν	9:00	10:00			
10-Ιουν	10:00	11:00			
10-Ιουν	11:00	12:00			
10-Ιουν	12:00	13:00			
10-Ιουν	13:00	14:00			
10-Ιουν	14:00	15:00			
10-Ιουν	15:00	16:00			
10-Ιουν	16:00	17:00			
10-Ιουν	17:00	18:00			

10-Ιουν	18:00	19:00			
10-Ιουν	19:00	20:00			
10-Ιουν	20:00	21:00			
10-Ιουν	21:00	22:00			
10-Ιουν	22:00	23:00			
10-Ιουν	23:00	0:00			

Σχήμα 5.21: Ανατροφοδότηση χρηστών εβδομάδας 06/06-10/06

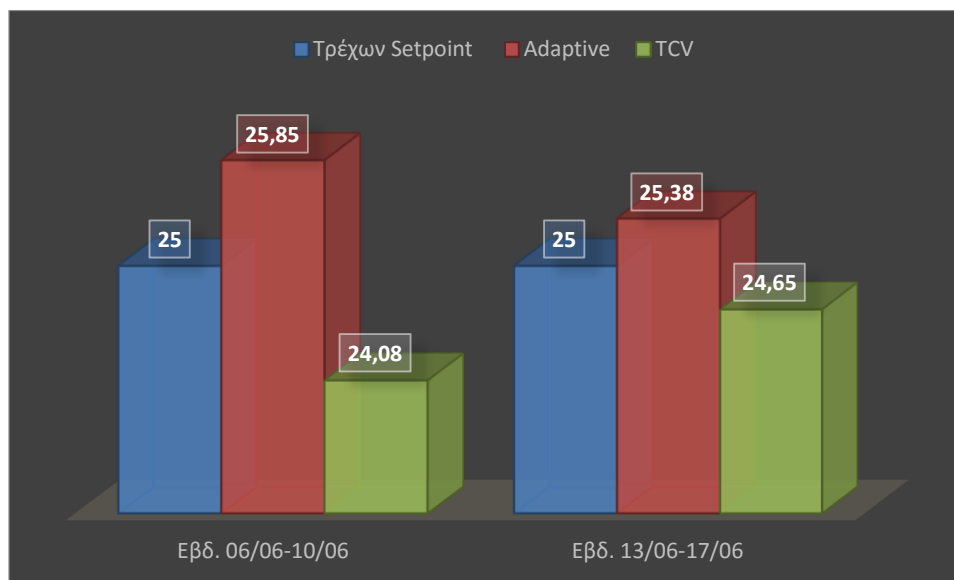
Συνεπώς η προκύπτουσα ευθεία είναι:



Σχήμα 5.22: Προκύπτουσα ευθεία εβδομάδας 06/06-10/06

Και το τελικό Setpoint θα είναι **24,65 C°**.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα έχει να δούμε ποιά είναι το προτεινόμενο Setpoint για τις αντίστοιχες εβδομάδες από το έταιρο μοντέλο αυτό της προσαρμοστικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα το Setpoint είναι για την εβδομάδα 06/06-10/06 **25,85C°** και για την εβδομάδα 13/06-17/06 **25,38C°**. Η διαφορά τους γίνεται πιο εύκολα κατανοητή μέσω του παρακάτω διαγράμματος:



Σχήμα 5.23: Σύγκριση Μοντέλων για τις εβδομάδες 06/06-10/06 και 13/06-17/06

Την ίδια διαδικασία επαναλάβαμε για όλους τους μήνες που μας ενδιέφεραν δημιουργώντας δικά μας σενάρια σχετικά με την ανατροφοδότηση των χρηστών, που για λόγους συντομίας δεν αναφέρουμε στο σημείο αυτό. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση για τους εξεταζόμενους μήνες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 5.3: Προτεινόμενα Setpoints από το μοντέλο Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης**

Μήνας	Τρέχων Setpoint	Προτεινόμενο Setpoint	Διαφορά
Μάιος 2016	25	26,51	+1,51
Απρίλιος 2016	23	21,31	+1,69
Οκτώβριος 2015	23	21,31	+1,69
Νοέμβριος 2015	23	21,31	+1,69

Όπως εύκολα μπορεί κανείς να παρατηρήσει, το προτεινόμενο Setpoint είναι ίδιο για όλους τους μήνες που ανήκουν στην χειμερινή περίοδο, όπως την ορίσαμε νωρίτερα στο κεφάλαιο. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην μεγάλη επίδραση που έχουν στην τελική εξαγωγή του Setpoint παράγοντες όπως η μόνωση ρουχισμού, ο μεταβολικός ρυθμός και η ταχύτητα αέρα που μένουν σταθεροί για αυτούς τους μήνες.

### 5.2.3 Ενσωμάτωση των Μοντέλων και Τελικά Αποτελέσματα της Προσομοίωσης

Στο επόμενο βήμα της προσομοίωσης, ενσωματώνουμε στα τελικά αποτελέσματα και στο τελικό Setpoint τα αποτελέσματα από τις δύο επιμέρους προσομοιώσεις των δύο μοντέλων Θερμικής Άνεσης που αναφέραμε. Για κάθε μήνα επιλέγεται εκείνο το Setpoint που είναι “ενεργειακά πιο αποδοτικό” δηλαδή αναμένεται να συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας, κόστους και στην μείωση των εκπομπών άνθρακα. Είναι προφανές ότι για τους μήνες που εφαρμόστηκε μόνο το μοντέλο της «Προσαρμοστικής Άνεσης», το Setpoint θα προκύψει αποκλειστικά από αυτό. Αντίθετα στους υπόλοιπους μήνες που έγινε

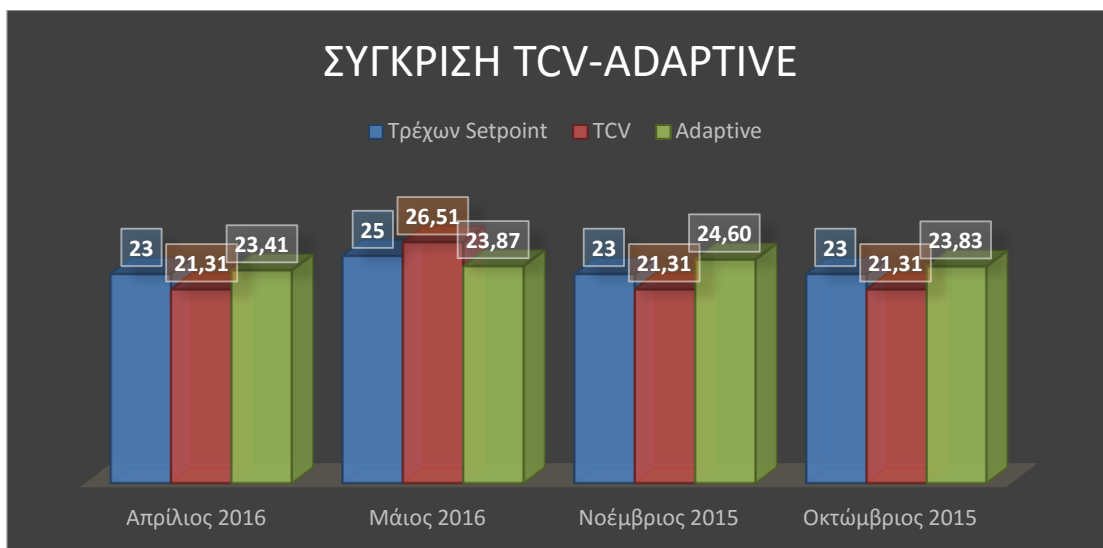
προσομοίωση και του μοντέλου της «Επικύρωσης της θερμικής Άνεσης» το Setpoint θα προκύψει έπειτα από την σύγκριση των δύο προτεινόμενων Setpoint. Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων ενοτήτων σχηματίζουμε τον ακόλουθο πίνακα που θα μας βοηθήσει στην σύγκριση των δύο μοντέλων:

**Πίνακας 5.4: Σύγκριση των προτεινόμενων Setpoint των δύο μοντέλων**

Μήνας	Διαφορά Adaptive	Λόγω	Διαφορά λόγω TCV	Διαφορά μεταξύ των δύο(Υπερ TCV)
Μάιος 2016	-1,13		+1,51	+2,64
Απρίλιος 2016	-0,41		+1,69	+2,10
Οκτώβριος 2015	-1,6		+1,69	+3,29
Νοέμβριος 2015	-0,83		+1,69	+2,52

Από τον παραπάνω πίνακα είναι ορατή η υπεροχή του μοντέλου της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης» σε σύγκριση με αυτό της «Προσαρμοστικής Άνεσης». Πιο συγκεκριμένα η βελτίωση που επιφέρει η εφαρμογή του πρώτου μοντέλου στο Setpoint κυμαίνεται μεταξύ 2,1 και 3,29 C°. Αν μεταφράσουμε αυτή την διαφορά σε διαφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας μιλάμε για μια τεράστια βελτίωση που μπορεί να φτάσει και το 20%!

Η διαφορά αυτή μπορεί να φανεί ακόμα πιο εύκολα μέσω των ακόλουθων διαγραμμάτων:



**Σχήμα 5.24: Σύγκριση των δύο μοντέλων**

Έτσι λοιπόν ακολουθεί ο πίνακας με τα προτεινόμενα Setpoint όπως αυτά έχουν προκύψει από τον συνδυασμό των δύο μοντέλων:

**Πίνακας 5.5: Τελικό Προτεινόμενο Setpoint**

Μήνας	Tρέχων Setpoint	Προτεινόμενο Setpoint	Διαφορά

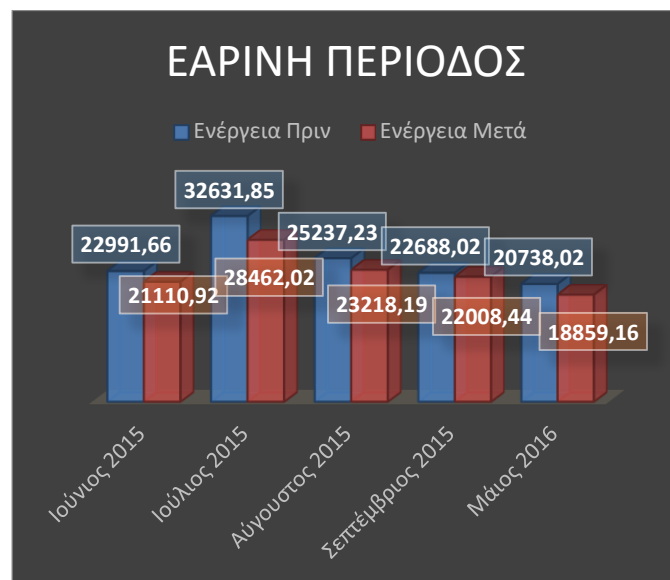


Ανάλυση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων από την Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων Κτιρίου

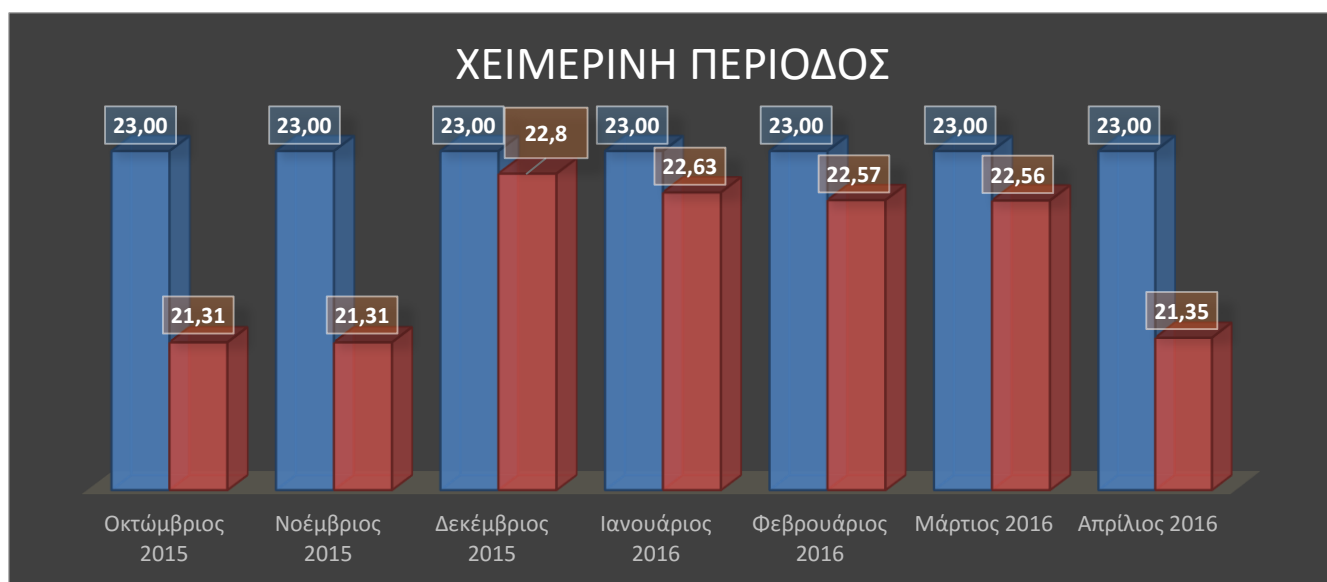
Ιούνιος 2015	25	26,36	+1,36
Ιούλιος 2015	25	27,13	+2,13
Αύγουστος 2015	25	26,33	+1,33
Σεπτέμβριος 2015	25	25,50	+0,5
Οκτώβριος 2015	23	21,31	+1,69
Νοέμβριος 2015	23	21,31	+1,69
Δεκέμβριος 2015	23	22,8	+0,2
Ιανουάριος 2016	23	22,63	+0,37
Φεβρουάριος 2016	23	22,57	+0,43
Μάρτιος 2016	23	22,56	+0,44
Απρίλιος 2016	23	21,31	+1,69
Μάιος 2016	25	26,51	+1,51



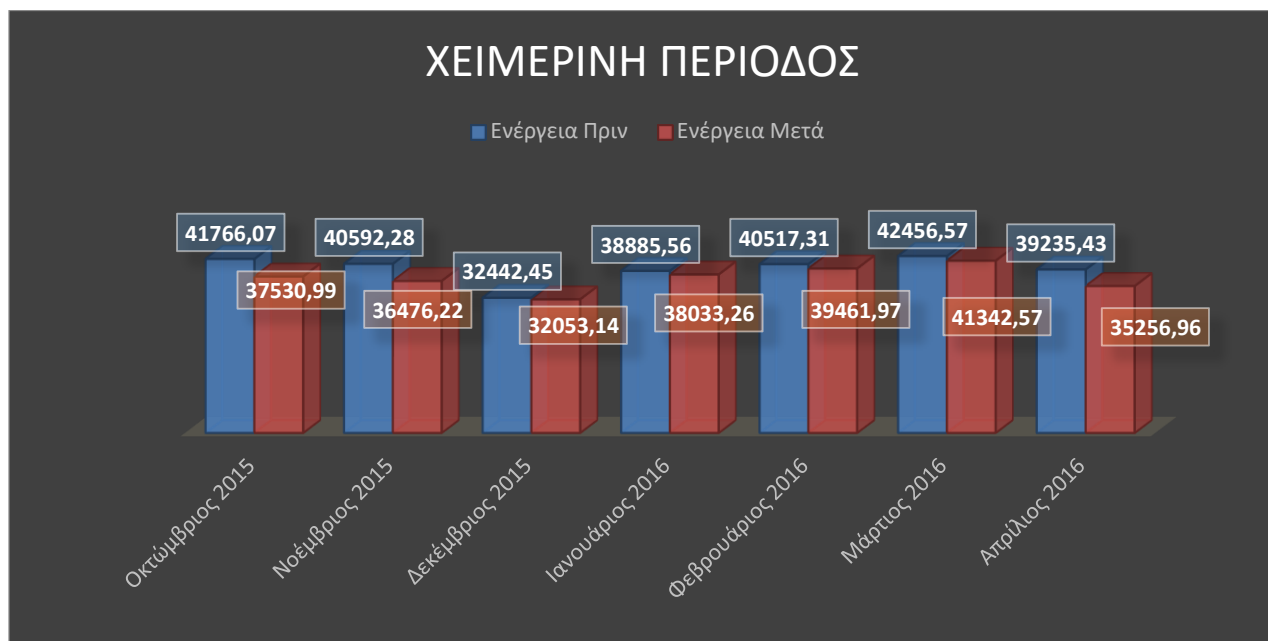
Σχήμα 5.25: Σύγκριση Setpoint (εαρινή περ.)



Σχήμα 5.26: Σύγκριση Ενέργειας (εαρινή περ.)

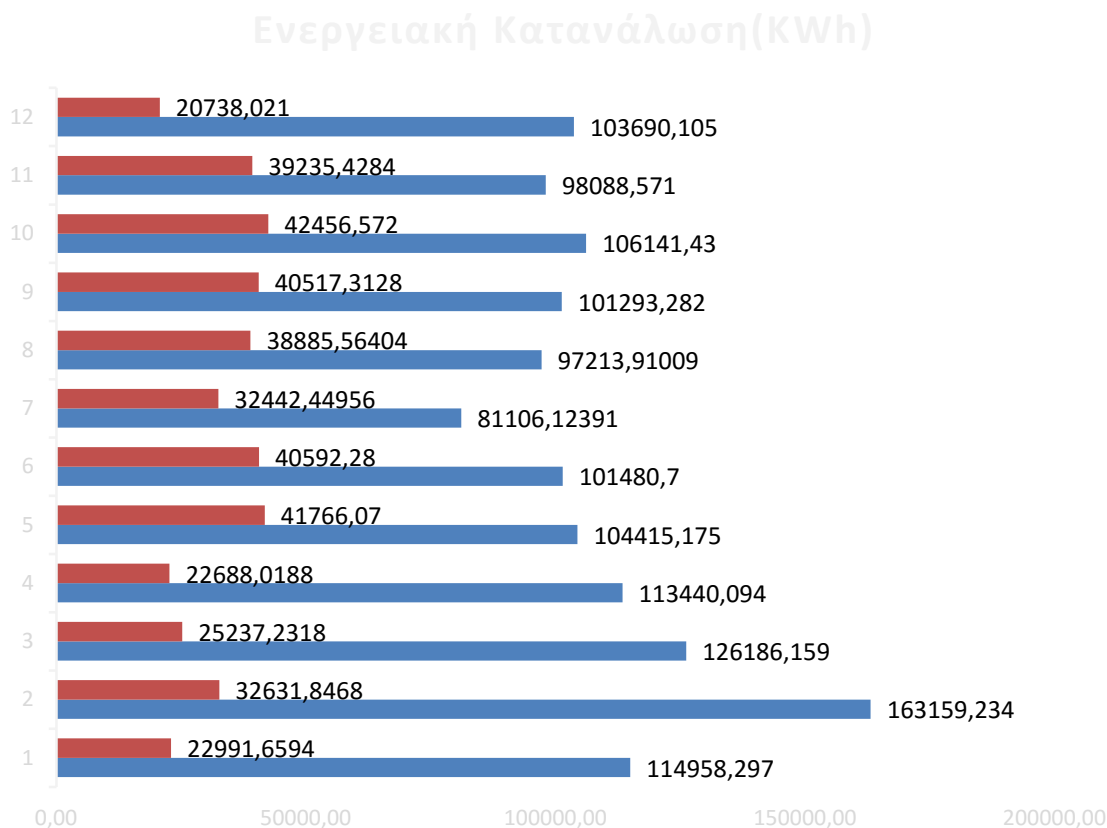


Σχήμα 5.27: Σύγκριση Setpoint (χειμερινή περ.)



**Σχήμα 5.28: Σύγκριση Ενέργειας (χειμερινή περ.)**

Σύμφωνα με τον αισθητήρα Total Energy που καταγράφει την ενεργειακή κατανάλωση σε ωριαία βάση, η ενέργεια που καταναλώθηκε για την περίοδο που εξετάζουμε (Ιούνιος 2015 – Μάιος 2016) φαίνεται στο παρακάτω γράφημα:



**Σχήμα 5.29: Ενεργειακή Κατανάλωση**

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται τόσο η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Όπως φαίνεται, για την ψύξη του κτιρίου δαπανάται το 20% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ για την θέρμανση το 40%.

Όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 και αναγράφεται σε διεθνή βιβλιογραφία κάθε βελτίωση του Setpoint κατά 1 C° έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 5-6%. Αυτό το ποσοστό της εξοικονόμησης επιτυγχάνεται επί της ενέργειας που δαπανάται για την θέρμανση ή την ψύξη του κτιρίου ανάλογα αν μιλάμε για χειμερινή ή εαρινή περίοδο αντίστοιχα.

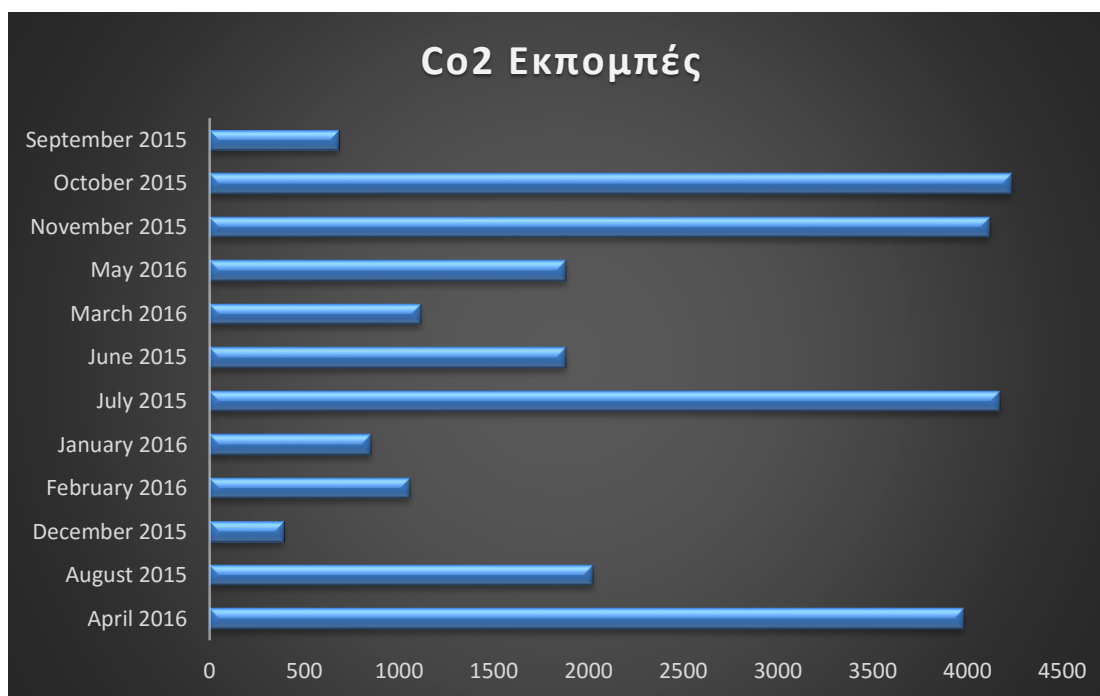
Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα στο κεφάλαιο πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας, μας ενδιαφέρει η εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και η μείωση της εκπομπής άνθρακα. Για τον υπολογισμό των δύο επιπλέον δεικτών είναι απαραίτητη αφενός η μελέτη του συμβολαίου παροχής ενέργειας που χει συνάψει το δημοτικό κτίριο και αφετέρου το ποσό άνθρακα που εκπέμπεται λόγω της κατανάλωσης 1 KWh ηλεκτρικής ενέργειας. Με βάση το συμβόλαιο με την εταιρεία παροχής ενέργειας το δημοτικό κτίριο χρεώνεται με 0,158€ την KWh, ενώ όσον αφορά τις εκπομπές άνθρακα κάθε KWh επιβαρύνει το περιβάλλον με 0,00044 τόνους [26].

Με βάση τους συντελεστές αυτούς προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας όπου φαίνεται η εξοικονόμηση ενέργειας, χρημάτων και η μείωση εκπομπών σε μηνιαία βάση:

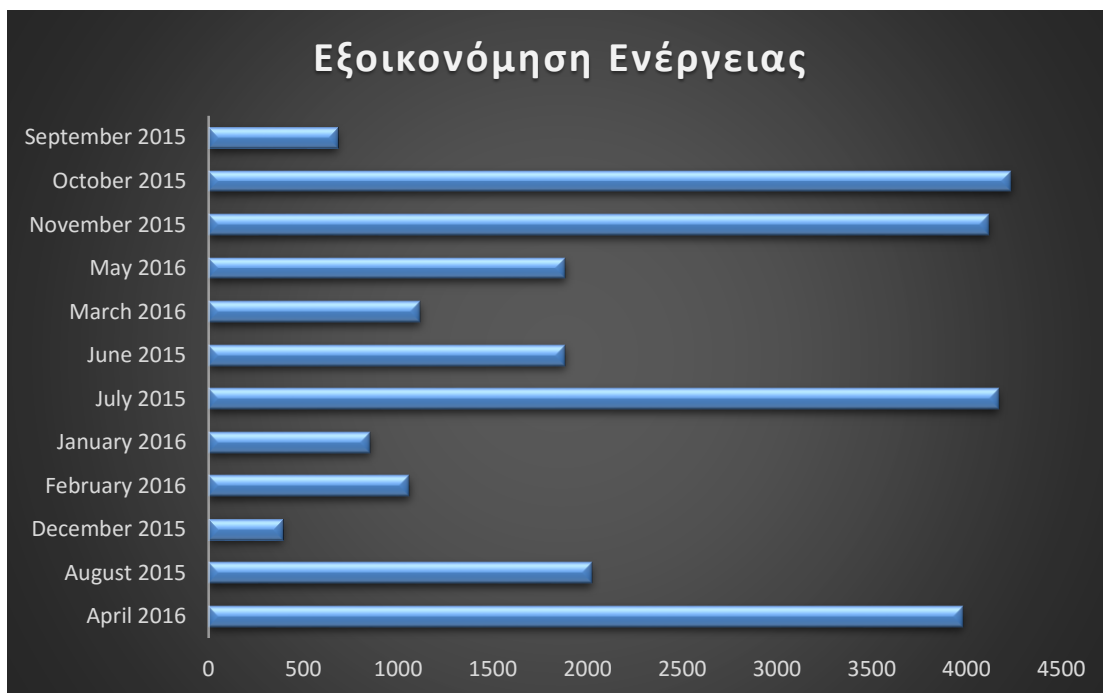
**Πίνακας 5.6: Συνολικά Αποτελέσματα Προσομοίωσης**

Μήνας	Ηλεκτρική Κατανάλωση (Kwh)	Ηλεκτρική Κατανάλωση για Ψύξη-20%-40% / Θέρμανση-Setpoint (Celcius Degrees)	Εξοικονόμηση Ενέργειας (%)	CO2 (t)	Κόστος( Euro)		
Ιούνιος	114958,30	22991,66	25,00	8,18	1880,74	0,83	297,16
Ιούλιος	163159,23	32631,85	25,00	12,78	4169,82	1,83	658,83
Αύγουστος	126186,16	25237,23	25,00	8,00	2019,04	0,89	319,01
Σεπτέμβριος	113440,09	22688,02	25,00	3,00	679,58	0,30	107,37
Οκτώβριος	104415,18	41766,07	23,00	10,14	4235,08	1,86	669,14
Νοέμβριος	101480,70	40592,28	23,00	10,14	4116,06	1,81	650,34
Δεκέμβριος	81106,12	32442,45	23,00	1,20	389,31	0,17	61,51
Ιανουάριος	97213,91	38885,56	23,00	2,19	852,30	0,38	134,66
Φεβρουάριος	101293,28	40517,31	23,00	2,60	1055,35	0,46	166,74
Μάρτης	106141,43	42456,57	23,00	2,62	1114,01	0,49	176,01
Απρίλιος	98088,57	39235,43	23,00	10,14	3978,47	1,75	628,60
Μάιος	103690,105	20738,02	25,00	9,06	1878,86	0,83	296,86

Με βάση λοιπόν τον πίνακα 5.6, τα συνολικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για τους τρεις δείκτες φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα:



**Σχήμα 5.30: Μείωση Εκπομπών άνθρακα ανά μήνα**



Σχήμα 5.31: Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ανά μήνα



Σχήμα 5.32: Συνολική μείωση κόστους ανά μήνα

Ενώ τα συνολικά ετήσια αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 5.6: Ετήσια αποτελέσματα προσομοίωσης**

Εξοικονόμηση Ενέργειας (KWh)	Εξοικονόμηση Ενέργειας (%)	Μείωση Κόστους Ενέργειας (€)	Μείωση εκπομπών άνθρακα (t)
26368,98	6,67	4166,50	11,60

#### 5.2.4 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επίδραση της προσομοίωσης του σχεδίου δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους».

Τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά κυρίως όσον αφορά την εξοικονόμηση χρημάτων και την μείωση των εκπομπών άνθρακα. Όπως αναφέραμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης αναμένεται να επιφέρει 5-9% εξοικονόμηση ενέργειας. Η προσομοίωση είχε σαν τελικό αποτέλεσμα ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας 6,67%. Ωστόσο τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να είναι ακόμα καλύτερα. Η πιθανή βελτίωση έχει να κάνει με τους μήνες κυρίως της χειμερινής περιόδου και πιο συγκεκριμένα τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Η βασική αιτία αυτής της διαφοράς είναι οι μη αναμενόμενες κλιματικές συνθήκες της περιόδου που μελετάμε. Πιο συγκεκριμένα στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία των μηνών που παρουσιάζουν το κυριότερο πρόβλημα, για την φετινή και την περσινή χρονιά.

**Πίνακας 5.7: Μέση Θερμοκρασία**

Μήνας	Μέση Θερμοκρασία 2015-2016 (C°)	Μέση Θερμοκρασία 2014-2015(C°)
Νοέμβριος	14	14
Δεκεμβριος	12	10
Ιανουάριος	12	10
Φεβρουάριος	12	9
Μάρτιος	12	12
Απρίλιος	15	15

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα, τους περισσότερους μήνες της χειμερινής περιόδου 2015-2016 η μέση θερμοκρασία είναι υψηλότερη σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά. Αυτή η διαφορά είναι λογικό να έχει σαν αποτέλεσμα μια πιο περιορισμένη χρήση του συστήματος θέρμανσης του κτιρίου. Συνεπώς η εξοικονόμηση που επιτυγχάνουμε μέσω του σχεδίου δράσης είναι εύλογα να είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή που θα είχαμε αν επικρατούσαν οι συνηθισμένες θερμοκρασίες για τον εκάστοτε μήνα. Το επιχείρημα αυτό ενισχύεται ακόμα περισσότερο αν κανείς αναλογιστεί ότι και η περσινή χειμερινή περίοδος θεωρήθηκε θερμότερη σε σχέση με άλλες χρονιές.[20]







---

## *Κεφάλαιο 6: Εργαλείο Εξοικονόμησης Ενέργειας*

---

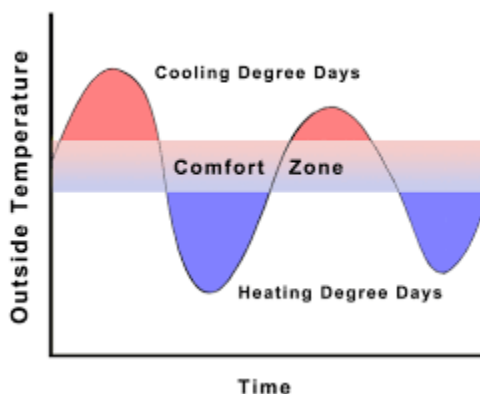


## 6.1 Δομή και Σχεδιασμός

### 6.1.1 Βασικός Σκοπός και Μεθοδολογία

Βασικός σκοπός του εργαλείου είναι ο υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας ενός κτιρίου ή γενικότερα μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης. Για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας δεν αρκεί μια σύγκριση μεταξύ των δύο περιόδων (περίοδος αναφοράς, εξεταζόμενη περίοδος) αλλά είναι απαραίτητη η κανονικοποίηση αυτής της διαφοράς λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι ο πλέον σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην κατανάλωση ενός κτιρίου, ανεξαρτήτου χρήσης αυτού, είναι οι καιρικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα η εξωτερική θερμοκρασία.

Καθένας, ανεξαρτήτου γνωστικού υπόβαθρου, θα έχει παρατηρήσει κατά την διάρκεια της ζωής του ότι για παράδειγμα τους Χειμώνες που έκανε πιο πολύ κρύο θα άναψε περισσότερες ώρες το καλοριφέρ ή το κλιματιστικό για να ζεσταθεί σε σχέση με έναν άλλο ηπιότερο χειμώνα. Η εξωτερική θερμοκρασία ανάγκασε λοιπόν τον χρήστη να προβεί σε δράσεις περισσότερο ενεργοβόρες για να εξασφαλίσει το επιθυμητό επίπεδο θερμικής άνεσης. Για την μελέτη των καιρικών συνθηκών και την ποσοτικοποίηση τους χρησιμοποιούνται ευρέως οι βαθμοημέρες. Ανάλογα με την περίοδο που μελετάμε διακρίνουμε τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης. Οι βαθμοημέρες θέρμανσης είναι ένα μέτρο του για πόσους βαθμούς και για πόσες ημέρες η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από μια βασική θερμοκρασία άνεσης. Αντίστοιχα οι βαθμοημέρες ψύξης είναι το ένα μέτρο του για πόσους βαθμούς και για πόσες ημέρες η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από μια βασική θερμοκρασία άνεσης [27].



Σχήμα 6.1: Βαθμοημέρες Θέρμανσης/Ψύξης

Για τις χώρες της Μεσογείου, σαν θερμοκρασία βάσης χρησιμοποιούνται για την περίοδο θέρμανσης οι 18C° και για την περίοδο ψύξης οι 22C°. Για παράδειγμα αν εξετάσουμε τον μήνα Φεβρουάριο που ανήκει στην χειμερινή περίοδο, θεωρήσουμε σαν θερμοκρασία αναφοράς τους 18C° και καταγράψουμε την μέση ημερήσια θερμοκρασία μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τις βαθμοημέρες ως εξής:

- **Ομαδοποιούμε τις ημέρες με την ίδια μέση θερμοκρασία.** Έστω ότι από τις 28 μέρες του μηνι οι 10 έχουν μέση θερμοκρασία 15C° , οι άλλες 10 18C° και οι υπόλοιπες 8 16C°.

- **Υπολογίζουμε όλες τις επιμέρους διαφορές.** Στο παράδειγμα μας έχουμε τις διαφορές: (18-18) C°=0 , (18-15) C°=3C° και (18-16) C°=2C°.
- **Πολλαπλασιάζουμε με τις μέρες που αντιστοιχούν σε αυτές τις διαφορές.** Στο παράδειγμα μας έχουμε: (10\*0)=0 , (10\*3)=30 και (8\*2)=16
- **Αθροίζουμε τα επιμέρους γινόμενα.** Εδώ έχουμε 0+30+16=46 Β.Η.Θ (Βαθμοημέρες Θέρμανσης)

Πέρα όμως από τις καιρικές συνθήκες και κατεπέκταση τις βαθμοημέρες υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας και χρήζουν κανονικοποίησης. Ο πιο σημαντικός όλων είναι οι ένοικοι, ειδικά στην περίπτωση που μιλάμε για ένα δημοτικό κτίριο ή γενικά ένα κτίριο γραφείων και υπηρεσιών. Ο αριθμός των ενοίκων και η συμπεριφορά τους μπορεί να επηρεάσουν δραστικά την κατανάλωση ενέργειας σε ένα δημοτικό κτίριο. Η συμπεριφορά είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί εύκολα και απαιτεί σύνθετους μηχανισμούς και ειδικό εξοπλισμό καταγραφής και παρακολούθησης της. Αντίθετα για τον αριθμό των ενοίκων υπάρχουν πολλά παραδείγματα από την καθημερινή ζωή και το εργασιακό περιβάλλον που δείχνουν εμπράκτως πως επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτίριο. Αν για παράδειγμα αλλάξει ο αριθμός των υπαλλήλων μιας εταιρείας ή το ωράριο εργασίας/λειτουργίας θα επηρεαστεί άμεσα η ενεργειακή κατανάλωση, τόσο όσον αφορά τα φορτία φωτισμού αλλά και τα φορτία θέρμανσης/ψύξης του χώρου καθώς μεταβάλλονται οι αντίστοιχες ανάγκες .

Στα πλαίσια της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε για την εφαρμογή του εργαλείου υπολογισμού της εξοικονόμησης ενέργειας χρησιμοποιήσαμε σαν παράγοντα κανονικοποίησης της, μόνο τις βαθμοημέρες λόγω των τεχνικών δυσκολιών που εμφανίζει ο έταιρος παράγοντας των ενοίκων. Η μεθοδολογία λοιπόν που ακολουθήθηκε αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1. **Καταγραφή της ενέργειας της εξεταζόμενης περιόδου**(συνηθίζεται εβδομάδα ή μήνας)
2. **Καταγραφή της ενέργειας περιόδου αναφοράς.** Σαν περίοδος αναφοράς ορίζεται εκείνη η περίοδος με βάση την οποία θέλουμε να εξετάσουμε αν είχαμε κατά την εξεταζόμενη περίοδο εξοικονόμηση ενέργειας. Προφανώς και οι δύο περίοδοι (αναφοράς και εξεταζόμενη) πρέπει να έχουν την ίδια διάρκεια.
3. **Καταγραφή των βαθμοημερών της εξεταζόμενης περιόδου**
4. **Καταγραφή των βαθμοημερών της περιόδου αναφοράς**
5. **Υπολογισμός της ποσοστιαίας διαφοράς μεταξύ των βαθμοημερών** των δύο περιόδων σύμφωνα με την σχέση:

$$Dif = (Deg - Deg_{ref}) / Deg_{ref} \quad (1)$$

6. **Υπολογισμός ενέργειας που οφείλεται στην διαφορά των βαθμοημερών**

$$Energy_{extra} = Dif * Energy_{ref} \quad (2)$$

7. **Κανονικοποίηση της ενέργειας της περιόδου αναφοράς**

$$Energy_{estimated} = Energy_{extra} + Energy_{ref} \quad (3)$$

## 8. Υπολογισμός της εξοικονόμησης

$$\text{Energy}_{\text{saved}} = \text{Energy}_{\text{estimated}} - \text{Energy} \quad (4)$$

Όπου:

Deg : Οι βαθμοημέρες της εξεταζόμενης περιόδου

Deg<sub>ref</sub> : Οι βαθμοημέρες της περιόδου αναφοράς

Energy : Η ενέργεια της εξεταζόμενης περιόδου

Energy<sub>ref</sub> : Η ενέργεια της περιόδου αναφοράς

Είναι προφανές ότι εάν η τελική εξοικονόμηση ενέργειας προκύψει αρνητική αυτό σημαίνει ότι για την εξεταζόμενη περίοδο, έχοντας σαν περίοδο αναφοράς την προηγούμενη δεν επιτύχαμε κάποια εξοικονόμηση αλλά αντιθέτως η ενέργεια της εξεταζόμενης περιόδου ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της περιόδου αναφοράς.

### 6.1.2 Μορφή και Βασικές Λειτουργίες

Το εργαλείο υπολογισμού της εξοικονόμησης ενέργειας αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του Microsoft Excel. Αποτελείται από πέντε βασικές οθόνες-καρτέλες στις οποίες μπορεί να περιηγηθεί ο χρήστης εύκολα και γρήγορα με την χρήση του ποντικιού όπως ακριβώς θα έκανε και σε μια οποιαδήποτε ιστοσελίδα χωρίς να χρειάζεται να αλλάζει τις καρτέλες με τον παραδοσιακό τρόπο που συνηθίζεται στο excel. Το εργαλείο έχει αναπτυχθεί για την περίπτωση του πιλοτικού κτιρίου του δημαρχείου του Sant Cugat. Έτσι χωρίς βλάβη της γενικότητας στις καρτέλες εισαγωγής δεδομένων, ο χρήστης εισάγει τα καιρικά δεδομένα της περιοχής του Sant Cugat και τα ενεργειακά δεδομένα των αισθητήρων του συγκεκριμένου κτιρίου, όπως αυτοί περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 5. Είναι προφανές ότι μπορεί εύκολα το εργαλείο αυτό να επεκταθεί και να τροποποιηθεί κατάλληλα έτσι ώστε να δέχεται τα δεδομένα ενός οποιοδήποτε άλλου κτιρίου. Οι πέντε βασικές καρτέλες είναι:

#### 1. Data (Weekly) Input

Data (Weekly) Input									
Data (Weekly) Input	Data (Monthly) Input	Summary Energy Consumption	Energy Saving per Month	Energy Saving Per Week					
Week Starts at	5.Unifiler consumption	6.Unifiler consumption	7.Light consumption	8.Light consumption	9.Total consumption - 2	10.Total consumption - 3	4.Total energy	HDD/CDD	
06/10/15	521,677	1094,959	7,403	54,954	18,15	173,781	19502,931	4	
12/10/15	520,381	1300,636	16,151	60,479	21,06	68,11	21615,417	13	
19/10/15	469,07	1279,914	21,656	83,748	29,749	51,15	23820,108	12	
26/10/15	591,8655	1281,3535	16,401	70,627	25,86	44,559	22617,891	10	
02/11/15	791,556	1356,186	20,243	87,807	31,253	53,45	24904,843	10	
09/11/15	666,696	1309,165	21,622	94,092	34,28	59,011	24738,446	20	
16/11/15	92,304	1204,877	21,794	62,595	20,89	36,009	20603,189	31	
23/11/15	180,719	1155,191	28,36	68,483	23,008	39,36	24701,678	59	
30/11/15	159,6354924	988,1268325	26,26697462	77,73451777	28,63798985	49,92385787	25253,64691	51	
07/12/15	136,6395076	1042,200168	0,995025381	11,66448223	4,754010152	8,476142132	14497,76009	43	

Σχήμα 6.2: Καρτέλα Data (Weekly) Input

Στην καρτέλα αυτή, όπως γίνεται ορατό και από το παραπάνω στιγμιότυπο, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα ενεργειακά δεδομένα του κτιρίου και στην τελευταία στήλη τις βαθμομέρες ψύξης ή θέρμανσης ανάλογα με την περίοδο που εξετάζουμε. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει είτε τα ενεργειακά δεδομένα για όλους τους διαθέσιμους αισθητήρες είτε μόνο για τους αισθητήρες που τον ενδιαφέρουν. Το εργαλείο στο παρασκήνιο υπολογίζει την εξοικονόμηση για κάθε ένα από τους αισθητήρες που μας ενδιαφέρουν χρησιμοποιώντας σαν περίοδο αναφοράς την προηγούμενη από την εξεταζόμενη. Για παράδειγμα για την εβδομάδα που ξεκινά στις 07/12/15 θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά η εβδομάδα που ξεκινάει στις 30/11/15. Είναι προφανές ότι το εργαλείο μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα και να χρησιμοποιηθεί σαν περίοδος αναφοράς όποια επιθυμούμε κάθε φορά. Επιλέγοντας βέβαια σαν περίοδο αναφοράς την προηγούμενη από αυτή που εξετάζουμε μας δίνει την δυνατότητα να εφαρμόσουμε διαφορετικά σχέδια δράσης ανά περίοδο και να δούμε τι επίδραση είχαν στην ενέργεια σε σχέση με την προηγούμενη και έτσι κατεπέκταση να συγκρίνουμε και τα σχέδια δράσης αυτά καθαυτά.

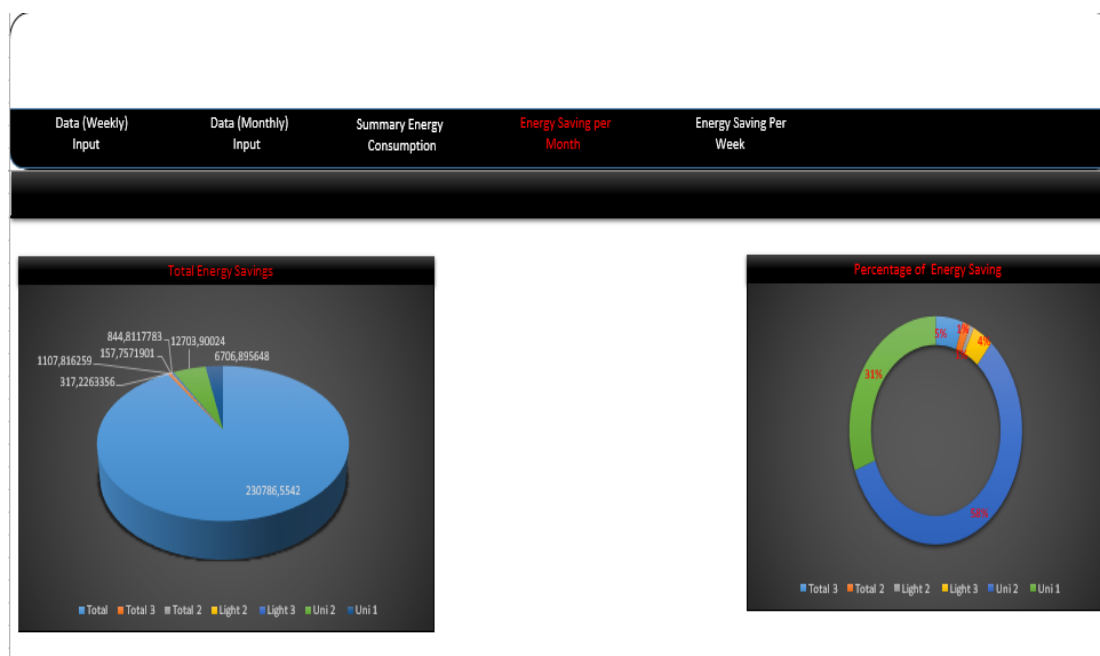
## 2. Data (Monthly) Input

	Data (Weekly) Input	Data (Monthly) Input	Summary Energy Consumption	Energy Saving per Month	Energy Saving Per Week			
Period	4.Total energy	9.Total consumption - 2	5.Unifiler consumption - 1	6.Unifiler consumption - 2	7.Light consumption - 2	8.Light consumption - 3	10.Total consumption	HDD/CDD
Οκτ-15	85636,543	94,819	2023,8925	4774,7055	61,61	269,798	337,6	40
Νοε-15	101480,7	114,681	1842,557	5376,117	97,329	325,239	196,97	129
Δεκ-15	81106,12391	54,283	704,9558906	4906,187902	54,376	154,071	93,35	198
Ιαν-16	97213,91009	48,261	784,3491094	5421,450098	91,347	194,583	83,471	192

Σχήμα 6.3: Καρτέλα Data (Monthly) Input

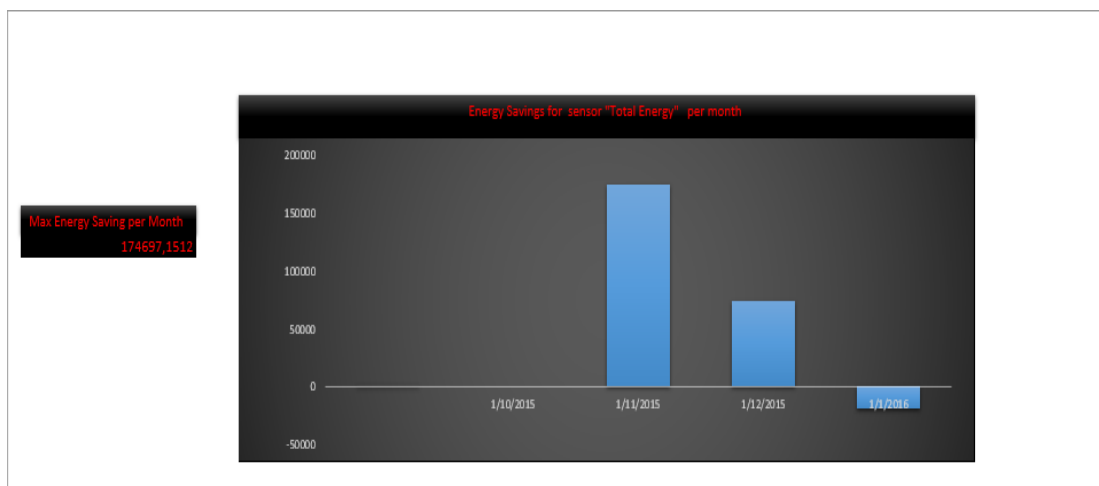
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και από το όνομα της καρτέλας, η δεύτερη καρτέλα έχει παρόμοια λειτουργία με την καρτέλα Data (Weekly) Input με την διαφορά ότι ο χρήστης εδώ εισάγει τα ενεργειακά και καιρικά δεδομένα σε μηνιαία και όχι σε εβδομαδιαία βάση. Πάλι σαν περίοδος αναφοράς χρησιμοποιείται ο προηγούμενος μήνας από τον εξεταζόμενο.

## 3. Energy Saving Per Month



Σχήμα 6.4: Καρτέλα Energy Saving per Month (1/2)

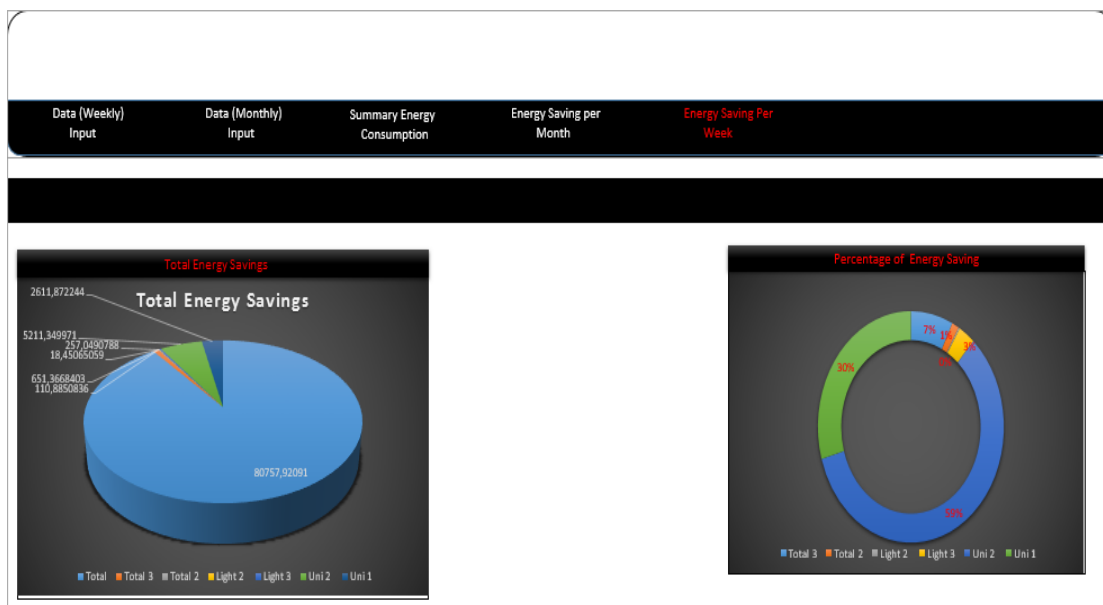




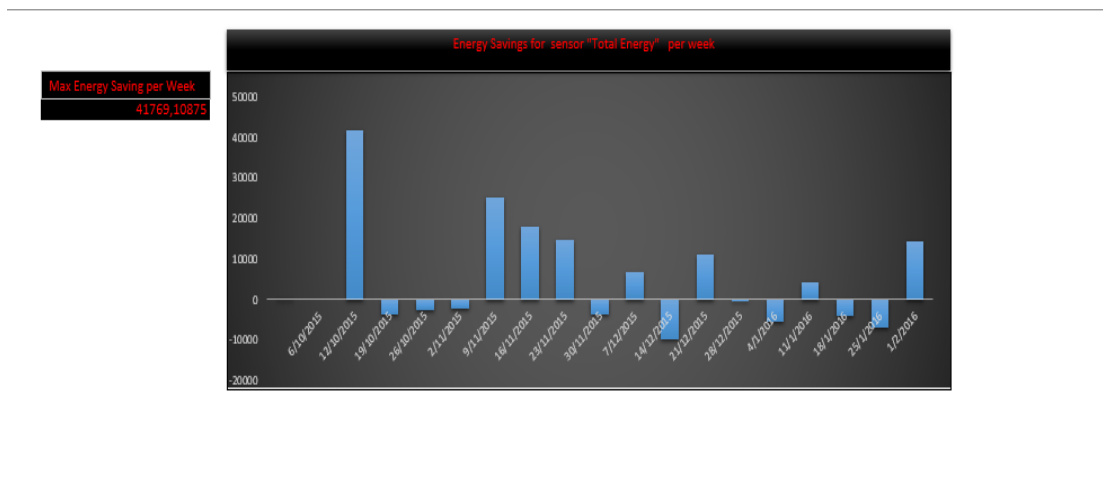
**Σχήμα 6.5: Καρτέλα Energy Saving per Month (2/2)**

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει τα αποτελέσματα των υπολογισμών και την εξοικονόμηση της ενέργειας για τα δεδομένα που εισήγαγε χρησιμοποιώντας κάθε φορά σαν περίοδο αναφορά την προηγούμενη. Στα παράπανω διαγράμματα λοιπόν φαίνεται κατά σειρά το σύνολο της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτύχαμε για κάθε αισθητήρα και τι ποσοστό επί της συνολικής εξοικονόμησης λαμβάνει. Εν συνεχεία μπορεί να δει την εξοικονόμηση ανά μήνα και ποια ήταν η μέγιστη εξοικονόμηση που επιτευχθηκε. Στο συγκεκριμένο σημείο της διπλωματικής δεν θα σταθούμε στα αποτελέσματα παρά μόνο στην μορφή και στις βασικές λειτουργίες του εργαλείου και στην συνέχεια θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα εφαρμογής για το δημαρχείο του Sant Cugat.

#### 4. Energy Saving per Week



Σχήμα 6.6: Καρτέλα Energy Saving per Week (1/2)



Σχήμα 6.7: Καρτέλα Energy Saving per Week (2/2)

Στην καρτέλα αυτή ακολουθείται η ίδια δομή και οι ίδιες βασικές λειτουργίες με την μόνη διαφορά ότι πλέον αναφερόμαστε σε περίοδο μιας εβδομάδας και όχι σε περίοδο ενός μήνα. Όλα λοιπόν τα σχετικά αποτελέσματα και διαγράμματα αφορούν την εξοικονόμηση σε εβδομαδιαία βάση. Το σημαντικό και με τις δύο καρτέλες εισαγωγής δεδομένων είναι ότι με κάθε νέα εισαγωγή δεδομένων ενημερώνονται ταυτόχρονα τα αποτελέσματα και όλα τα σχετικά διαγράμματα κάτι το οποίο προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα να δει άμεσα την εξοικονόμηση της ενέργειας για την περίοδο που μόλις εισήγαγε και τον ενδιαφέρει, χρησιμοποιώντας πάντα σαν αναφορά την προηγούμενη περίοδο.

Όπως έχει αναπτυχθεί το εργαλείο, πέρα από τις πέντε βασικές καρτέλες πλοήγησης του χρήστη, έχει και τόσες κρυφές στον χρήστη καρτέλες όσοι οι διαφορετικοί αισθητήρες ους οποίους διαθέτει το εκάστοτε κτίριο που μελετήσαμε. Ενδεικτικά θα δείξουμε στο κεφάλαιο αυτό μια καρτέλα εξ αυτών ανώ αναλυτικά μπορεί κανείς να δει όλες τις καρτέλες υπολογισμού στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής.

Energy Saving in the period	Total Energy	HDD/CDD	Difference	Consumption due to Difference (KWh)	Estimated Consumption (Kwh)	Saved Energy(KWh)
06/10/15	19502,931	4				
12/10/15	21615,417	13	2,25	43881,59475	63384,52575	41769,10875
19/10/15	23820,108	12	-0,07692	-1662,724385	19952,69262	-3867,415385
26/10/15	22617,891	10	-0,16667	-3970,018	19850,09	-2767,801
02/11/15	24904,843	10	0	0	22617,891	-2286,952
09/11/15	24738,446	20	1	24904,843	49809,686	25071,24
16/11/15	20603,189	31	0,55	13606,1453	38344,5913	17741,4023
23/11/15	24701,678	59	0,903226	18609,332	39212,521	14510,843
30/11/15	25253,64691	51	-0,13559	-3349,380068	21352,29793	-3901,348976
07/12/15	14497,76009	43	-0,15686	-3961,356378	21292,29053	6794,530439
14/12/15	25215,88532	45	0,046512	674,3144229	15172,07451	-10043,8108
21/12/15	13197,95468	43	-0,04444	-1120,706014	24095,1793	10897,22462
28/12/15	13060,89691	41	-0,04651	-613,8583574	12584,09633	-476,8005791
04/01/16	14490,66109	28	-0,31707	-4141,259994	8919,636911	-5571,024183
11/01/16	21089,476	49	0,75	10867,99582	25358,65692	4269,180915
18/01/16	28804,068	57	0,163265	3443,179755	24532,65576	-4271,412245
25/01/16	27322,425	40	-0,29825	-8590,686947	20213,38105	-7109,043947
		0	-1	-27322,425	0	0

**Σχήμα 6.8: Καρτέλα Υπολογισμού Εξοικονόμησης Ενέργειας**

Στην παραπάνω λοιπόν καρτέλα, υπολογίζουμε την εξοικονόμηση της ενέργειας με βάση την μεθοδολογία που περιγράφηκε προηγουμένως στην ενότητα. Στην πρώτη στήλη φαίνονται τα ενεργειακά δεδομένα της εκάστοτε περιόδου, ενώ στην δεύτερη οι βαθμοημέρες. Στην τρίτη στήλη υπολογίζουμε την διαφορά των βαθμοημερών μεταξύ της εκάστοτε περιόδου και της προηγούμενης, ενώ στην τέταρτη στήλη υπολογίζουμε το επιπλέον ποσό ενέργειας που θα είχαμε κατά την περίοδο αναφοράς λόγω αυτής της διαφοράς. Στην πέμπτη στήλη προστίθεται αυτό το ποσό στην ενέργεια της περιόδου αναφοράς ενώ τέλος στην έκτη υπολογίζουμε την εξοικονόμηση αναφοράς αφαιρώντας την κανονικοποιημένη ενέργεια της περιόδου αναφοράς από την εξεταζόμενη περίοδο. Σε περίπτωση που η εξοικονόμηση βγει αρνητική, σημαίνει πως για την εξεταζόμενη περίοδο καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια σε σχέση με την ενέργεια που θα καταναλώναμε κατά την περίοδο αναφοράς.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το ποιά θα είναι η περίοδος αναφοράς μπορεί να αλλάξει. Και τέτοιο κάναμε και μεις στην επόμενη ενότητα για να μελετήσουμε την εξοικονόμηση της ενέργειας για το πιλοτικό κτίριο του δημαρχείου του Sant Cugat.

## 6.2 Εφαρμογή στο Πιλοτικό Κτίριο

Στο κεφάλαιο 5, είδαμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σχεδίου δράσης «Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων». Πιο συγκεκριμένα, πέρα από τους άλλους δείκτες, υπολογίσαμε και την εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την προσομοίωση αυτή. Η εξοικονόμηση ενέργειας αφορά όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 5, την ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση/ψύξη του κτιρίου. Έτσι λοιπόν από την ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση/ψύξη του κτιρίου εμείς θα αφαιρέσουμε την

ενέργεια που εξοικονομήθηκε από την προσομοίωση του σχεδίου δράσης. Έχουμε λοιπόν:

**Πίνακας 6.1: Ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση/ψύξη του κτιρίου μετά την εφαρμογή του σχεδίου δράσης**

<b>Μήνας</b>	<b>Ενέργεια για θέρμανση/ψύξη (KWh)</b>	<b>Εξοικονόμηση Ενέργειας από την Προσομοίωση (KWh)</b>	<b>Τελική Ενέργεια για θέρμανση/ψύξη (KWh)</b>
<b>Ιούνιος 2015</b>	22991,66	1880,74	21110,92
<b>Ιούλιος 2015</b>	32631,85	4169,82	28462,02
<b>Αυγустός 2015</b>	25237,23	2019,04	23218,19
<b>Σεπτέμβριος 2015</b>	22688,02	679,58	22008,44
<b>Οκτώβριος 2015</b>	41766,07	4235,08	39084,69
<b>Νοέμβριος 2015</b>	40592,28	4116,06	37986,26
<b>Δεκέμβριος 2015</b>	32442,45	389,31	32253,14
<b>Ιανουάριος 2016</b>	38885,56	852,30	38033,26
<b>Φεβρουάριος 2016</b>	40517,31	1055,35	39461,97
<b>Μάρτιος 2016</b>	42456,57	1114,01	41342,57
<b>Απρίλιος 2016</b>	39235,43	3978,47	36716,51
<b>Μάιος 2016</b>	20738,02	1878,86	19294,65

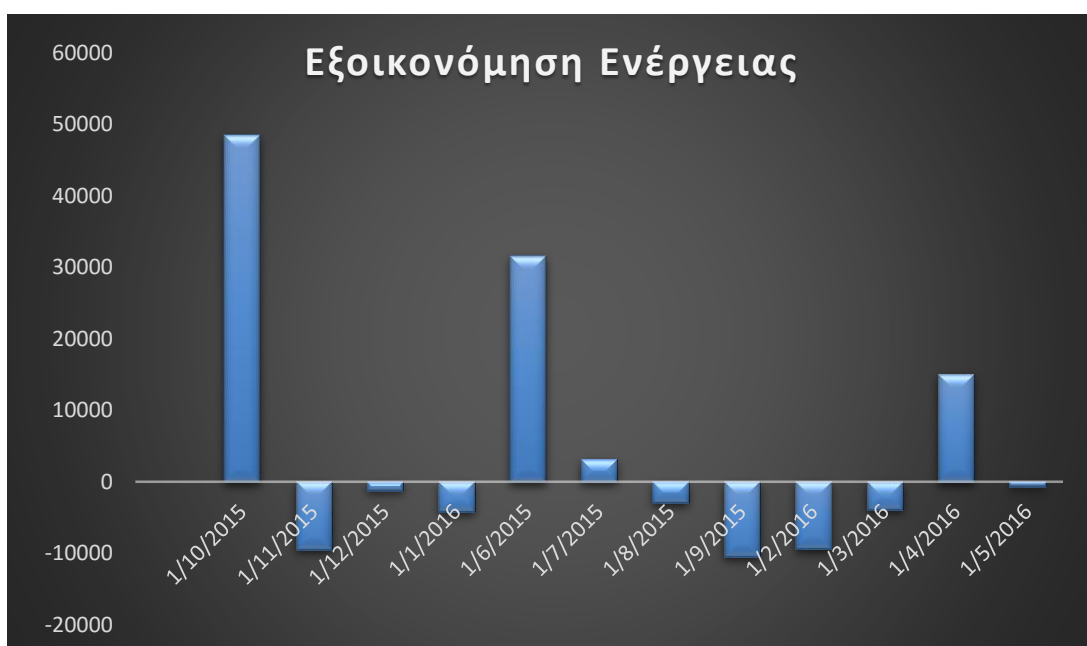
Χρησιμοποιώντας την τελική ενέργεια για ψύξη και θέρμανση θα υπολογίσουμε την εξοικονόμηση της ενέργειας μεταξύ της εξεταζόμενης περιόδου (Ιούνιος 2015-Μάιος 2016) και της αντίστοιχης περιόδου των ετών 2013 και 2014 χρησιμοποιώντας το εργαλείο που περιγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 6.1. Τα αντίστοιχα ενεργειακά μεγέθη για την περίοδο (Ιούνιος 2013-Μάιος 2014), που όπως εξηγήθηκε θα αποτελέσει την περίοδο αναφοράς μας, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 6.2: Ενεργειακές Καταναλώσεις Περιόδου Αναφοράς**

<b>Μήνας</b>	<b>Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (KWh)</b>	<b>Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση/Ψύξη (KWh)</b>
<b>Ιούνιος 2013</b>	96237	19247,4
<b>Ιούλιος 2013</b>	126180	25236
<b>Αύγουστος 2013</b>	107370	21474
<b>Σεπτέμβριος 2013</b>	100635	20127
<b>Οκτώβριος 2013</b>	103985	41594

<b>Νοέμβριος 2013</b>	88928	35571,2
<b>Δεκέμβριος 2013</b>	105940	42376
<b>Ιανουάριος 2014</b>	102985	41194
<b>Φεβρουάριος 2014</b>	81677	32670,8
<b>Μάρτιος 2014</b>	81513	32605,2
<b>Απρίλιος 2014</b>	83626	33450,4
<b>Μάιος 2014</b>	93263	18652,6

Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας τα ενεργειακά μεγέθη των δύο περιόδων και τις βαθμοημέρες θέρμανσης/ψύξης υπολογίσαμε την πραγματική εξοικονόμηση της εξεταζόμενης περιόδου σε σχέση με την περίοδο αναφοράς όπως αυτή φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα:



Σχήμα 6.9: Εξοικονόμηση Ενέργειας

### 6.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, παρότι εφαρμόσαμε κατά την εξεταζόμενη περίοδο το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της Θερμοκρασίας Εσωτερικών Χώρων», υπάρχουν μήνες που δεν έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τους αντίστοιχους μήνες της περιόδου αναφοράς. Αυτό δεν σημαίνει σε καμία περίπτωση ότι το σχέδιο δράσης δεν πέτυχε τον σκοπό του που ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά δείχνει ότι η κατανάλωση ενέργειας σε ένα δημοτικό κτίριο επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες πέρα από τις βαθμοημέρες Θέρμανσης/Ψύξης.

Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι οι ένοικοι, ο αριθμός και η συμπεριφοράς τους έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας σε ένα δημοτικό κτίριο. Τον παράγοντα των ενοίκων προσπαθεί να εξετάσει και να μοντελοποιήσει το σχέδιο δράσης «Εκλογικευμένη Μετακίνηση των Ενοίκων» που εφαρμόζεται στα πλαίσια του προγράμματος Optimus. Στο σημείο αυτό όμως δεν προσπαθούμε να μοντελοποιήσουμε την συμπεριφορά τους ώστε να επιτύχουμε μια εξοικονόμηση ενέργειας αλλά προσπαθούμε να δούμε πως σχετίζεται ο παράγοντας αυτός με την ήδη μετρούμενη κατανάλωση ενέργειας. Αν για παράδειγμα αλλάξει ο αριθμός των εργαζομένων ή των επισκεπτών σε ένα δημοτικό κτίριο, πόσο μάλλον σε ένα δημαρχείο σαν αυτό του Sant Cugat, είναι βέβαιο πως θα επηρεαστεί σημαντικά και η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Επίσης η αλλαγή χρήσης αιθουσών του κτιρίου μπορεί και αυτή να παίξει καθοριστικό ρόλο στην χρήση της ενέργειας. Ο παράγοντας αυτός δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθεί και απαιτεί ενδελεχή μελέτη και έρευνα που ξεπερνούν τα όρια της παρούσας διπλωματικής [28],[29].

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας είναι η γήρανση του τεχνολογικού εξοπλισμού. Επειδή το σχέδιο δράσης που μελετάμε έχει να κάνει με την ενέργεια που δαπανάται για την θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, θα περιοριστούμε στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για αυτές τις χρήσεις, η γήρανση του οποίου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα έπειτα από βιβλιογραφική έρευνα διαπιστώθηκε ότι βασικά τμήματα του HVAC συστήματος του κτιρίου όπως το Boiler και ο Chiller μπορούν να είναι λιγότερα αποδοτικά με την πάροδο των χρόνων. Ακόμα και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κτιρίων, όπως η μόνωση της οροφής ή των τοίχων μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά.

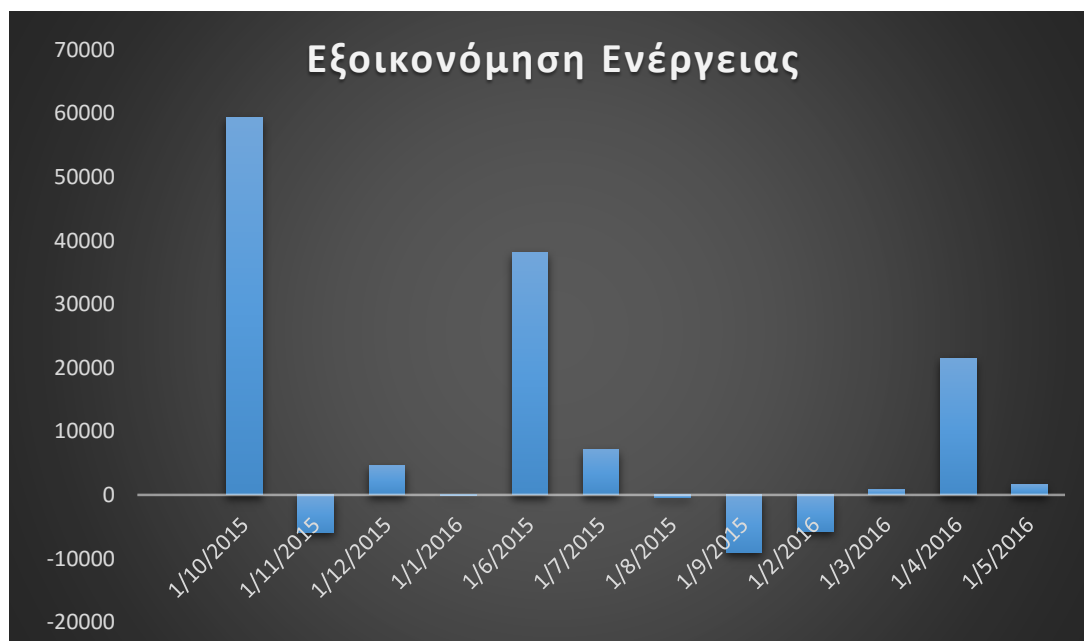
Από την βιβλιογραφική έρευνα προέκυψε ότι η μείωση της απόδοσης του **Boiler** κυμαίνεται μεταξύ **0,6%** και **1,0%** ετησίως, η μείωση της απόδοσης του **Chiller** μεταξύ **1,0%** και **2,4%** ετησίως ενώ η μείωση της **μόνωσης** τόσο για την **οροφή** όσο και για τους **τοίχους** **0,7%** έως **3%** ετησίως. Άρα αν αθροίσουμε τους παράγοντες αυτούς η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας που οφείλεται στην γήρανση του εξοπλισμού κυμαίνεται μεταξύ **3%** και **9,4%** [30].

Θεωρώντας μια μέση περίπτωση, η αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας είναι 6,2% ετησίως. Αυτό το ποσοστό δεν μπορεί να αμεληθεί και θα πρέπει να το λάβουμε υπόψιν στον υπολογισμό της πραγματικής εξοικονόμησης ενέργειας που εξετάζαμε προηγουμένως. Θα πρέπει λοιπόν να κανονικοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας της περιόδου (Ιούνιος 2013-Μάιος 2014) έτσι ώστε να δούμε τι ενέργεια θα καταναλώναμε εκείνη την περίοδο αν ίσχυε η τωρινή κατάσταση του εξοπλισμού. Θα πρέπει λοιπόν να αυξήσουμε την τότε ενέργεια κατά 6,2% ετησίως. Επειδή λοιπόν μιλάμε για διάστημα δύο ετών έχουμε συνολική αύξηση 12,4%. Άρα στον ακόλουθο πίνακα έχουμε:

**Πίνακας 6.3: Κανονικοποίηση Ενέργειας Περιόδου Αναφοράς λόγω της Γήρανσης του Εξοπλισμού**

<b>Μήνας</b>	<b>Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση/Ψύξη (KWh)</b>	<b>Κανονικοποιημένη Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση/Ψύξη (KWh)</b>
<b>Ιούνιος 2013</b>	19247,4	21634,08
<b>Ιούλιος 2013</b>	25236	28365,26
<b>Αύγουστος 2013</b>	21474	24136,78
<b>Σεπτέμβριος 2013</b>	20127	22622,75
<b>Οκτώβριος 2013</b>	41594	46751,66
<b>Νοέμβριος 2013</b>	35571,2	39982,03
<b>Δεκέμβριος 2013</b>	42376	47630,62
<b>Ιανουάριος 2014</b>	41194	46302,06
<b>Φεβρουάριος 2014</b>	32670,8	36721,98
<b>Μάρτιος 2014</b>	32605,2	36648,24
<b>Απρίλιος 2014</b>	33450,4	37598,25
<b>Μάιος 2014</b>	18652,6	20965,52

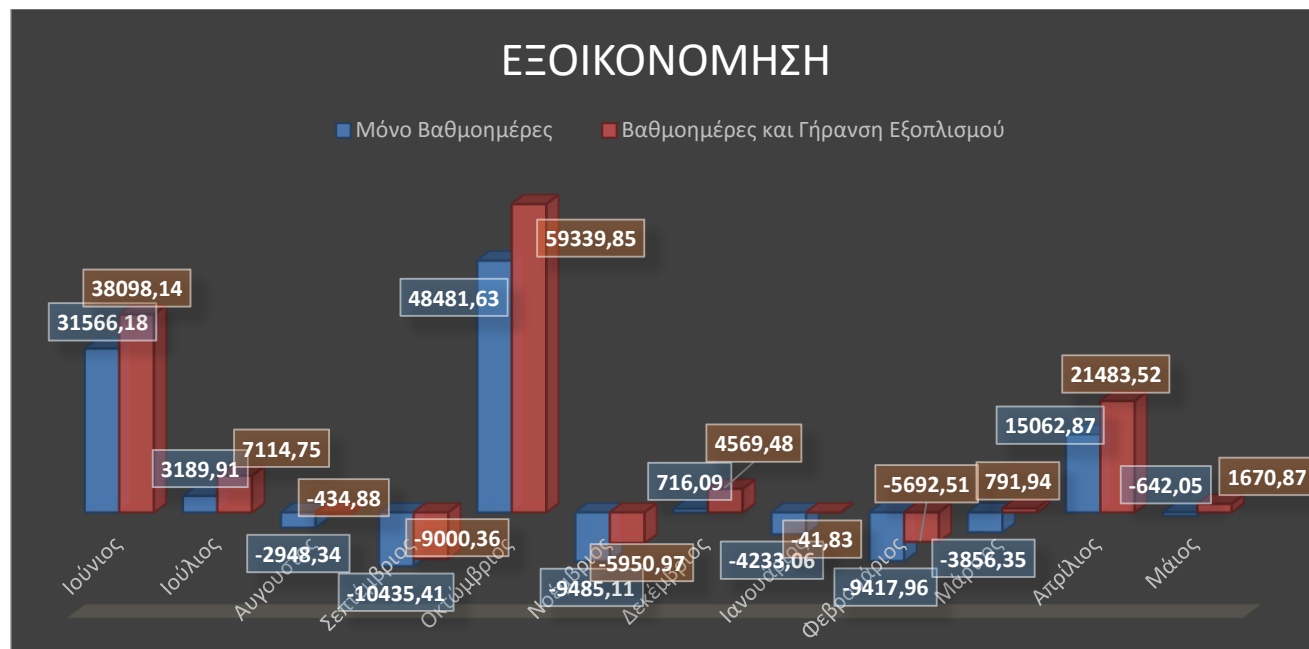
Συνεπώς εφαρμόζοντας το εργαλείο για τα νέα ενεργειακά δεδομένα έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα σχετικά με την εξοικονόμηση της ενέργειας κατά την εξεταζόμενη περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς:



**Σχήμα 6.10: Κανονικοποιημένη Εξοικονόμηση Ενέργειας-Γήρανση Εξοπλισμού**

Βλέπουμε λοιπόν ότι με την κανονικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας λόγω του παράγοντα της γήρανσης του εξοπλισμού τα αποτελέσματα έχουν βελτιωθεί εντυπωσιακά. Μόνο σε τρεις περιόδους ουσιαστικά εξακολουθούμε να έχουμε πρόβλημα στην εξοικονόμηση ενέργειας που και πάλι έχει βελτιωθεί σημαντικά.

Και αυτός ο παράγοντας, όπως και αυτός των ενοίκων, χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και θα πρέπει να μελετηθούν περισσότερο αναλυτικά ώστε να λαμβάνονται υπόψιν σε ανάλογους υπολογισμούς στο μέλλον.



Σχήμα 6.11: Σύγκριση Εξοικονόμησης Ενέργειας





---

## *Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προοπτικές*

---



Το παρόν κεφάλαιο θα αποτελέσει μία σύνοψη της συνολικής εργασίας, όπου θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα στα οποία αυτή κατέληξε και οι πιθανές προεκτάσεις.

## **7.1 Συμπεράσματα**

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί κρίσιμο ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και κυρίως σε κτίρια εμπορικής χρήσης, αποτελεί μεγάλο μέρος της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Το κύριο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα κτίριο εμπορικής χρήσης και κυρίως σε ένα κτίριο γραφείων, αφορά στην θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Είναι εύλογο πως η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης ενός κτιρίου αποτελεί βασική προτεραιότητα για τους ενεργειακούς του διαχειριστές. Για τον σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η χρήση μοντέλων που στόχο έχουν την επιλογή της βέλτιστης θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος έτσι ώστε να εξασφαλίζονται αφενός τα επιθυμητά επίπεδα θερμικής άνεσης των χρηστών του κτιρίου και αφετέρου η ενεργειακή αποδοτικότητα.

Τέτοια μοντέλα είναι το «Μοντέλο της Προσαρμοστικής Άνεσης» και το μοντέλο της «Επικύρωσης της Θερμικής Άνεσης» που μελετήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Όπως αποδείχθηκε και από την προσομοίωση που διεξήχθη στο πιλοτικό κτίριο του δημαρχείου του Sant Cugat, η επιλογή της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/Ψύξης ενός κτιρίου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

Η βέλτιστη ενσωμάτωση των δύο μοντέλων και ο συνδυασμός τους μπορεί να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση που αφορά την Θέρμανση/Ψύξη του κτιρίου περίπου 10%. Αυτό οφείλεται στο ότι όπως έχει αποδειχθεί και αναλυθεί διεξοδικά στην παγκόσμια βιβλιογραφία, η βελτίωση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος κατά 1C° επιφέρει μείωση της κατανάλωσης κατά 5-6%. Έτσι λοιπόν όπως προέκυψε από τις προσομοιώσεις που εξετάσαμε στην παρούσα διπλωματική ο βέλτιστος συνδυασμός των δύο μοντέλων έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος κατά 1,5 με 2 C° και έτσι προκύπτει το παραπάνω ποσοστό.

Παρότι λοιπόν όσον αφορά την εξεταζόμενη χρονιά θα έχουμε μια σημαντική βεβαιωμένη εξοικονόμηση ενέργειας, αν συγκρίνουμε την τελικά καταναλισκόμενη ενέργεια, αφαιρώντας την εξοικονόμηση, με την αντίστοιχη ενέργεια προηγούμενης χρονιάς, δεν μας εξασφαλίζει κανένα μοντέλο ότι θα έχουμε κάποια εξοικονόμηση. Όπως αποδείχθηκε από την προσομοίωση, σε κάποιους μήνες η ενέργεια που θα καταναλώναμε την εξεταζόμενη περίοδο αν εφαρμόζαμε τα δύο μοντέλα, θα ήταν σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα προηγούμενης χρονιάς.

Αντίθετα υπήρχαν μήνες, που όχι μόνο εξοικονόμηση δεν πετύχαμε από την εφαρμογή των μοντέλων (σε σύγκριση πάντα με μια προηγούμενη χρονιά αναφοράς) αλλά αντιθέτως η κατανάλωση της ενέργειας την εξεταζόμενη περίοδο ξεπέρασε κατά πολύ την ενέργεια της περιόδου αναφοράς.

Η διαφορά αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κατανάλωση ενέργειας που αφορά την θέρμανση και ψύξη ενός κτιρίου, επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες που μπορεί πολλές φορές να είναι άκρως καθοριστικοί. Όπως είδαμε δύο από αυτούς τους παράγοντες είναι οι χρήστες του κτιρίου αλλά και η γήρανση του τεχνολογικού

εξοπλισμού του κτιρίου που είναι μια αναποφεύχθη εξέλιξη με την πάροδο των ετών και την χρήση του κτιρίου.

Στο τέλος λοιπόν της εργασίας αυτής έγινε μια προσπάθεια έπειτα από αντίστοιχη βιβλιογραφική έρευνα και μελέτη περιπτώσεων εφαρμογής σε άλλα δημοτικά κτίρια να αναλύσουμε τον παράγοντα της γήρανσης τμημάτων του εξοπλισμού αλλά και των τεχνικών χαρακτηριστικών του κτιρίου (μόνωση). Η ποσοτικοποίηση αυτού του παράγοντα και η ενσωμάτωση του στην κανονικοποίηση της εξοικονόμησης που αναφέραμε προηγουμένως μας έδωσε χρήσιμα συμπεράσματα καθότι είδαμε ότι σε ένα μετριοπαθές σενάριο, η ενέργεια που καταναλώνουμε μπορεί να επηρεαστεί περίπου 10%.

## **7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις**

Θα ήταν παράλειψη να κλείσουμε χωρίς να αναφέρουμε πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Οι κυριότερες επεκτάσεις θα ήταν χρήσιμο να αφορούν τους δύο παράγοντες που αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα και επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας σε ένα δημοτικό κτίριο. Αυτοί οι παράγοντες είναι η γήρανση του εξοπλισμού και οι χρήστες του κτιρίου.

Μια πρώτη λοιπόν επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να είναι μια πιο εκτεταμένη ανάλυση του παράγοντα της γήρανσης εξοπλισμού και της επίδρασης του στην κατανάλωση του κτιρίου. Θα ήταν πολύ χρήσιμο λοιπόν, να μελετηθεί πως επηρεάζεται η απόδοση βασικών στοιχείων του συστήματος Θέρμανσης/Ψύξης του κτιρίου. Τέτοια είναι ο Boiler, ο Chiller, οι αντλίες θερμότητας κ.τ.λ. Η εκτενέστερη λοιπόν ποσοτικοποίηση του συγκεκριμένου παράγοντα θα μας έδινε ένα χρήσιμο μέτρο της επιρροής του στην ενεργειακή κατανάλωση ενός δημοτικού κτιρίου ή εν γένει ενός κτιρίου γραφείων.

Ένα άλλο στοιχείο που θα μπορούσε να μελετηθεί αφορά των έταιρο παράγοντα, αυτόν των χρηστών του κτιρίου. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι δεν αναφερόμαστε στην μοντελοποίηση αυτού του παράγοντα υπό το πρίσμα του ότι θέλω να βελτιστοποιήσω την χρήση του συστήματος Θέρμανσης/Ψύξης του κτιρίου οπότε θα πρέπει να τον λάβω υπόψιν εκ των προτέρων υπόψιν για να μειώσω την κατανάλωση ενέργειας αλλά αντίθετα αναφερόμαστε στην κανονικοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων, πως δηλαδή θα συσχετίσουμε την κατανάλωση ενέργειας και κατά επέκταση την εξοικονόμηση της, εκ των υστέρων. Η σημασία αυτού του παράγοντα γίνεται άμεσα ορατή αν κανείς αναλογιστεί την επικρατούσα κατάσταση σε έναν αντίστοιχο χώρο και τις αλλαγές που είναι πιθανόν να συμβούν με την πάροδο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, πολύ συχνά αλλάζει ο αριθμός των χρηστών σε ένα κτίριο. Αυτό οφείλεται τόσο σε αλλαγές στον αριθμό των εργαζομένων (απολύσεις, προσλήψεις) αλλά και σε αλλαγές στον αριθμό των επισκεπτών στην περίπτωση που μιλάμε για ένα δημοτικό κτίριο με τα χαρακτηριστικά ενός δημαρχείου (υποδοχή και εξυπηρέτηση πολιτών). Επιπρόσθετως, είναι πολύ πιθανό να αλλάξει το χρησιμοποιούμενο εμβαδόν του κτιρίου. Μπορούν να καταργηθούν τμήματα ή γραφεία ή ακόμα και αν αλλάξει ο τρόπος χρήσης ενός χώρου.

Πως είναι δυνατόν λοιπόν να συγκρίνουμε την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου μεταξύ δύο περιόδων που διαφέρουν σημαντικά ως προς τον αριθμό ή την συμπεριφορά των χρηστών του κτιρίου.

Βασική λοιπόν επέκταση της παρούσας διπλωματικής είναι η ποσοτικοποίηση αυτού του παράγοντα ώστε να βρεθεί ένα μέτρο επιρροής του στην τελική κατανάλωση ενός κτιρίου. Η μελέτη αυτή θα φάνει χρήσιμη και μπορέσει να γενικευθεί ώστε να συμπεριλαμβάνει και δημοτικά κτίρια με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως δημοτικά θέατρα κ.τ.λ.



---

## *Βιβλιογραφία*

---





- [1]. [http://sustainabletechnologyforum.com/from-inspired-to-awful-8-definitions-of-smart-buildings\\_18078.html](http://sustainabletechnologyforum.com/from-inspired-to-awful-8-definitions-of-smart-buildings_18078.html)
- [2]. Wikipedia, the free encyclopedia, Building Automation, July 2016  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_automation](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_automation)
- [3]. OPTIMUS DSS, D5.10 - Exploitation Planning and Service Business Model
- [4]. OPTIMUS DSS, D3 3\_Inference engine integrated in the management environment
- [5]. Zheng Yang, 2014. The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use
- [6]. Richard Turner, 2012. A Method for Calculating Chilled Water and Steam Energy Savings Due to Occupancy Scheduling in Large Buildings with Only One Year of Data
- [7]. N Fernandez, S Katipamula, W Wang, Y Huang, G Liu, June 2012. Energy Savings Modeling of Standard Commercial Building Retuning Measures: Large Office Buildings
- [8]. M. Sala, C. Gallo, A. A. M. Sayigh, 1988. Architecture: Comfort and Energy
- [9]. Shady Attia, Salvatore Carlucci, 2015. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate, Energy Buildings pages 117-128
- [10]. Aileen (Annie) Egan, Australian National University. The Potential Energy Savings through the use of adaptive comfort cooling setpoints in fully air conditioned Australian office buildings, a simulation study.
- [11]. How to implement optimum start control, Carbon Trust
- [12]. <http://www.derby.gov.uk/environment-and-planning/building-control/energy-efficiency-advice-and-assessment/>
- [13]. Paul Appleby, 2011. Sustainable Retrofit and Facilities Management
- [14]. Michael J. Brandemuehl, James E. Braun. The Impact of Demand-Controlled and Economizer Ventilation Strategies on Energy Use in Buildings
- [15]. Geoffrey van Moeseke, Isabelle Bruyère, André De Herde, 2007. Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings, Energy and Environment pages 784-793
- [16]. Fulin Wang, Harunori Yoshida, Bo Li, Noriko Umemiya Satoshi Hashimoto, Takaaki Matsuda, Hideo Shinbayashi, 2009. EVALUATION AND OPTIMIZATION OF AIR-CONDITIONER ENERGY SAVING CONTROL CONSIDERING INDOOR THERMAL COMFORT
- [17]. A. Choulder, S. Silvestre, 2010. Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis, Energy Conversion and Management 51 (2010) 1929 - 1937
- [18]. David Steen, Le Anh Tuan, Lina Bertling. PRICE-BASED DEMAND-SIDE MANAGEMENT FOR REDUCING PEAK DEMAND IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS – WITH EXAMPLES FROM GOTHENBURG
- [19]. Kein Huat Chua, Yun Seng Lim, Stella Morris .Battery energy storage system for peak shaving and voltage unbalance mitigation
- [20]. Energy-Efficient Buildings Facilitated by Microgrid, IEEE Trans. Smart Grid
- [21]. Economic Model Predictive Control for Building Energy Systems
- [22]. Wikipedia, the free encyclopedia, Building Automation, July 2016  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_comfort](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort)

- [23]. Χριστίνα Σκονδρογιάννη, 2016. Διαδικτυακή Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης για τη Ρύθμιση Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων
- [24]. Optimus Dss, D4\_1\_Baseline Analysis Report\_V20
- [25]. [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)
- [26]. Optimus Dss, Baseline and DSS indicators
- [27]. <http://ziakopoulos.blogspot.gr/>
- [28]. J. Bloem, H. Madsen, J. Kloppenborg, J. Liisberg, J. Cipriano, G. Mor, Dynamic Methodology for the Evaluation of Occupant Behaviour and Residential Energy Consumption
- [29]. Larsen, Tine Steen; Knudsen, Henrik Nellemose; Kanstrup, Anne Marie; Christiansen, Ellen, Tove; Gram-Hanssen, Kirsten; Mosgaard, Mette; Brohus, Henrik; Heiselberg, Per Kvols, Rose, Jørgen , 2010. Occupants Influence on the Energy Consumption of Danish Domestic Buildings
- [30]. David A. Waddicora, Laura Siso, Jaume Salom, Berenger Favre, Cristel Jimenez, Marc Azar, 2016. Climate change and building ageing impact on building energy performance and mitigation measures application: A case study in Turin, northern Italy