



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πρόβλεψη και Αξιολόγηση Ενεργειακής Αποδοτικότητας
Κτιρίων Βάσει Προσομοιώσεων Διαφορετικών Σεναρίων
Έντασης Χρήσης της Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος, Μ. Γκολέμης

Επιβλέπων : Βασίλειος Ασημακόπουλος,
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνη: Νικολέττα Ζαμπέτα Λεγάκη

Αθήνα, Μάρτιος 2014



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

Πρόβλεψη και Αξιολόγηση Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων Βάσει Προσομοιώσεων Διαφορετικών Σεναρίων Έντασης Χρήσης της Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος, Μ. Γκολέμης

Επιβλέπων : Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνη: Νικολέττα Ζαμπέτα Λεγάκη

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2014.

.....

Β. Ασημακόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ι. Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Δ. Ασκούνης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα 2014

.....
Νικόλαος, Μ. Γκολέμης

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

Copyright © Νικόλαος, Μ. Γκολέμης, 2014

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

Θέμα: Πρόβλεψη και αξιολόγηση ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων βάσει προσομοιώσεων διαφορετικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια η εξοικονόμηση ενέργειας απασχολεί πολλούς οργανισμούς και κρατικούς φορείς. Το αυξημένο κόστος ενέργειας σε συνδυασμό με την στρατηγική επιλογή, από την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλα κράτη, της προστασίας του περιβάλλοντος και της μείωσης της ενεργειακής εξάρτησης τους, έχει οδηγήσει στην δημιουργία ενός ευνοϊκού πλαισίου για την ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.

Έρευνες δείχνουν ότι ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας και κυρίως της ηλεκτρικής. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τις μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων. Πολλές επιχειρήσεις χρηματοδοτούν προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας για να επιτύχουν μείωση του κόστους λειτουργίας τους και βελτίωση του ενεργειακού τους προφίλ. Τα ερωτήματα τα οποία τίθενται σε τέτοιου είδους μελέτες είναι, εκτός από το κόστος εφαρμογής τους, το ποσό της εξοικονομούμενης ενέργειας και η επίδραση στην λειτουργία της επιχείρησης. Απάντηση στα τελευταία δύο ερωτήματα μπορεί να δώσει η μέθοδος της προσομοίωσης. Αναπαριστώντας, στο μέτρο του δυνατού, το πραγματικό μοντέλο είμαστε σε θέση να εισάγουμε διάφορα εναλλακτικά σενάρια κατανάλωσης ενέργειας, αξιολογώντας τα σενάρια αυτά.

Στην εργασία μας αναπτύχθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο σχεδιασμού, ανάλυσης και υλοποίησης διαφορετικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικές κατηγορίες εμπορικών κτηρίων σύμφωνα με την ηλεκτρική τους κατανάλωση. Αναλύθηκαν οι μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρισμού και άλλων μεγεθών, ενώ προτάθηκε η εφαρμογή Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) τα οποία όμως θα έχουν χαμηλό κόστος και θα αφορούν στην αλλαγή του τρόπου λειτουργίας της επιχείρησης και όχι στην αντικατάσταση/ανακαίνιση υπάρχοντος εξοπλισμού. Στην συνέχεια αναφέρεται ο τρόπος ανάπτυξης και εφαρμογής, ενός μοντέλου προσομοίωσης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενός κτιρίου και αναλύθηκαν τρόποι αξιολόγησης των εξεταζόμενων ΜΕΕ με την χρήση Βασικών Δεικτών Απόδοσης (ΒΔΑ).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία μελέτη περίπτωσης εφαρμογής του θεωρητικού μοντέλου σε ένα πραγματικό εστιατόριο ταχείας εξυπηρέτησης χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης. Εφαρμόστηκε η τεχνική της προσομοίωσης, με το πρόγραμμα προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών, ExtendSim8. Κατόπιν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης τα οποία ανέδειξαν τα πιο αποδοτικά ΜΕΕ, όπως η τροποποίηση του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της παραγωγής και η ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας του χώρου, και οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα όπως το σημαντικό πλεονέκτημα στην εξοικονόμηση ηλεκτρισμού χρησιμοποιώντας συνδυασμό ΜΕΕ μηδενικού κόστους. Τέλος αναφέρονται προτάσεις προέκτασης του υπάρχοντος μοντέλου.

Λέξεις Κλειδιά: Εξοικονόμηση ενέργειας, Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης, Προσομοίωση σεναρίων έντασης χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πρόβλεψη Εξοικονόμησης Ενέργειας

Abstract

Topic: Forecasting and evaluation of buildings' energy performance based on simulations of different electrical energy use intensity scenarios.

In recent years, energy efficiency has become a prevalent topic of discussion and activities amongst various international organizations and national agencies. Increasing energy costs combined with a strategy, set up by the EU and other states, aiming at environmental protection and reduction of energy dependencies, have led to the establishment of a framework that favors the development of innovating energy efficiency methods.

Research has shown that the field of buildings is associated with the greatest amounts of energy consumption, and electrical energy in particular. In this study we address energy efficiency methods in buildings used for commercial activities. Many companies fund energy efficiency programs in order to achieve a reduction in their operating costs and an improvement of their energy profile. Besides the cost of implementation, issues that are raised in such studies involve the amount of energy savings and the impact on business operations. The method of simulation can be used to research this issues. By modeling, as accurately as possible, business situations, we can introduce various alternative scenarios of energy consumptions to our analysis and evaluate our conclusions.

In this study, we develop a theoretical model for the planning, analysis and implementation of different electrical Energy Use Intensity scenarios for different categories of commercial buildings according to their electrical consumption. We address topics such as the analysis of electrical energy consumption and other metrics, while suggest the implementation of Energy Conservation Measures (ECMs) which are low-cost and focus on the change of business processes rather than the replacement/retrofitting of existing equipment. Further, we demonstrate the way by which a model that simulates electrical energy consumption in buildings can be developed and implemented, and analyze the evaluation of suggested ECMs based on Key Performance Indicators (KPIs).

In addition, we present a case study on the implementation of the theoretical model in a quick service restaurant utilizing real electricity consumption data. Simulations were executed using a production process simulation program, ExtendSim8. We then present the case study results which highlight the most efficient ECMs, such as altering production's operational time schedule and change indoor set-point temperature, and led to various useful conclusions such as the significant advantage of using bundles of no cost ECMs in electrical energy conservation. Finally, we refer to potential extensions of our theoretical model.

Key words: Energy conservation; Energy Performance Indicators; Simulation of Electrical Energy Use Intensity scenarios; Energy efficiency forecast

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων της Μονάδας Συστημάτων Πρόβλεψης και Στρατηγικής κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012 – 2013. Η μονάδα υπάγεται στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του ΕΜΠ κ. Βασίλειο Ασημακόπουλο για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και τον καθηγητή κ. Ι. Ψαρρά και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δ. Ασκούνη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα ιδιαιτέρως να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτωρ και υπεύθυνη της διπλωματικής εργασίας Νικολέττα-Ζαμπέτα Ι. Λεγάκη για την συνεχή και πολύτιμη καθοδήγηση κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την υπομονή τους και την αταλάντευτη στήριξη τους, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Νικόλαος Γκολέμης,
Αθήνα, Μάρτιος 2014

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Κεφάλαιο 1 Ευρεία Περίληψη..... | 15 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 16 |
| 1.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας..... | 16 |
| 1.3 Προσομοίωση..... | 17 |
| 1.4 Θεωρητικό Μοντέλο..... | 17 |
| 1.5 Μελέτη Περίπτωσης..... | 18 |
| 1.6 Αποτελέσματα..... | 20 |
| Κεφάλαιο 2 Εισαγωγή..... | 25 |
| 2.1 Σταθμοί στην ιστορία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής..... | 26 |
| 2.2 Χρησιμότητα της Εργασίας..... | 28 |
| Κεφάλαιο 3 Εξοικονόμηση Ενέργειας..... | 33 |
| 3.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας & Ενεργειακή Αποδοτικότητα..... | 34 |
| 3.2 Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια..... | 37 |
| 3.3 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) – Energy Conservation Measures (ECMs) 39 | |
| 3.4 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) – Key Performance Indicators (KPIs)..... | 41 |
| Κεφάλαιο 4 Προσομοίωση..... | 43 |
| 4.1 Πρόβλεψη & Στρατηγική..... | 44 |
| 4.1.1 Εισαγωγή- Κατηγορίες Προβλέψεων..... | 44 |
| 4.1.2 Σφάλματα και Εφαρμογή Πρόβλεψης σε ενεργειακές μελέτες..... | 47 |
| 4.2 Γενικές πληροφορίες για την Προσομοίωση..... | 48 |
| 4.3 Δομικά στοιχεία της θεωρίας της προσομοίωσης..... | 50 |
| 4.3.1 Συστήματα..... | 50 |
| 4.3.2 Μοντέλα..... | 51 |
| 4.3.3 Βασικές Μέθοδοι μοντελοποίησης σε υπολογιστικά συστήματα..... | 52 |
| 4.3.4 Άλλες Μέθοδοι μοντελοποίησης σε υπολογιστικά συστήματα..... | 53 |
| 4.4 Αριθμητικές Κατανομές..... | 53 |
| 4.4.1 Κατανομές συνεχών μεταβλητών..... | 54 |
| 4.4.2 Κατανομές διακριτών μεταβλητών..... | 57 |
| 4.5 Επαλήθευση – Εγκυρότητα – Calibration..... | 57 |
| 4.6 Λογισμικά Προσομοίωσης..... | 58 |
| Κεφάλαιο 5 Θεωρητικό μοντέλο προσομοίωσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογή ΜΕΕ..... | 61 |

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 | Περιγραφή του Θεωρητικού Μοντέλου | 62 |
| 5.2 | Στάδια του θεωρητικού μοντέλου | 68 |
| 5.2.1 | Στάδιο 1ο – Κατασκευή του μοντέλου | 69 |
| 5.2.2 | Στάδιο 2ο – Προσομοίωση και ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (Model Simulation & calibration)..... | 71 |
| 5.2.3 | Στάδιο 3ο – Εισαγωγή των ΜΕΕ | 72 |
| 5.2.4 | Στάδιο 4ο – Αξιολόγηση των ΜΕΕ | 77 |
| 5.2.5 | Στάδιο 5ο – Πρόβλεψη της εξοικονομημένης ενέργειας και ανάλυση σεναρίων | 78 |
| 5.3 | Στόχοι του μοντέλου | 79 |
| 5.4 | Φύλλο εφαρμογής του θεωρητικού μοντέλου - Διασύνδεση με τη μελέτη περίπτωσης | 79 |
| Κεφάλαιο 6 Μελέτη Περίπτωσης..... | | 83 |
| 6.1 | Περιγραφή της μελέτης περίπτωσης | 84 |
| 6.1.1 | Παραδοχές..... | 85 |
| 6.2 | Περιγραφή και Ανάλυση των δεδομένων | 86 |
| 6.2.1 | Περιγραφή των δεδομένων | 86 |
| 6.2.2 | Ανάλυση δεδομένων | 87 |
| 6.3 | Λειτουργική διαδικασία – Κατασκευή του αρχικού μοντέλου | 90 |
| 6.4 | Ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (Model Calibration)..... | 92 |
| 6.5 | Ανάλυση σταδίων-κατασκευή του τελικού μοντέλου | 95 |
| 6.5.1 | Γενικές Ρυθμίσεις του μοντέλου | 97 |
| 6.5.2 | Προσομοίωση εισόδου πελατών | 97 |
| 6.5.3 | Στάδιο της Παραγγελίας..... | 99 |
| 6.5.3 | Στάδια παραγωγής | 101 |
| 6.5.4 | Τελευταία στάδια | 104 |
| 6.6 | Προσομοίωση Κλιματιστικού συστήματος | 105 |
| 6.7 | Προσομοίωση Φωτιστικού συστήματος..... | 107 |
| 6.8 | Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ), εισαγωγή τους στο μοντέλο και υλοποίηση τους μέσω του ExtendSim8 | 108 |
| 6.9 | Βασικοί Δείκτες Απόδοσης και εισαγωγή των μεθόδων μέτρησης τους στο μοντέλο..... | 110 |
| Κεφάλαιο 7 Αποτελέσματα | | 115 |
| 7.1 | Αρχικό μοντέλο προσομοίωσης και πραγματικά δεδομένα..... | 116 |
| 7.2 | Εφαρμογή Εναλλακτικών Σεναρίων Έντασης Χρήσης της Ηλεκτρικής Ενέργειας | 119 |
| 7.3 | Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 1 & 2 | 120 |

| | | |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4 | Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 3 & 4..... | 125 |
| 7.5 | Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 5 & 6..... | 133 |
| 7.6 | Μέτρο Εξοικονόμησης Ενέργειας 7..... | 136 |
| 7.7 | Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 8 & 9 & 10 & 11..... | 139 |
| Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα – Προεκτάσεις..... | | 145 |
| 8.1 | Συμπεράσματα & Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων | 146 |
| 8.2 | Περιορισμοί του μοντέλου..... | 151 |
| 8.2.1 | Πληροφόρηση για τις κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας | 151 |
| 8.2.2 | Πληροφόρηση για θέματα λειτουργίας της επιχείρησης και τεχνικών χαρακτηριστικών | 151 |
| 8.3 | Προεκτάσεις του μοντέλου | 153 |
| 8.3.1 | Δείκτες ενεργειακής απόδοσης και δείκτες μη σχετιζόμενοι άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας, αλλά με την λειτουργία της επιχείρησης | 153 |
| 8.3.2 | Ανάλυση των απαιτήσεων του μοντέλου | 153 |
| 8.3.3 | Γενικές επεκτάσεις | 154 |

Περιεχόμενα Εικόνων

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ανά παραγωγικό τομέα, υπό εξέταση τομέας ο εμπορικός | 28 |
| Εικόνα 2: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία χρήσης στην Ευρώπη (προέλευση: Eurostat) | 29 |
| Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα | 29 |
| Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας στον οικιστικό τομέα | 30 |
| Εικόνα 5: Κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών..... | 31 |
| Εικόνα 6: Κατανάλωση ενέργειας στον εμπορικό τομέα..... | 31 |
| Εικόνα 7: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για σημαντικούς τομείς κατανάλωσης.... | 35 |
| Εικόνα 8: Κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. | 35 |
| Εικόνα 9: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στις Η.Π.Α. (για τομείς με μεγάλη κατανάλωση)..... | 36 |
| Εικόνα 10: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στην Ευρώπη(προέλευση: Eurostat) | 37 |
| Εικόνα 11: Συσχέτιση του κόστους των ΜΕΕ με τον τρόπο εφαρμογής τους | 39 |
| Εικόνα 12: Γράφημα κατανάλωσης ηλεκτρισμού των πέντε βασικών τύπων κτιρίων (CBECs survey-2003)..... | 63 |
| Εικόνα 13: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε ξενοδοχεία των Η.Π.Α. | 64 |
| Εικόνα 14: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε γραφεία των Η.Π.Α. | 65 |
| Εικόνα 15: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε εστιατόρια των Η.Π.Α. | 66 |
| Εικόνα 16: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού στο λιανικό εμπόριο των Η.Π.Α. | 66 |
| Εικόνα 17: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε κέντρα υγείας των Η.Π.Α. . | 67 |
| Εικόνα 18: Σχηματική αναπαράσταση της σύνδεσης των σταδίων του θεωρητικού μοντέλου | 68 |
| Εικόνα 19: Ενδεικτικό γράφημα απεικόνισης της συνολικής κατανάλωσης σε μία τυπική εβδομάδα | 87 |
| Εικόνα 20: Ενδεικτικό γράφημα απεικόνισης του συνολικού αριθμού πελατών σε μία τυπική εβδομάδα..... | 88 |
| Εικόνα 21: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης φωτισμού σε μία τυπική μέρα..... | 88 |
| Εικόνα 22: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης φριτέζων σε μία τυπική μέρα | 89 |
| Εικόνα 23: Γράφημα απεικόνισης της τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας από τον Οκτώβριο του 2012 έως τον Μάρτιο του 2013..... | 89 |
| Εικόνα 24: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού συστήματος από τον Σεπτέμβριο του 2012 έως τον Ιανουάριο του 2013 | 90 |
| Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργικής διαδικασίας του εστιατορίου | 90 |
| Εικόνα 26: Λεπτομερές διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας του εστιατορίου... | 91 |
| Εικόνα 27: Γράφημα απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος του μοντέλου από τα πραγματικά δεδομένα (ανά κατηγορία κατανάλωσης) | 94 |
| Εικόνα 28: Συνολικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης του εστιατορίου υλοποιημένο με το πρόγραμμα ExtendSim8 | 95 |
| Εικόνα 29: Παράθυρο διαλόγου του block Create | 98 |
| Εικόνα 30: Παράθυρο διαλόγου του block Lookup Table | 98 |
| Εικόνα 31: Εσωτερική δομή του ιεραρχικού μπλοκ του σταδίου της παραγγελίας | 99 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 32: Παράθυρο διαλόγου του block Unbatch | 100 |
| Εικόνα 33: Εστιασμένη εικόνα από το συνολικό μοντέλο – έξοδος από το στάδιο της παραγγελίας..... | 101 |
| Εικόνα 34: Εσωτερική δομή του ιεραρχικού μπλοκ του σταδίου της παραγωγής στην ΚΨ1 | 101 |
| Εικόνα 35: Εστιασμένη εικόνα από το συνολικό μοντέλο – υλοποίηση υπολογισμού κατανάλωσης ανά προϊόν | 102 |
| Εικόνα 36: Επεξηγηματική εικόνα-διαδρομή σημάτων προς το math block | 103 |
| Εικόνα 37: Έξοδος προϊόντος από την παραγωγική διαδικασία | 104 |
| Εικόνα 38: Σύνδεση των block - Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη | 105 |
| Εικόνα 39: Γραφική απεικόνιση της σχέσης κατανάλωσης ηλεκτρισμού του κλιματισμού με την διαφορά θερμοκρασίας..... | 106 |
| Εικόνα 40: Προσομοίωση του κλιματισμού στο ExtendSim8 | 107 |
| Εικόνα 41: Προσομοίωση του φωτισμού στο ExtendSim8..... | 110 |
| Εικόνα 42: Απεικόνιση του 1 ^{ου} χρονικού καταγραφέα της εισόδου των πελατών στο ExtendSim8..... | 112 |
| Εικόνα 43: Απεικόνιση του 2 ^{ου} χρονικού καταγραφέα της εισόδου των πελατών στο ExtendSim8..... | 112 |
| Εικόνα 44: Ημερήσια Κατανομή πελατών για τον μήνα Οκτώβριο 2012 – σύγκριση πραγματικών και προσομοιωμένων δεδομένων..... | 116 |
| Εικόνα 45: Πραγματική κατανομή κατανάλωσης ανά κατηγορία..... | 117 |
| Εικόνα 46: Κατανομή κατανάλωσης ανά κατηγορία – λειτουργία της επιχείρησης..... | 117 |
| Εικόνα 47: Ποσοστιαία σφάλματα πραγματικών και προσομοιωμένων δεδομένων ανά κατηγορία..... | 118 |
| Εικόνα 48: Κατάτμηση κατανάλωσης στις Φριτζές..... | 119 |
| Εικόνα 49: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των παραγωγικών κατηγοριών πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 1 και 2..... | 122 |
| Εικόνα 50: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία κατά την εφαρμογή των MEE 1 και 2..... | 122 |
| Εικόνα 51: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 1 και 2 | 123 |
| Εικόνα 52: Τμήμα εισόδου στις ΚΨ1 και ΚΨ2 – αποτύπωση block Select Item Out..... | 124 |
| Εικόνα 53: Διαγράμματα πίτα – Κατανομή των προϊόντων στις ΚΨ1 και ΚΨ2 πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 1 και 2..... | 124 |
| Εικόνα 54: Γράφημα δείκτη Evariable..... | 125 |
| Εικόνα 55: Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης μεταβλητής ενέργειας της ΚΨ1 | 126 |
| Εικόνα 56: Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης μεταβλητής ενέργειας της ΚΨ2 | 126 |
| Εικόνα 57: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των παραγωγικών κατηγοριών πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4..... | 128 |
| Εικόνα 58: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία κατά την εφαρμογή των MEE 3 και 4..... | 129 |
| Εικόνα 59: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 1 και 2 | 129 |
| Εικόνα 60: Γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4..... | 130 |
| Εικόνα 61: Γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4..... | 130 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 62: Διαγράμματα πίτα – Κατανομή των προϊόντων στις ΚΨ1 και ΚΨ2 πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4..... | 131 |
| Εικόνα 63: Διαγράμματα Evariableorder και ποσοστού εξοικονόμησης | 131 |
| Εικόνα 64: Κατάτμηση κατανάλωσης στις ΚΨ1 και ΚΨ2 | 132 |
| Εικόνα 65: Γραφική απεικόνιση της εσωτερικής θερμοκρασία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6..... | 134 |
| Εικόνα 66: Κατανάλωση κλιματισμού πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6..... | 134 |
| Εικόνα 67: Συνολική κατανάλωση κλιματισμού πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6 | 135 |
| Εικόνα 68: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην κατανάλωση κλιματισμού κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6..... | 135 |
| Εικόνα 69: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην συνολική κατανάλωση κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6..... | 136 |
| Εικόνα 70: Κατανάλωση φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7..... | 137 |
| Εικόνα 71: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7..... | 137 |
| Εικόνα 72: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην κατανάλωση φωτισμού και στην συνολική κατανάλωση κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7 | 138 |
| Εικόνα 73: Γραφική απεικόνιση της έντασης φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7..... | 138 |
| Εικόνα 74: Κατανάλωση ηλεκτρισμού ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 141 |
| Εικόνα 75: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 141 |
| Εικόνα 76: Γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 142 |
| Εικόνα 77: Γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 143 |
| Εικόνα 78: Γραφική απεικόνιση της εσωτερικής θερμοκρασία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 144 |
| Εικόνα 79: Γραφική απεικόνιση της έντασης φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 144 |
| Εικόνα 80: Συγκεντρωτική απεικόνιση της συνολικής κατανάλωσης πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ..... | 146 |
| Εικόνα 81: Συγκεντρωτική απεικόνιση του ποσοστού εξοικονόμησης μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ..... | 146 |
| Εικόνα 82: Συγκεντρωτικό γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ | 147 |
| Εικόνα 83: Συγκεντρωτικό γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ | 147 |
| Εικόνα 84: Συνδέσεις του block Equation στην προσομοίωση κλιματισμού στο ExtendSim8 | 161 |
| Εικόνα 85: Τμήμα κώδικα εισηγμένο στο block Equation | 161 |
| Εικόνα 86: Συνδέσεις του block Equation στην προσομοίωση φωτισμού στο ExtendSim8. | 162 |
| Εικόνα 87: Ονομασίες των συνδέσμων του block Equation | 162 |
| Εικόνα 89: Παράθυρο διαλόγου του block Activity | 163 |

| | |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 88: Τμήμα κώδικα εισηγμένο στο block Equation | 163 |
| Εικόνα 90: Παράθυρο διαλόγου του block Exit | 164 |
| Εικόνα 91: Καρτέλα results του block Queue | 164 |

Περιεχόμενα Πινάκων

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Πίνακας 1: ΜΕΕ σε κτίρια..... | 40 |
| Πίνακας 2: Πίνακας με τις κυριότερες ΚΚΗΕ ανά τύπο κτιρίου | 63 |
| Πίνακας 3: Πίνακας με τα προτεινόμενα ΜΕΕ του μοντέλου | 73 |
| Πίνακας 4: Βασικοί Δείκτες απόδοσης ανά τύπο κτιρίου | 77 |
| Πίνακας 5: Πίνακας με blocks που χρησιμοποιήθηκαν | 95 |
| Πίνακας 6: Εφαρμογή συνδυασμένων ΜΕΕ..... | 110 |
| Πίνακας 7: Καταναλώσεις και ποσοστό απόκλισης ανά κατηγορία..... | 116 |
| Πίνακας 8 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας | 120 |
| Πίνακας 9: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2 .. | 121 |
| Πίνακας 10: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2 | 121 |
| Πίνακας 11: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4 | 127 |
| Πίνακας 12: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4 | 127 |
| Πίνακας 13: κατανομή των παραγγελιών πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4 ... | 131 |
| Πίνακας 14: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6 | 133 |
| Πίνακας 15: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4 | 133 |
| Πίνακας 16: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7 | 136 |
| Πίνακας 17: : Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7..... | 137 |
| Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας των χαρακτηριστικών των ΜΕΕ 8,9,10,11 | 139 |
| Πίνακας 19: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11 | 140 |
| Πίνακας 20: Ποσοστό εξοικονόμησης ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11..... | 140 |
| Πίνακας 21: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11 | 142 |

Κεφάλαιο 1

Ευρεία Περίληψη

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να αναδείξει μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων μέσω εφαρμογής διαφορετικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τρόπους αξιολόγησής τους.

Αρχικά παρουσιάζεται το διεθνές πλαίσιο μέσα από το οποίο καθίσταται χρήσιμη η πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Γίνεται μία ιστορική αναδρομή του πλαισίου που εμπεριέχει τα ενεργειακά θέματα και αναφέρονται οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκοί στόχοι 20-20-20 - EUROPE 2020) στον δρόμο προς την συμμόρφωση με τις διεθνείς συμφωνίες προστασίας του περιβάλλοντος (Πρωτόκολλο του Κιότο). Αναδεικνύονται τα αίτια της επιλογής διερεύνησης του κτιριακού τομέα γενικά και ειδικότερα των κτιρίων εμπορικών επιχειρήσεων. Παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες τις οποίες έχει και τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται ο τομέας αυτός με τον ευρωπαϊκό στόχο της εξοικονόμησης ενέργειας.

1.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας ορίζεται ως *«η μείωση ή μηδενισμός της κατανάλωσης ενέργειας»* και τονίζονται οι διαφορές τις από την έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία αφορά στην προσφορά ίδιων ή περισσότερων υπηρεσιών με μικρότερη ή ίδια κατανάλωση ενέργειας. Η μελέτη των κυριότερων τομέων παραγωγικής δραστηριότητας (Μεταφορές, Βιομηχανία, Κατοικίες, Εμπορικός τομέας) οι οποίοι είναι και σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας, μας δίνει την δυνατότητα να εντοπίσουμε τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται η ενέργεια σε αυτούς και ιδιαίτερα η ηλεκτρική ενέργεια. Μελέτες στις ΗΠΑ όπως η CBECs (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) και η RECS (Residential Energy Consumption Survey) προσφέρουν μία κατανόηση της κατανομής των τελικών χρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελούν την βάση για τον εντοπισμό και την διάκριση των σημαντικότερων τύπων κτιρίων κατανάλωσης ηλεκτρισμού.

Εισάγεται και περιγράφεται η έννοια των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) ως *«τα μέτρα τα οποία στοχεύουν στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας»*. Τα ΜΕΕ κατηγοριοποιούνται σε ΜΕΕ μηδενικού, χαμηλού κόστους και μεγάλης επένδυσης. Επίσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μέτρα αντικατάστασης εξοπλισμού (retrofit ECMs) και μέτρα τροποποίησης των λειτουργικών διαδικασιών (altering operational procedures). Οι Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) αποτελούν έναν τρόπο μέτρησης της απόδοσης των επιχειρήσεων σε συγκεκριμένους τομείς. Επιχειρείται να αναδειχθεί η συσχέτιση η οποία μπορεί να έχουν τα ΜΕΕ με τους ΒΔΑ. Κατά την αξιολόγηση των ΜΕΕ εκτός από το ποσό της εξοικονομούμενης ενέργειας δύνανται να χρησιμοποιηθούν και οι ΒΔΑ ως δείκτες επηρεασμού της λειτουργίας της επιχείρησης και του επιπέδου εξυπηρέτησης κατά την εφαρμογή των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3 Προσομοίωση

Ως πρόβλεψη θα μπορούσε να οριστεί η «*διαδικασία αξιοποίησης της διαθέσιμης γνώσης για την παραγωγή ισχυρισμών για γεγονότα, των οποίων τα πραγματικά αποτελέσματα συνήθως δεν έχουν ακόμα παρατηρηθεί*» (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011). Στην εργασία μας χρησιμοποιώντας στοιχεία των μεθόδων πρόβλεψης (μέθοδοι παλινδρόμησης, στατιστικοί δείκτες, δείκτες σφάλματος όπως mean absolute error κλπ.) εισάγουμε την μέθοδο της προσομοίωσης (μεθόδου που χρησιμοποιείται εκτενώς στην επιχειρησιακή έρευνα) ως έναν τρόπο πρόβλεψης των αποτελεσμάτων των προτεινόμενων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, εάν είχαν εφαρμοστεί σε παρελθοντικό χρόνο. Η εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας που θα είχαμε επιτύχει εφόσον είχαν εφαρμοστεί στο παρελθόν, ως εργαλείο στην εξέταση αυτή χρησιμοποιείται η προσομοίωση.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Harrell (1996) η προσομοίωση περιγράφεται ως μία διαδικασία αναφερόμενη στο μοντέλο ενός συστήματος, το οποίο ανταποκρίνεται σε αλλαγές στην εσωτερική του δομή και τις εισόδους του. Το μοντέλο καθορίζει την ανταπόκριση αυτή.

Προχωρώντας στην ανάλυση της θεωρίας της προσομοίωσης ορίζονται τα βασικά στοιχεία της: το *σύστημα* (το οποίο κατηγοριοποιείται σε στατικά και δυναμικά συστήματα), η *κατάσταση*, το *γεγονός* και το *μοντέλο ενός συστήματος*. Το μοντέλο διακρίνεται σε μοντέλο μαύρου, λευκού και γκρι κουτιού. Οι κυριότερες μέθοδοι μοντελοποίησης είναι τα continuous models, discrete event models, monte carlo modeling, state/action model, agent-based models. Οι κυριότερες αριθμητικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση είναι η ομοιόμορφη, η κανονική και εκθετική κατανομή και άλλες οι οποίες αναλύονται. Οι τεχνικές και η διαδικασία με την οποία μετά την κατασκευή του μοντέλου της προσομοίωσης μπορούμε να το επαληθεύσουμε, να το ελέγξουμε ως προς την εγκυρότητα του και να εφαρμόσουμε μεθόδους calibration για να επιτύχουμε το πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα είναι: ο αντικειμενοστραφής ή ο δομημένος προγραμματισμός, η εφαρμογή διαδικασίας ελέγχου των επιμέρους αποτελεσμάτων, στατιστικές μέθοδοι, και ευρετικές μέθοδοι. Τα κυριότερα λογισμικά προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών και προσομοίωσης κατανάλωσης κτιρίων είναι το ExtendSim8, Simul8, EnergyPlus.

1.4 Θεωρητικό Μοντέλο

Στη συνέχεια γίνεται λόγος για την μεθοδολογία την οποία προτείνουμε για την ανάλυση και μοντελοποίηση ενός κτιριακού συστήματος μιας εμπορικής επιχείρησης σε μία μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας. Στόχος του μοντέλου είναι κυρίως η επίτευξη ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων με την εφαρμογή ΜΕΕ χαμηλού ή μηδενικού κόστους με αλλαγή του τρόπου λειτουργίας της επιχείρησης. Αρχικά γίνεται η επιλογή των εξεταζόμενων τύπων κτιρίων (Ξενοδοχεία, Γραφεία, Εστιατόρια, Λιανικό εμπόριο, Νοσοκομεία) και των κυριότερων Κατηγοριών

Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΚΚΗΕ: θέρμανση, δροσισμός, εξαερισμός, εξοπλισμός, κουζίνα, ψύξη, φωτισμός, άλλο).

Ύστερα παρουσιάζονται τα στάδια τα οποία ακολουθεί η θεωρητική αυτή ανάλυση. Το πρώτο και πιο βασικό στάδιο αφορά στην κατασκευή του μοντέλου. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η εισαγωγή της απαιτούμενης πληροφορίας η οποία περιλαμβάνει την εισαγωγή δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Μέγιστης σημασίας είναι η ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων κατανάλωσης και η απόκτηση πληροφοριών για άλλα μεγέθη, όπως για παράδειγμα: η εσωτερική θερμοκρασία και η ένταση φωτισμού. Μεγάλη αξία έχει επίσης η εισαγωγή και ενσωμάτωση στο μοντέλο των λειτουργικών χαρακτηριστικών της επιχείρησης (όπως το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συστημάτων, η θερμοκρασία εσωτερικού και εξωτερικού χώρου κλπ) και των Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης (όπως η κατανάλωση ενέργειας ανά εμβαδόν ενός χώρου, η κατανάλωση ενέργειας για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας σε συνάρτηση με την οικονομική της αξία για την επιχείρηση κλπ). Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την προσομοίωση του μοντέλου και την ρύθμιση των παραμέτρων του. Το τρίτο στάδιο είναι το στάδιο της εισαγωγής των ΜΕΕ τα οποία όπως είπαμε είναι μέτρα χαμηλού ή μηδενικού κόστους και παρατίθεται διευρυμένος πίνακας με τέτοιου είδους μέτρα. Το τέταρτο στάδιο είναι το στάδιο της αξιολόγησης των ΜΕΕ. Αυτό σημαίνει ότι ορίζονται οι ΒΔΑ, ο τρόπος μέτρησης τους και τα αποδεκτά όρια τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ΒΔΑ είναι: η παροχή έγκαιρης και σωστής εξυπηρέτησης, η καλή ποιότητα των προϊόντων κα. Στο πέμπτο και τελευταίο στάδιο γίνεται η πρόβλεψη της εξοικονομημένης ενέργειας και η ανάλυση των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα και για την καταναλισκόμενη ενέργεια και για τους ΒΔΑ.

1.5 Μελέτη Περίπτωσης

Εδώ πραγματεύεται η μελέτη περίπτωσης (case study) εφαρμογής του θεωρητικού μοντέλου σε πραγματικές συνθήκες. Η περίπτωση η οποία επιλέχθηκε αφορά σε ένα εστιατόριο ταχείας εξυπηρέτησης (quick service restaurant ή αλλιώς fast food restaurant) για το οποίο αποκτήσαμε λεπτομερή δεδομένα για πέντε κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Χώρος κουζίνας και ψύξης No 1 (ΚΨ1)
2. Χώρος κουζίνας και ψύξης No 2 (ΚΨ2)
3. Χώρος όπου βρίσκονται οι φριτέζες (ΦΡ)
4. Φωτισμός εστιατορίου
5. Κλιματισμός

Επίσης είχαμε στην διάθεση μας και γενικότερα δεδομένα, όπως:

- δεδομένα μέτρησης του αριθμού των πελατών ανά ημέρα (για τον μήνα Οκτώβριο)
- ωριαία δεδομένα μέτρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας (indoor temperature)

- ωριαία δεδομένα μέτρησης της εξωτερικής θερμοκρασίας, του περιβάλλοντος χώρου (outdoor temperature).
- ωριαία δεδομένα μέτρησης της φωτεινής ισχύος ανά περιοχή (lux) του εσωτερικού χώρου του καταστήματος

Η επεξεργασία των δεδομένων κατανάλωσης και του συνόλου των δεδομένων που είχαμε στη διάθεσή μας, σε συνδυασμό με ορισμένες παραδοχές που αφορούσαν στην τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης οδήγησαν στην απλοποίηση και υλοποίηση του μοντέλου μέσω του προγράμματος προσομοίωσης ExtendSim8. Σχολιάστηκε εκτενώς η διαδικασία ανάλυσης και μελέτης όλων των δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε. Η απλοποιημένη λειτουργική διαδικασία περιέχει την άφιξη των πελατών, την μετακίνησή τους σε χώρο αναμονής (ταμείο) στον οποίο γίνεται η παραγγελία, την αντιστοίχιση των παραγγελιών τους στους χώρους παραγωγής και στο τέλος την παραλαβή των προϊόντων από τους πελάτες και την έξοδο τους από το κατάστημα. Το αρχικό μοντέλο παρουσίαζε μερική απόκλιση, εφαρμόζοντας όμως τεχνικές calibration, όπως η ανάλυση των δεδομένων, πετύχαμε τον επιθυμητό βαθμό συμφωνίας με τα αρχικά δεδομένα και προχωρήσαμε στα επόμενα στάδια, όπως αναφέρθηκαν και στο θεωρητικό μοντέλο.

Στη συνέχεια αναλύονται και περιγράφονται διεξοδικά όλα τα επιμέρους τμήματα-στάδια του τελικού μοντέλου. Αναλύονται οι εισοδοί του μοντέλου όπως η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, ο αριθμός και ο χρόνος αφίξεων των πελατών κ.α. Περιγράφεται αναλυτικά και με την χρήση επεξηγηματικών εικόνων η μεθοδολογία και οι τεχνικές με τις οποίες προσομοιωθήκαν όλα τα στάδια παραγωγής της επιχείρησης με την χρήση του προγράμματος ExtendSim8. Κατά τη φάση του σχεδιασμού ανέκυψαν προβλήματα υλοποίησης της προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας της επιχείρησης με την χρήση του ExtendSim8. Αναφέρονται αναλυτικά οι τρόποι επίλυσης τους με την χρήση συνδυασμού εργαλείων του προγράμματος και με κατάλληλες τροποποιήσεις του μοντέλου. Ακολουθούν η τεχνική της προσομοίωσης της κατανάλωσης κλιματισμού με χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, η οποία αξιοποιεί τα δεδομένα κατανάλωσης με άλλα μετρούμενα μεγέθη όπως η εσωτερική και η εξωτερική θερμοκρασία. Στη συνέχεια ακολούθησε η μεθοδολογία προσομοίωσης του φωτισμού με χρήση των δεδομένων κατανάλωσης του φωτιστικού συστήματος και της έντασης φωτισμού στον χώρο (lux) και την χρήση του MS Excel και ExtendSim8.

Στην συνέχεια εισάγονται τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (MEE) τα οποία εξετάζονται στα εναλλακτικά σενάρια έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι:

1. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 - Increase accepted capacity KR1
2. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 - Increase accepted capacity KR2
3. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ1 - Selective function of KR1
4. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ2 - Selective function of KR2
5. Υποχώρηση ελέγχου του κλιματιστικού συστήματος τις νυχτερινές ώρες - Night-time ac setback control
6. Αλλαγή της επιθυμητής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας που εισάγεται στο κλιματιστικό σύστημα - AC cooling set-point temperature
7. Αλλαγή στο επίπεδο φωτισμού - Alter Illumination level

8. Συνδυασμός MEE 1,3,5,6,7 - ECMs 1,3,5,6,7
9. Συνδυασμός MEE 1,4,5,6,7 - ECMs 1,4,5,6,7
10. Συνδυασμός MEE 2,3,5,6,7 - ECMs 2,3,5,6,7
11. Συνδυασμός MEE 2,4,5,6,7 - ECMs 2,4,5,6,7

Τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται οι ΒΔΑ οι οποίοι επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση των ΜΕΕ. Οι οποίοι είναι:

- i. Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία - average queue line before order
- ii. Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία - average waiting time before order
- iii. Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης - average total service time
- iv. Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
- v. Ένταση φωτισμού (φωτεινή ισχύς ανά περιοχή: Lux)

Η μέτρηση τους πραγματοποιήθηκε μέσα στο μοντέλο το οποίο αναπτύχθηκε στο ExtendSim8 χρησιμοποιώντας εργαλεία του όπως μπλοκ-πίνακες αποθήκευσης, μπλοκ ουράς κλπ.

1.6 Αποτελέσματα

Το στάδιο της εφαρμογής της μελέτης περίπτωσης ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας μας και ο σχολιασμός τους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας της επιχείρησης δείχνουν ότι υπάρχει πολύ μικρή απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα, ενισχύοντας την εγκυρότητα του μοντέλου μας. Η σχετικά πιο μεγάλη απόκλιση της κατανάλωσης στους χώρους που βρίσκονται οι φριτέζες οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από μεταβλητό τμήμα κατανάλωσης ενέργειας δυσχεραίνοντας την προσομοίωση της.

Στα δύο πρώτα μέτρα εφαρμόζεται μικρή τροποποίηση της χωρητικότητας παραγωγής η οποία δεν επηρεάζει κανέναν από τους ΒΔΑ. Κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 1 έχουμε πρόβλεψη συνολικής εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 0,11% αλλά κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 2 έχουμε αύξηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 0,063%. Στο ΜΕΕ 1 αυξάνεται η χωρητικότητα της ΚΨ1, επιτυγχάνοντας μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στους χώρους ΚΨ κατά 77 kWh, που σημαίνει ποσοστιαία μείωση στις ΚΨ κατά περίπου 0,3% και στη συνολική κατανάλωση κατά 0,11%. Στο ΜΕΕ 2 αυξάνεται η χωρητικότητα της ΚΨ2, η οποία όμως έχει αντίθετο αποτέλεσμα. Προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης κατά 45 kWh που σημαίνει ποσοστιαία αύξηση στις ΚΨ κατά περίπου 0,17% και στη συνολική κατανάλωση κατά 0,063%. Παρότι εφαρμόζονται παρόμοια μέτρα έχουμε αντίθετα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στην ενεργειακή συμπεριφορά του κάθε χώρου παραγωγής, καθώς όπως προκύπτει η ΚΨ2 είναι πιο ενεργοβόρος χώρος παραγωγής.

Τα ΜΕΕ 3 και 4 τροποποιούν το ωράριο λειτουργίας των ΚΨ. Στο ΜΕΕ 3 εφαρμόζεται κλείσιμο της ΚΨ1 τις ώρες χαμηλής πελατειακής κίνησης και λειτουργία και των δύο ΚΨ τις ώρες αιχμής και στο ΜΕΕ 4 το αντίστροφο. Τα αποτελέσματα της

προσομοίωσης έδειξαν ότι με την εφαρμογή του MEE 3 επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 1091,445 kWh, που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία εξοικονόμηση στην ΚΨ1 κατά περίπου 13% αλλά και αύξηση στην ΚΨ2 κατά 6,8% περίπου. Το ποσοστό εξοικονόμησης τελικά, είναι 1,542% επί της συνολικής κατανάλωσης. Κατά την εφαρμογή του MEE 4 επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρισμού κατά 581,77 kWh, που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία εξοικονόμηση στην ΚΨ2 κατά περίπου 9,55% αλλά και αύξηση στην ΚΨ1 κατά 3,6% περίπου. Το ποσοστό εξοικονόμησης τελικά, είναι 0,82% επί της συνολικής κατανάλωσης. Η κατανάλωση των ΚΨ αποτελείται από μεταβλητό και σταθερό τμήμα. Η τροποποίηση του ωραρίου λειτουργίας των ΚΨ οδήγησε σε μεγαλύτερη μείωση του σταθερού τμήματος κατανάλωσης οδηγώντας σε συνολικά μεγαλύτερη εξοικονόμηση από το MEE 3. Η επίπτωση των μέτρων στους ΒΔΑ είναι για το μέσο μήκος ουράς (αριθμός πελατών) πολύ μικρή αύξηση από 1,626 σε 1,785 και 1,784 για τα MEE 3 και 4 αντίστοιχα. Η επίπτωση στους χρόνους εξυπηρέτησης είναι, για το μέσο χρόνο αναμονής πριν την παραγγελία αύξηση από 1,648 λεπτά σε 1,809 και 1,8075 για τα MEE 3 και 4 αντίστοιχα και για τον μέσο χρόνο συνολικής εξυπηρέτησης από 4,275 λεπτά σε 4,477 και 4,475 για τα MEE 3 και 4 αντίστοιχα.

Τα MEE 5 και 6 αφορούν σε παρεμβάσεις στο σύστημα κλιματισμού. Το MEE 5 το οποίο εφαρμόζει χαλάρωση ελέγχου της θερμοκρασίας τις νυχτερινές ώρες από τους 25°C στους 27°C, παρουσιάζει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 154,106 kWh, ποσότητα που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία εξοικονόμηση 3,024% στην κατανάλωση κλιματισμού και 0,783% στη συνολική κατανάλωση. Το MEE 6 εφαρμόζεται για όλες τις ώρες, με ρύθμιση του θερμοστάτη από τους 25°C στους 25,5°C και παρουσιάζει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 831,160 kWh, ποσότητα που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία εξοικονόμηση 4,536% στην κατανάλωση κλιματισμού και 1,174% στην συνολική κατανάλωση. Το MEE 7 εφαρμόζεται με μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας του φωτιστικού συστήματος μειώνοντας την επιθυμητή ένταση φωτισμού στο κατώτερο επιτρεπτό επίπεδο (150 lux). Το μέτρο αυτό είχε ως αποτέλεσμα πρόβλεψη μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 80 kWh, πρόβλεψη που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία εξοικονόμηση 0,45% στη κατανάλωση κλιματισμού και στο 0,114% στη συνολική κατανάλωση.

Τα MEE 8 έως 11 αποτελούν σενάρια εφαρμογής συνδυασμού των προηγούμενων μεμονωμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Τα μέτρα αυτά προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε σχέση με τα μεμονωμένα έως και τρεις φορές μεγαλύτερες σε σχέση με αυτά, φτάνοντας μέχρι και το 3,5% (για το MEE 8) επί της συνολικής κατανάλωσης. Για τα MEE 9,10 και 11 η πρόβλεψη ποσοστιαίας εξοικονόμησης ενέργειας είναι αντίστοιχα 2,76%, 3,35% και 2,65% για την συνολική κατανάλωση. Ο συνδυασμός των μέτρων σε ορισμένες περιπτώσεις προσφέρει επίσης την μετρίαση των επιπτώσεων που έχουν οι παρεμβάσεις μας στους ΒΔΑ, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των MEE 9 και 10 στα οποία υπήρξε μικρή μείωση του μέσου μήκους ουράς αναμονής και των χρόνων αναμονής σε σχέση με τα αποτελέσματα των MEE 3 και 4. Οι τιμές των ΒΔΑ βρίσκονται ανάμεσα στις αρχικές τιμές για την προσομοίωση λειτουργίας της επιχείρησης και τις τιμές για τα MEE 3 και 4, τα οποία είχαν την μεγαλύτερη επίδραση (αν και μικρή) στους ΒΔΑ. Ο δείκτης μέσο μήκος ουράς (αριθμός πελατών) διαμορφώθηκε στην τιμή 1,70 για τα MEE 9 και 10 ενώ ο μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία

στα 1,723 λεπτά και ο μέσος χρόνο συνολικής εξυπηρέτησης στα 4,36 λεπτά. Στα ΜΕΕ 8 και 11 τα αποτελέσματα σε αυτούς τους ΒΔΑ παρέμειναν σχεδόν σταθερά.

1.7 Συμπεράσματα και Προεκτάσεις

Αναπτύσσονται τα συμπεράσματα από την μελέτη περίπτωσης και γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Από την παρατήρηση των μέτρων συμπεραίνουμε ότι η λεπτομερής καταγραφή των παραμέτρων λειτουργίας της επιχείρησης μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστη προσομοίωση, όπως στην περίπτωση μας. Επιβεβαιώθηκαν τα θεωρητικά ευρήματα σχετικά με την κατανομή των κατηγοριών κατανάλωσης καθώς οι μεγαλύτερες καταναλώσεις ήταν η ψύξη με την παραγωγή γευμάτων (Κουζίνα) και στη συνέχεια η κατανάλωση κλιματισμού και φωτισμού. Επίσης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή ρύθμισης του θερμοστάτη για μικρή αύξηση της θερμοκρασίας στόχου, από τους 25 στους 25,5°C είναι πιο αποδοτική (εξοικονόμηση σε ποσοστό 1,17% επί της συνολικής κατανάλωσης) αν χρησιμοποιείται για όλο το διάστημα της ημέρας σε σχέση με τη ρύθμιση μόνο τις νυχτερινές για μεγαλύτερη αύξηση από τους 25°C στους 27°C, (εξοικονόμηση σε ποσοστό 0,78% επί της συνολικής κατανάλωσης).

Το ποσό της εξοικονομούμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά μικρό για μέτρα μηδενικού κόστους (κυμαίνεται από 0,1 έως 3,5%). Επίσης το ποσοστό της εξοικονόμησης για μεμονωμένα ΜΕΕ μηδενικού κόστους είναι ακόμα χαμηλότερο σε σχέση με τον συνδυασμό ΜΕΕ. Για μεμονωμένα μέτρα μπορεί η εξοικονόμηση να φτάσει έως και 1,54%. Η μελέτη των αποτελεσμάτων για συνδυασμό μέτρων ανέδειξε τις πολύ καλές δυνατότητες εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας (μέχρι και 3,5% περίπου) που προσφέρουν η συνολική υιοθέτηση μέτρων μηδενικού κόστους. Επίσης μπορεί να αναδείξει επιπλέον τρόπους μείωσης της ενέργειας και ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων στους ΒΔΑ προβάλλοντας τα αποτελέσματα άγνωστων μέχρι πριν αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των κατηγοριών κατανάλωσης του συστήματος.

Όπως συμπεράναμε από την μελέτη των ΜΕΕ είναι χρήσιμη η μελέτη μεμονωμένων μέτρων καθώς μπορούν να αποκαλύψουν τις δυνατότητες τους, την ενεργειακή τους συμπεριφορά και τις εσωτερικές σχέσεις μεταξύ των υποσυστημάτων του συνολικού συστήματος λειτουργίας της επιχείρησης. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τα μεμονωμένα μέτρα, το συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε είναι ότι μερικές φορές ίδια μέτρα μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα ακόμα και σε ίδιου τύπου κατηγορίες κατανάλωσης (στην εργασία μας για τις ΚΨ). Η εφαρμογή του ΜΕΕ 1 οδηγεί σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης σε ποσοστό 0,1%. Όμως αν και δεν ήταν αναμενόμενο, με την εφαρμογή του ΜΕΕ 2 έχουμε αύξηση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, αντί για μείωση, σε ποσοστό 0,063%. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί και σε ένα επιπλέον συμπέρασμα, ότι ορισμένα μέτρα δεν γίνεται να αξιολογηθούν ως προς την χρησιμότητα τους παρά μόνο αν πραγματοποιηθεί η προσομοίωση τους και το οποίο αναδεικνύει την σημασία της προσομοίωσης στις ενεργειακές μελέτες.

Η επιτυχία ενός σεναρίου εξοικονόμησης ενέργειας εξαρτάται και από τα εσωτερικά χαρακτηριστικά των υποσυστημάτων (ακόμα και του ίδιου τύπου) που καταναλώνουν ενέργεια. Η εφαρμογή του ΜΕΕ 2, όπως προαναφέραμε είχε αρνητικό αποτέλεσμα (αύξηση της ενέργειας κατά 0,063%) καθώς η παραγωγή προϊόντων από την ΚΨ2 ήταν εξαιρετικά ενεργοβόρα, οπότε η ανακατεύθυνση περισσότερων προϊόντων προς παραγωγή σε αυτό το υποσύστημα οδήγησε σε αύξηση αντί για μείωση της ενέργειας. Επίσης κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4, παρότι και τα δύο οδήγησαν σε μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παρατηρήσαμε ότι η εξοικονόμηση κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 3 ήταν σχεδόν διπλάσια από την εξοικονόμηση κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 4 (1,542% έναντι 0,822%) το οποίο οφείλεται στα εσωτερικά χαρακτηριστικά της κάθε ΚΨ.

Διάφοροι περιορισμοί του παρόντος μοντέλου είναι: οι επιλεγμένες κατηγορίες κατανάλωσης, η γνώση σχετικά με την λειτουργία της κάθε επιχείρησης και η γνώση σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά διάφορων συστημάτων. Ορισμένες προεκτάσεις του μοντέλου θα μπορούσαν να είναι: η διεύρυνση της μελέτης ενεργειακών δεικτών και δεικτών σχετικών με την λειτουργία μιας επιχείρησης, η εμφάθυνση των απαιτήσεων του μοντέλου (π.χ. περαιτέρω τμηματοποίηση των κατηγοριών κατανάλωσης). Επίσης το μοντέλο θα μπορούσε να επεκταθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο οικονομικού σχεδιασμού και περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή ακόμα και βελτιστοποίησης της σχεδίασης κτιρίων προς κατασκευή.

Κεφάλαιο 2

Εισαγωγή

2.1 Σταθμοί στην ιστορία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής

Η ιδέα της εξοικονόμησης ενέργειας ξεκίνησε κυρίως τον 20^ο αιώνα και έχει ως γενεσιουργές αιτίες ιστορικά γεγονότα και αντικειμενικές ανάγκες των βιομηχανοποιημένων κοινωνιών. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα σημαντικά γεγονότα και παρουσιάζεται το πλαίσιο στο οποίο στηρίχθηκε η σκοπιμότητα της εργασίας αυτής.

- **Κρίσεις του πετρελαίου**

Οι ενεργειακές κρίσεις την δεκαετία του '70 (1973-εμπάργκο του ΟΠΕΚ, 1979-αλλαγή καθεστώτος στο Ιράν) εκτόξευσαν το ενδιαφέρον της παγκόσμιας πολιτικής και επιστημονικής κοινότητας για διάφορα ενεργειακά ζητήματα. Η εξοικονόμηση ενέργειας έγινε κομμάτι της κυβερνητικής πολιτικής στον δρόμο προς την ενεργειακή απεξάρτηση των ανεπτυγμένων χωρών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Η.Π.Α.) το κογκρέσο έθεσε σε εφαρμογή νόμους για τον περιορισμό στη κατανάλωση ενέργειας από επιχειρήσεις, ίδρυσε την κυβερνητική υπηρεσία "Τμήμα για την Ενέργεια" (Department of Energy- DOE) έχοντας ως έναν από τους στόχους της, την εξοικονόμηση ενέργειας και έθεσε πρότυπα για την ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα.

- **Πρωτόκολλο του Κιότο**

Το πρωτόκολλο του Κιότο συντάχθηκε το 1997 από το United Nations Framework Convention on Climate Change με τη συνεργασία πολλών χωρών παγκοσμίως. Στοιχεί στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω του ελέγχου και της μείωσης των βλαβερών ατμοσφαιρικών ρύπων που σχετίζονται με αυτό. Γίνεται προσπάθεια για κοινή υιοθέτηση του από όλες τις χώρες. Για την εφαρμογή του χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία έτσι ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία, όπως είναι: η εμπορία δικαιωμάτων χρήσης (international emissions trading), ο μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης (clean development mechanism) και η κοινή εφαρμογή (joint implementation). Η ευρωπαϊκή ένωση έχει υιοθετήσει το πρωτόκολλο αυτό και έχει συνδέσει τους στόχους αυτούς με δικούς της για την ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική της.

- **Στόχοι της Ε.Ε. για το 2020**

Οι κρίσεις του πετρελαίου την δεκαετία του '70 και μια σειρά μικρών κρίσεων τις επόμενες δεκαετίες δημιούργησαν έντονο προβληματισμό σχετικά με την διαχείριση της διαθέσιμης ενέργειας και σχετικά με την ενεργειακή εξάρτηση των χωρών. Το γεγονός αυτό συνδυάστηκε με την παγκόσμια ανησυχία για την μόλυνση του περιβάλλοντος. Κορυφαία εκδήλωση εφαρμογής ανασταλτικών μέτρων για την μόλυνση του περιβάλλοντος σε διακρατικό επίπεδο αποτέλεσε το πρωτόκολλο του Κιότο. Τα αποτελέσματα του στη συνέχεια οδήγησαν τις χώρες της Ε.Ε να αναλάβουν πρωτοβουλίες στον χώρο της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος, οι οποίες συνοψίζονται στους στόχους 20-20-20.

- **Ευρωπαϊκοί στόχοι 20-20-20 (EUROPE 2020)**

Μια σειρά οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που επικύρωσαν και επικαιροποίησαν τις αποφάσεις των ηγετών της Ευρωπαϊκής Ένωσης τον Μάρτιο του 2007 εγκαθίδρυσαν και οριοθέτησαν τους στόχους της Ενεργειακής και Περιβαλλοντικής Πολιτικής της Ένωσης με ορίζοντα υλοποίησης το 2020. Οι στόχοι αυτοί, οι οποίοι φαίνεται να υλοποιούνται σε ευρωπαϊκό επίπεδο, είναι:

1. **20% μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.**

Το ποσοστό για το 2010, οπότε και είναι τα τελευταία δημοσιευμένα στοιχεία στους πίνακες της Eurostat, είναι 15%.

2. **20% το ποσοστό της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας.**

Τα τελευταία δημοσιευμένα στοιχεία της Eurostat στο δείκτη αυτό, αφορούν το έτος 2011 και δίνουν ποσοστό συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 13%.

3. **20% βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, σε σχέση με τις προβλέψεις για ενεργειακή κατανάλωση το 2020.**

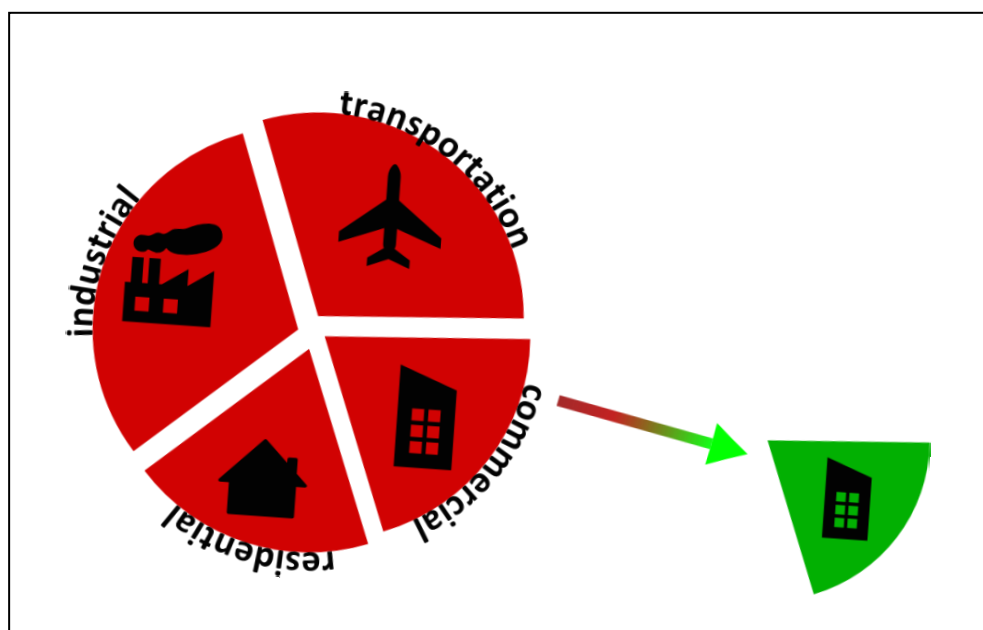
Ο στόχος αυτός μεταφράζεται σε μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας για την Ε.Ε (των 27 κρατών-μελών) το 1990 ήταν 1.702.815 χιλ.Τ.Ι.Π. (χιλιάδες Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) και ο στόχος για το 2020 είναι ο αριθμός αυτός να πέσει στους 1.474.000 χιλ.Τ.Ι.Π.. Τα τελευταία δημοσιευμένα στοιχεία της Eurostat για το 2010 δείχνουν την κατανάλωση της ενέργειας στους 1.646.839 χιλ.Τ.Ι.Π.

2.2 Χρησιμότητα της Εργασίας

Ολοκληρώνοντας την παράθεση των λόγων που καθιστούν χρήσιμη την μελέτη αυτή οφείλουμε να επισημάνουμε την κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της έρευνας στις υπό εξέταση κατηγορίες.

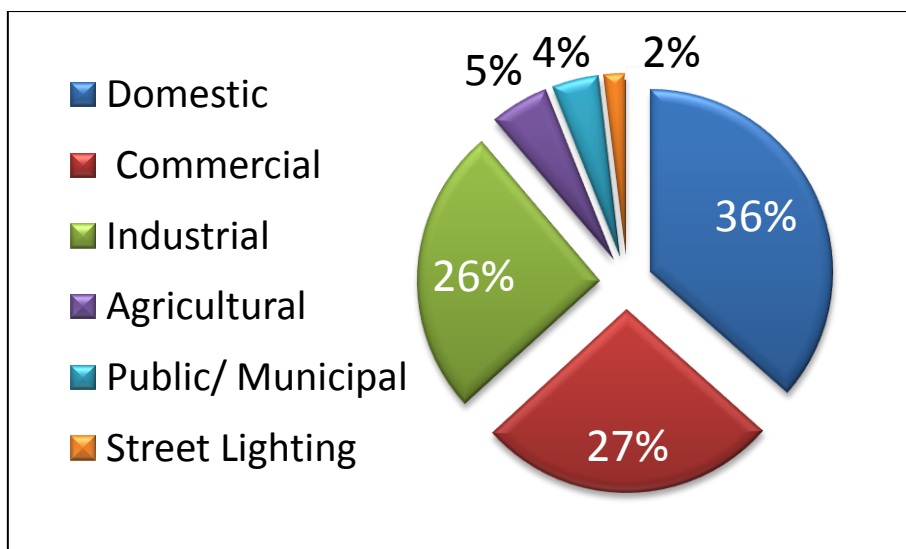
Η εργασία θα επικεντρωθεί στον τομέα της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια εμπορικής χρήσης, κυρίως τροποποιώντας τη λειτουργική διαδικασία μιας επιχείρησης. Στη συνέχεια συνοψίζονται οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάληψη αυτής της πρωτοβουλίας και πως συνδέονται με τον στόχο της Ε.Ε για το 2020.

Οι κυριότεροι τομείς κατανάλωσης ενέργειας είναι τέσσερις (Βιομηχανία, Μεταφορές, Κατοικίες και Εμπορικός τομέας) όπως απεικονίζονται και στο παρακάτω γράφημα:



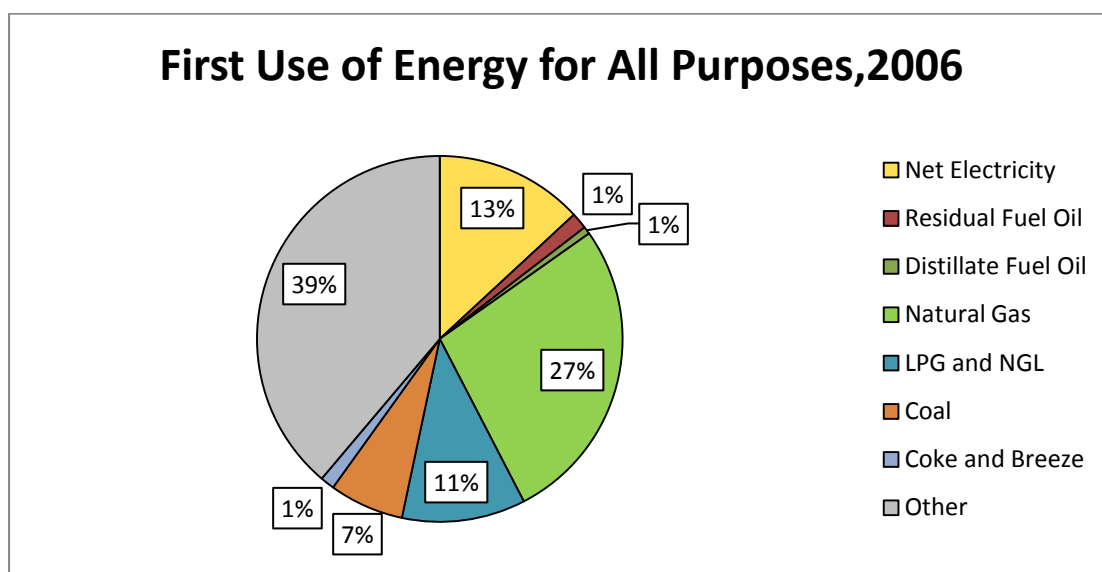
Εικόνα 1: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ανά παραγωγικό τομέα, υπό εξέταση τομέας ο εμπορικός

Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία της European Environmental Agency η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτέλεσε, το 2005, το 20,3% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η τάση είναι αυξητική. Αναλύοντας την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις επιμέρους κατηγορίες, χρησιμοποιώντας στοιχεία της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat), μπορούμε να δούμε ότι η δεύτερη κυριότερη κατηγορία κατανάλωσης, με ποσοστό 27% είναι ο εμπορικός τομέας (Commercial Sector). Γίνεται εμφανές, λοιπόν, το μέγεθος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα αυτό και αναδεικνύεται η σημασία της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας εκεί. Ακολουθεί το γράφημα το οποίο αποτυπώνει την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία χρήσης στην Ευρώπη.



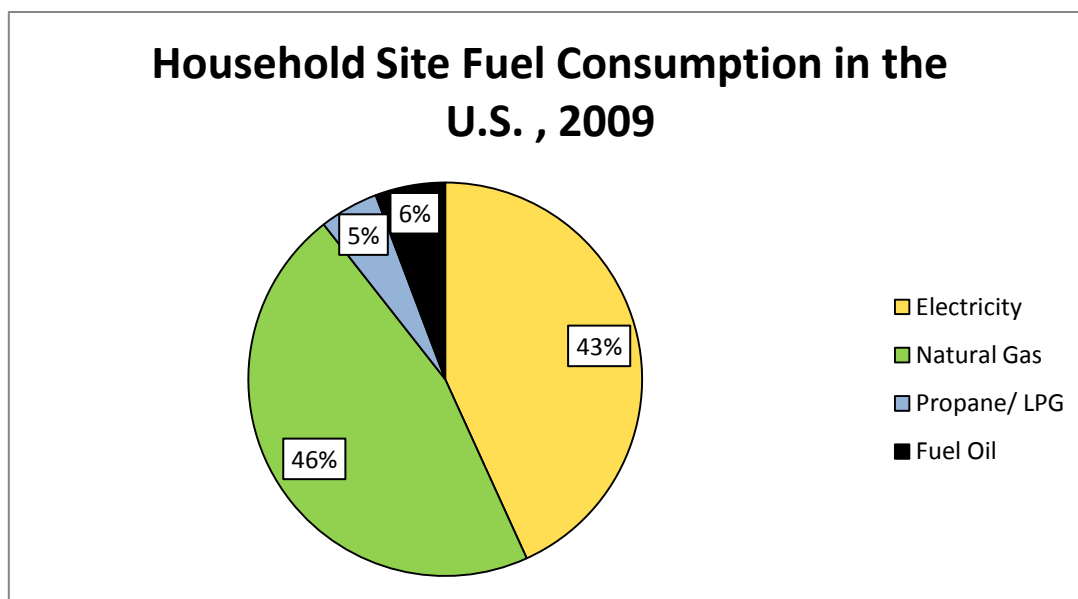
Εικόνα 2: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία χρήσης στην Ευρώπη (προέλευση: Eurostat)

Είναι σημαντικό να ερευνήσουμε την ενεργειακή εικόνα κάθε μεγάλου τομέα κατανάλωσης, δηλαδή το ποσοστό κατανάλωσης ανά τύπο ενέργειας για κάθε μεγάλο τομέα κατανάλωσης. Ο βιομηχανικός τομέας παρουσιάζει μια ιδιαίτερη ποικιλία στις μορφές ενέργειας τις οποίες χρησιμοποιεί. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς ο τομέας αυτός συμπεριλαμβάνει και την διαδικασία μετατροπής ορισμένων καυσίμων τα οποία εκφράζουν μια μορφή ενέργειας, σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας (π.χ. άνθρακας σε ηλεκτρισμό). Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει αυτήν την κατάσταση. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήσαμε στοιχεία από την Energy Information Administration (EIA) των Η.Π.Α. για το 2006 (Table 1.2 ,First Use of Energy for All Purposes (Fuel and Nonfuel), 2006; 2006 MECS Survey Data). Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας προέρχεται από άλλες πηγές, πέραν των βασικών, αγγίζοντας το 40%. Ακολουθούν η κατανάλωση φυσικού αερίου σε ποσοστό 27% και ηλεκτρισμού σε ποσοστό 13%.



Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα

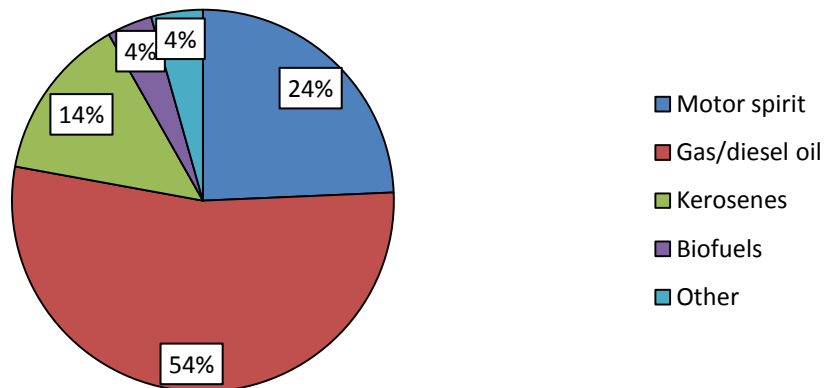
Ο οικιστικός τομέας αποτελεί τον μεγαλύτερο τομέα κατανάλωσης ηλεκτρισμού, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Μπορούμε να αντλήσουμε χρήσιμα στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες στις ΗΠΑ από μία μελέτη της ΕΙΑ. Στον οικιστικό τομέα των ΗΠΑ εκτός της ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται επίσης μεγάλη ποσότητα φυσικού αερίου. Χρησιμοποιώντας στοιχεία της ΕΙΑ για το 2009 (Table CE2.1 Household Site Fuel Consumption in the U.S., Totals and Averages, 2009 , RECS 2009) μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η κατανάλωση ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι της συνολικής κατανάλωσης με ποσοστό 89%.



Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας στον οικιστικό τομέα

Στον τομέα των μεταφορών, οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι εντελώς διαφορετικές από τον οικιστικό τομέα, όπως είναι ευρέως αντιληπτό. Χρησιμοποιώντας στοιχεία της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) για το 2011, (Table 2.4.5a , Eurostat Pocketbooks, Energy, transport and environment indicators, 2013 edition) κατασκευάσαμε το παρακάτω γράφημα. Στο γράφημα αυτό παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία της καταναλισκόμενης ενέργειας αφορά στο πετρέλαιο diesel (diesel oil) με ποσοστό 54%. Ακολουθεί η βενζίνη αυτοκινήτων (motor spirit) με ποσοστό 24%, ενώ αξιοσημείωτη είναι η χρήση βιοκαυσίμων σε ποσοστό 4%. Στο παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων, επομένως δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω στον τομέα αυτό. Ακολουθεί γράφημα με τις κυριότερες καταναλώσεις στην ΕΕ στον τομέα των μεταφορών.

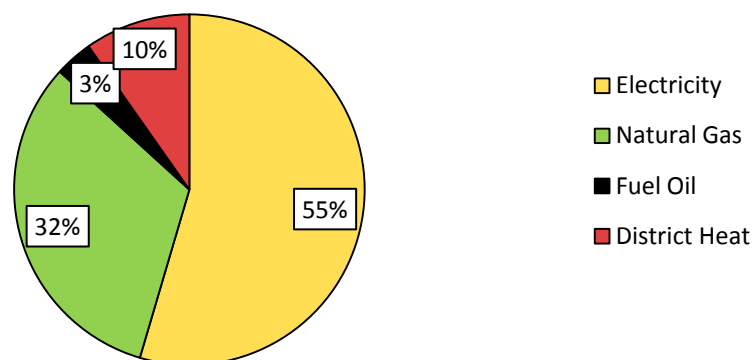
Final energy consumption in transport, by fuel, EU-28, 2011



Εικόνα 5: Κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών

Ο εμπορικός τομέας θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα σε όλη την εργασία διότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Στον εμπορικό τομέα το μερίδιο κατανάλωσης ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου εμφανίζει μεγάλη ομοιότητα με αυτό του οικιστικού τομέα. Χρησιμοποιώντας στοιχεία από μελέτη της ΕΙΑ για εμπορικά κτίρια το 2003 (Table C1A. Total Energy Consumption by Major Fuel for All Buildings, 2003 CBECS Survey Data) παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου αποτελεί το 87% της συνολικής κατανάλωσης.

Total Energy Consumption by Major Fuel for All Commercial Buildings, 2003



Εικόνα 6: Κατανάλωση ενέργειας στον εμπορικό τομέα

Έχει υπολογιστεί ότι ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ειδικότερα στην Ελλάδα γνωρίζουμε ότι τα κτίρια εμπορικής χρήσης (συμπεριλαμβανομένων ξενοδοχείων και νοσοκομείων) καλύπτουν το 80% των μη-οικιστικών κατασκευών. Γεγονός που υποδηλώνει την σημασία εύρεσης και ανάδειξης τρόπων

εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτήν την κατηγορία κτιρίων. Εστιάζοντας περισσότερο την ανάλυση στο πεδίο της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στον Εμπορικό τομέα και χρησιμοποιώντας διάφορα στατιστικά στοιχεία μπορούμε να εντοπίσουμε τις κυριότερες ομάδες καταναλώσεων: Ξενοδοχεία, Γραφεία, Εστιατόρια, Λιανικό Εμπόριο και Νοσοκομεία. Η πράξη αυτή θα μας βοηθήσει στην διαμόρφωση του μοντέλου πρόβλεψης και εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια εμπορικής χρήσης, όπως αυτό θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Μετά τις κρίσεις του πετρελαίου φαίνεται ότι ξεκίνησαν οι πρώτες ουσιαστικές προσπάθειες στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας και στον κτιριακό τομέα. Αν και οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα των κατοικιών έχουν αναλυθεί διεξοδικά, εντούτοις η έρευνα που σχετίζεται με τα κτίρια εμπορικής χρήσης είναι περιορισμένη σε σχέση με τον οικιστικό τομέα. Επίσης είναι εμφανής η έλλειψη επιστημονικών εργασιών που να εξειδικεύονται στην εξοικονόμηση ενέργειας με τροποποίηση της λειτουργικής διαδικασίας μίας εμπορικής επιχείρησης. Γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της εργασίας αυτής και τη προσπάθεια της να καλύψει το ερευνητικό αυτό κενό.

Κεφάλαιο 3

Εξοικονόμηση Ενέργειας

3.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας & Ενεργειακή Αποδοτικότητα

Στη σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά οι όροι «*Εξοικονόμηση Ενέργειας*» και «*Ενεργειακή Αποδοτικότητα*». Αυτές οι δύο έννοιες αν και φαινομενικά μοιάζουν, νοηματικά εντούτοις διαφέρουν όταν τις ορίσουμε αυστηρά.

Εξοικονόμηση Ενέργειας

Εξοικονόμηση ενέργειας είναι η μείωση ή ο μηδενισμός της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί για παράδειγμα κλείνοντας τα φώτα σε ένα κτίριο ή μειώνοντας την λειτουργία μιας μηχανής σε ένα εργοστάσιο.

Ενεργειακή Αποδοτικότητα

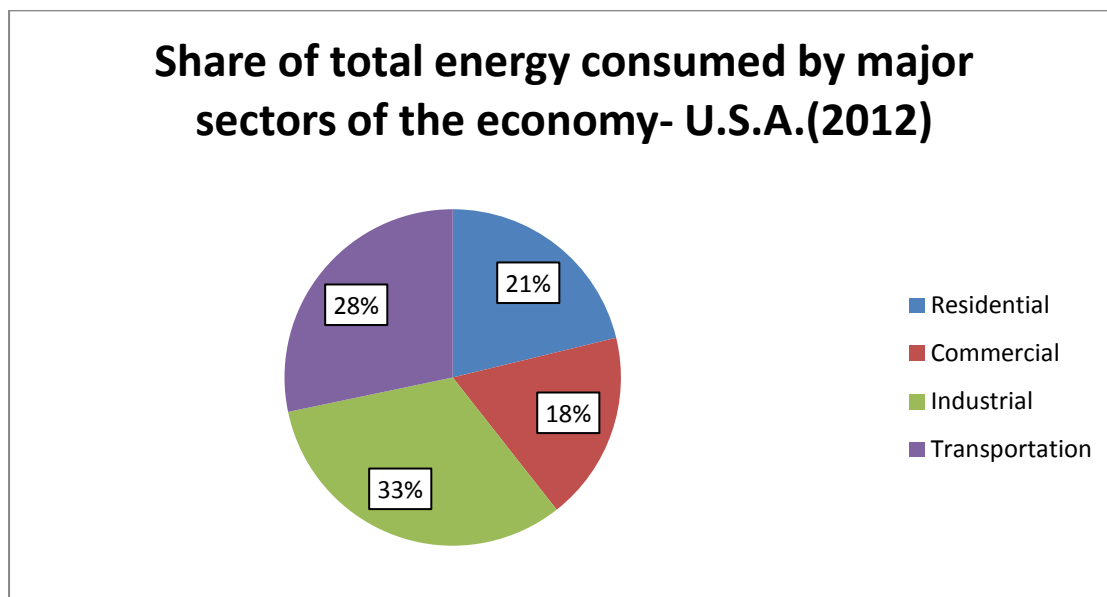
Ο όρος ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί να θεωρηθεί ως μια υποπερίπτωση εξοικονόμησης ενέργειας. Γενικά κάτι είναι πιο ενεργειακά αποδοτικό όταν προσφέρει τις ίδιες ή περισσότερες υπηρεσίες καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια ή ακόμα προσφέροντας περισσότερες υπηρεσίες καταναλώνοντας το ίδιο ποσό ενέργειας. Για παράδειγμα αντικαθιστώντας σε ένα κτίριο τα συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία με ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία (ballast) κρατώντας ίδια τα επίπεδα φωτισμού, ή αντικαθιστώντας μία μηχανή ενός εργοστασίου με μία μηχανή που καταναλώνει λιγότερη ενέργεια παράγοντας τα ίδια ή περισσότερα προϊόντα. Βλέπουμε λοιπόν ότι σε αυτήν την έννοια υπεισέρχεται ή παράμετρος υπηρεσία (service), έννοια που θα μας απασχολήσει πολύ και στην συνέχεια.

Όταν αναφερόμαστε στον όρο εξοικονόμηση ενέργειας αυτό μπορεί να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Ακολουθώντας μία top down προσέγγιση μπορούμε να αναφέρουμε τους κυριότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας. Αυτοί όπως έχουν αναφερθεί και προηγουμένως, είναι :

- Βιομηχανία
- Μεταφορές
- Κατοικίες
- Εμπορικός τομέας

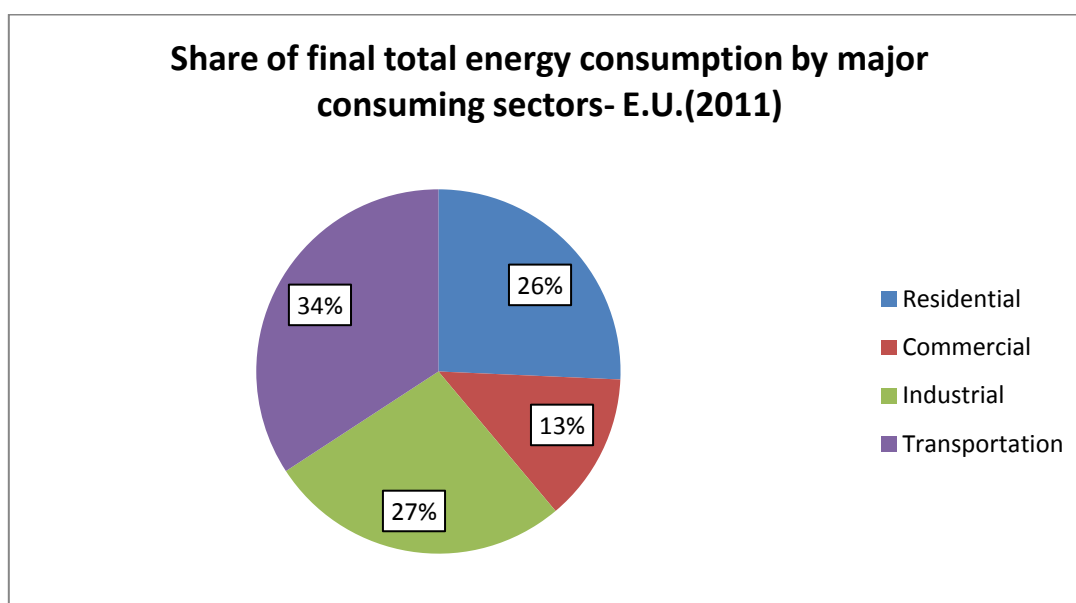
Έχει ιδιαίτερη σημασία να αποτυπώσουμε σε από ποιες κατηγορίες καταναλώνονται τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας και σε τι ποσοστό. Αυτό μας επιτρέπει να εστιάζουμε την προσοχή μας στους πιο σημαντικούς τομείς κατανάλωσης. Στη συνέχεια ακολουθούν ορισμένα ενδεικτικά γραφήματα της κατανομής της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά παραγωγικό τομέα σε Η.Π.Α. και Ευρώπη. Το παρακάτω γράφημα κατασκευάστηκε με την αξιοποίηση στοιχείων της Energy Information Administration (EIA) των ΗΠΑ για το έτος 2012 (πηγή: Energy Information Administration, Monthly Energy Review, Table 2.1 (April 2013), preliminary 2012 data) και αφορά στην κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για τους σημαντικότερους τομείς της οικονομίας των ΗΠΑ. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας γίνεται από τον βιομηχανικό τομέα αγγίζοντας το 33% και ακολουθεί ο τομέας των μεταφορών με 28%. Οι καταναλώσεις στον οικιστικό και τον εμπορικό τομέα εκφράζουν στην

πλειοψηφία τους ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων. Οι δύο αυτοί τομείς αγγίζουν το 40%. Ακολουθούν τα γραφήματα με τα ποσοστά κατανάλωσης για ΗΠΑ και ΕΕ.



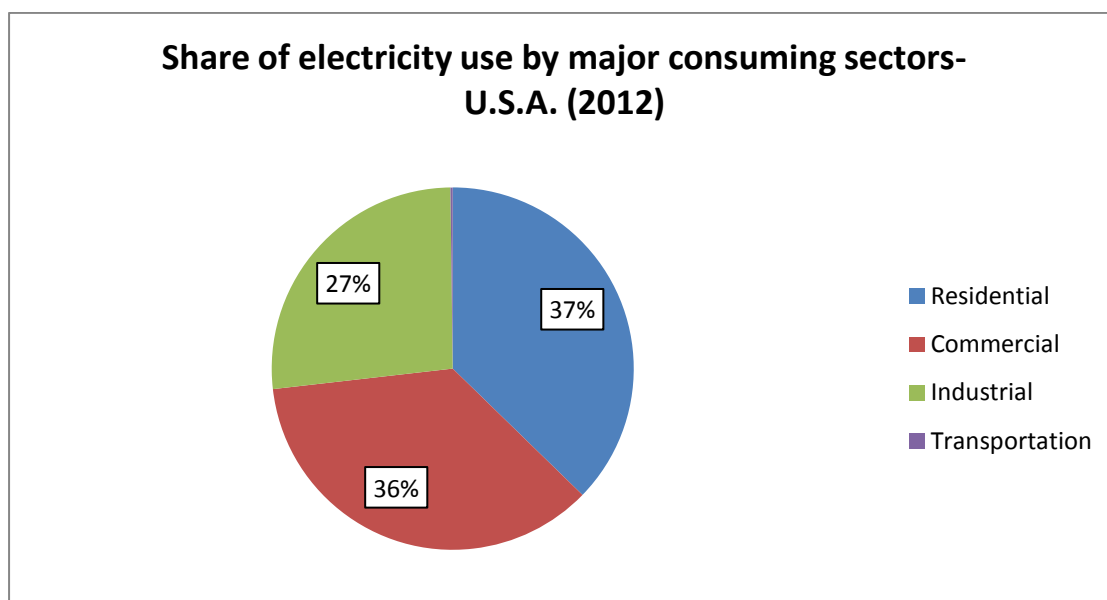
Εικόνα 7: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για σημαντικούς τομείς κατανάλωσης

Η κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στην ΕΕ ανά παραγωγικό τομέα εμφανίζει μια μικρή διαφοροποίηση σε σχέση με τις ΗΠΑ. Το επόμενο γράφημα δημιουργήθηκε με την χρήση δεδομένων της Eurostat (πηγή: Energy, Transport and environment indicators, Eurostat pockets (2013 edition) Table 2.4.1) και αφορούν στην κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για μεγάλους τομείς κατανάλωσης, το έτος 2011. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει μια σχετική διαφοροποίηση σε σχέση με τα δεδομένα στις ΗΠΑ. Ο πιο ενεργοβόρος τομέας είναι ο τομέας των μεταφορών με 34%. Ο δεύτερος μεγαλύτερος, σε κατανάλωση τομέας είναι ο βιομηχανικός τομέας με ποσοστό 27%, πολύ κοντά όμως με τον οικιστικό τομέα που φτάνει σε ποσοστό 26%.

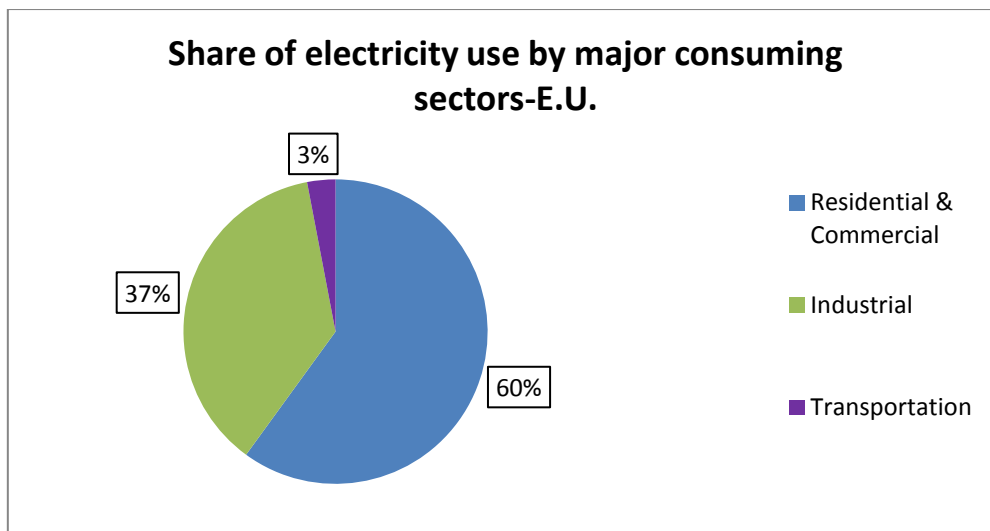


Εικόνα 8: Κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε.

Επιπρόσθετος σκοπός μας είναι η αποτύπωση της κατανομής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στους τομείς της οικονομίας σε ΕΕ και ΗΠΑ. Στη συνέχεια ακολουθούν ορισμένα ενδεικτικά γραφήματα της κατανομής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγωγικό τομέα σε Η.Π.Α. και Ευρώπη. Το γράφημα της εικόνας 9 κατασκευάστηκε αξιοποιώντας στοιχεία της EIA (πηγή: U.S. Energy Information Administration, November 2013 Monthly Energy Review, Table 7.6 Electricity End Use) και το γράφημα της εικόνας 10 κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία της Eurostat. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού ανάμεσα στους μεγάλους τομείς κατανάλωσης στις ΗΠΑ το 2012. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρισμού είναι ο οικιστικός τομέας, με πολύ μικρή διαφορά, ύψους 1%, όμως από τον δεύτερο που είναι ο εμπορικός τομέας, το γεγονός αυτό αναδεικνύει την σημασία της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας και τις δυνατότητες οι οποίες υπάρχουν στον τομέα αυτό. Είναι σημαντικό να έχουμε υπόψη μας, ότι η μεγάλη πλειοψηφία της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτούς τους δύο τομείς είναι η κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τομέας των μεταφορών έχει σχεδόν μηδενική συμμετοχή στην κατανάλωση ηλεκτρισμού. Το επόμενο γράφημα της εικόνας 10 κατασκευάστηκε με στοιχεία της Eurostat (eurostat database code: tep00094) και αφορά στην κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού για μεγάλους τομείς κατανάλωσης το 2011 (ο εμπορικός και ο οικιστικός τομέας εμφανίζονται μαζί συγκεντρωτικά). Το γράφημα παρουσιάζει μια μικρή αναλογία ως προς δεδομένα των ΗΠΑ. Ο βιομηχανικός τομέας καταναλώνει 37% της συνολικής κατανάλωσης και ο οικιστικός με τον εμπορικό το 60%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσοστό της κατανάλωσης ηλεκτρισμού από τον τομέα των μεταφορών, το οποίο ανέρχεται στο 3% και αποτελεί μία από τις σημαντικές διαφορές στα ακόλουθα γραφήματα.



Εικόνα 9: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στις Η.Π.Α. (για τομείς με μεγάλη κατανάλωση)



Εικόνα 10: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στην Ευρώπη(προέλευση: Eurostat)

3.2 Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια

Τα μεταπολεμικά χρόνια του 21^{ου} αιώνα έλαβε χώρα μία οικοδομική έξαρση σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης η άφθονη ρευστότητα στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη καλλιέργησαν πρόσφορο έδαφος για την κατασκευή κατοικιών, βιομηχανιών και καταστημάτων. Όμως σχετικά πρόσφατα άρχισε να γίνεται αντιληπτή η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ύπαρξη πολλών ενεργοβόρων κατασκευών.

Μελέτες για τα μεγέθη κατανάλωσης ενέργειας από διάφορους τομείς πραγματοποιούνται στις ΗΠΑ από το 1978, από την Energy Information Administration (EIA). Μέχρι σήμερα πραγματοποιούνται έρευνες οι οποίες εστιάζουν σε διαφορετικούς τομείς, όπως:

- Η **CBECS** (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) η οποία συλλέγει ενεργειακές πληροφορίες για κτίρια εμπορικής χρήσης στις Η.Π.Α. Κάνει την διάκριση σε κτίρια εμπορικής χρήσης χρησιμοποιώντας το εξής κριτήριο: σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλα τα κτίρια των οποίων τουλάχιστον το 50% του χώρου χρησιμοποιείται για σκοπούς που δεν έχει σχέση με κατοικίες, βιομηχανική ή αγροτική χρήση. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα αυτών των ερευνών διαχρονικά αλλά και ειδικότερα στις διάφορες υποκατηγορίες.
- Η **RECS** (Residential Energy Consumption Survey) η οποία συλλέγει στοιχεία σχετικά με τις καταναλώσεις σε κατοικίες στις Η.Π.Α. και κυρίως για τη θέρμανση, ψύξη και τις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές.
- Η **MECS** (Manufacturing Energy Consumption Survey) η οποία συλλέγει ενεργειακά στοιχεία για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Στην Ευρώπη συστηματικές έρευνες για τις ενεργειακές καταναλώσεις σε κτίρια δεν είχαν γίνει μέχρι πολύ πρόσφατα. Σχετικά πρόσφατα και σε συνδυασμό με την προσπάθεια επίτευξης των ενεργειακών στόχων της Ε.Ε. η ευρωπαϊκή επιτροπή συνέταξε μία οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, την λεγόμενη EPBD (Energy Performance Buildings Directive). Η οδηγία αυτή θέτει τα πρότυπα τα οποία πρέπει να ακολουθούν νέες και παλαιές κατασκευές.

Εστιάζοντας περισσότερο στο στόχο της εργασίας αυτής θα επικεντρωθούμε στις εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια και ειδικότερα σε κτίρια εμπορικής χρήσης. Κατηγορίες για τις οποίες ενδεχομένως να ήταν χρήσιμη η μεθοδολογία της εργασίας όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω είναι: η βιομηχανία (εφαρμογή σε εργοστάσια και εξοικονόμηση ενέργειας στα διάφορα στάδια της γραμμής παραγωγής), οι κατοικίες (εφαρμογή σε μεμονωμένα διαμερίσματα ή συγκροτήματα κατοικιών) και ο εμπορικός τομέας (εφαρμογή σε κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων, στις επιχειρήσεις αυτές η κατανάλωση ενέργειας είναι συνήθως άμεσα εξαρτημένη με την παροχή των υπηρεσιών και για αυτό τον λόγο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια τέτοιου τύπου).

Τα κτίρια που χρησιμοποιούνται για εμπορικούς σκοπούς εμφανίζουν μερικές ιδιαιτερότητες. Οι λειτουργίες τους είναι άμεσα εξαρτημένες με το είδος, την ποιότητα και την ποσότητα των υπηρεσιών που προσφέρουν. Έτσι για παράδειγμα το επίπεδο φωτισμού σε ένα εστιατόριο είναι μέρος της συνολικής υπηρεσίας που προσφέρει ή η θερμοκρασία ενός δωματίου ενός ξενοδοχείου ή ακόμα η ποσότητα των γευμάτων που προσφέρει ένα ταχυφαγείο. Για αυτό το λόγο οι επιχειρηματίες είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στην υιοθέτηση πρακτικών για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Για αυτό λοιπόν γεννιέται και ένα ολόκληρο πεδίο με το οποίο πρέπει να ασχοληθεί ο ενεργειακός μηχανικός (energy manager) το οποίο είναι η καταγραφή και μέτρηση των παρεχόμενων υπηρεσιών σε συνάρτηση με την κατανάλωση ενέργειας. Θα ασχοληθούμε εκτενώς με αυτό το πεδίο σε επόμενο κεφάλαιο.

Ως κτίρια εμπορικής χρήσης μπορούν να θεωρηθούν πολλοί χώροι στους οποίους λαμβάνει χώρα μία εμπορική δραστηριότητα, όπως η παραγωγή, διανομή ή πώληση προϊόντων ή υπηρεσιών. Το τι θεωρούμε κτίριο εμπορικής χρήσης αποτελεί αντικείμενο συζήτησης και έρχεται σε άμεση σχέση με τα κριτήρια που θέτει ο κάθε ερευνητής. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν είναι να δώσει έναν αυστηρό ορισμό για το ποιά κτίρια θεωρούνται εμπορικής χρήσης αλλά να δώσει μία κατεύθυνση ως προς την μέθοδο με την οποία αναλύουμε τις καταναλώσεις ενέργειας σε ένα τέτοιο κτίριο λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις στο επίπεδο υπηρεσιών της κάθε επιχείρησης. Χρησιμοποιώντας στοιχεία της Eurostat για τις εμπορικές επιχειρήσεις και έχοντας ως κριτήριο τα μερίδια στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καταλήξαμε σε πέντε κύριες κατηγορίες.

- Ξενοδοχεία
- Γραφεία
- Εστιατόρια
- Λιανικό εμπόριο
- Νοσοκομεία

Η επιλογή των κυριότερων κατηγοριών θα μας βοηθήσει σε επόμενο κεφάλαιο στην ανάπτυξη του θεωρητικού μοντέλου – εργαλείου στο δρόμο προς την εξοικονόμηση ενέργειας.

3.3 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) – Energy Conservation Measures (ECMs)

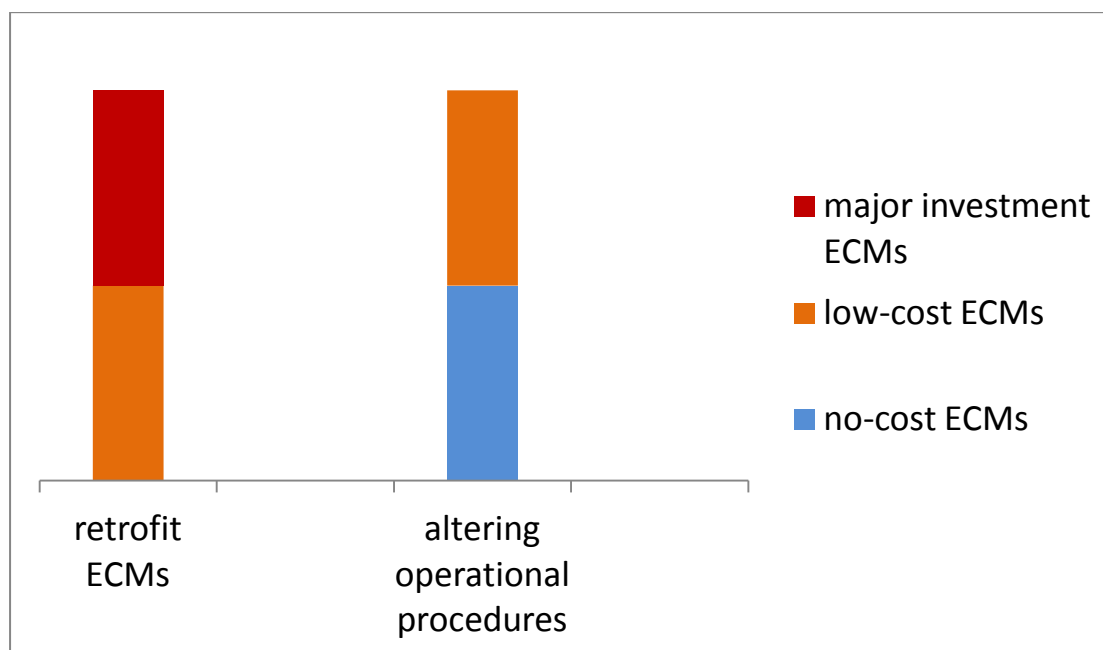
Ως μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας μπορούμε να περιγράψουμε ότι είναι τα μέτρα τα οποία στοχεύουν στο να αυξήσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα εξετάζοντας διάφορα εναλλακτικά σενάρια κατά την φάση του σχεδιασμού μίας κατασκευής ή αναζητώντας βέλτιστες μεταβολές σε υπάρχουσες κατασκευές.

Τα ΜΕΕ σε κτίρια μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες με κριτήριο το κόστος τους :

- ΜΕΕ μηδενικού κόστους (no-cost ECMs)
- ΜΕΕ χαμηλού κόστους (low-cost ECMs)
- ΜΕΕ μεγάλης επένδυσης (major investment ECMs)

Επιπλέον μπορεί να γίνει μια διαφορετική κατηγοριοποίηση με κριτήριο τον τρόπο εφαρμογής αυτών των μέτρων :

- Μέτρα αντικατάστασης/ανακαίνισης εξοπλισμού (retrofit ECMs)
 - Τα οποία συνήθως είναι ΜΕΕ χαμηλού κόστους και ΜΕΕ μεγάλης επένδυσης
- Μέτρα τροποποίησης των λειτουργικών διαδικασιών ενός κτιρίου (altering operational procedures)
 - Τα οποία συνήθως είναι ΜΕΕ μηδενικού ή χαμηλού κόστους



Εικόνα 11: Συσχέτιση του κόστους των ΜΕΕ με τον τρόπο εφαρμογής τους

Μελετώντας την διεθνή βιβλιογραφία μπορούμε να βρούμε πληθώρα MEE που έχουν προταθεί ή και έχουν εφαρμοσθεί σε πραγματικά κτίρια. Παρατηρούμε ότι σε διεθνές επίπεδο υπάρχουν πολλές προτάσεις για MEE με αντικατάσταση εξοπλισμού και λίγες για MEE με τροποποίηση των λειτουργικών διαδικασιών. Για αυτό τον λόγο όπως θα φανεί και σε επόμενο κεφάλαιο η εργασία αυτή θα εστιάσει σε μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας που τροποποιούν τη διαδικασία με την οποία λειτουργεί μία επιχείρηση. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα τέτοιων MEE σε κτίρια.

Πίνακας 1: MEE σε κτίρια

| ΟΝΟΜΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ | ΚΟΣΤΟΣ | ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Set-point temperature- Ρύθμιση θερμοστάτη | ρύθμιση θερμοστάτη- αλλαγή επιθυμητής θερμοκρασίας | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός/φυσικό αέριο/πετρέλαιο |
| Setback control- Χαλάρωση ελέγχου HVAC συστήματος | έλεγχος της λειτουργίας του κλιματισμού τις ώρες μη λειτουργίας της επιχείρησης(π.χ. νυχτερινές ώρες) | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός/φυσικό αέριο/πετρέλαιο |
| Operational schedule of lighting- Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας φωτισμού | ρύθμιση χρονοδιαγράμματος λειτουργίας φωτισμού | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός |
| Operational schedule of equipment- Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξοπλισμού | ρύθμιση χρονοδιαγράμματος λειτουργίας εξοπλισμού | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός |
| Energy wastage and inefficiencies- Ενεργειακή σπατάλη και ατέλειες | εντοπισμός σπατάλης ενέργειας(μέθοδοι monitoring) | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός/φυσικό αέριο/πετρέλαιο |
| Natural cooling- Φυσικός δροσισμός | χρήση φυσικής ψύξης(π.χ. προσανατολισμός κτιρίου) | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός/φυσικό αέριο/πετρέλαιο |
| Natural ventilation- Φυσικός εξαερισμός | χρήση φυσικού εξαερισμού (π.χ. άνοιγμα παραθύρων) | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός |
| Lighting power density decrease- Μείωση πυκνότητας ισχύος φωτισμού | μείωση πυκνότητας φωτισμού | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός |
| Natural Lighting- Φυσικός Φωτισμός | χρήση φυσικού φωτισμού | μηδενικού κόστους | ηλεκτρισμός |
| Change CAV HVAC system to VAV- Αλλαγή CAV HVAC συστήματος σε VAV | Αντικατάσταση συστήματος HVAC από CAV σε VAV | Μεγάλης επένδυσης | ηλεκτρισμός |
| Improve glazing system-Βελτίωση συστήματος τζαμιών | Βελτίωση τζαμιών/τοποθέτηση ενεργειακά αποδοτικών | χαμηλού κόστους | ηλεκτρισμός |

3.4 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) – Key Performance Indicators (KPIs)

Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) ή Key Performance Indicators (KPIs) είναι μετρήσιμα μεγέθη τα οποία αποτυπώνουν την απόδοση της επιχείρησης ή του οργανισμού σε πεδία που έχουν άμεση σχέση με τους βασικούς στόχους της στο πλαίσιο της φιλοσοφίας της ή της στρατηγικής της. Για παράδειγμα στην UPS στο πλαίσιο της εταιρικής υπευθυνότητας ένας δείκτης είναι «ενεργειακή κατανάλωση σε GJ ανά χίλια δέματα». Στην εταιρεία McDonalds ένας τέτοιος δείκτης είναι «ο μέσος αριθμός αντικειμένων (μενού) τα οποία να περιέχουν τουλάχιστον ένα φρούτο ή λαχανικό». Άλλος δείκτης για την ίδια εταιρεία στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας είναι «μέση εκτιμώμενη κατανάλωση σε kWh ανά επισκέπτη». Επομένως οι δείκτες αυτοί είναι διαφορετικοί για κάθε επιχείρηση. Στη παρούσα εργασία θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα το ποιοι μπορεί να είναι αυτοί οι δείκτες για διάφορες κατηγορίες επιχειρήσεων.

Η εφαρμογή των MEE ορισμένες φορές έχει αντίκτυπο σε κάποιους από τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης. Έχει παρατηρηθεί μία δυσχέρεια στην υιοθέτηση των πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της άγνωστης επίδρασης που μπορεί να έχουν στο επίπεδο εξυπηρέτησης της επιχείρησης. Μία ενεργειακή μελέτη δηλαδή πρέπει να εντοπίσει τους κρίσιμους παράγοντες της επιχείρησης που επηρεάζονται, να τους ποσοτικοποιήσει και να προβλέψει εάν επηρεάζονται και πόσο. Αυτό είναι εφικτό με την μέθοδο της προσομοίωσης, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Επομένως ένας από τους στόχους της εργασίας είναι να δείξει μία μέθοδο μέτρησης της επίδρασης των MEE στους δείκτες αυτούς και η αξιολόγηση τους.

3.5 Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης – Energy Performance Indicators (EPIs)

Οι δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης χρησιμεύουν στην αναπαράσταση, ποσοτικοποίηση και ανάλυση των σχέσεων της καταναλισκόμενης ενέργειας με διάφορα άλλα χαρακτηριστικά ενός μικρού συστήματος, π.χ. ενός κτιρίου. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη ενός μεγάλου συστήματος, όπως η οικονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην περίπτωση αυτή οι δείκτες ενεργειακής απόδοσης αφορούν ανάλυση σε πιο μακροσκοπικό επίπεδο εμφανίζοντας εντελώς διαφορετική χρήση σε σχέση με άλλους δείκτες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θέματα ανάλυσης και πρόβλεψης της ζήτησης και προσφοράς ενέργειας, καθώς και σε θέματα ανάπτυξης ενεργειακής πολιτικής. Στη παρούσα εργασία δεν θα μας απασχολήσουν αυτού του τύπου οι δείκτες καθώς θα εστιάσουμε σε μεμονωμένα κτίρια.

Οι EPIs που εφαρμόζονται σε μικρότερα συστήματα (π.χ. ένα εργοστάσιο ή ένα κτίριο) χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της απόδοσης αυτών των συστημάτων και την λήψη αποφάσεων με σκοπό την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης (monitoring) οι δείκτες αυτοί εμφανίζονται όλο και πιο

συχνά. Αντλώντας στοιχεία από την διπλωματική εργασία του Ευάγγελου Σπηλιώτη (Πρόβλεψη Ενεργειακής Κατανάλωσης Κτιρίων και Εντάσεων Χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης, ΕΜΠ, Ιούλιος 2013), μπορούμε να πούμε ότι οι EPIs μπορούν να εκφράζουν:

- την κατανάλωση ενέργειας ανά εμβαδόν ενός χώρου (σύνηθες EPI)
- την κατανάλωση ενέργειας για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας η οποία σχετίζεται με την παραγωγή μιας επιχείρησης και μπορεί να μετρηθεί από ένα φυσικό μέγεθος, π.χ. λίτρα προϊόντος, τεμάχια προϊόντος, (Physical Indicators)
- την κατανάλωση ενέργειας για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας σε συνάρτηση με την οικονομική της αξία για την επιχείρηση (Value Based Indicators)

Πίνακας 2: Ενδεικτικοί Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης

| EPI | Πιθανός τύπος ή πιθανές μονάδες |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Κατανάλωση Ενέργειας/Προϊόν | kWh/product |
| Κατανάλωση Ενέργειας/Οικονομική Μονάδα | kWh/€ |
| Κατανάλωση Ενέργειας/Προστιθέμενη Αξία Προϊόντος | kWh/€ |
| Κατανάλωση Ενέργειας/Πελάτη | kWh/customer |
| Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάλληλο | kWh/employee |
| Κατανάλωση Ενέργειας/Μονάδα Παραγωγής | kWh/kg |
| Κατανάλωση Ενέργειας HVAC/Εμβαδόν χώρου | Btu/m ² |
| Κατανάλωση Ενέργειας HVAC/Όγκο χώρου | Btu/m ³ |

Κεφάλαιο 4

Προσομοίωση

4.1 Πρόβλεψη & Στρατηγική

4.1.1 Εισαγωγή- Κατηγορίες Προβλέψεων

Ως στρατηγική των επιχειρήσεων θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι είναι η συστηματική ανάλυση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν μία επιχείρηση (ή έναν οργανισμό), η ανάπτυξη μεθόδων παρακολούθησης της απόδοσης της καθώς και η σύλληψη και εφαρμογή των βέλτιστων αποφάσεων για το μέλλον της εταιρείας. Η πρόβλεψη είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις στρατηγικές αποφάσεις που καλούνται να λάβουν μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις. Ο όρος πρόβλεψη θα μπορούσε να οριστεί ως η: *διαδικασία αξιοποίησης της διαθέσιμης γνώσης για την παραγωγή ισχυρισμών για γεγονότα, των οποίων τα πραγματικά αποτελέσματα συνήθως δεν έχουν ακόμα παρατηρηθεί* (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Εργαλείο της πρόβλεψης είναι οι τεχνικές προβλέψεων. Σύμφωνα με το βιβλίο *Forecasting Methods and Applications* (Makridakis et al., 1998), μία πρώτη διάκριση στις μεθόδους μπορεί να γίνει σε ποσοτικές μεθόδους (qualitative methods) και ποιοτικές μεθόδους (quantitative methods). Οι ποσοτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν έχουμε διαθέσιμα αριθμητικά στοιχεία για το παρελθόν διαφόρων μεγεθών (όπως οι πωλήσεις ενός προϊόντος ή το απόθεμα μιας αποθήκης). Οι ποιοτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν είναι διαθέσιμα λίγα ή καθόλου ποσοτικά στοιχεία, αλλά υπάρχει μία συσσωρευμένη γνώση επί του θέματος.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα μοντέλα που αφορούν στις ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης και είναι:

- το μοντέλο χρονοσειρών: η εφαρμογή του οποία δύναται να πραγματοποιηθεί όταν υπάρχουν επαρκή ιστορικά δεδομένα και θεωρείται ότι το μοντέλο μας ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο σταθερό στο χρόνο.
- το αιτιοκρατικό μοντέλο: το οποίο βασίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει μία σταθερή σχέση μεταξύ του μέγεθος του οποίου θέλουμε να προβλέψουμε (εξαρτημένη μεταβλητή) και μίας ή περισσότερων άλλων παραμέτρων (ανεξάρτητες μεταβλητές).

Οι βασικές κατηγορίες προβλέψεων είναι οι εξής:

1. Στατιστικές Προβλέψεις: είναι οι προβλέψεις που χρησιμοποιούν στατιστικές μεθόδους που εφαρμόζονται σε μοντέλα χρονοσειρών και αιτιοκρατικά μοντέλα. Σκοπός είναι η αυτόματη παραγωγή προβλέψεων με συστηματικό τρόπο. Οι σημαντικότερες στατιστικές μέθοδοι προβλέψεων είναι:
 - a. Naive: Η παραχθείσα πρόβλεψη με την χρήση αυτής της μεθόδου για μία χρονική στιγμή αντιστοιχεί στην τιμή της ακριβώς προηγούμενης χρονικής περιόδου.

- b. Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης: Πιο γνωστές είναι οι Simple Exponential Smoothing, Holt Exponential Smoothing και Damped Exponential Smoothing. Γενικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βραχυπρόθεσμων ή μεσοπρόθεσμων προβλέψεων που αφορούν μεγάλο όγκο χρονοσειρών.
 - c. Μοντέλα παλινδρόμησης: Η παλινδρόμηση προσπαθεί να εντοπίσει την συσχέτιση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Ειδικότερα με την ανάλυση της παλινδρόμησης μπορούμε να προσδιορίσουμε και τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών. Στην περίπτωση της μίας ανεξάρτητης μεταβλητής αναφερόμαστε στην απλή παλινδρόμηση και για περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές αναφερόμαστε στην πολλαπλή παλινδρόμηση. Πιο γνωστές τεχνικές ανάλυσης παλινδρόμησης είναι η γραμμική παλινδρόμηση και η απλή ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.
 - d. Μέθοδος Theta: Η μέθοδος Theta (Assimakopoulos and Nikolopoulos, 2000) εστιάζει στην τροποποίηση των τοπικών καμπυλοτήτων της χρονοσειράς. Έχουμε αποσύνθεση της χρονοσειράς σε διάφορες γραμμές Theta, στις οποίες δίνουμε διάφορα βάρη, οι γραμμές αυτές προεκτείνονται παράγοντας προβλέψεις και στο τέλος συνδυάζονται σε ένα τελικό αποτέλεσμα ανάλογα με τα βάρη τους.
2. Κριτική Πρόβλεψη: Κριτικές μέθοδοι πρόβλεψης (judgemental forecasting methods) είναι μέθοδοι για την εφαρμογή των οποίων δεν χρειάζονται πολλά διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα, σε αντίθεση με τις στατιστικές μεθόδους, και βασίζονται κυρίως στη γνώμη και στην κρίση των ειδικών (experts). Σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι μπορούν να συμπεριλάβουν στην παραγωγή των προβλέψεων το αντίκτυπο που μπορεί να έχουν ορισμένα ειδικά γεγονότα (special events ή outliers). Οι μέθοδοι αυτοί επίσης χρησιμοποιούνται στην μεσοπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη πρόβλεψη καταστάσεων, όπως η πορεία μιας αγοράς προϊόντων την επόμενη δεκαετία ή η πορεία της αγοράς ενέργειας της επόμενης δεκαετίας. Καθώς αυτές οι προβλέψεις βασίζονται στην κρίση του ανθρώπινου παράγοντα συνοδεύονται από ορισμένα μειονεκτήματα όπως η προκατάληψη και η μεροληψία: τύποι μεροληψίας είναι ο συντηρητισμός (δυσκολία προσαρμογής σε νέα στοιχεία), και η ασυνέπεια (δυσκολία εφαρμογής ίδιων παραμέτρων απόφασης για παρόμοιες καταστάσεις). Οι σημαντικότερες στατιστικές μέθοδοι προβλέψεων είναι:
- a. Απλή Κρίση: η πιο απλή κριτική μέθοδος, εφαρμόζεται χωρίς κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία και βασίζεται στην εμπειρία των ειδικών που κάνουν την πρόβλεψη.
 - b. Μέθοδος Delphi: αποτελεί μία μεθοδολογία προτυποποίησης για την αξιοποίηση της γνώμης μίας ομάδας ειδικών. Έχει ως σκοπό την απαλοιφή ορισμένων μειονεκτημάτων της κριτικής πρόβλεψης με την

χρήση ερωτηματολογίων πριν και κατά την διάρκεια της συνάντησης μιας επιτροπής, με την εισαγωγή της ανωνυμίας μεταξύ των θέσεων που εκφράζονται και της δυνατότητας τροποποίησης των θέσεων κατά την διάρκεια της συνάντησης και της χρησιμοποίησης στατιστικών μεθόδων για την εξαγωγή της βέλτιστης και με τον απαραίτητο βαθμό ομοφωνίας πρόβλεψης.

- c. Αναλογίες και Δομημένες Αναλογίες: Η μέθοδος των αναλογιών βασίζεται στην ανάκληση, από τους ειδικούς, ανάλογων καταστάσεων στο παρελθόν για την παραγωγή της πρόβλεψης. Συνοδεύεται από κάποια μειονεκτήματα καθώς είναι δύσκολη διαδικασία, και μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ελλιπή ανάκληση γεγονότων, ανάκληση λανθασμένων πληροφοριών ή και ανάκληση γεγονότων τα οποία δεν έχουν σημαντική σχέση με την τρέχουσα κατάσταση. Καλό είναι η μέθοδος αυτή να χρησιμοποιείται με ένα πιο αυτοματοποιημένο και συστηματικό τρόπο όπως η μέθοδος των Δομημένων Αναλογιών (structured analogies). Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην απαλοιφή των μειονεκτημάτων της μεθόδου των αναλογιών και βασίζεται σε τέσσερα βήματα:
- i. Περιγράφεται η τρέχουσα κατάσταση
 - ii. Προσδιορίζονται οι αντίστοιχες ανάλογες καταστάσεις του προελθόντος
 - iii. Γίνεται μία εκτίμηση της ομοιότητας με τις παρελθοντικές καταστάσεις
 - iv. Γίνεται η παραγωγή των προβλέψεων
3. Πρόβλεψη Στόχου: Η πρόβλεψη στόχου (target forecast) αφορά σε μία μελλοντική κατάσταση της επιχείρησης την οποία έχει ως στόχο να επιτύχει η διοίκηση. Συνδυάζονται τα ιστορικά δεδομένα, υπολογίζοντας τον ρυθμό ανάπτυξης των πωλήσεων και την στατιστική πρόβλεψη τους για την εξεταζόμενη περίοδο, με τους στόχους που έχει θέσει η επιχείρηση. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μία διαδικασία ορισμού ρεαλιστικών στόχων χρησιμοποιώντας μεθόδους πρόβλεψης. Σημαντικό μειονέκτημα της είναι ότι περιέχει αισιοδοξία και μεροληψία.
4. Τελική Πρόβλεψη: Αποτελεί την τελική πρόβλεψη (final forecast) της επιχείρησης. Η πρόβλεψη αυτή θα οδηγήσει στον στρατηγικό σχεδιασμό της επιχείρησης και στον σχεδιασμό των λειτουργιών της, για τον ζητούμενο χρονικό ορίζοντα. Χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα των προηγούμενων κατηγοριών πρόβλεψης. Στο στάδιο αυτό οι αποφάσεις λαμβάνονται από την διοίκηση της επιχείρησης η οποία μπορεί να ενσωματώσει πληροφορίες που μπορεί να έχει για την βελτιστοποίηση της πρόβλεψης, προσδίδοντας της χαρακτήρα κριτικής πρόβλεψης. Συνήθως οι καλύτερες προβλέψεις προέρχονται από συνδυασμό στατιστικών και κριτικών προβλέψεων, καθώς αυτές οι δύο κατηγορίες πρέπει να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά.

4.1.2 Σφάλματα και Εφαρμογή Πρόβλεψης σε ενεργειακές μελέτες

Σημαντικό κομμάτι στην μελέτη μεθόδων πρόβλεψης είναι το κομμάτι της αξιολόγησης τους. Για τον σκοπό χρησιμοποιούνται διάφοροι στατιστικοί δείκτες. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι οι στατιστικοί δείκτες μέτρησης του σφάλματος, ορισμένοι από τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία μας. Ορισμένοι δείκτες σφαλμάτων είναι:

- Απλό σφάλμα: είναι η διαφορά μεταξύ πραγματικής τιμής και πρόβλεψης

$$e_i = Y_i - F_i$$

- Απλό ποσοστιαίο σφάλμα: είναι το πηλίκιο του απλού σφάλματος προς την πραγματική τιμή εκπεφρασμένης επί τοις εκατό.

$$p_i = \frac{100 e_i}{Y_i} (\%)$$

- Απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Absolute Percentage Error-APE):

$$APE = \frac{100 |e_i|}{Y_i} 100(\%)$$

- Μέσο σφάλμα (mean error):

$$mean(e_i)$$

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error):

$$mean(e_i^2)$$

- Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (root mean squared error):

$$\sqrt{mean(e_i^2)}$$

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (mean absolute error):

$$|mean(e_i)|$$

- Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (mean absolute percentage error):

$$|mean(p_i)|$$

όπου *mean* : εκφράζει τον αριθμητικό μέσο όρο

Στις ενεργειακές μελέτες χρησιμοποιούνται τα σφάλματα για να υπολογίσουμε την αξιοπιστία ενός υποκατάστατου μοντέλου υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα). Επίσης χρειάζεται να υπολογίσουμε το ποσό και το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας. Θεωρώντας ως *Κατανάλωση λειτουργίας* την κατανάλωση πριν από οποιαδήποτε παρέμβαση για εξοικονόμηση ενέργειας και ως *Πρόβλεψη Κατανάλωσης* την υπολογισθείσα τιμή η οποία προκύπτει μετά τις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Προκύπτει:

$$\text{Ποσό Εξοικονόμησης Ενέργειας} = \text{Κατανάλωση Λειτουργίας} - \text{Πρόβλεψη Κατανάλωσης}$$

εάν Ποσό Εξοικονόμησης Ενέργειας > 0, έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας

εάν Ποσό Εξοικονόμησης Ενέργειας ≤ 0, δεν έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας

$$\text{Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας} = \frac{\text{Κατανάλωση Λειτουργίας} - \text{Πρόβλεψη Κατανάλωσης}}{\text{Κατανάλωση Λειτουργίας}} 100(\%)$$

εάν Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας > 0, έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας

εάν Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας ≤ 0, δεν έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τα αποτελέσματα αλλαγών στη λειτουργία των επιχειρήσεων με σκοπό την ενεργειακή αποδοτικότητα. Εντάσσοντας την μέθοδο της προσομοίωσης στο πεδίο της στρατηγικής των επιχειρήσεων θα προσπαθήσουμε να δημιουργήσουμε ένα εργαλείο στα χέρια των υποψήφιων μάνατζερ για το ποιες αλλαγές μπορούν να κάνουν στην επιχείρηση τους έτσι ώστε να εξοικονομήσουν ενέργεια, κόστος και να μειώσουν τον οικολογικό αποτύπωμα της επιχείρησής τους και να προβλέψουν το αποτέλεσμα για τα παρελθοντικά δεδομένα. Η γνώση για το κόστος, τις απώλειες ή τα κέρδη των αλλαγών αυτών μπορεί να θεωρηθεί ως απαραίτητη προϋπόθεση για τη λήψη αποφάσεων από την εταιρία ως προς την υιοθέτηση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας. Ο τρόπος με τον οποίο θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε τα αποτελέσματα τέτοιων αλλαγών θα είναι η χρήση εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την επίτευξη ενεργειακής αποδοτικότητας στην κατανάλωση ηλεκτρισμού. Σκοπός δηλαδή της εργασίας μας θα είναι η εισαγωγή μιας εναλλακτικής μεθόδου υπολογισμού των επιθυμητών αποτελεσμάτων, η οποία θα βασίζεται σε αλλαγές οι οποίες πραγματοποιούνται σε παρελθοντικά δεδομένα. Δηλαδή μέσα από την παρατήρηση των ιστορικών δεδομένων, θέλουμε να εισάγουμε εναλλακτικά σενάρια τα οποία θα προβλέπουν την εξοικονόμηση ενέργειας που θα είχαμε στο παρελθόν εφόσον είχαν εφαρμοστεί τα μέτρα αυτά. Για αυτό τον λόγο δεν χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο χρονοσειρών. Επίσης τα συστήματα τα οποία εξετάζονται αφορούν συστήματα με πολλές αλληλεξαρτώμενες μεταβλητές. Οι αλληλεξαρτήσεις αυτές αφορούν πολλές μεταβλητές, δεν έχουμε μία εξαρτημένη μεταβλητή. Επομένως δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε το αιτιοκρατικό μοντέλο αλλά στραφήκαμε στην μέθοδο της προσομοίωσης για την πρόβλεψη της εξοικονομούμενης ενέργειας. Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή της εφαρμογής της προσομοίωσης σε ενεργειακές μελέτες καλό θα ήταν να περιγράψουμε τις βασικές αρχές που διέπουν την προσομοίωση και να παραθέσουμε κάποιες πληροφορίες για την έννοια αυτή.

4.2 Γενικές πληροφορίες για την Προσομοίωση

Ορισμός: «Η προσομοίωση αναφέρεται σε ένα μοντέλο κατασκευασμένο να καθορίσει την αντίδραση ενός συστήματος σε αλλαγές στην εσωτερική του κατασκευή και τις εισόδους του». [C.R. Harrell, System improvement using simulation, 1996.]

Η προσομοίωση είναι πολύ σημαντική για πολλούς τομείς της επιστημονικής και επιχειρηματικής δραστηριότητας. Ο σχεδιασμός ενός μοντέλου και η πραγματοποίηση πειραμάτων πάνω σε αυτό προσφέρει επίγνωση για τη συμπεριφορά του μοντέλου, τα αποτελέσματα που έχουν σε αυτό διαφορετικές εισοδοί αλλά και διαφορετικές καταστάσεις. Η μεθοδολογία της κατασκευής σύνθετων μοντέλων ξεκινώντας από ένα απλό και εμπλουτίζοντας το με όλο και περισσότερες παραμέτρους μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία μοντέλων τα οποία αναπαριστούν πραγματικά μεγέθη και συστήματα.

Εφαρμόζεται κατά κόρον στον επιχειρηματικό τομέα και αποτελεί σημαντικό εργαλείο της επιχειρησιακής έρευνας, καθώς εστιάζει στην αναπαράσταση της λειτουργίας της επιχείρησης. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται ως μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης και των πιθανών τρόπων εξοικονόμησης της, παρόλα

αυτά δεν έχει ερευνηθεί αρκετά η δυνατότητα συνδυαστικής μελέτης της κατανάλωσης ενέργειας σε συνδυασμό με τις λειτουργίες της επιχείρησης. Εξετάζοντας την διεθνή βιβλιογραφία, αλλά και projects διαφόρων εταιρειών, και εταιρειών οι οποίες εμπορεύονται λογισμικά προσομοίωσης, θα διαπιστώσει κανείς ότι η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε ένα πλήθος επιχειρηματικών τομέων, όπως:

- Στον τομέα της ενέργειας και της προστασίας της περιβάλλοντος: όπως παραγωγή και μεταφορά ενέργειας που προέρχεται από πετρέλαιο, βιοκαύσιμα, διαχείριση αποβλήτων κλπ.
- Στον τομέα των μεταφορών: οδικές μεταφορές (road transportation), αεροπορικές μεταφορές, μελετώντας τα εναλλακτικά δρομολόγια, το κόστος που συνεπάγονται αυτές οι εργασίες κα.
- Στον τομέα της ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης: η προσομοίωση έχει χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει την γραμμή παραγωγής και διανομής φαρμακευτικών εταιρειών, την λειτουργία ενός νοσοκομείου προσομοιώνοντας την είσοδο των ασθενών και του χρόνου αναμονής βοηθώντας στον προγραμματισμό των λειτουργιών του νοσοκομείου.
- Στον τομέα των τεχνολογιών πληροφορικής: μπορεί να προσομοιώσει την λειτουργία ενός πληροφοριακού συστήματος, ενός δικτύου επικοινωνιών και διάφορες λειτουργίες της τεχνολογίας λογισμικού (software engineering).
- Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών: προσομοίωση δικτύου επικοινωνιών.
- Στην τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας: logistics, inventory κα.
- Στον τομέα υπηρεσιών: μπορεί να προσομοιώσει με ευκολία καταστήματα στα οποία εισέρχονται πελάτες όπως δημόσιες υπηρεσίες, τράπεζες, εστιατόρια, εμπορικά καταστήματα, ψυχαγωγικά πάρκα, κινηματογράφοι κλπ. Στον τομέα των υπηρεσιών ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα κέντρα τηλεφωνικής εξυπηρέτησης. Ένα πρόγραμμα προσομοίωσης διαδικασιών δέχεται ως είσοδο μεγέθη που αφορούν τον αριθμό των εισερχόμενων κλήσεων, των αριθμό των εργαζομένων, τον χρόνο εξυπηρέτησης και άλλα και μπορεί να εξαγάγει με χαρακτηριστική ακρίβεια, εκτός των άλλων, των αριθμό των χαμένων κλήσεων, τον αριθμό των εξυπηρετούμενων κλήσεων (στοιχεία τα οποία όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο μπορούν να θεωρηθούν Δείκτες Βασικής Απόδοσης (KPIs)) και να προσφέρουν γνώση σε ένα διαχειριστή ενός τέτοιου κέντρου και πληροφορίες σχετικά με το πώς πρέπει να κατανεμηθεί το προσωπικό σε βάρδιες (πραγματοποιώντας διάφορα πειράματα) , εάν είναι απαραίτητη η πρόσληψη επιπλέον προσωπικού και ούτω καθεξής.
- Στον βιομηχανικό τομέα: όπως για παράδειγμα στην αεροναυπηγική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην παραγωγή τροφίμων κα. Στις βιομηχανίες πολύπλοκες διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται στη γραμμή παραγωγής των εργοστασίων μπορούν να αναπαρασταθούν με προγράμματα προσομοίωσης. Ο σχεδιασμός του μοντέλου παραγωγής πριν την κατασκευή του προσφέρει πληροφορίες για το αν αυτό επιτυγχάνει τους στόχους του ως προς τον χρόνο παραγωγής, την ποσότητα, τους πόρους που χρησιμοποιεί, μέχρι τις βάρδιες εργασίας που χρειάζονται και άλλα.

Η εφαρμογή της προσομοίωσης ποικίλει. Εφαρμόζεται για παράδειγμα στην βιολογία: μπορεί να αναπαραστήσει την τροφική αλυσίδα σε ένα ολόκληρο

οικοσύστημα και να εξάγει αποτελέσματα λαμβάνοντας ως είσοδο διαφορετικά γεγονότα (όπως για παράδειγμα η εξαφάνιση ενός είδους) προσφέροντας πολύτιμα συμπεράσματα στους επιστήμονες για τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν αυτά.

4.3 Δομικά στοιχεία της θεωρίας της προσομοίωσης

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση περί της διαδικασίας της προσομοίωσης είναι θεμιτό να αναφέρουμε τα δομικά στοιχεία της.

4.3.1 Συστήματα

- **Σύστημα**

Ως τέτοιο νοείται μία ομάδα στοιχείων-οντοτήτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους υπακούοντας σε ένα σύνολο κανόνων. Τέτοια συστήματα συναντούνται παντού στον πραγματικό κόσμο και σκοπός της προσομοίωσης είναι να τα αναπαραστήσει εξυπηρετώντας τους σκοπούς του ερευνητή.

Ένα σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως στατικό ή δυναμικό, ανάλογα με την εξάρτηση του από τον χρόνο.

- **Στατικά συστήματα**

Στατικά συστήματα ονομάζονται τα συστήματα τα οποία δεν εξαρτώνται από τον χρόνο. Αυτά τα συστήματα δεν μεταβάλλονται ως προς τον χρόνο. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι η πιθανότητα μιας ζαριάς ή το παιχνίδι της ρουλέτας στο καζίνο.

- **Δυναμικά συστήματα**

Δυναμικά συστήματα ονομάζονται τα συστήματα τα οποία εξαρτώνται από τον χρόνο. Αυτά τα συστήματα μεταβάλλονται γενικά ως προς τον χρόνο. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι η ένα κινούμενο αντικείμενο, η κίνηση ενός κύματος στην θάλασσα, η μεταφορά ρεύματος κ.α.

- **Κατάσταση ενός συστήματος**

Ως κατάσταση ενός συστήματος εννοούμε την συγκέντρωση των τιμών όλων των μεταβλητών οι οποίες είναι απαραίτητες για να περιγράψουν το σύστημα σε μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

- **Γεγονός**

Ως γεγονός εννοούμε ένα στιγμιαίο συμβάν το οποίο ενδέχεται να αλλάξει την κατάσταση του συστήματος.

Τα δυναμικά συστήματα διακρίνονται κατά κύριο λόγο σε συστήματα συνεχούς χρόνου και συστήματα διακριτού χρόνου.

- **Συστήματα συνεχούς χρόνου**

Συστήματα συνεχούς χρόνου είναι εκείνα τα συστήματα στα οποία οι μεταβλητές που ορίζουν τις καταστάσεις είναι συνεχείς συναρτήσεις του χρόνου. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι η μέτρηση της έντασης του ανέμου σε μία τοποθεσία, η ροή ύδατος στους ταμιευτήρες της ΕΥΔΑΠ κ.α.

- **Συστήματα διακριτού χρόνου**

Τα συστήματα διακριτού χρόνου μπορούν να θεωρηθεί ότι αλλάζουν καταστάσεις σε διακριτές χρονικές στιγμές. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι η εξυπηρέτηση πελατών σε μία τράπεζα (η είσοδος, η έξοδος κάθε πελάτη γίνεται σε διακριτές χρονικές στιγμές) ή η εξυπηρέτηση κλήσεων σε ένα τηλεφωνικό κέντρο.

Επειδή στην πραγματικότητα δεν συναντάμε συστήματα αμιγώς συνεχή ή διακριτά προτείνεται και η διάκριση σε μία ακόμα κατηγορία δυναμικών συστημάτων, τα υβριδικά συστήματα. Στα συστήματα αυτά οι καταστάσεις είναι συνεχείς συναρτήσεις του χρόνου και σε κάποια διακριτά χρονικά σημεία οι μεταβλητές που ορίζουν την κατάσταση αλλάζουν.

Τα συστήματα μπορούν να διακριθούν επίσης ως αιτιοκρατικά και ως στοχαστικά.

- **Αιτιοκρατικά συστήματα (deterministic systems)**

Αιτιοκρατικά συστήματα ονομάζονται εκείνα τα συστήματα των οποίων τα αποτελέσματα είναι γνωστά εάν εισαχθούν γνωστές μεταβλητές και αρχικές συνθήκες. Σε ένα αιτιοκρατικό σύστημα εάν δοθεί η περιγραφή της κατάστασης του σε κάποιο χρονικό σημείο μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια η επόμενη κατάσταση.

- **Στοχαστικά συστήματα (stochastic systems)**

Στοχαστικά συστήματα ονομάζονται εκείνα τα συστήματα τα οποία έχουν μία ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές ως εισόδους και τα αποτελέσματα τους δεν μπορούν να είναι εκ των προτέρων γνωστά.

4.3.2 Μοντέλα

Ως μοντέλο νοείται μία αφαιρετική αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος. Ένα σύστημα δεν είναι θεμιτό (λόγω κόστους) και δυνατό να είναι ακριβώς ίδιο με την πραγματικότητα, αρκεί βέβαια να εξυπηρετεί τους σκοπούς για τους οποίους κατασκευάστηκε.

Τα μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- **Μοντέλο του μαύρου κουτιού - Black box model**

Τέτοια μοντέλα νοούνται εκείνα τα μοντέλα για τα οποία ο ερευνητής δεν έχει γνώση για τις διεργασίες και τους μηχανισμούς που τα διέπουν. Ο ερευνητής μπορεί να παρατηρήσει τα αποτελέσματα του μοντέλου και να εξάγει συμπεράσματα για το μοντέλο από αυτά. Τέτοιο μοντέλο είναι για παράδειγμα: η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μίας μεγάλης πόλης. Προφανώς δεν είναι δυνατόν να υπάρχει πλήρης γνώση για την ενέργεια που καταναλώνει κάθε μία συσκευή σε κάθε σπίτι ή και τον ακριβή τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν τις συσκευές οι καταναλωτές.

Μπορούν να εξαχθούν όμως γενικότερα συμπεράσματα όπως, ότι το επίπεδο κατανάλωσης μπορεί να διαφέρει από τον χειμώνα στο καλοκαίρι ή κατά την διάρκεια ημέρας και της νύχτας.

- **Μοντέλο του λευκού κουτιού - White box model**

Υπάρχει πλήρης γνώση για τους μηχανισμούς και τις διεργασίες που διέπουν το μοντέλο και τις ακριβείς σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Ο ερευνητής λοιπόν διαθέτει όλη την απαραίτητη γνώση που του χρειάζεται για το μοντέλο (για αυτό και αυτού του είδους τα μοντέλα αποκαλούνται επίσης γυάλινα κουτιά-glass box models).

- **Μοντέλο του γκρι κουτιού - Grey box model**

Στην πραγματικότητα όλα τα μοντέλα βρίσκονται ανάμεσα σε αυτά που ορίζουμε ως λευκό κουτί και μαύρο κουτί. Επομένως έχει εισαχθεί και η έννοια του μοντέλου του γκρι κουτιού (grey box model), το οποίο συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των δύο θεωρητικών μοντέλων. Κάποιες πληροφορίες για το μοντέλο είναι διαθέσιμες ενώ κάποιες άλλες όχι.

4.3.3 Βασικές Μέθοδοι μοντελοποίησης σε υπολογιστικά συστήματα

- **Συνεχή μοντέλα (continuous models)**

Στα συνεχή μοντέλα η ρύθμιση του χρόνου γίνεται στην αρχή της προσομοίωσης. Ο χρόνος της προσομοίωσης κυλά ομοιόμορφα σε ίσα διαστήματα και οι αλλαγές στις μεταβλητές συνδέονται με τον χρόνο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός συνεχούς μοντέλου είναι η κίνηση ενός αντικειμένου, η ταχύτητα ενδεχομένως να αλλάζει, η κίνηση όμως είναι μία συνεχής διαδικασία.

- **Μοντέλα Διακριτών καταστάσεων (discrete event models)**

Στα μοντέλα διακριτών καταστάσεων ο χρόνος δεν έχει άμεση επίπτωση στο μοντέλο. Το μοντέλο αλλάζει καταστάσεις καθώς συμβαίνουν διάφορα γεγονότα. Ο χρόνος της προσομοίωσης κυλά συνήθως σε άνισα διαστήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός μοντέλου διακριτών καταστάσεων είναι ένα σύστημα εξυπηρέτησης σε μία τράπεζα. Η προσομοίωση προχωρά καθώς πραγματοποιούνται διάφορα γεγονότα, όπως η είσοδος ενός πελάτη, η ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης του και άλλα τα οποία έχουν διαφορετικούς χρόνους πραγματοποίησης. Η εξέλιξη όμως της προσομοίωσης βασίζεται στα γεγονότα αυτά και όχι σε μία συνεχή συνάρτηση του χρόνου.

- **Μοντέλα Διακριτού ρυθμού (discrete rate models)**

Τα μοντέλα διακριτού ρυθμού είναι μια συνδυαστική μορφή των δύο προηγούμενων τύπων. Σε άλλες στιγμές η προσομοίωση οδηγείται από τα γεγονότα και σε άλλες εξελίσσεται συνεχώς ως προς τον χρόνο.

4.3.4 Άλλες Μέθοδοι μοντελοποίησης σε υπολογιστικά συστήματα

- **Μοντέλο Μόντε Κάρλο (Monte Carlo)**

Η μοντελοποίηση Μόντε Κάρλο χρησιμοποιείται ευρέως για να λύσει προβλήματα σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Ως είσοδο δίνονται ένας μεγάλος αριθμός τυχαίων τιμών οι οποίες παράγουν ένα μεγάλο σύνολο αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά δίνουν μία προσεγγιστική απάντηση στο ποιο είναι τα αποτελέσματα των διεργασιών του μοντέλου μέσω της προσομοίωσης. Στην πραγματικότητα δεν δίνουν μία μονοσήμαντη απάντηση αλλά ένα σύνολο τιμών οι οποίες δεν δείχνουν μόνο τι θα συμβεί σε μία δεδομένη περίπτωση αλλά και το πόσο πιθανό είναι να συμβεί αυτό. Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της μεθόδου αυτής είναι η παραγωγή ικανοποιητικού συνόλου ψευδο-τυχαίων αριθμών.

- **Μοντέλο Κατάστασης/Δράσης (State/Action Model)**

Σε ένα μοντέλο Κατάστασης/Δράσης μοντελοποιείται ένα σύνολο διακριτών καταστάσεων. Μία κατάσταση προέρχεται και οδηγεί σε μία άλλη κατάσταση εφόσον συμβεί κάποια δράση. Η αλληλουχία μεταξύ τους δεν χρειάζεται να είναι συνεχής ή αλυσιδωτή. Αυτού του είδους η μοντελοποίηση διέπεται από κάποιους κανόνες, οι οποίοι είναι:

- ✓ όλες οι καταστάσεις δέχονται γεγονότα
- ✓ η μετάβαση ενός ή περισσότερων καταστάσεων σε μία ή περισσότερες άλλες καταστάσεις μπορεί να δημιουργήσει ένα γεγονός σε κάποιες από τις καταστάσεις του μοντέλου
- ✓ μία ομάδα καταστάσεων μπορεί να ρυθμιστεί να μεταβεί σε κάποια άλλη κατάσταση εφόσον πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.

- **Μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες (Agent-based models)**

Ένα μοντέλο αποτελείται από διάφορα επιμέρους στοιχεία τα οποία ονομάζονται οντότητες (entities). Η φιλοσοφία της μοντελοποίησης agent-based είναι ότι στο επίκεντρο της μελέτης τοποθετούνται οι οντότητες ενός μοντέλου, οι οποίες αναφέρονται ως agents. Οι agents υπακούουν σε ένα σύνολο κανόνων διατηρώντας παράλληλα ένα βαθμό αυτονομίας. Οι κανόνες αυτοί μπορεί να αφορούν τους agents ατομικά καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους. Σε ένα μοντέλο agent-based συνήθως δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή η δυναμική του, οι απαραίτητες πληροφορίες εξάγονται από τα αποτελέσματα των αλληλεπιδράσεων των οντοτήτων μεταξύ τους.

4.4 Αριθμητικές Κατανομές

Πολλές φορές μας ενδιαφέρει η πιθανοθεωρητική κατανομή μιας τυχαίας μεταβλητής. Για παράδειγμα η κανονική κατανομή μπορεί να αποδώσει την πιθανότητα κατανομής του επιπέδου βροχόπτωσης στις ημέρες ενός μήνα (οι τιμές των τυχαίων μεταβλητών τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μία μέση τιμή). Κατάλληλες

κατανομές μεταβλητών μπορούν να χρησιμεύσουν έτσι ώστε να προσομοιώσουμε διάφορα πραγματικά μεγέθη παράγοντας τυχαίους αριθμούς. Για παράδειγμα η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται ορισμένες φορές για την προσομοίωση της εισόδου των πελατών σε μία τράπεζα.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες από τις βασικές κατανομές τυχαίων μεταβλητών (τ.μ.) που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση.

4.4.1 Κατανομές συνεχών μεταβλητών

Πολλά μεγέθη περιγράφονται καλύτερα με την χρήση συνεχών μεταβλητών, για παράδειγμα η μέτρηση του βάρους προϊόντων, τα έσοδα μιας εταιρείας, η θερμοκρασία κλπ. Σε αυτήν την περίπτωση την κατανομή της πιθανότητας μπορεί να την ορίσει η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας η οποία δίνει την πιθανότητα η οποία έχει το μέγεθος να λάβει τιμή σε ένα διάστημα.

Δηλαδή:

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$P(a \leq X \leq \beta) = \int_a^{\beta} f(x)dx$$

Προφανώς ισχύει ότι : $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$

Για τον ορισμό της κατανομής της πιθανότητας επίσης χρησιμοποιείται η συνάρτηση κατανομής, η οποία δείχνει την πιθανότητα η τ.μ. να πάρει τιμή ίση ή μικρότερη από κάποια τιμή x.

Δηλαδή:

Συνάρτηση Κατανομής

$$F(x) = P(X \leq xi) = \int_{-\infty}^x f(u)du$$

- **Ομοιόμορφη Κατανομή – $U(a, \beta)$**

Η ομοιόμορφη κατανομή αποτελεί την πιο απλή συνεχή κατανομή καθώς εκχωρεί ίσες πιθανότητες σε ένα διάστημα τιμών (εδώ ορίζεται από α έως β).

Αν και συναντώνται λίγες περιπτώσεις στο φυσικό κόσμο οι οποίες μπορούν να περιγραφούν με την χρήση της ομοιόμορφης κατανομής, εντούτοις με τις κατάλληλες παραδοχές μπορεί να φανεί χρήσιμη στην προσέγγιση κάποιων περιπτώσεων. Επιπλέον εξαιτίας του γεγονότος ότι δίνει ίσες πιθανότητες σε όλο το διάστημα τιμών, χρησιμοποιείται από πολλά προγράμματα για την παραγωγή τυχαίων δειγμάτων άλλων κατανομών. Για την περιγραφή της παρατίθενται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής.

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta - \alpha}, & x \in [\alpha, \beta] \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

Συνάρτηση Κατανομής

$$F(x) = \frac{x - \alpha}{\beta - \alpha}$$

Σημείωση: $-\infty < \alpha < \beta < \infty$

- **Εκθετική κατανομή $expo(\lambda)$**

Η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται ευρέως σε τεχνικές Monte Carlo για επίλυση προβλημάτων ουράς, έχει επίσης απλή μαθηματική μορφή. Χρησιμοποιείται για να προσδώσει την πιθανότητα του χρόνου εξυπηρέτησης ή του χρόνου εισόδου πελατών σε ένα εμπορικό χώρο. Για την περιγραφή της παρατίθενται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής.

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \in [0, \infty] \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

Συνάρτηση Κατανομής

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

Σημείωση: $\lambda > 0$

- **Κανονική Κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$**

Η κανονική κατανομή ή αλλιώς η «κωδωνοειδής» κατανομή είναι απ τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατανομές στην πιθανοτική θεωρία. Εκφράζει την τάση ενός μεγέθους να συγκεντρώνεται γύρω από μία τιμή. Είναι πολύ σημαντική στην στατιστική και χρησιμοποιείται ευρέως στις φυσικές και κοινωνικές επιστήμες. Η κανονική κατανομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδώσει μία εκτίμηση των πωλήσεων σε μία εταιρεία κάποιοι μήνα, να αποδώσει την θερμοκρασία μίας

ημέρας, το ύψος μιας ομάδας ανθρώπων. Για την περιγραφή της παρατίθενται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], x \in R (\mu \in R, \sigma > 0)$$

όπου: μ : η μέσος του πληθυσμού, και σ : η τυπική απόκλιση

- **Κατανομή Γάμμα *gamma* (α, λ)**

Η κατανομή Γάμμα είναι μία κατανομή η οποία αρκετές φορές χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τον χρόνο που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μία λειτουργία (π.χ. ενός εργοστασίου). Η εκθετική κατανομή που συζητήσαμε προηγουμένως αποτελεί μία ειδική περίπτωση της κατανομής Γάμμα. Για την περιγραφή της κατανομής Γάμμα παρατίθενται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση Γάμμα.

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(t) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0, (\text{όπου } \lambda > 0 \text{ και } \alpha \geq 0)$$

και

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

- **Κατανομή Weibull**

Επίσης η κατανομή Weibull μπορεί να θεωρηθεί μία γενίκευση της εκθετικής κατανομής. Για την περιγραφή της παρατίθενται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής.

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(t) = a \lambda^\alpha t^{\alpha-1} e^{-(\lambda t)^\alpha}, \quad t \geq 0, (\text{όπου } \lambda > 0 \text{ και } \alpha \geq 0)$$

Συνάρτηση Κατανομής

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}$$

4.4.2 Κατανομές διακριτών μεταβλητών

- **Διωνυμική Κατανομή , $bin(n, p)$**

Σε μία διωνυμική κατανομή η τυχαία μεταβλητή X αποτελεί τον αριθμό των επιτυχιών σε μία ακολουθία n ανεξάρτητων πειραμάτων Bernulli (πειράματα με δύο πιθανά αποτελέσματα, από όπου βγαίνει και το διωνυμική) τα οποία μοιράζονται την ίδια πιθανότητα επιτυχίας p . Για την περιγραφή της ακολουθεί η συνάρτηση πιθανότητας.

Συνάρτηση Πιθανότητας

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}, \quad x = 0, 1 \dots n \quad \text{όπου } (n > 0, p \in [0, 1])$$

- **Γεωμετρική Κατανομή , $geom(p)$**

Στη γεωμετρική κατανομή η τυχαία μεταβλητή X είναι ο αριθμός των πειραμάτων Bernulli τα οποία απαιτούνται μέχρι την εμφάνιση της πρώτης επιτυχίας. Για την περιγραφή της ακολουθεί η συνάρτηση πιθανότητας.

Συνάρτηση Πιθανότητας

$$f(x) = (1 - p)^{x-1} p, \quad x = 1, 2 \dots$$

- **Poisson (λ)**

Στη κατανομή Poisson η τυχαία μεταβλητή X είναι ο αριθμός εμφάνισης κάποιου γεγονότος σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα και λ είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων και αποκαλείται παράμετρος της κατανομής. Για την περιγραφή της ακολουθεί η συνάρτηση πιθανότητας.

Συνάρτηση Πιθανότητας

$$f(x) = P(X = x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2 \dots, \text{όπου } \lambda > 0$$

4.5 Επαλήθευση – Εγκυρότητα – Calibration

Κάποιες έννοιες οι οποίες συνδέονται με την έννοια της προσομοίωσης είναι η επαλήθευση και η εγκυρότητα ενός μοντέλου, και η τεχνική του model calibration.

Επαλήθευση ενός μοντέλου: Το πρόβλημα ενός μοντέλου ανάγεται στον εντοπισμό λογικών ή και αριθμητικών λαθών στο πρόγραμμα το οποίο κατασκευάστηκε με χρήση κώδικα ή με τα χρήση GUI software. Τα λάθη αυτά αν δεν εντοπιστούν ενδέχεται να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα και σε λανθασμένη λήψη

αποφάσεων και για αυτό είναι σημαντικό να εντοπιστούν. Οι μέθοδοι με τις οποίες μπορούν να εντοπιστούν τέτοιου είδους λάθη συνοψίζονται παρακάτω:

- Εφαρμογή τεχνικών μηχανικής λογισμικού: Τέτοιες τεχνικές είναι ο αντικειμενοστραφής ή ο δομημένος προγραμματισμός κ.α.
- Εφαρμογή διαδικασίας ελέγχου των επιμέρους αποτελεσμάτων (tracing): αυτή η μέθοδος υποστηρίζει την παρακολούθηση των τιμών διαφόρων κομματιών του μοντέλου διαχρονικά κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα υποπρόγραμμα το οποίο θα «τυπώνει» τις τιμές των σημαντικών μεταβλητών σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. ένα πρόγραμμα που θα δείχνει τον χρόνο αναμονής και εξυπηρέτησης των πελατών σε μια τράπεζα θα μπορούσε να δώσει πληροφορίες για χρόνους πολύ μεγαλύτερους των πραγματικών)
- Ακύρωση της τυχαιότητας: σε ορισμένα μοντέλα συμβαίνει διάφορα λάθη να ενσωματώνονται στην διαδικασία παραγωγής τυχαίων αριθμών και να είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Με την προσωρινή αντικατάσταση γεννητριών παραγωγής τυχαίων αριθμών με εισόδους γνωστές (το οποίο σημαίνει ότι ως ένα βαθμό μπορούμε να υπολογίσουμε και το αναμενόμενο αποτέλεσμα) μπορούμε να εντοπίσουμε ένα σημαντικό αριθμό λαθών.

Εγκυρότητα ενός μοντέλου: Κατά την διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου θα πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη μας τους στόχους τους οποίους θέλουμε αυτό να εκπληρώνει καθώς και τους περιορισμούς του. Επομένως θα μπορούσαμε να πούμε ότι η διαδικασία ελέγχου της εγκυρότητας είναι ο έλεγχος (πολλές φορές υποκειμενικός) για το αν και κατά πόσο ικανοποιεί το μοντέλο τις προϋποθέσεις που του είχαμε θέσει. Μερικοί από τους τρόπους που χρησιμοποιούμε για να ελέγξουμε την εγκυρότητα ενός μοντέλου μπορεί να είναι στατιστικές μέθοδοι (π.χ. σφάλματα). ή σύγκριση πραγματικών και προσομοιωμένων αποτελεσμάτων.

Model Calibration: Με τον όρο Model Calibration εννοούμε την τεχνική με την οποία ο ερευνητής προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απόκλιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου από τα πραγματικά δεδομένα. Φυσικά προϋπόθεση για να εφαρμοστεί είναι να έχουμε πραγματικά δεδομένα (ή να δεχθούμε κάποια άλλα δεδομένα ως πραγματικά π.χ. προσομοιωμένα αποτελέσματα από ένα άλλο μοντέλο το οποίο εμπιστευόμαστε). Ρυθμίζοντας κάποιες από τις παραμέτρους του μοντέλου είτε με ευρετικές μεθόδους (heuristics), οι οποίες βασίζονται κυρίως στην εμπειρία του ερευνητή, είτε με κάποια αριθμητική λογική είναι δυνατό να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

4.6 Λογισμικά Προσομοίωσης

Η προσομοίωση συστημάτων υλοποιείται ευρέως με την χρήση υπολογιστικών συστημάτων. Αν και ορισμένα προβλήματα προσομοίωσης μπορούν να υλοποιηθούν με γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού όπως η C, εντούτοις έχουν αναπτυχθεί διάφορες γλώσσες προγραμματισμού για προσομοίωση (όπως η

simpy και η simscript) οι οποίες ενσωματώνουν διάφορες ιδιαιτερότητες που αυτή απαιτεί. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ολοκληρωμένα πακέτα λογισμικού προσομοίωσης. Τα λεγόμενα Γραφικά Διαδραστικά Συστήματα Μοντελοποίησης (Visual Interactive Modeling Systems – VSIMS). Τα συστήματα αυτά μπορούμε να πούμε ότι ενσωματώνουν χαρακτηριστικά λογισμικού γραφικής διεπιφάνειας χρήστη, γνωστά και ως GUI software (Graphical User Interface software), αυτό το γραφικό περιβάλλον διευκολύνει την παρακολούθηση της προσομοίωσης αλλά κυρίως την κατασκευή νέων μοντέλων. Επίσης δεν απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού και αναπτύχθηκαν για να εξυπηρετήσουν την ανάγκη χρήσης υπολογιστικών προγραμμάτων προσομοίωσης από χρήστες οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι στην χρήση κώδικα. Τέτοιου είδους προγράμματα είναι το Simul8, το ExtendSim8, το Flexsim, το Arena και άλλα.

Το ExtendSim8 αποτελεί την πιο πρόσφατη έκδοση του λογισμικού προσομοίωσης διαδικασιών της Imagine That! . Σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει μια μικρή αναφορά ορισμένων λειτουργιών του και των block του (και των ιδιοτήτων τους) καθώς θα αποτελέσει το εργαλείο της προσομοίωσης στην μελέτη περίπτωσης μας. Θα αποτελέσει το πρόγραμμα με το οποίο θα υλοποιηθεί η μελέτη περίπτωσης η οποία βασίζεται στο θεωρητικό μοντέλο εξοικονόμησης ενέργειας της εργασίας αυτής. Τόσο το θεωρητικό μοντέλο όσο και η μελέτη περίπτωσης θα αναπτυχθούν αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια. Το πρόγραμμα αυτό δύναται να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της εργασίας μας. Σκοπός της εργασίας είναι η συνδυασμένη προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης και της λειτουργικής διαδικασίας της επιχείρησης. Η εισαγωγή δεδομένων και αναλυτικών σχέσεων στο πρόγραμμα μπορεί να προσφέρει μια αξιόπιστη αναπαράσταση της πραγματικής εικόνας της επιχείρησης. Αυτό είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης, το οποίο δεν δύναται να καλύψουν τεχνικά προγράμματα υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα προγράμματα αυτά ονομάζονται building energy simulation software (λογισμικό προσομοίωσης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων). Απαιτούν όμως μεγάλο όγκο τεχνικών χαρακτηριστικών (ή ακόμα και επιλογή συγκεκριμένων συστημάτων, που ενδεχομένως να υπάρχουν στις βάσεις δεδομένων του προγράμματος), χωρίς ωστόσο να δίνουν την δυνατότητα προσομοίωσης σε ικανοποιητικό βαθμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός εμπορικού κτιρίου. Συνήθως περιορίζονται στα επίπεδο έντασης φωτισμού και θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη περιγραφή τους για λόγους πληρότητας της εργασίας.

Εδώ και αρκετά χρόνια έχουν αναπτυχθεί από πανεπιστήμια ή ερευνητικά κέντρα προγράμματα τα οποία εστιάζουν στην προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης ειδικά για κτίρια, το λεγόμενο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης για κτίρια (building energy simulation software). Οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων προέρχονται κυρίως από την ανάγκη για φωτισμό και ηλεκτροδότηση συσκευών και τις ανάγκες για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό και κλιματισμό (Heating, Cooling, Ventilation and Air Conditioning) κατηγορίες οι οποίες αναφέρονται γενικότερα ως HVAC. Αυτού του είδους τα προγράμματα δέχονται ως εισόδους τα φυσικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (κατασκευή-εμβαδόν ορόφων, υλικό κατασκευής τοίχων και τζαμιών κ.α.) καθώς και χαρακτηριστικά των μηχανολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων του κτιρίου (συστήματα εξαερισμού, ψύξης, θέρμανσης και ύδρευσης), συστήματα φωτισμού (εξωτερικός και εσωτερικός φωτισμός) καθώς και

πληροφορίες για τις εγκατεστημένες συσκευές (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τηλεοράσεις). Επίσης ως είσοδο μπαίνουν και τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας (time schedules) καθώς και πληροφορίες για την γεωγραφική θέση του κτιρίου οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν με κλιματολογικές μετρήσεις για την περιοχή αυτή. Το πρόγραμμα παράγει στην έξοδο του πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης (ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικό αέριο) για το ζητούμενο χρονικό διάστημα. Εξελιγμένα προγράμματα δίνουν πληροφορίες για την θερμοκρασία και την υγρασία του εσωτερικού χώρου.

Αυτού του είδους του προγράμματα αποτελούν ισχυρό εργαλείο στα χέρια των μηχανικών οι οποίοι σχεδιάζουν ένα κτίριο ή μελετούν μία ήδη υπάρχουσα κατασκευή. Θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτού του είδους τα προγράμματα προσεγγίζουν την φιλοσοφία του white box modeling, και αυτό είναι και το μειονέκτημα τους, καθώς για την σωστή προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης απαιτείται ειδική και πλήρης γνώση για όλα τα υποσυστήματα του κτιρίου, τις εξωτερικές συνθήκες και τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας. Επίσης αυτού του είδους η προσομοίωση ξεφεύγει από τα πλαίσια της προσομοίωσης όπως ορίστηκε προηγουμένως. Περισσότερο ανάγεται στην εισαγωγή των ενεργειακών χαρακτηριστικών των επιμέρους υποσυστημάτων και η ενσωμάτωσή τους σε ένα γενικότερο σύνολο, το οποίο είναι ολόκληρο το κτίριο. Τέτοιου τύπου προγράμματα είναι το EnergyPlus, Trnsys, Designbuilder κ.α.

Ένα από τα πιο γνωστά λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων είναι το EnergyPlus. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί μια πανίσχυρη μηχανή προσομοίωσης. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από την αμερικανική υπηρεσία ενέργειας ως διάδοχος των δύο πολύ γνωστών προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων το DOE 2 και BLAST. Είναι γραμμένο σε μορφή ανοιχτού κώδικα καθώς στόχος της ομάδας που το ανέπτυξε είναι η διάδοση του και να δοθεί η δυνατότητα σε άλλους προγραμματιστές να το επεκτείνουν. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο η φιλοσοφία κατασκευής του είναι η δημιουργία πολλών ανεξάρτητων κομματιών κώδικα (modules) χωρίς πολλές αλληλεξαρτήσεις. Σημαντικό του μειονέκτημα είναι ότι δεν έχει περιβάλλον λειτουργίας φιλικό προς τον χρήστη (GUI όπως αναφέραμε παραπάνω). Στην προσπάθεια δημιουργίας ενός τέτοιου περιβάλλοντος για το EnergyPlus το NREL (National Renewable Energy Laboratory) έχει αναπτύξει ένα άλλο πρόγραμμα το Openstudio το οποίο διευκολύνει την χρήση του EnergyPlus και δίνει την δυνατότητα χρήσης του χωρίς την ανάγκη γραφής κώδικα. Τα παραπάνω προγράμματα δεν θα μας απασχολήσουν περαιτέρω καθώς στόχος της εργασίας και της μελέτης περίπτωσης είναι η δημιουργία ενός καθολικού μοντέλου το οποίο θα μπορεί να εφαρμοστεί γενικά με την χρήση αριθμητικών δεδομένων. Το μοντέλο λοιπόν θα δίνει έμφαση στα μετρήσιμα αριθμητικά δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας και άλλων χαρακτηριστικών (όπως η θερμοκρασία και το επίπεδο φωτισμού) και όχι στον τύπο των επιμέρους μηχανημάτων και εγκαταστάσεων.

Κεφάλαιο 5

Θεωρητικό μοντέλο προσομοίωσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογή ΜΕΕ

5.1 Περιγραφή του Θεωρητικού Μοντέλου

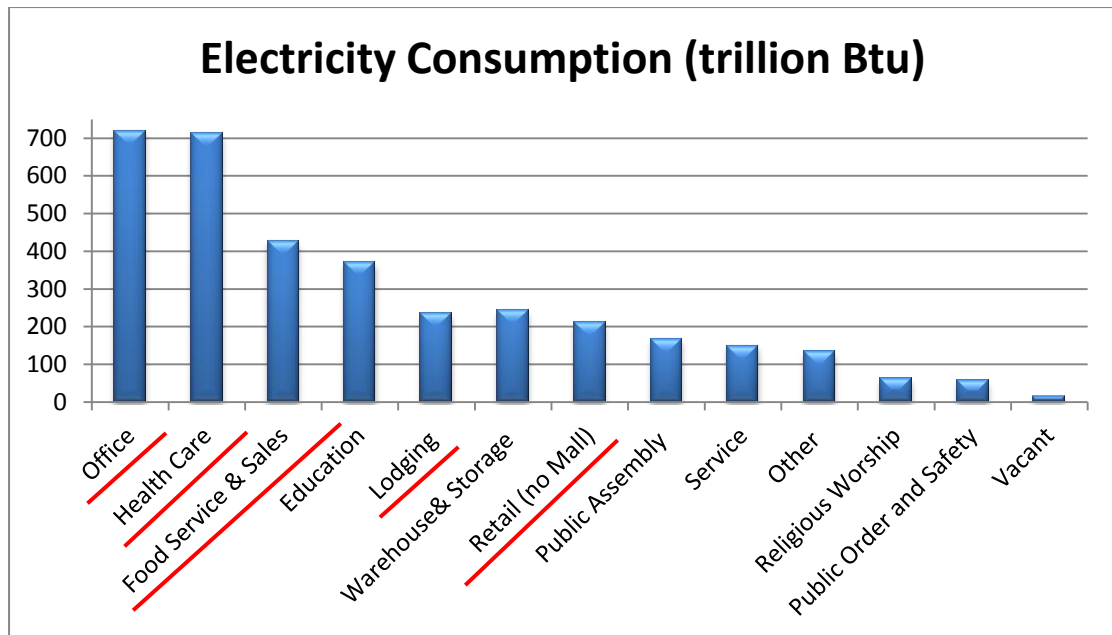
Το θεωρητικό μοντέλο το οποίο αναπτύσσεται σε αυτό το κεφάλαιο έχει ως σκοπό την επίτευξη καλύτερης ηλεκτρικής ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων με την χρήση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) τα οποία δεν απαιτούν την αντικατάσταση εξοπλισμού και είναι χαμηλού ή μηδενικού κόστους. Εργαλείο για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι η εφαρμογή τεχνικών προσομοίωσης για την πρόβλεψη της εξοικονομούμενης ενέργειας, εφαρμόζοντας τα ΜΕΕ, και η αξιολόγηση των ΜΕΕ με κριτήριο την επίδραση τους στο επίπεδο εξυπηρέτησης και την λειτουργία της επιχείρησης γενικά.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθεί το θεωρητικό μοντέλο το οποίο δημιουργήθηκε για να πετύχει τους στόχους της εργασίας. Προσπαθώντας να σχεδιάσουμε μία μέθοδο η οποία να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα κτιρίων εμπορικών επιχειρήσεων καταλήξαμε σε ορισμένες κατηγορίες επιχειρήσεων οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό κτιρίων εμπορικών επιχειρήσεων στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυριότερα στοιχεία τα οποία πρέπει να δοθούν ως είσοδοι για κάθε κατηγορία του μοντέλου και αναλύονται τα στάδια τα οποία οδηγούν από την προσομοίωση του μοντέλου και την ρύθμιση των παραμέτρων του, στην εισαγωγή εξειδικευμένων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε κατηγορία κτιρίων και τέλος στην αξιολόγηση τους και στον υπολογισμό της αντίστοιχης εξοικονόμησης ενέργειας και τον αντίκτυπο τα οποία αυτά θα έχουν στην λειτουργία της επιχείρησης.

Σκοπός της εργασίας είναι να εστιάσουμε σε ορισμένες αντιπροσωπευτικές κατηγορίες κτιρίων εμπορικών επιχειρήσεων. Εξετάζοντας την βιβλιογραφία και ορισμένες στατιστικές μελέτες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας καταλήξαμε σε πέντε κατηγορίες εμπορικών επιχειρήσεων, λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα μελέτης τους και τον βαθμό δυσκολίας προσομοίωσης των λειτουργιών τους και των καταναλώσεων τους. Οι κατηγορίες με τις οποίες θα ασχοληθούμε είναι:

- Ξενοδοχεία
- Γραφεία
- Εστιατόρια
- Λιανικό εμπόριο
- Νοσοκομεία

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται ενδεικτικά η κατανάλωση αυτών των τύπων κτιρίων στις Η.Π.Α. και η κατάταξη τους σε σχέση με άλλους τύπους.



Εικόνα 12: Γράφημα κατανάλωσης ηλεκτρισμού των πέντε βασικών τύπων κτιρίων (CBECS survey-2003)

Όπως διαπιστώθηκε από την βιβλιογραφία, για τους επιλεγμένους τύπους κτιρίων, μπορούν να οριστούν οι κύριες χρήσεις για τις οποίες καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια.

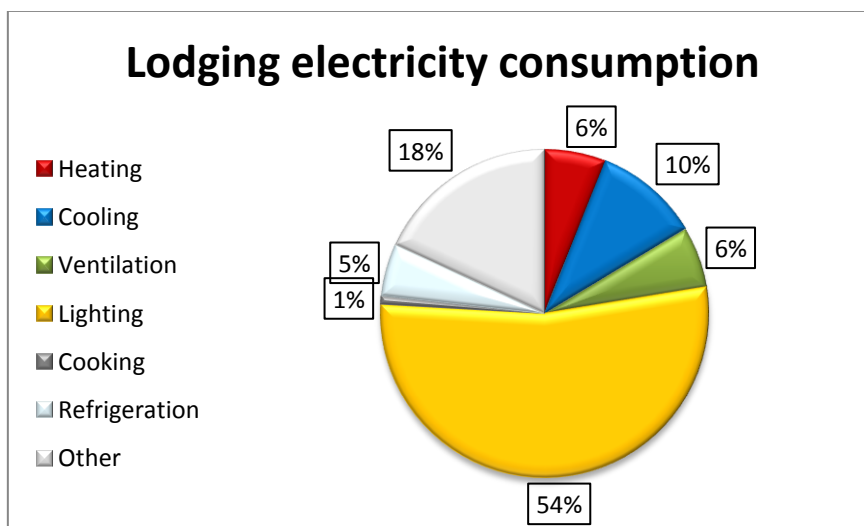
Πίνακας 3: Πίνακας με τις κυριότερες ΚΚΗΕ ανά τύπο κτιρίου

| | HOTELS | OFFICES | RESTAURANTS | RETAIL | HOSPITALS |
|---------------------------|--------|---------|-------------|--------|-----------|
| ΘΕΡΜΑΝΣΗ (HEATING) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ (COOLING) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ (VENTILATION) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (EQUIPMENT) | | ✓ | | | ✓ |
| ΚΟΥΖΙΝΑ (KITCHEN-COOKING) | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| ΨΥΞΗ (REFRIGERATION) | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ (LIGHTING) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ΑΛΛΟ (OTHER) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Για την διάκριση των σημαντικότερων καταναλώσεων ανά κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και εκτιμήσεις από διάφορες πηγές. Παρατηρήθηκε όμως

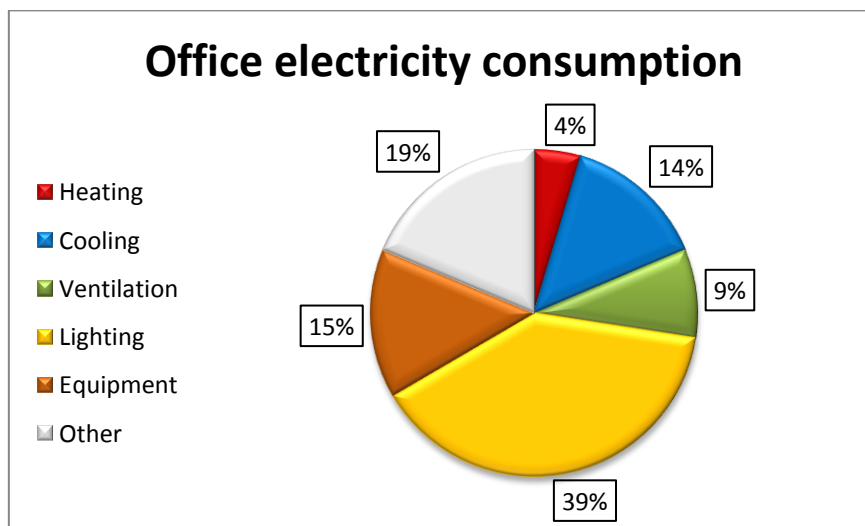
σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η έλλειψη ενδελεχής και συστηματικής μελέτης γύρω από τις ενεργειακές καταναλώσεις σε εμπορικά κτίρια. Αντίθετα στις Η.Π.Α. η Energy Information Administration (EIA) έχει διεξάγει διευρυμένες έρευνες στον τομέα αυτό, στα πλαίσια του προγράμματος CBECS. Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα χρησιμοποιώντας στοιχεία αυτού του προγράμματος (για το 2003), τα οποία αν και δεν ταυτίζονται απόλυτα με τα ευρωπαϊκά δεδομένα εντούτοις δίνουν χρήσιμες πληροφορίες. (Προέλευση των στοιχείων για την κατασκευή των γραφημάτων: 2003 CBECS Survey Data, Table E3. Electricity Consumption (Btu) by End Use for Non-Mall Buildings, 2003, Released: September, 2008).

Στην εικόνα 13 παρακάτω δίνεται το διάγραμμα-πίτα των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες φιλοξενίας-καταλύματα (lodging) στις ΗΠΑ. Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση φωτισμού υπερβαίνει το μισό της συνολικής κατανάλωσης αγγίζοντας το 54%. Γεγονός που αναδεικνύει τα μεγάλα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα αυτό. Συστήματα όπως, οι ανιχνευτές κίνησης (occupancy sensors) οι οποίοι απενεργοποιούν τα φωτιστικά συστήματα όταν το δωμάτιο είναι άδειο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη αυτού του στόχου. Παρατηρούμε ότι οι καταναλώσεις οι οποίες συνδέονται με την ποιότητα του εσωτερικού χώρου (θέρμανση, δροσισμός, εξαερισμός, φωτισμός) καταλαμβάνουν περίπου το 75% της συνολικής κατανάλωσης. Γεγονός αναμενόμενο, καθώς η άνεση των πελατών στον εσωτερικό χώρο αποτελεί και το κύριο ζητούμενο των επιχειρήσεων αυτών. Αναδεικνύονται επομένως οι καταναλώσεις στις οποίες θα μπορούσαν να εστιάσουν οι επιχειρήσεις αυτές για την εφαρμογή αλλαγών με σκοπό την συνολική μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



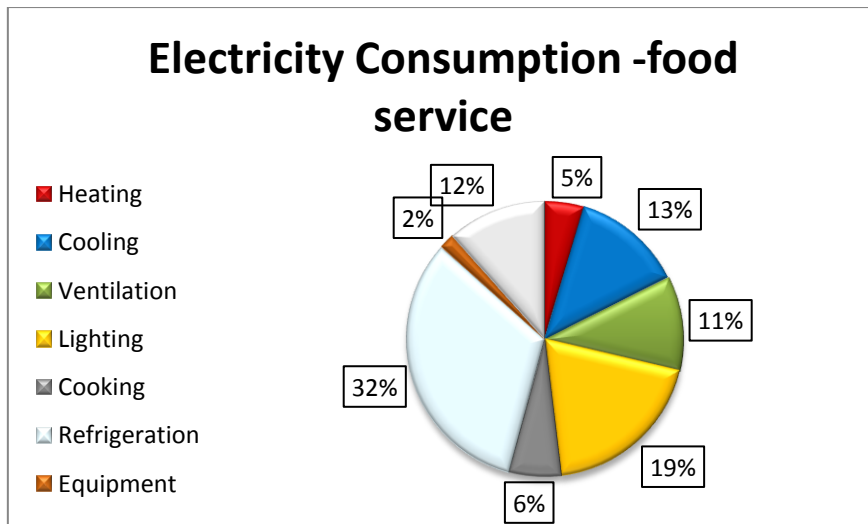
Εικόνα 13: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε ξενοδοχεία των Η.Π.Α.

Στην εικόνα 14 παρατηρούμε ότι, επίσης ο φωτισμός αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της καταναλισκόμενης ενέργειας. Είναι επίσης εμφανές το μέγεθος της κατανάλωσης του εξοπλισμού (υπολογιστές, φωτοτυπικά κ.α.). Η κατανάλωση ηλεκτρισμού από τον εξοπλισμό είναι η δεύτερη μεγαλύτερη με ποσοστό 15%. Γεγονός που αναδεικνύει την σημασία την οποία θα είχε η υιοθέτηση πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας σε συσκευές που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία (power off –sleep mode διακόπτες).



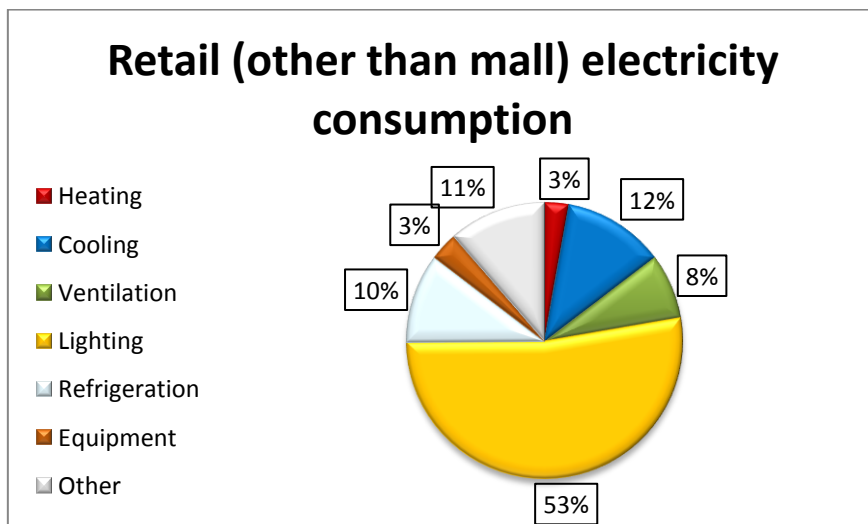
Εικόνα 14: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε γραφεία των Η.Π.Α.

Στην κατηγορία food service εντάσσονται καταστήματα τα οποία προσφέρουν υπηρεσίες που συνδέονται με το φαγητό. Η ΕΙΑ διακρίνει αυτές τις επιχειρήσεις από τις επιχειρήσεις πώλησης τροφής (food sales). Όπως διακρίνουμε στην εικόνα 15, είναι χαρακτηριστικό ότι οι καταναλώσεις οι οποίες σχετίζονται με την αποθήκευση και προετοιμασία του φαγητού αποτελούν περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού (με την κατανάλωση για το μαγείρεμα του φαγητού εντούτοις να είναι μόλις 6%, διότι χρησιμοποιούνται και άλλες μορφές ενέργειας για αυτήν την δραστηριότητα). Η ψύξη αποτελεί την μεγαλύτερη κατηγορία κατανάλωσης και ακολουθείται από το φωτιστικό σύστημα. Αυτός ο τύπος κτιρίου είναι ο μόνος που δεν έχει ως μεγαλύτερη κατηγορία κατανάλωσης το φωτιστικό σύστημα. Επίσης είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οι καταναλώσεις οι οποίες συνδέονται με την ποιότητα του αέρα εσωτερικού χώρου (indoor air quality) και οι οποίες είναι η θέρμανση, ο δροσισμός και ο εξαερισμός είναι περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης, πλησιάζοντας το ποσοστό το οποίο έχουν αθροιστικά αυτές οι τρεις κατηγορίες για την κατηγορία lodging, αναδεικνύοντας την σημασία την οποία έχουν οι παράμετροι οι οποίες σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα (θερμοκρασία, υγρασία κλπ.) για αυτού του τύπου τις επιχειρήσεις.



Εικόνα 15: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε εστιατόρια των Η.Π.Α.

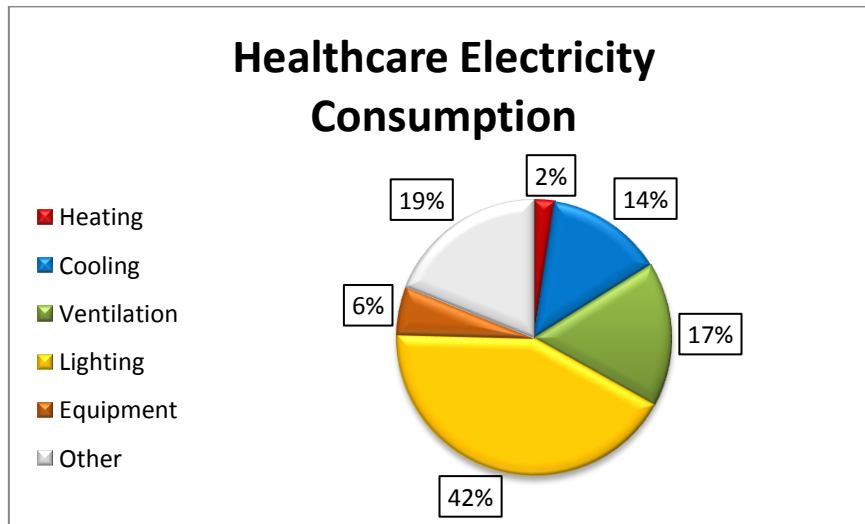
Η μελέτη CBECS για το 2003, δεν συμπεριλαμβάνει στην κατηγορία του λιανικού εμπορίου τα μεγάλα πολυκαταστήματα (mall). Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ότι η κατανάλωση φωτισμού ξεπερνάει το 50%. Αναμενόμενο δεδομένου της φύσης της λειτουργίας των καταστημάτων του λιανικού εμπορίου. Η αθροιστική κατανάλωση της θέρμανσης, δροσισμού και εξαερισμού καταλαμβάνει το 23%, παρουσιάζοντας μεγάλη ομοιότητα στο ποσοστό που καταλαμβάνουν αυτές οι κατηγορίες κατανάλωσης στα ξενοδοχεία και τα γραφεία. Επίσης είναι χαρακτηριστικό το υψηλό ποσοστό της κατανάλωσης ψύξης, το οποίο φτάνει το 10%.



Εικόνα 16: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού στο λιανικό εμπόριο των Η.Π.Α.

Στην κατηγορία κτιρίων που σχετίζονται με υπηρεσίες ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης, η ΕΙΑ περιλαμβάνει κτίρια νοσοκομείων στα οποία μπορεί γίνει εισαγωγή και διαμονή των ασθενών (inpatient healthcare) καθώς και κτίρια πρωτοβάθμιας περίθαλψης στα οποία δεν παρέχεται αυτή η δυνατότητα (outpatient healthcare). Όπως στους περισσότερους τύπους κτιρίων έτσι και εδώ η κατανάλωση του φωτιστικού συστήματος είναι η πιο μεγάλη. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η κατανάλωση για τον εξαερισμό είναι πολύ αυξημένη σε σχέση με τους άλλους

τύπους κτιρίων, αντανακλώντας και τα αυξημένα κριτήρια προστασίας των ασθενών και του προσωπικού από ασθένειες. Παρατηρούμε ότι η δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι στην κατηγορία other, χρήσεων που δεν αντιστοιχούν σε κάποια από τις βασικές κατηγορίες. Αυτό συμβαίνει διότι ο ειδικός ιατρικός εξοπλισμός δεν συμπεριλαμβάνεται στην κατηγορία του εξοπλισμού (equipment) του γραφείου. Σε αυτήν την κατηγορία περιέχονται πιο γενικού χαρακτήρα συσκευές (εξοπλισμός γραφείου, υπολογιστές κλπ.).

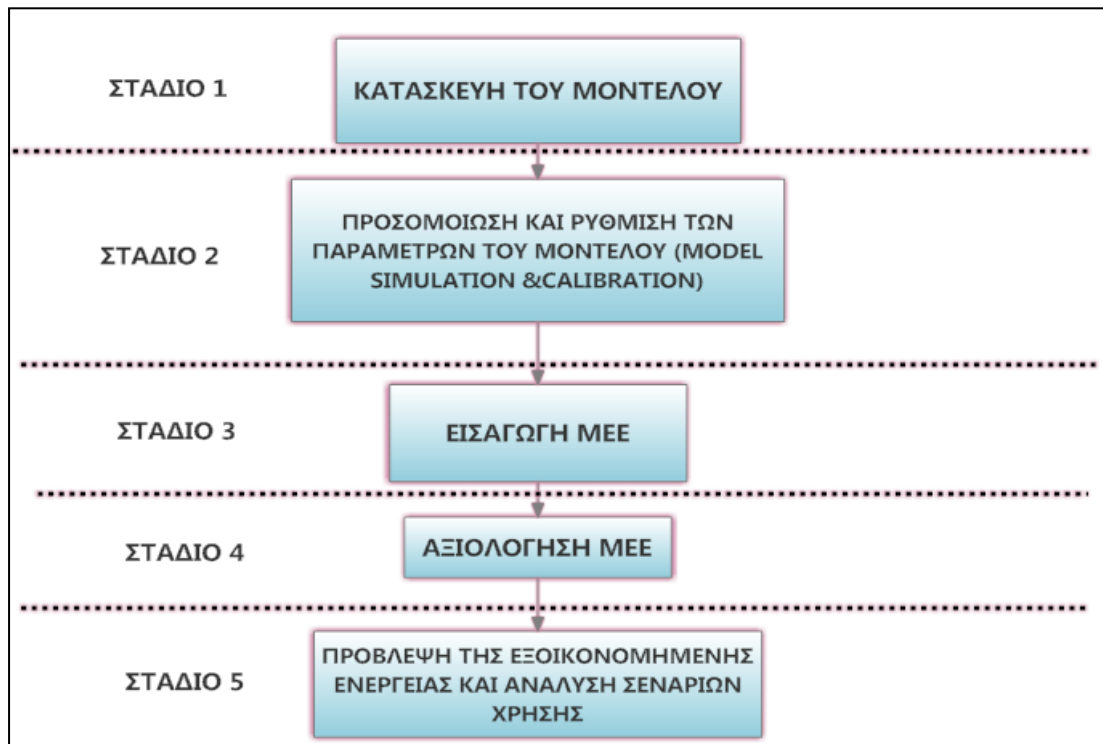


Εικόνα 17: Γράφημα κατανομής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε κέντρα υγείας των Η.Π.Α.

5.2 Στάδια του θεωρητικού μοντέλου

Το θεωρητικό μοντέλο μπορεί να διαχωριστεί σε πέντε επιμέρους στάδια, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (Διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου)



Εικόνα 18: Σχηματική αναπαράσταση της σύνδεσης των σταδίων του θεωρητικού μοντέλου

Τα στάδια συνοπτικά μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής:

- Στάδιο 1^ο – Κατασκευή του μοντέλου: Εισαγωγή και ανάλυση της απαραίτητης πληροφορίας (δεδομένα κατανάλωσης, δεδομένα λειτουργίας της επιχείρησης, καθώς και μετεωρολογικά δεδομένα, τεχνικά δεδομένα συστημάτων κ.α.).
- Στάδιο 2^ο – Προσομοίωση και ρύθμιση του μοντέλου (model calibration): Εφαρμογή τεχνικών προσομοίωσης για την αναπαράσταση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου και εφαρμογή τρόπων ρύθμισης του μοντέλου για ελαχιστοποίηση της απόκλισης από την πραγματικότητα.
- Στάδιο 3^ο – Εισαγωγή των ΜΕΕ: Εισαγωγή προτεινόμενων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ανά τύπο κτιρίου για τις διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης. Ανάλυση χαρακτηριστικών τους.
- Στάδιο 4^ο – Αξιολόγηση των ΜΕΕ: Μεθοδολογία ορισμού των βασικών δεικτών απόδοσης και αξιολόγηση των προτεινόμενων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση αυτούς τους δείκτες.
- Στάδιο 5^ο – Πρόβλεψη της εξοικονομημένης ενέργειας και ανάλυση σεναρίων: Μεθοδολογία υπολογισμού της εξοικονομούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και μεθοδολογία ανάλυσης των διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων.

5.2.1 Στάδιο 1ο – Κατασκευή του μοντέλου

Κρίσιμος παράγοντας για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, είναι η εύρεση σημαντικών πληροφοριών για την κατανάλωση ηλεκτρισμού της επιχείρησης και των επιμέρους λειτουργιών της. Μας ενδιαφέρει να εισάγουμε την απαραίτητη πληροφορία στο μοντέλο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρισμού.

Στο πρώτο στάδιο του μοντέλου πρέπει να εισάγουμε λεπτομερή δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ακρίβεια, η ποσότητα και η ποιότητα των δεδομένων επηρεάζει καθοριστικά την ακρίβεια και την κατά το δυνατό πιο ρεαλιστική αποτύπωση του τελικού μοντέλου κατανάλωσης ενέργειας.

Επίσης πρέπει να μας απασχολήσει η ποιότητα των δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Μια μελετημένη και σχεδιασμένη ομαδοποίηση των υπό μέτρηση συσκευών ή συστημάτων μπορεί να μεγιστοποιήσει τα οφέλη της μελέτης μας. Για παράδειγμα πολλές μελέτες βασίζονται σε στοιχεία από τους μηνιαίους λογαριασμούς ηλεκτρισμού. Αυτοί όμως εμφανίζουν την συνολική κατανάλωση κάνοντας σχεδόν αδύνατη την διάκριση των επιμέρους καταναλώσεων. Ακόμα και η μερική ομαδοποίηση διαφόρων συσκευών μπορεί να δημιουργήσει δυσχέρειες. Όπως θα δούμε στην μελέτη εργασίας, κάτι αντίστοιχο συνέβη και με τα πραγματικά δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε. Τα δεδομένα που αφορούσαν μία από τις κουζίνες εμπειρείχαν και τα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρισμού από τα συστήματα κατάψυξης των προϊόντων, δυσκολεύοντας την διαδικασία προσδιορισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά στάδιο παραγωγής.

Επίσης είναι θεμιτό οι μετρούμενες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρισμού να μην εμπριέχουν σοβαρά σφάλματα μέτρησης. Ενδεικνύται τα δεδομένα να έχουν αντληθεί από συσκευές μέτρησης της κατανάλωσης ενέργειας παρά από λογαριασμούς κατανάλωσης ενέργειας ή άλλες πηγές.

Το μέγεθος του χρονικού διαστήματος για το οποίο ελήφθησαν οι μετρήσεις ή αποκτήθηκαν ιστορικά δεδομένα είναι πολύ σημαντικό. Ειδικότερα η πρόσβαση σε δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας ενός ολόκληρου χρόνου δίνει την δυνατότητα κατανόησης και πρόβλεψης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου κατά την εναλλαγή των εποχών και των καιρικών συνθηκών.

Επίσης μεγάλη σημασία έχει ο χρόνος δειγματοληψίας των μετρήσεων. Αν τα διαστήματα λήψης της πληροφορίας κατανάλωσης ενέργειας είναι αρκετά μικρά, μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για μεγάλες αλλά σύντομες χρονικά καταναλώσεις. Για παράδειγμα η ενέργεια που καταναλώνει μια μηχανή ενός εργοστασίου κατά την εκκίνηση της. Εφόσον τα χρονικά διαστήματα λήψης είναι πολύ μεγάλα υπάρχει περίπτωση αυτή η πληροφορία να χαθεί στον αθροιστικό χαρακτήρα της συνολικής αποτυπωμένης ενεργειακής κατανάλωσης.

Είδαμε προηγουμένως ότι οι διάφοροι τύποι κτιρίων χαρακτηρίζονται από ορισμένες κατηγορίες κατανάλωσης. Επομένως είναι καλό να έχουμε δεδομένα για αυτές τις κατηγορίες. Για καλύτερη ανάλυση των σχέσεων μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και των διαφόρων παραγόντων είναι αναγκαίο να έχουμε πληροφορίες και για διάφορα άλλα μεγέθη (π.χ. στοιχεία για την ποιότητα του αέρα εσωτερικού χώρου). Επίσης αυτού του είδους οι πληροφορίες δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια στο

προσομοιωμένο μοντέλο μας και μεγαλύτερη ευχέρεια στην εφαρμογή διαφόρων ΜΕΕ.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν:

Θέρμανση

- θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
- θερμοκρασία εξωτερικού χώρου (περιβάλλοντος)
- πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος (χρονοδιάγραμμα λειτουργίας, τιμές θερμοκρασίας-στόχου)

Δροσισμός

- θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
- θερμοκρασία εξωτερικού χώρου (περιβάλλοντος)
- πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος (χρονοδιάγραμμα λειτουργίας, τιμές θερμοκρασίας-στόχου)

Φωτισμός

- ένταση φωτισμού εσωτερικού χώρου

Εξοπλισμός

- αριθμός συσκευών και χαρακτηριστικά κατανάλωσης τους
- χρονοδιάγραμμα λειτουργίας

Γενικές πληροφορίες

- ωράριο λειτουργίας καταστήματος
- δεδομένα πελατών

Για να μπορέσει να κατασκευαστεί το μοντέλο μας, είναι απαραίτητο να γίνει εισαγωγή της φύσης των επιμέρους λειτουργιών της επιχείρησης. Καθοριστικός παράγοντας στην εφαρμογή του μοντέλου είναι και οι πληροφορίες οι οποίες αφορούν λειτουργίες της επιχείρησης και συνδέονται με τις διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τις παραγόμενες υπηρεσίες.

Η δυσκολία ανάπτυξης του μοντέλου αυτού έγκειται στο γεγονός ότι επιχειρήσεις ακόμα και του ίδιου τύπου, μπορεί να παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στον τρόπο λειτουργίας τους. Γεγονός το οποίο δυσκολεύει την ομαδοποίηση και προτυποποίηση των λειτουργιών ενός τύπου κτιρίου και την αναπαράσταση των καταναλώσεων σε σχέση με την παραγωγική διαδικασία.

Επομένως καθοριστικό ρόλο στην κατασκευή του μοντέλου θα έχει η εισαγωγή των λειτουργικών χαρακτηριστικών της επιχείρησης και των τρόπων που συνδέονται με την κατανάλωση ενέργειας. Οι σχέσεις αυτές μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να αποτυπωθούν με την χρήση κατάλληλων ενεργειακών δεικτών (Energy Performance Indicators-EPIs), οι οποίοι ορίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Παραδείγματα EPIs είναι:

- Η σχέση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της κουζίνας ανά γεύμα σε ένα εστιατόριο
- Η σχέση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά πελάτη
- Η σχέση κατανάλωσης ανά δραστηριότητα εργαζόμενου ή πελάτη
- Η σχέση κατανάλωσης ανά προϊόν
- Η σχέση κατανάλωσης ανά προστιθέμενη αξία προϊόντος
- Κατανάλωση ηλεκτρισμού για θέρμανση ή δροσισμό του χώρου ανά τετραγωνικό μέτρο
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²)
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο (kWh/m³)
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά εργαζόμενο (kWh/employee)
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά πελάτη (kWh/customer)

Παραδείγματα λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας επιχείρησης αποτελούν:

- ωράριο λειτουργίας καταστήματος
- δεδομένα κίνησης πελατών
- χρονοδιαγράμματα λειτουργίας συστημάτων (κλιματιστικό και φωτιστικό σύστημα κ.α.) και συσκευών (συσκευές παραγωγής τροφίμων, συντήρησης τροφίμων κλπ.)

Πολλές φορές είναι δυνατό μέσα από την ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης να εξάγουμε χρήσιμα στοιχεία τόσο για τα συστήματα κατανάλωσης όσο και για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της επιχείρησης. Επομένως σε αυτό το στάδιο μετά την εισαγωγή των δεδομένων είναι πολύ χρήσιμο, να τα εξετάζουμε στοχευμένα και να εξάγουμε όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες και συμπεράσματα.

5.2.2 Στάδιο 2ο – Προσομοίωση και ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (Model Simulation & calibration)

Έχοντας κατασκευάσει το μοντέλο, στη συνέχεια πρέπει να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της προσομοίωσης. Το στάδιο της προσομοίωσης αποτελεί την σύνδεση μεταξύ πρώτου και δεύτερου σταδίου. Αρχικά γίνεται σαφής καταγραφή και ανάδειξη των λειτουργιών του μοντέλου που θα προσομοιωθούν, στο σημείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 3 ο οποίος κατηγοριοποιεί τις σημαντικές καταναλώσεις ανά τύπο κτιρίου. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν τις κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρισμού (φωτισμός, κλιματισμός κ.α.) και λειτουργίες του μοντέλου οι οποίες σχετίζονται με την λειτουργική διαδικασία του κτιρίου (π.χ. διαδικασία εισόδου των πελατών). Στη συνέχεια ακολουθεί η επιλογή του καταλληλότερου τρόπου αναπαράστασης αυτών των λειτουργιών. Οι τρόποι ποικίλουν: από μία αριθμητική κατανομή ή εξίσωση, μέχρι ένα τμήμα προγράμματος ή ένα αυτοματοποιημένο μπλοκ των διαδραστικών προγραμμάτων. Κατόπιν πρέπει να αποφασισθούν οι αρχικοποιημένες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου καθώς και ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης. Η ανάλυση των διαφόρων δεδομένων η οποία έχει γίνει στο πρώτο στάδιο καθώς και η ιδιαιτερότητα κάθε περίπτωσης καθορίζουν τις τιμές αυτές. Στο σημείο αυτό δίνονται οι αρχικές τιμές στις διάφορες παραμέτρους του

μοντέλου και ξεκινάει η εκτέλεση της προσομοίωσης. Η επιλογή του λογισμικού προσομοίωσης εξετάζεται ανά περίπτωση και σχετίζεται με τις δυνατότητες κάθε προγράμματος.

Βασικό μέρος της διαδικασίας του θεωρητικού μας μοντέλου αποτελεί η ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (model calibration). Έχοντας ολοκληρώσει τη πρώτη φάση της προσομοίωσης, το μοντέλο εξετάζεται εκ νέου ως προς την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας και εφόσον κριθεί σκόπιμο ρυθμίζονται ξανά οι παράμετροι του. Η τεχνική του model calibration αποτελεί βασικό στοιχείο της τεχνικής της προσομοίωσης όπως αναλύθηκε και προηγουμένως στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Σε μία μελέτη πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια (και κατ' επέκταση πρόβλεψης εξοικονόμησης ενέργειας) οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι διάφορες (όπως αυτές εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία).

Για παράδειγμα η μελέτη των Yiqun Pan et al (2007), *“Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai”*, η οποία έχει ως σκοπό την δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα εμπορικό κτίριο στη Σαγκάη. Μία από τις παραμέτρους του μοντέλου αυτού είναι μετεωρολογικά δεδομένα υπολογισμένα από την DOE (Department of Energy), για την περιοχή της Σαγκάης. Κατά την διαδικασία της ρύθμισης των παραμέτρων για βελτίωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης έγινε τροποποίηση τους χρησιμοποιώντας πιο αξιόπιστα μετεωρολογικά δεδομένα (αξιοποιώντας ένα λογισμικό είχαν αναπτύξει οι ίδιοι). Αυτό σε συνδυασμό με άλλες ρυθμίσεις οδήγησαν σε βελτίωση της αξιοπιστίας του μοντέλου. Αυτό δείχνει την σημασία την οποία έχει η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων ως μία αποτελεσματική και ταχεία μέθοδος ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου(calibration).

5.2.3 Στάδιο 3ο – Εισαγωγή των MEE

Τα Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας(MEE) τα οποία εφαρμόζονται σε αυτό το μοντέλο είναι μέτρα χαμηλού ή μηδενικού κόστους, τα οποία δεν περιλαμβάνουν προτάσεις αντικατάστασης εξοπλισμού αλλά κυρίως τροποποίηση στην λειτουργική διαδικασία της επιχείρησης. Τα διάφορα προτεινόμενα μέτρα καλύπτουν όλες τις κατηγορίες κατανάλωσης. Πολλά από αυτά είναι κοινά για μερικούς από τους τύπους των κτιρίων.

Ο πίνακας 3 παρακάτω περιέχει συγκεντρωμένα τα μέτρα αυτά. Στον πίνακα παρατίθεται η ονομασία των MEE όπως αντλήθηκε από την ξένη βιβλιογραφία και μία σύντομη περιγραφή τους. Η κατηγοριοποίηση δεν είναι ανά τύπο κτιρίου αλλά ανά κατηγορία χρήσης (τις κυριότερες ΚΚΗΕ : θέρμανση, δροσισμός, εξαερισμός, φωτισμός, ψύξη, κουζίνα). Μπορούμε να διαλέξουμε τα χρησιμότερα MEE για κάθε τύπο κτιρίου συνδυάζοντας, τα στοιχεία για τις κατηγορίες χρήσης με την κατηγοριοποίηση του πίνακα 3 ,με τις κυριότερες ΚΚΗΕ ανά τύπο κτιρίου :

Πίνακας 4: Πίνακας με τα προτεινόμενα ΜΕΕ του μοντέλου

| ΜΕΕ | ΟΝΟΜΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ | ΘΕΡΜΑΝΣΗ | ΔΡΟΣΙΣ ΜΟΣ | ΕΞΑΕΡΙ ΣΜΟΣ | ΦΩΤΙΣΜ ΟΣ | ΕΞΟΠΛ ΙΣΜΟΣ | ΨΥΞΗ | ΚΟΥΖ ΙΝΑ |
|-----|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|------|----------|
| 1 | set-point temperature | Ρύθμιση θερμοστάτη : τροποποίηση επιθυμητής θερμοκρασίας, χαλάρωση ορίων | • | • | | | | | |
| 2 | time control | χρονοδιακόπτες - έλεγχος χρόνου : ρύθμιση του χρόνου λειτουργίας των συσκευών ανάλογα με το ωράριο λειτουργίας της επιχείρησης | • | • | • | • | • | | |
| 3 | 'optimum start' and 'optimum off' timers | χρονοδιακόπτες βέλτιστης εκκίνησης & τερματισμού λειτουργίας : οι οποίοι μπορούν να ρυθμίσουν τους χρόνους εκκίνησης και τερματισμού για διαφορετικές καιρικές συνθήκες | • | • | • | | | | |
| 4 | natural ventilation | φυσικός εξαερισμός : άνοιγμα παράθυρων κ.α. | • | • | • | | | | |
| 5 | building zoning | ανάπτυξη ζωνών κτιρίου : διαχωρισμός κτιρίου σε θερμικές ζώνες, εξειδικεύοντας τις απαιτήσεις για τις διάφορες καταναλώσεις | • | • | • | | | | |
| 6 | thermostat 'dead band' | νεκρή ζώνη θερμοστάτη : δημιουργία ή ρύθμιση των διαστημάτων ενεργοποίησης και λειτουργίας θέρμανσης και δροσίσιμου για αποφυγή ταυτόχρονης λειτουργίας τους και απενεργοποίηση τους όταν οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι ευνοϊκές. | • | • | | | | | |
| 7 | vacant spaces | εντοπισμός κενών χώρων : απενεργοποίηση ή ρύθμιση συστημάτων σε χώρους που δεν εισέρχονται ένοικοι | • | • | • | • | | | |
| 8 | heat exchange surfaces | καθαρισμός και απελευθέρωση επιφανειών εναλλαγής θερμότητας (καθώς και οι εσχάρες και οι άλλες είσοδοι και έξοδοι του αέρα) και μη επικάλυψη τους από άλλο εξοπλισμό ή έπιπλα | • | • | • | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--|--|---|---|---|
| 9 | natural cooling | φυσικός δροσισμός : άνοιγμα παραθύρων κ.α. | | • | | | | | |
| 10 | night cooling | νυχτερινός δροσισμός : τεχνική κατά την οποία τις νυχτερινές ώρες ο αέρας (συνήθως πιο δροσερός από ότι την ημέρα) μεταφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου με φυσικό τρόπο ή υποβοηθούμενο από ανεμιστήρες. Το οικοδόμημα την επόμενη ημέρα έχει την δυνατότητα απορρόφησης μεγαλύτερης θερμότητας με αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό. | | • | | | | | |
| 11 | power down' facilities | συσκευές απενεργοποίησης συσκευών εξοπλισμού : μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φωτοτυπικά, εκτυπωτές, υπολογιστές κλπ. | | | | | • | | |
| 12 | cleaning ventilation system | καθαρισμός αεραγωγών, ανεμιστήρων και φίλτρων (μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος έως και 60%) | | | | | • | | |
| 13 | fan speed adjustment | ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρων : στην μέγιστη δυνατή (εκτός των περιπτώσεων πολύ υγρού καιρού) | | | | | • | | |
| 14 | humid - fan speed adjustment | ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρων - υγρασία : σε περίοδο υψηλής υγρασίας ρύθμιση της ταχύτητας των ανεμιστήρων σε χαμηλά επίπεδα. Έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη ψύξη αλλά αφαιρείται περισσότερη υγρασία κάνοντας τον χώρο να μοιάζει δροσερότερος | | | | | • | | |
| 15 | lavatory ventilation system | συστήματα εξαερισμού στις τουαλέτες : απενεργοποίηση τους όταν οι χώροι είναι κενοί | | | | | • | | |
| 16 | kitchen ventilation system | κλείσιμο εξαερισμού κουζίνας : όταν παύουν να λειτουργούν οι συσκευές της κουζίνας | | | | | • | | • |
| 17 | use of refrigeration units | ψυκτικές μονάδες : κλείσιμο των ψυκτικών μονάδων όταν είναι άσκοπη η λειτουργία τους | | | | | | • | |
| 18 | night-time setback control | κλιματισμός : αλλαγή του θερμοστάτη (χαλάρωση των ορίων) για τις ώρες που ο χώρος είναι κενός, συνήθως νυχτερινές ώρες | • | • | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--|---|---|--|---|
| 19 | night-time lag and lead time | κλιματισμός : κλείσιμο του συστήματος HVAC τις ώρες που ο χώρος είναι κενός (συνήθως νυχτερινές ώρες), ρύθμιση βέλτιστου χρόνου κλεισίματος πριν την εκκένωση του χώρου και βέλτιστου χρόνου εκκίνησης πριν την είσοδο των ενοίκων | • | • | | | | | |
| 20 | occupancy sensors | αισθητήρες κίνησης | | | | • | | | |
| 21 | reduce lighting | μείωση παρασχομένου φωτισμού : ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα | | | | • | | | |
| 22 | operational schedule of lighting | ρύθμιση χρονοδιαγράμματος λειτουργίας φωτισμού | | | | • | | | |
| 23 | switch off lighting | κλείσιμο φωτισμού τις ώρες μη λειτουργίας | | | | • | | | |
| 24 | reduce or switch off external lighting | μείωση ή κλείσιμο εξωτερικού φωτισμού (πινακίδες κλπ.) | | | | • | | | |
| 25 | use of energy efficient lighting lamps and dimming control ballasts | χρήση αποδοτικών λαμπτήρων φωτισμού και στραγγαλιστικών πηνίων ελέγχου | | | | • | | | |
| 26 | adjustment of 'sleep mode' on equipment | ρύθμιση 'sleep mode' εξοπλισμού (υπολογιστές, οθόνες κλπ) | | | | | • | | |
| 27 | production scheduling | Προγραμματισμός παραγωγής γευμάτων : μαζική παραγωγή προϊόντων ή προπαρασκευή τους (εφόσον είναι δυνατό) | | | | | | | • |

5.2.4 Στάδιο 4ο – Αξιολόγηση των ΜΕΕ

Η αξιολόγηση των ΜΕΕ γίνεται με την χρήση δεικτών οι οποίοι μετρούν την απόδοση της επιχείρησης, τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) ή Key Performance Indicators (KPIs) όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Καθοριστικός παράγοντας στην εφαρμογή του μοντέλου είναι και οι πληροφορίες οι οποίες αφορούν λειτουργίες της επιχείρησης και συνδέονται με τις διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τις παραγόμενες υπηρεσίες. Επομένως για την καλύτερη κατασκευή των ΒΔΑ είναι απαραίτητο να έχουμε δεδομένα που έχουν να κάνουν με τις παρεχόμενες υπηρεσίες, ή τις λειτουργίες που συνδέονται με αυτές. Μπορούμε να αναφέρουμε το παράδειγμα ενός εστιατορίου ή ενός καταστήματος λιανικής πώλησης στα οποία είναι πολύ σημαντικό να μην είναι μεγάλος ο χρόνος αναμονής και η ουρά αναμονής. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επιστημονοποιήσουμε ότι δεν μπορεί να δοθεί αυστηρός ορισμός για τους ΒΔΑ για κάθε κατηγορία επιχείρησης, καθώς αυτοί αποτελούν υποκειμενικά στοιχεία τα οποία πολλές φορές αντανακλούν τη φιλοσοφία της επιχείρησης ή τις προτιμήσεις της εκάστοτε διοίκησης. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναδείξει μία μεθοδολογία ανάλυσης αυτών των δεικτών και ενσωμάτωσης τους στην μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας. Επιγραμματικά μπορούν να παρατεθούν οι παρακάτω ΒΔΑ όπως βρέθηκαν από την βιβλιογραφία:

Πίνακας 5: Βασικοί Δείκτες απόδοσης ανά τύπο κτιρίου

| | Ξενοδοχεία | Γραφεία | Εστιατόρια | Λιανικό Εμπόριο | Νοσοκομεία |
|-----------------------------------|------------|---------|------------|-----------------|------------|
| Χρόνος αναμονής | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Θερμοκρασία | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Υγρασία | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Εξαερισμός (παροχή φρέσκου αέρα) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Επίπεδα φωτισμού εσωτερικών χώρων | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Επίπεδα φωτισμού εξωτερικών χώρων | ✓ | | ✓ | ✓ | |

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως υπάρχει και μια σειρά από ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι υποκειμενικά και πρέπει να υποβληθούν από τον εκάστοτε ενδιαφερόμενο. Ενδεικτικά αναφέρουμε ορισμένα από αυτά για την κατηγορία των εστιατορίων, όπως επιλεχθήκαν από την εργασία "The relationship between internal and external service quality", Nancy Bouranta et al (2009).

- *Food temperature is appropriate* : θερμοκρασία του φαγητού είναι κατάλληλη
- *Restaurant performs service correctly the first time* : το εστιατόριο ικανοποιεί την εξυπηρέτηση σωστά την πρώτη φορά
- *Restaurant provides timely service* : το εστιατόριο παρέχει έγκαιρη εξυπηρέτηση
- *Kitchen maintains order priority* : η κουζίνα διατηρεί την σειρά των παραγγελιών

5.2.5 Στάδιο 5ο – Πρόβλεψη της εξοικονομημένης ενέργειας και ανάλυση σεναρίων

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και της εφαρμογής των ΜΕΕ σε αυτό το στάδιο ομαδοποιούνται και παρουσιάζονται για την εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων. Καλό είναι να παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά μήνα και στο διάστημα ενός έτους για την κατανόηση των αποτελεσμάτων κατά τις εναλλαγές του καιρού. Επίσης η ανάδειξη των αποτελεσμάτων ανά κατηγορία κατανάλωσης δίνει την δυνατότητα ιεράρχησης της εφαρμογής των ΜΕΕ για εστίαση στις πιο συμφέρουσες λύσεις. Η επίπτωση των υπό εφαρμογή ΜΕΕ στους ΒΔΑ είναι μεγάλης σημασίας καθώς μπορεί να κρίνει την εφαρμογή ή όχι των μέτρων αυτών ανεξάρτητα του βαθμού εξοικονόμησης ενέργειας.

Επίσης είναι πολύ σημαντικό να γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των συνδυασμένων μέτρων καθώς αυτά μπορεί να αναδεικνύουν τη συγκεντρωτική βελτίωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (κάνοντας τα πιο ελκυστικά στους ενδιαφερόμενους) και την συνδυασμένη επίπτωση στους ΒΔΑ η οποία μπορεί να είναι λιγότερο επιβλαβής (π.χ. η χρήση περισσότερων φωτιστικών σωμάτων συνεισφέρει στο θερμικό φορτίο του χώρου γεγονός το οποίο μπορεί να έχει θετική επίπτωση σε περιοχές με ψυχρό κλίμα, στις οποίες χρειάζεται αυξημένη κατανάλωση για θέρμανση του χώρου).

Η σημασία της προσομοίωσης έγκειται στο γεγονός ότι μπορείς να κρίνεις και να αξιολογήσεις τα εναλλακτικά σενάρια χωρίς να τα έχεις εφαρμόσει. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα σχεδίασης πολλών εναλλακτικών σεναρίων και διεξαγωγής πειραμάτων στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Ύστερα μπορούν να εφαρμοστούν ορισμένα εναλλακτικά σενάρια στο πραγματικό περιβάλλον για να αξιολογηθούν, η διαδικασία της προσομοίωσης ως προς την ακρίβεια της, και τα σενάρια ως προς την πρόβλεψη της εξοικονομημένης ενέργειας. Για την εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων κατανάλωσης ηλεκτρισμού από τις επιχειρήσεις είναι πολύ σημαντική η γνώση ή εκτίμηση του αποτελέσματος. Αυτό αναδεικνύει και την σημασία της πρόβλεψης της εξοικονομημένης ενέργειας. Η πρόβλεψη αυτή αποτελεί ισχυρό εργαλείο ανάλυσης της πολιτικής της κάθε επιχείρησης στο περιβάλλον της

αβεβαιότητας, και δίνει ισχυρό κίνητρο στις εμπορικές επιχειρήσεις για να υιοθετήσουν τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια.

5.3 Στόχοι του μοντέλου

Στόχος του μοντέλου αυτού είναι να αποτελέσει την αφετηρία στην έρευνα για κατηγοριοποίηση των διαφόρων παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ανάδειξης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Τα ευρήματα και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες μορφές ενέργειας (πχ. φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλους παραγωγικούς τομείς όπως η βιομηχανία και οι μεταφορές, ακολουθώντας την πορεία αυτή της διάσπασης των επιμέρους θεμάτων σε μικρότερες κατηγορίες. Επίσης οι τομείς αυτοί παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να προσομοιωθούν οι λειτουργίες τους και να εξευρεθούν τρόποι υπολογισμού των επιπτώσεων των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στο τρόπο λειτουργίας τους. Το θεωρητικό αυτό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σε μελέτη προσομοίωσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και εφαρμογής ΜΕΕ σε αυτή, όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο.

5.4 Φύλλο εφαρμογής του θεωρητικού μοντέλου - Διασύνδεση με τη μελέτη περίπτωσης

Παρακάτω παρατίθεται μια συγκεντρωτική περιγραφή των ζητημάτων τα οποία αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό και μπορεί να θεωρηθεί ως μία μορφή προτυποποίησης του θεωρητικού μοντέλου.

Χρησιμεύει ως διασύνδεση του παρόντος κεφαλαίου με το επόμενο το οποίο είναι η μελέτη περίπτωσης εφαρμογής του θεωρητικού μοντέλο σε πραγματικά δεδομένα ενός εστιατορίου.

Φύλλο εφαρμογής θεωρητικού μοντέλου - Εστιατόρια

- Είσοδοι
 - Τύπος Κτιρίου : εστιατόριο
 - Δεδομένα Κατανάλωσης κύριων ΚΚΗΕ(Κατηγορίες Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας)
 - θέρμανση : ✓
 - δροσισμός : ✓
 - εξαερισμός : ✗
 - εξοπλισμός : ✗
 - φωτισμός : ✓
 - κουζίνα : ✓ (κουζίνα , φριτέζες)
 - ψύξη : ✓
 - άλλο : ✗
 - Δεδομένα χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος χώρου
 - θερμοκρασία εσωτερικού χώρου : ✓
 - θερμοκρασία εξωτερικού χώρου : ✓
 - Επίπεδα υγρασίας (εσωτερικού χώρου) : ✗
 - Επίπεδα υγρασίας (εξωτερικού χώρου) : ✗
 - Επίπεδα φωτισμού : ✓
 - Δεδομένα λειτουργικών χαρακτηριστικών
 - Αριθμός πελατών
 - Αριθμός πελατών ανά ώρα : ✗
 - Συνολικός ημερήσιος αριθμός πελατών: ✓
 - Χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων πελατών : ✗
 - Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας κλιματισμού: ✗
 - Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξοπλισμού : ✗
 - Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας φωτισμού : ✓
 - Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Indicators-EPIs)
 - Ενέργεια ανά εργαζόμενο : ✓
 - Ενέργεια ανά πελάτη : ✓
 - Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ)
 - θερμοκρασία : ✓
 - επίπεδα φωτισμού : ✓
 - χρόνος εξυπηρέτησης : ✓
 - Χρόνος αναμονής : ✓
 - Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης : ✓
- Μοντέλο
 - Λειτουργικά χαρακτηριστικά
 - Διάγραμμα ροής παραγωγής : ✓
 - Χρήσιμες πληροφορίες : ✓
 - Κατασκευή του μοντέλου
 - Δημιουργία ομάδων κατανάλωσης : ✓
 - Τοποθέτηση αξιολογητών/καταγραφών (για αξιολόγηση του επηρεασμού των ΒΔΑ) : ✓
 - Αρχικοποίηση παραμέτρων : ✓
 - Προσομοίωση
 - Εισαγωγή χρόνου προσομοίωσης : 44640 λεπτά

- Επιλογή λογισμικού προσομοίωσης : [Extendsim8](#)
 - Ρύθμιση παραμέτρων του μοντέλου (model calibration)
 - Ανάλυση δεδομένων : ✓
 - Εφαρμογή τεχνικών συσχέτισης μεταβλητών-μεγεθών : [μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων](#)
 - Τεχνικές βελτιστοποίησης
 - Πειραματική τροποποίηση παραμέτρων για την εύρεση βέλτιστου αποτελέσματος : [ευρετικές μέθοδοι –heuristic](#)
- Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (MEE)
 - MEE
 - [selective use of devices](#)
 - [reduce lighting](#)
 - [set-point temperature](#)
 - [night-time setback control](#)
 - Μεθοδολογία προσομοίωσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση MEE : [χρήση Extendsim8](#)
 - Συνδυασμένη χρήση MEE ([Υπολογισμός αποτελεσμάτων για δέσμες MEE](#))
 - Κριτήρια αξιολόγησης MEE : [χρήση ΒΔΑ](#)
- Τελικό αποτέλεσμα
 - Ποσό και ποσοστό εξοικονομημένης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία χρήσης και συνολικά
 - Τελική αξιολόγηση MEE : [με βάση τα κριτήρια των ΒΔΑ και ποσοστού εξοικονόμησης ενέργειας](#)

Κεφάλαιο 6

Μελέτη Περίπτωσης

6.1 Περιγραφή της μελέτης περίπτωσης

Για την εφαρμογή και μελέτη του θεωρητικού μας μοντέλου επιλέχτηκε η περίπτωση ενός εστιατορίου ταχείας εξυπηρέτησης (quick service restaurant- qsr) ή όπως κοινώς αναφέρεται fast food (ταχυφαγείο). Αποκτήσαμε λεπτομερή δεδομένα για πέντε κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Χώρος κουζίνας και ψύξης No 1 (ΚΨ1)
2. Χώρος κουζίνας και ψύξης No2 (ΚΨ2)
3. Χώρος όπου βρίσκονται οι φριτέζες (ΦΡ)
4. Φωτισμός εστιατορίου
5. Κλιματισμός

Επίσης χρησιμοποιήσαμε :

- δεδομένα μέτρησης του αριθμού των πελατών ανά ημέρα (για τον μήνα Οκτώβριο)
- ωριαία δεδομένα μέτρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας (indoor temperature)
- ωριαία δεδομένα μέτρησης της εξωτερικής θερμοκρασίας, του περιβάλλοντος χώρου (outdoor temperature).
- ωριαία δεδομένα μέτρησης της φωτεινής ισχύος ανά περιοχή (lux) του εσωτερικού χώρου του καταστήματος

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα καταφέραμε να φτιάξουμε ένα προσεγγιστικό μοντέλο της παραγωγής των προϊόντων της επιχείρησης και της αντίστοιχης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων, στη συνέχεια κατασκευάστηκε το μοντέλο προσομοίωσης στο λογισμικό ExtendSim8, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεδομένων καθώς και άλλες πληροφορίες σχετικά με την διαδικασία παραγωγής των προϊόντων και την λειτουργία της επιχείρησης. Το μοντέλο αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας την διαδικασία προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (discrete event simulation). Στην συνέχεια έγινε η ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων του μοντέλου (model calibration) με σκοπό την μείωση του σφάλματος μεταξύ πραγματικών και προσομοιωμένων αποτελεσμάτων. Κατόπιν εφαρμόστηκε πειραματικά στο μοντέλο μας σειρά μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) χαμηλού ή μηδενικού κόστους τα οποία δεν απαιτούν την αντικατάσταση ή ανακαίνιση του εξοπλισμού (non-retrofit measures). Το μοντέλο αποσκοπεί επίσης στην πρόβλεψη της εξοικονομούμενης ενέργειας. Επίσης στο μοντέλο συμπεριλήφθησαν τρόποι μέτρησης της απόδοσης των μέτρων ως προς τις επιπτώσεις που έχουν στο επίπεδο εξυπηρέτησης και την λειτουργία της επιχείρησης (ΒΔΑ), καθώς βασικός στόχος της εργασίας είναι η εφαρμογή ΜΕΕ που δεν ζημιώνουν τον τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης και το επίπεδο εξυπηρέτησης. Ο χρόνος της προσομοίωσης αναφέρεται στον μήνα Οκτώβριο του 2012 καθώς για αυτόν τον μήνα είχαμε λεπτομερή και επαρκή στοιχεία.

6.1.1 Παραδοχές

Καθώς δεν ήταν διαθέσιμα λεπτομερή δεδομένα για την παραγωγή και λειτουργία της επιχείρησης για να μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε το σύστημα παραγωγής προϊόντων και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της επιχείρησης χρειάστηκε να οδηγηθούμε σε ορισμένες παραδοχές, όπως:

- η είσοδος κάθε πελάτη συνεπάγεται αυτόματα μία παραγγελία, η οποία ικανοποιείται όπως περιγράφεται παρακάτω
- κάθε παραγγελία διασπάται σε δύο υποπαραγγελίες: η μία ικανοποιείται από την παραγωγή προϊόντων σε έναν εκ των δύο χώρων ΚΨ1 ή ΚΨ2, η άλλη ικανοποιείται από την παραγωγή προϊόντων στον χώρο ΦΡ.
- Η παραγωγή των προϊόντων ομαδοποιήθηκε σε ωριαία «σετ» κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα σετ αυτά αποτυπώνουν την ενέργεια η οποία χρειάζεται να καταναλωθεί στους χώρους παραγωγής (ΚΨ1,ΚΨ2,Φριτέζες) αναλόγως την ώρα της ημέρας. Αυτά αποτελούν στην ουσία μια απόδοση ενεργειακής ταυτότητας στα προϊόντα που παράγονται. Καθώς λεπτομερή στοιχεία για το είδος και την ποσότητα των προϊόντων δεν ήταν διαθέσιμα, αποφασίστηκε η απόδοση της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή προϊόντων από μια παραγγελία αναλόγως την ώρα της ημέρας, θεωρώντας ότι έχουμε ένα αντικείμενο (item) το οποίο ζητάει διαφορετικές τιμές για την παραγωγή του κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό μπορεί εύλογα να υποτεθεί καθώς τα προϊόντα που ζητάνε οι πελάτες και προσφέρουν τα fast food διαφέρουν το πρωί, το μεσημέρι και το βράδυ. Επιπλέον συχνά διατίθενται προσφορές σε συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας (π.χ. Mc Donald's BREAKFAST διαθέσιμο μέχρι τις 10:30 πμ.)
- Η καταναλισκόμενη ενέργεια κάθε ημέρας διασπάστηκε σε δύο υποκατηγορίες :
 1. την κατανάλωση νυχτερινής λειτουργίας (δηλαδή τις ώρες μη λειτουργίας της επιχείρησης από τις 4:00 πμ. μέχρι τις 8:00 πμ και η οποία αποτελείται κυρίως από τα φορτία της ψύξης και κατάψυξης
 2. την κατανάλωση ημερήσιας λειτουργίας (δηλαδή τις ώρες από 8:00 πμ. έως τις 4:00 πμ. της επόμενης ημέρας)
- Η κατανάλωση ημερήσιας λειτουργίας διασπάστηκε επίσης σε δύο υποκατηγορίες:
 1. Την κατανάλωση βάσης , η οποία είναι η κατανάλωση στους χώρους σε κατάσταση αναμονής, δηλαδή όταν δεν παράγεται κάποιο προϊόν.
 2. Την μεταβλητή κατανάλωση, η οποία είναι η ποσότητα καταναλισκόμενης ενέργειας πέραν της ενέργειας της κατανάλωσης βάσης.
- Η λειτουργία του κλιματιστικού και του φωτιστικού συστήματος δεν εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών.
- Η οδήγηση για παραγωγή προϊόντων στους χώρους των ΚΨ1 ή ΚΨ2 γίνεται με ίσες πιθανότητες.
- Σειριακός τρόπος παραγωγής προϊόντων και εξυπηρέτησης πελατών.

6.2 Περιγραφή και Ανάλυση των δεδομένων

6.2.1 Περιγραφή των δεδομένων

Για την μελέτη περίπτωσης αξιοποιήσαμε ένα μεγάλο όγκο δεδομένων σε αρχεία Microsoft Excel.

Δεδομένα Κατανάλωσης:

- Δεδομένα Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στον χώρο της Κουζίνας 1 (συμπεριλαμβάνεται η ψύξη του χώρου). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε διαστήματα των δέκα λεπτών σε μονάδες kW. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για να εκφράζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh
- Δεδομένα Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στον χώρο της Κουζίνας 2 (συμπεριλαμβάνεται η ψύξη του χώρου). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε διαστήματα των δέκα λεπτών σε μονάδες kW. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για να εκφράζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh.
- Δεδομένα Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στον χώρο που βρίσκονται οι Φριτέζες. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε διαστήματα των δέκα λεπτών σε μονάδες KW. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για να εκφράζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh.
- Δεδομένα Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα φωτισμού. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε διαστήματα των δέκα λεπτών σε μονάδες KW. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για να εκφράζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh.
- Δεδομένα Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα κλιματισμού. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε διαστήματα των δέκα λεπτών σε μονάδες KW. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για να εκφράζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh.

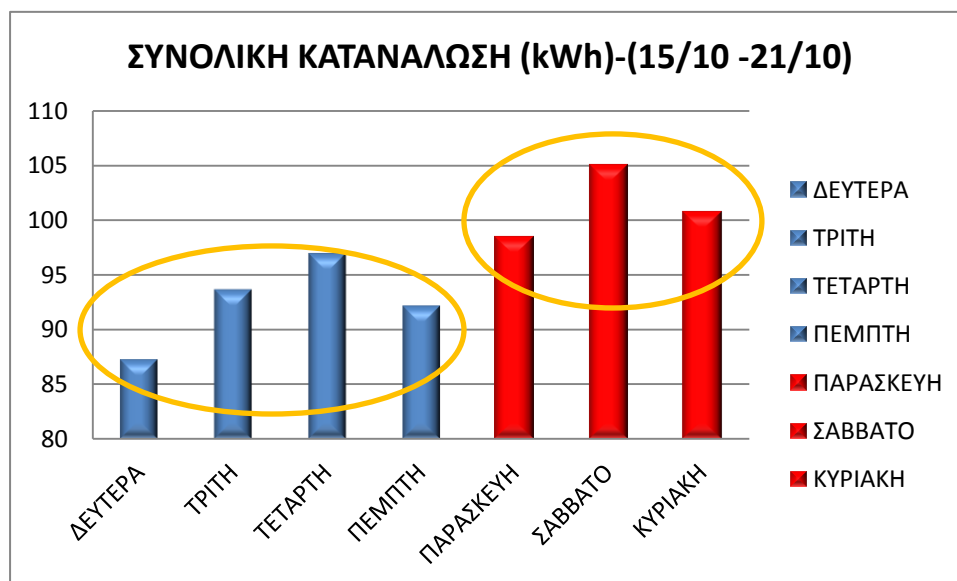
Άλλα Δεδομένα:

- δεδομένα μέτρησης του αριθμού των πελατών ανά ημέρα (για τον μήνα Οκτώβριο). Τα δεδομένα αφορούσαν μόνο στον μήνα Οκτώβριο και είναι το άθροισμα των πελατών του καταστήματος ανά ημέρα.
- Δεδομένα μέτρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας στον χώρο, σε °C. Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε διαστήματα των πέντε λεπτών και ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για την ευκολότερη χρησιμοποίησή τους.
- Δεδομένα μέτρησης της εξωτερικής θερμοκρασίας στον χώρο, σε °C. Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε διαστήματα των πέντε λεπτών και ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για την ευκολότερη χρησιμοποίησή τους.
- Δεδομένα μέτρησης της έντασης φωτισμού στον χώρο, σε μονάδες lux. Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε διαστήματα των πέντε λεπτών και ομαδοποιήθηκαν σε ωριαία σετ για την ευκολότερη χρησιμοποίησή τους.

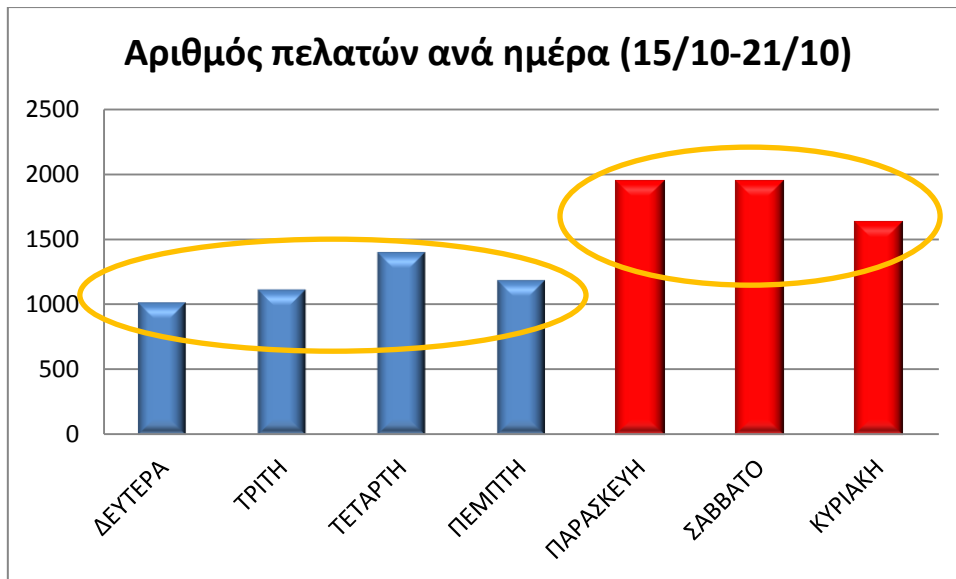
6.2.2 Ανάλυση δεδομένων

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιώντας λογικές μεθόδους και χρησιμοποιώντας όπου χρειάστηκε το Microsoft Excel 2010, για να διερευνηθεί πως επηρεάζεται η κατανάλωση ηλεκτρισμού από διάφορους παράγοντες και να αναπτυχθούν ενεργειακοί δείκτες οι οποίοι αποτυπώνουν αυτές τις σχέσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι ή παράμετροι στο μοντέλο της προσομοίωσης. Ορισμένα από τα ευρήματα της ανάλυσης είναι:

Σύμφωνα με τα στοιχεία γίνεται εμφανής η διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας ανάμεσα στην ομάδα των ημερών α. Δευτέρα-Πέμπτη και β. Παρασκευή-Σάββατο. Η κατανάλωση για την ομάδα (β) είναι πολύ αυξημένη. Αυτό είναι λογικό καθώς αυτές τις ημέρες περισσότεροι κάτοικοι έχουν ελεύθερο χρόνο να επισκεφθούν το κατάστημα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα δεδομένα του αριθμού των πελατών που επισκέφτηκαν το κατάστημα. Το συμπέρασμα της ισχυρής συσχέτισης μεταξύ καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αριθμού πελατών είναι πολύ σημαντικό και θα το αποτελέσει βασικό εργαλείο στην κατασκευή του μοντέλου. Χαρακτηριστική είναι οι εικόνες που ακολουθούν και αποτυπώνουν την συνολική κατανάλωση και τον ημερήσιο αριθμό πελατών αντίστοιχα.

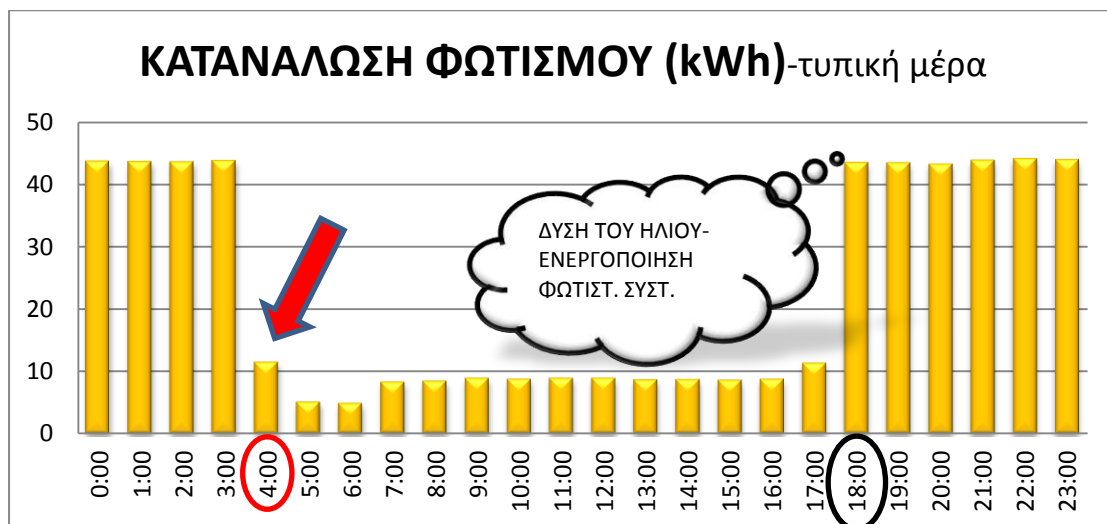


Εικόνα 19: Ενδεικτικό γράφημα απεικόνισης της συνολικής κατανάλωσης σε μία τυπική εβδομάδα

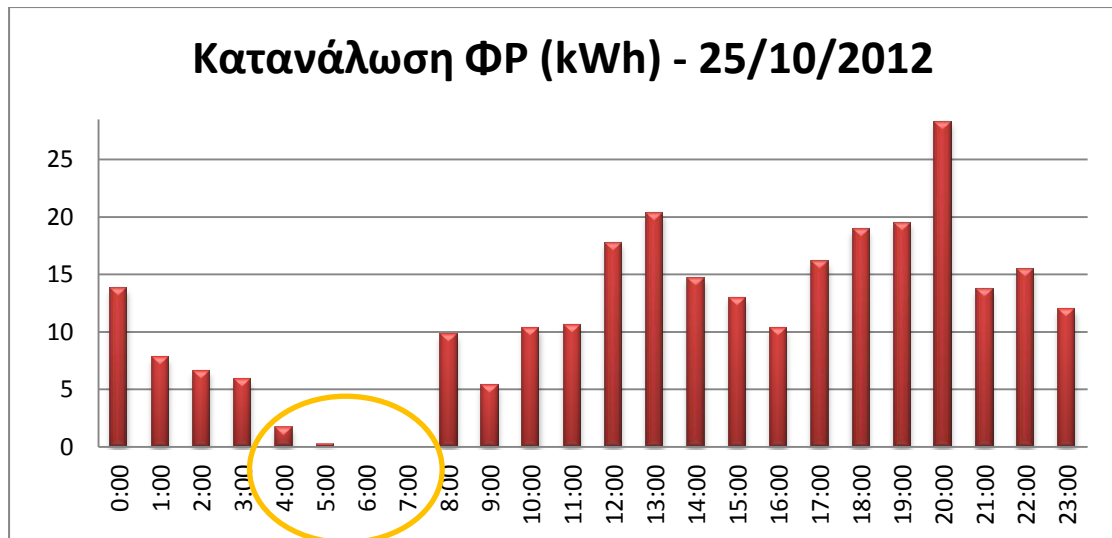


Εικόνα 20: Ενδεικτικό γράφημα απεικόνισης του συνολικού αριθμού πελατών σε μία τυπική εβδομάδα

Ώρες λειτουργίας του καταστήματος: Συνδυάζοντας τα δεδομένα κατανάλωσης φωτισμού και κατανάλωσης των κατηγοριών παραγωγής (ΚΨ1,ΚΨ2, Φριτέζες) μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι ώρες λειτουργίας της επιχείρησης είναι από τις 8:00 πμ μέχρι τις 4:00 πμ (συνολικά 20 ώρες). Κατά την διάρκεια της νύχτας η κατανάλωση πέφτει αισθητά και λειτουργούν μόνο συσκευές που δεν γίνεται να κλείσουν (όπως τα ψυγεία και οι καταψύκτες) και πιθανόν να καταναλώνουν ένα ποσοστό ενέργειας συσκευές που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής. Χαρακτηριστική εικόνα που επιβεβαιώνουν αυτόν τον ισχυρισμό είναι οι εικόνες 21 και 22 που αποτυπώνουν την κατανάλωση φωτισμού και την κατανάλωση στις φριτέζες αντίστοιχα.

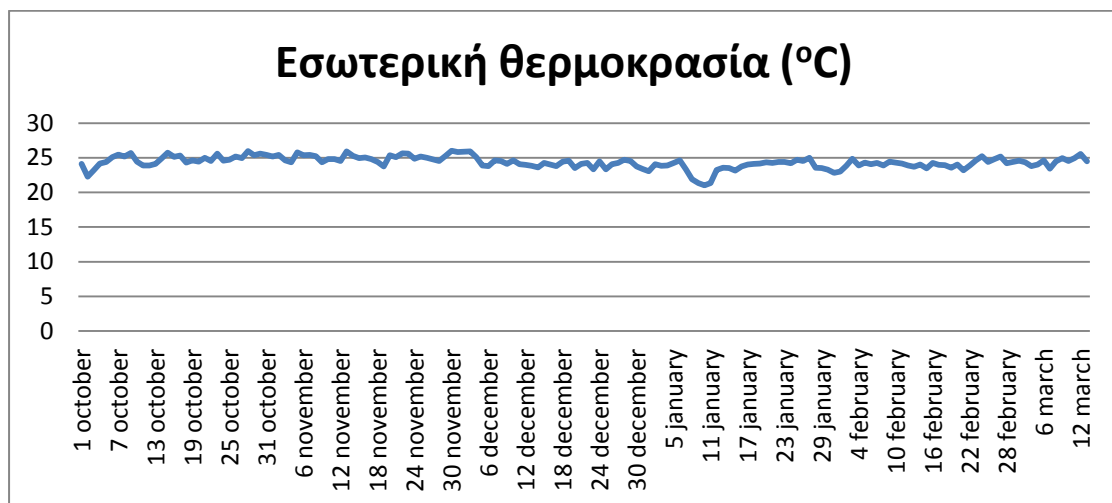


Εικόνα 21: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης φωτισμού σε μία τυπική μέρα



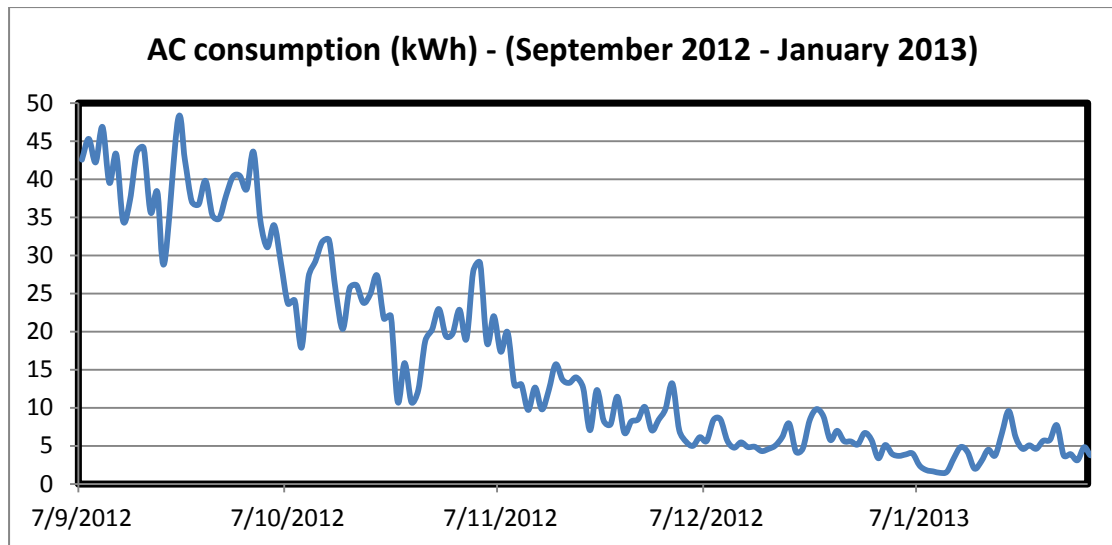
Εικόνα 22: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης φριτέζων σε μία τυπική μέρα

Θερμοκρασία θερμοστάτη: Από τα δεδομένα της μετρηθείσας εσωτερικής θερμοκρασίας μπορούμε ευλόγως να δεχτούμε ότι η θερμοκρασία στην οποία έχει ρυθμιστεί ο εσωτερικός κλιματισμός είναι στους 25 °C. Αυτό είναι εμφανές και από την εικόνα που ακολουθεί, μπορούμε να δεχτούμε ότι η επιθυμητή θερμοκρασία παραμένει στους 25 °C.



Εικόνα 23: Γράφημα απεικόνισης της τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας από τον Οκτώβριο του 2012 έως τον Μάρτιο του 2013

Στο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης ήταν διαθέσιμα ωριαία δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως διαφαίνεται από τα δεδομένα το σύστημα κλιματισμού χρησιμοποιείται μόνο για τον δροσισμό του χώρου (Cooling), καθώς τους χειμερινούς μήνες η κατανάλωση σχεδόν μηδενίζεται. Οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι για την θέρμανση του χώρου χρησιμοποιείται κάποιο άλλο κλιματιστικό σύστημα ή κάποια άλλη μορφή ενέργειας (π.χ. φυσικό αέριο ή πετρέλαιο). Χαρακτηριστική είναι και η εικόνα που ακολουθεί και αποτυπώνει την δραστική μείωση της χρήσης του κλιματισμού τους χειμερινούς μήνες.



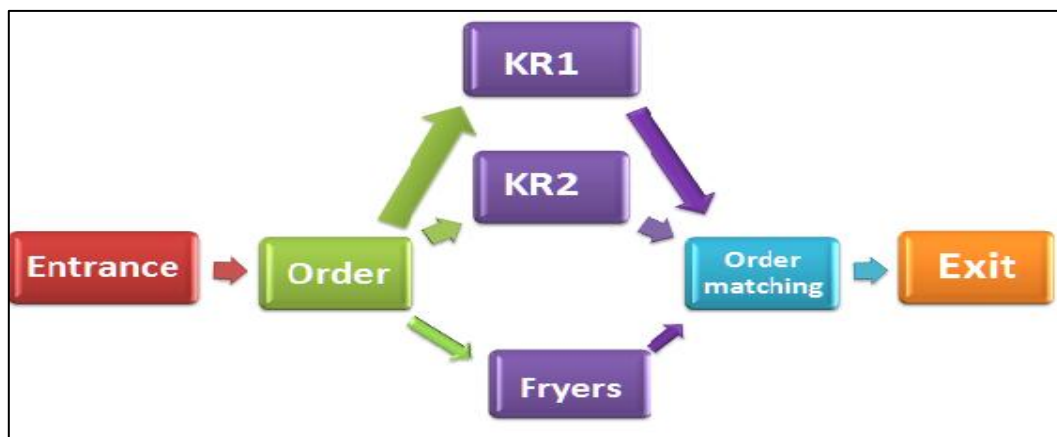
Εικόνα 24: Γράφημα απεικόνισης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού συστήματος από τον Σεπτέμβριο του 2012 έως τον Ιανουάριο του 2013

6.3 Λειτουργική διαδικασία – Κατασκευή του αρχικού μοντέλου

Η λειτουργική διαδικασία της επιχείρησης αποτελείται από τις εξής κατηγορίες:

- Είσοδος πελατών
- Παραγγελία
- Χώρος κουζίνας και ψύξης Νο1 (ΚΨ1)
- Χώρος κουζίνας και ψύξης Νο2 (ΚΨ2)
- Χώρος φριτέζων (ΦΡ)
- Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη
- Έξοδος πελάτη

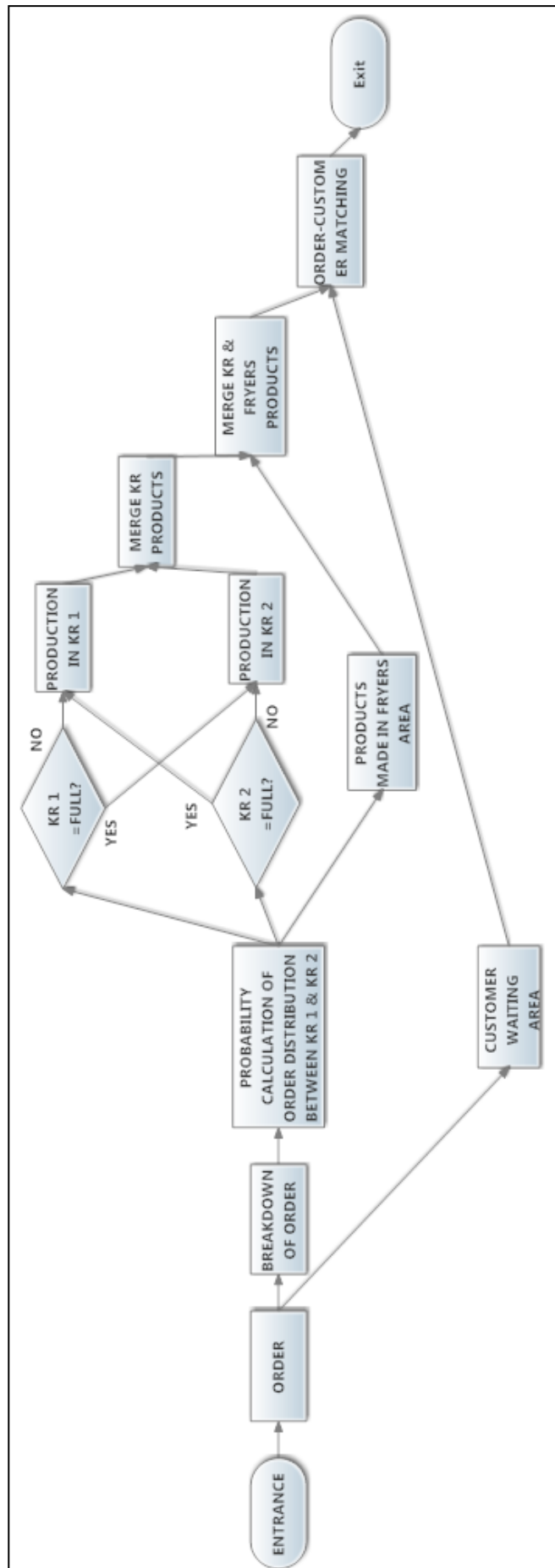
Σχηματικά μπορεί να αποδοθεί από το παρακάτω σχήμα. Η κατασκευή του αρχικού μοντέλου ακολουθεί το σκεπτικό του διαγράμματος ροής της επόμενης σελίδας.



Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργικής διαδικασίας του εστιατορίου

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Εικόνα 26: Λεπτομερές διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας του εστιατορίου



Συνθέτοντας τα στοιχεία από τα δεδομένα κατανάλωσης και τις μετρήσεις άλλων μεγεθών καθώς και τις γνώσεις γύρω από την λειτουργία της επιχείρησης και τις παραδοχές που περιγράφηκαν προηγουμένως κατασκευάστηκε το αρχικό μοντέλο.

Σε αυτό εφαρμόζεται η διαδικασία οδήγησης της παραγγελίας και των υποπαραγγελιών στους χώρους παραγωγής και της τελικής απόδοσης στον πελάτη. Πέρα από κάποια ζητήματα κατασκευαστικής φύσεως του λογισμικού τα οποία εντοπίστηκαν κατά το στάδιο της επαλήθευσης του μοντέλου, οι ρυθμίσεις των παραμέτρων του αφορούσαν κυρίως τα εισαγόμενα δεδομένα και την αξιοποίηση της διαθέσιμης πληροφορίας. Επομένως η περιγραφή της κατασκευής του μοντέλου θα γίνει στην επόμενη παράγραφο, στην οποία περιγράφεται η μορφή του τελικού μοντέλου.

6.4 Ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (Model Calibration)

Κατά την πρώτη φάση σχεδιασμού του μοντέλου ,έγινε προσπάθεια εκτίμησης διαφόρων παραμέτρων χρησιμοποιώντας τα διάφορα δεδομένα.

Αρχικά έπρεπε να βρούμε τρόπο να προσομοιώσουμε την διαδικασία εισόδου. Οι πληροφορίες τις οποίες είχαμε ήταν ο αριθμός των πελατών ανά ημέρα. Υπολογίσαμε λοιπόν τον χρόνο μεταξύ διαδοχικών αφίξεων σε λεπτά (Time between Arrivals) ως:

$$TBA_{initial} = \frac{(20)(60)}{number_of_customers_day}$$

20: οι ώρες λειτουργίας του καταστήματος

number_of_customers_day: ο αριθμός πελατών ανά ημέρα

Επίσης έπρεπε να βρούμε έναν δείκτη ο οποίος να αντικατοπτρίζει την κατανάλωση ανά προϊόν. Ο απλοϊκός δείκτης ΚΗΕΠ (Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά πελάτη) εφαρμόστηκε και για την ΚΨ1 και την ΚΨ2 και για την ΦΡ :

$$ΚΗΕΠ = \frac{\text{Συνολική ημερήσια κατανάλωση}}{\text{πελάτη}}$$

Τα αποτελέσματα έδειξαν πολύ μεγάλη απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα. Επιπλέον υπήρχε ανομοιομορφία στην αποτύπωση της κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο δείκτης ΚΗΕΠ είναι ο ημερήσιος μέσος όρος, και δεν εμπεριέχει την δυναμική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ αυξημένης ή χαμηλής κίνησης πελατών και της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης ο *TBA_initial* είναι ένας δείκτης ο οποίος δεν λαμβάνει υπόψη του την κατανομή των πελατών μέσα

στην ημέρα με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται ώρες αιχμής και ώρες χαμηλής λειτουργίας. Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος επιλέχθηκε η διάσπαση της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορες υποκατηγορίες:

Emeasured_i : μετρηθεία καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανα ώρα (i=0,1,...23)

όπου για : i = 0 αντιστοιχεί στην ώρα 00:00 έως 00:59

i = 1 αντιστοιχεί στην ώρα 01:00 έως 01:59 κλπ.

Enight : κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα για τις ΚΨ1, ΚΨ2, ΦΡ κατά τις νυχτερινές ώρες 04:00 πμ. έως 08:00 πμ. (μέσος όρος μετρημένων ωριαίων καταναλώσεων)

Ebaseline : σταθερή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (ανεξάρτητη από τον αριθμό των πελατών) αντίστοιχα για τις ΚΨ1, ΚΨ2, ΦΡ, τις ώρες λειτουργίας της επιχείρησης από 08:00 πμ έως 04:00 πμ. (η ελάχιστη ωριαία κατανάλωση μέσα στην ημέρα)

Evariable : ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εκφράζεται ως η απόσταση της μετρηθείσας ωριαίας κατανάλωσης ενέργειας *Emeasured_i* μείον την *Ebaseline*. Αφορά τις ώρες λειτουργίας της επιχείρησης από 08:00 πμ έως 04:00 πμ.

Επιπλέον δεν υπήρχαν δεδομένα κατανομής των πελατών κατά την διάρκεια της ημέρας. Για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας όμως υπήρχαν στοιχεία. Αποφασίστηκε λοιπόν η συσχέτιση της κατανομής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με την κατανομή των πελατών. Ως εκ τούτου στη συνέχεια ευρέθησαν νέοι ωριαίοι δείκτες *TBA_hourly* (χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ανά ώρα) και εισήχθησαν στο μοντέλο, τροποποιώντας το ώστε να ακολουθεί εκθετική κατανομή (κατανομή η οποία χρησιμοποιείται συχνά για την εμφάνιση της εισόδου των πελατών σε εμπορικές επιχειρήσεις).

Υπολογισμός *TBA_hourly*:

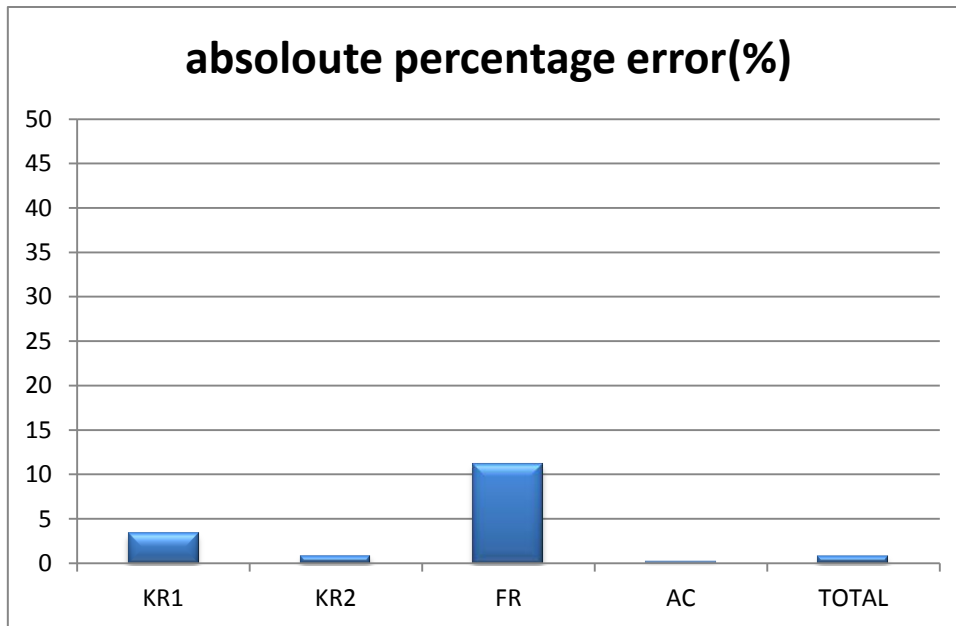
$$customers_distribution_i = \left(\frac{Evariable_i}{Evariable_day} \right) (number_of_customers_day)$$

$$TBA_hourly = \frac{(60)}{customers_distribution_i}$$

(όπου *customers_distribution_i* : η κατανομή των πελατών ανά ώρα)

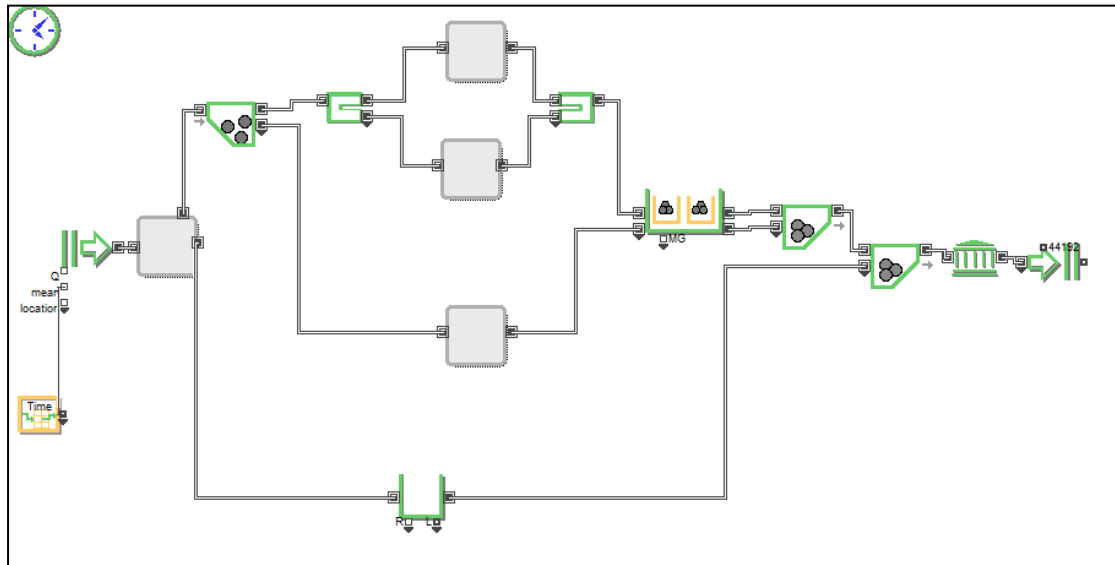
Ύστερα από αυτές τις τροποποιήσεις το μοντέλο μας παρουσίαζε μικρά σφάλματα στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα το μεγαλύτερο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα αφορά στην κατηγορία με τις φριτέζες, η οποία αγγίζει το 11%. Επίσης το απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα του χώρου (Κουζίνα & Ψύξη)¹ είναι μόλις 3,25% με τις

υπόλοιπες καταναλώσεις να έχουν σφάλμα κάτω του 1%. Η συνολική κατανάλωση έχει απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα κοντά στο 1%, γεγονός που οφείλεται στις αντίθετες μεταβολές των διαφόρων κατηγοριών και στην μικρή συμμετοχή της κατανάλωσης του χώρου των φριτζών στη συνολική κατανάλωση.



Εικόνα 27: Γράφημα απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος του μοντέλου από τα πραγματικά δεδομένα (ανά κατηγορία κατανάλωσης)

6.5 Ανάλυση σταδίων-κατασκευή του τελικού μοντέλου

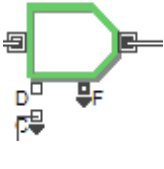







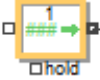


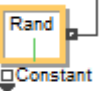

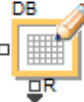


Εικόνα 28: Συνολικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης του εστιατορίου υλοποιημένο με το πρόγραμμα ExtendSim8

Κατόπιν της αρχικής κατασκευής του μοντέλου και της ρύθμισης των παραμέτρων του καταλήξαμε στην ανάπτυξη του παραπάνω τελικού μοντέλου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με blocks που χρησιμοποιήθηκαν από την Item library και την Value library του ExtendSim8. Η αξιοποίηση του κάθε μπλοκ στην μελέτη περίπτωσης μας περιγράφεται στα αντίστοιχα στάδια.

Πίνακας 6: Πίνακας με blocks που χρησιμοποιήθηκαν

| | | |
|-----------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Information | | Μπλοκ το οποίο αποτυπώνει πληροφορίες σχετικές με τα διερχόμενα από αυτό items (π.χ. attributes, πλήθος) |
| Set | | Μπλοκ το οποίο προσδίδει στα διερχόμενα items συγκεκριμένες τιμές στα attributes τους (ιδιότητες) |
| History | | Μπλοκ-πίνακας το οποίο καταγράφει χρονικά στοιχεία των διερχόμενων items, μαζί με πληροφορίες για τα attributes. |
| Queue | | Μπλοκ το οποίο προσομοιώνει την διαδικασία ουράς, αποτυπώνοντας ταυτόχρονα βασικά στατιστικά στοιχεία της |
| Unbatch | | Μπλοκ το οποίο διασπά ένα item σε δύο ή περισσότερες κατευθύνσεις |
| Select Item Out | | Μπλοκ το οποίο αποφασίζει για την δρομολόγηση ενός item σε μία από τις εξόδους τους |

| | | |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Activity |  | Μπλοκ το οποίο αναπαριστά την δραστηριότητα μιας εργασίας, έχει χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος ολοκλήρωσης και η χωρητικότητα |
| Get |  | Μπλοκ το οποίο μπορεί να προσλάβει και να εξάγει τα χαρακτηριστικά (attributes) των διερχόμενων items |
| Stop Message |  | Μπλοκ το οποίο διακόπτει την μεταφορά ενός μηνύματος σε μία σύνδεση μεταξύ μπλοκ |
| Select Item In |  | Μπλοκ το οποίο αποφασίζει για την επιλογή ενός item από δύο ή περισσότερους εισόδους προς μία έξοδο |
| Queue Matching |  | Μπλοκ το οποίο αντιστοιχίζει δύο ή περισσότερες ουρές προς δύο ή περισσότερες εξόδους |
| Batch |  | Μπλοκ το οποίο ενώνει items από δύο ή περισσότερες εξόδους προς μία έξοδο |
| Exit |  | Το τελευταίο μπλοκ των μοντέλων που περιέχουν items, απεικονίζει την έξοδο των items, και καταγράφει το πλήθος των εξερχόμενων items |
| Lookup Table |  | Μπλοκ-πίνακας το οποίο ελέγχει μία τιμή ή μία χρονική στιγμή και αποδίδει την τιμή εξόδου που έχουμε θέσει |
| Constant |  | Μπλοκ το οποίο αποδίδει την τιμή ενός σταθερού αριθμού |
| Math |  | Μπλοκ το οποίο υπολογίζει πλήθος αριθμητικών συναρτήσεων |
| Holding Tank |  | Μπλοκ το οποίο συγκεντρώνει τις τιμές της εισόδου του και εξάγει το ποσό αυτό |
| Random Number |  | Μπλοκ το οποίο μπορεί να αναπαράγει τυχαίους αριθμούς |
| Display Value |  | Μπλοκ το οποίο απεικονίζει την τιμή που εισάγεται στη είσοδο του |
| Write |  | Μπλοκ το οποίο εγγράφει τις τιμές που του αποστέλλονται στην είσοδο του, σε βάσεις δεδομένων ή φύλλο excel |

6.5.1 Γενικές Ρυθμίσεις του μοντέλου

- Χρόνος προσομοίωσης

Ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης είναι ο μήνας Οκτώβριος 2012. Στο πρόγραμμα εισήχθη σε λεπτά ήτοι 44640 min.

- Είσοδος πελατών

Αρχικά έχουμε την είσοδο του πελάτη. Για να αναπαρασταθεί στο μοντέλο μας η διαδικασία εισόδου των πελατών, ακολουθήσαμε την παρακάτω πορεία υπολογισμών.

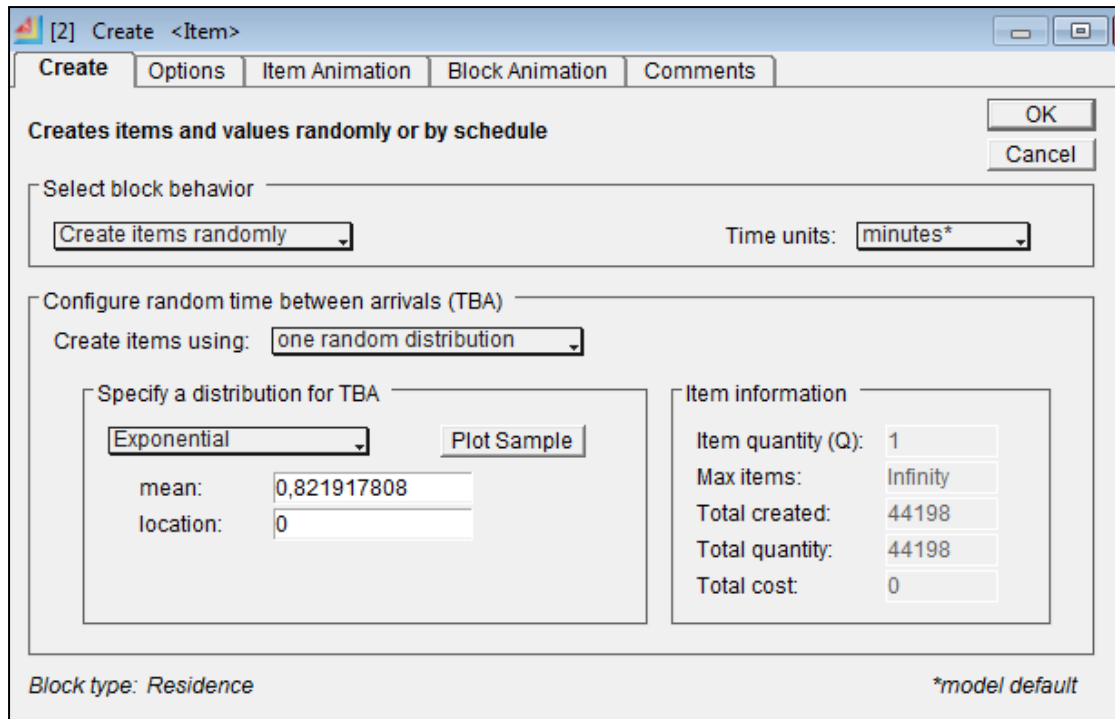
6.5.2 Προσομοίωση εισόδου πελατών

Χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα ημερήσιας κίνησης πελατών από τα αποκτηθέντα δεδομένα. Στη συνέχεια προχωρήσαμε στη δημιουργία ωριαίων δεικτών κατανομής της ημερήσιας κίνησης πελατών ανάλογα με την συνολική κατανάλωση που συνδέεται με την παραγωγή, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο. Έπειτα προχωρήσαμε στον υπολογισμό του ωριαίου μέσου όρου (σε λεπτά) μεταξύ διαδοχικών αφίξεων (*TBA_hourly*). Ο μέσος όρος αυτός είναι το κλάσμα των 60 λεπτών δια τον αριθμό των πελατών την δεδομένη ώρα.

$$TBA_hourly = \frac{(60)}{number_of_customers_hour_i}$$

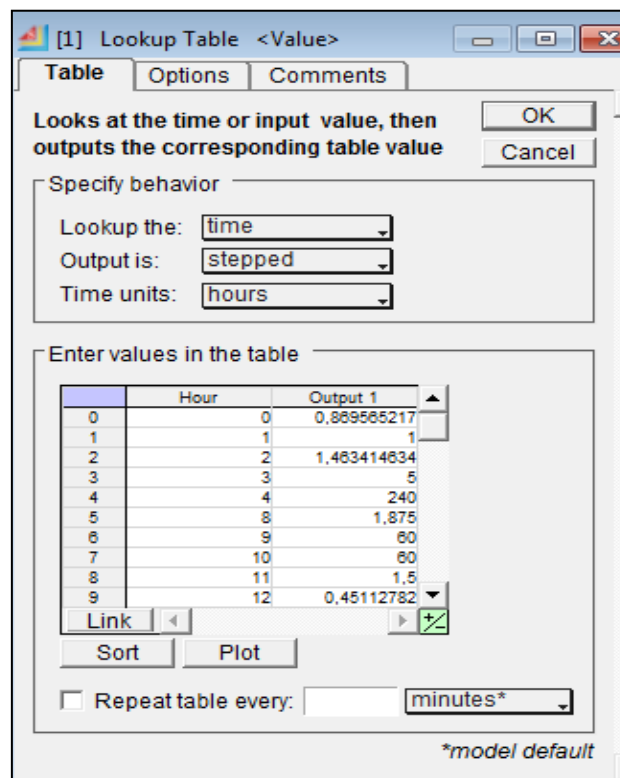
όπου: *number_of_customers_hour_i* : ο αριθμός των πελατών την *i* ώρα

Η Υλοποίηση της προσομοίωσης της εισόδου πελατών γίνεται μέσω του block Create. Επιλέγεται η ρύθμιση του τυχαίου χρόνου μεταξύ διαδοχικών αφίξεων να γίνεται ως εξής: Δημιουργία αντικειμένων χρησιμοποιώντας μια τυχαία κατανομή : η κατανομή αυτή είναι η εκθετική κατανομή (χρησιμοποιείται συχνά για την προσομοίωση της εισόδου πελατών σε καταστήματα). Ο μέσος της εκθετικής κατανομής αντλείται από το block Lookup Table. Η εικόνα παρακάτω αποτυπώνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο παράθυρο διαλόγου.



Εικόνα 29: Παράθυρο διαλόγου του block Create

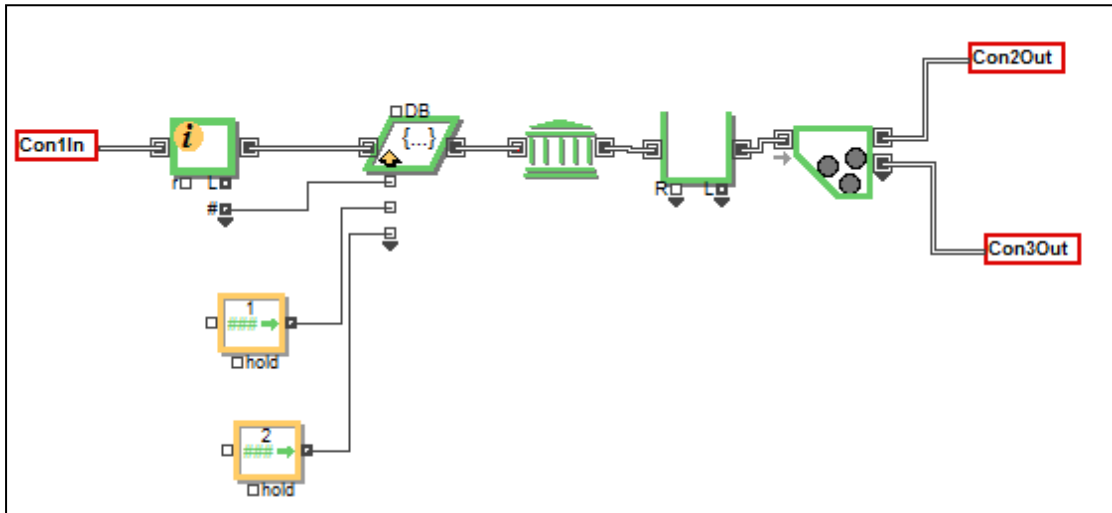
Το block *Lookup Table* έχει καταχωρημένους όλους τους ωριαίους μέσους όρους (σε λεπτά) μεταξύ διαδοχικών αφίξεων (TBA_hourly). Οι μέσοι όροι αυτοί είναι αποθηκευμένοι στην στήλη Output 1. Παρακάτω ακολουθεί η εικόνα η οποία αποτυπώνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο παράθυρο διαλόγου.



Εικόνα 30: Παράθυρο διαλόγου του block Lookup Table

6.5.3 Στάδιο της Παραγγελίας

Στη συνέχεια έχουμε το στάδιο της παραγγελίας. Σε αυτό το στάδιο αναπαριστάται η διαδικασία αναμονής των πελατών αμέσως πριν την παραγγελία (για την οποία χρειάζεται μια διαδικασία ουράς), έπειτα γίνεται δεκτή η παραγγελία (λαμβάνοντας έναν σειριακό αριθμό-serial number) και μετά διασπάται η παραγγελία σε δύο κομμάτια (τα οποία διατηρούν το serial number της παραγγελίας), το ένα κατευθύνεται σε ένα εκ των δύο χώρων ΚΨ1 ή ΚΨ2, και το άλλο στον χώρο που βρίσκονται οι φριτέζες(ΦΡ). Η Προσομοίωση της παραγγελίας στο πρόγραμμα φαίνεται παρακάτω:

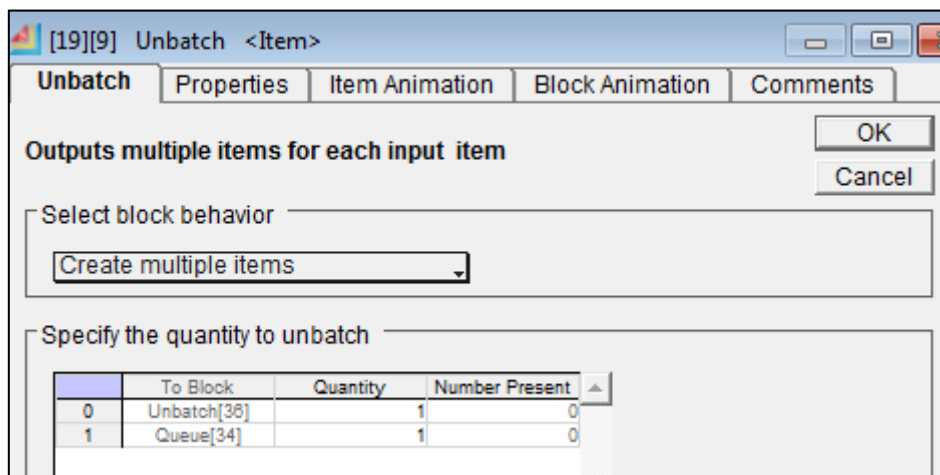


Εικόνα 31: Εσωτερική δομή του ιεραρχικού μπλοκ του σταδίου της παραγγελίας

Αρχικά θέτουμε σειριακό αριθμό στους πελάτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των block *information* και *set*. Το block *information* διαθέτει ενσωματωμένο έναν μετρητή CountOut ο οποίος μετράει τα αντικείμενα τα οποία διέρχονται μέσα από αυτό (το πεδίο *Item count* διαθέτει και άλλες δυνατότητες ,όπως ο μηδενισμός του CountOut ανά συγκεκριμένο αριθμό αντικειμένων, αγνόηση ποσότητας σε ομάδες αντικειμένων και προσθήκη συγκεκριμένου αριθμού στον μετρητή). Ο μετρητής αυτός συμβολίζεται στους ακροδέκτες του block με το σύμβολο # . Ο ακροδέκτης εξόδου αυτός λοιπόν συνδέεται στον πρώτο ακροδέκτη εισόδου του block *set*. Στο παράθυρο διαλόγου του block *set* έχουμε ονοματίσει την ιδιότητα του πρώτου ακροδέκτη εισόδου με το όνομα *serial number*. Κατά αυτόν τον τρόπο λοιπόν γίνεται η ανάθεση σειριακού αριθμού στα items. Ο αριθμός αυτός διατηρείται καθόλα τα στάδια παραγωγής και λειτουργίας και σε όλες τις μορφές των μονάδων που μπορεί αυτά να αντιπροσωπεύουν, από τον πελάτη μέχρι την παραγγελία, και την διάσπαση αυτής σε δύο παραγγελίες (η μία για τις ΚΨ και η άλλη για τις Φριτέζες και τέλος στην έξοδο του πελάτη).

Στην συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία αναμονής των πελατών για να παραγγείλουν. Η διαδικασία αυτή προσομοιώνεται με το block *Queue*. Τα items εισέρχονται στο block αυτό το οποίο τα θέτει σε κατάσταση αναμονής σε ταξινομημένη διάταξη με μέθοδο ταξινόμησης FIFO (First In-First Out). Οι λειτουργίες αυτές επιλέγονται από το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου.

Στη συνέχεια έχουμε την λήψη της παραγγελίας από τον πελάτη και την διάσπαση του item το οποίο αντιπροσώπευε τον πελάτη σε δύο πανομοιότυπα item (με το ίδιο serial number). Η ενέργεια αυτή υλοποιείται με την χρησιμοποίηση ενός block *Unbatch*. Στο παράθυρο διαλόγου επιλέγουμε την δημιουργία πολλαπλών items και θέτουμε στις δύο εξόδους του αντίστοιχα τον αριθμό 1 και 1 όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

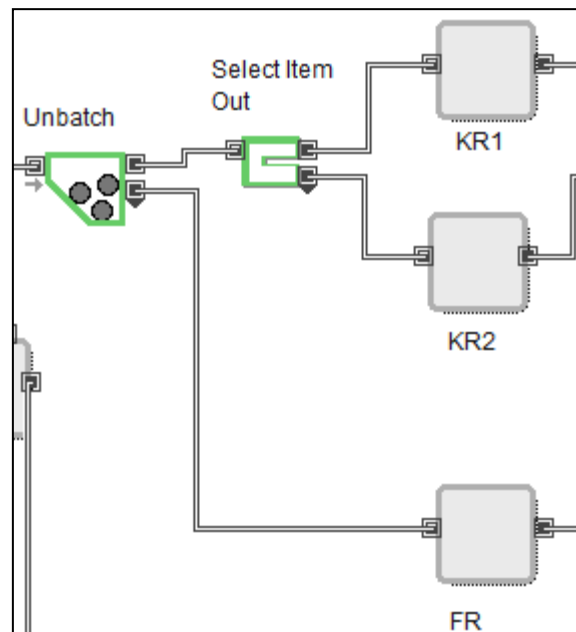


Εικόνα 32: Παράθυρο διαλόγου του block *Unbatch*

Το block *Unbatch* οδηγεί σε δύο κατεύθυνσεις. Η μία κατεύθυνση αντιπροσωπεύει τον πελάτη ο οποίος έχει δώσει την παραγγελία και οδηγείται σε έναν «χώρο αναμονής», ο οποίος υλοποιείται από ένα block *Queue* (με FIFO μέθοδο ταξινόμησης όπως και το προηγούμενο *Queue* block). Η άλλη κατεύθυνση αντιπροσωπεύει την παραγγελία που έδωσε ο πελάτης.

Η παραγγελία οδηγείται σε ένα δεύτερο σημείο διάσπασης των items πάλι με την χρησιμοποίηση ενός block *Unbatch*, το οποίο έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το προηγούμενο. Το δεύτερο αυτό block *Unbatch* έχει δύο εξόδους. Η μία οδηγεί σε έναν εκ των δύο χώρων ΚΨ1 ή ΚΨ2. Η λειτουργία αυτή υλοποιείται με την χρήση ενός block *Select Item Out*. Σκοπός είναι η ανακατεύθυνση των items στις ΚΨ1 ή ΚΨ2 με ίσες πιθανότητες. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή, στο παράθυρο διαλόγου, *select output based on: random* (και όχι βάσει κάποιων άλλων παραμέτρων, όπως ιδιότητες, προτεραιότητες κλπ) και επιλογή της πιθανότητας για έξοδο σε κάθε μια από τις δύο ΚΨ στο 0.5 και για τις δύο (άθροισμα πιθανοτήτων πρέπει να είναι 1.0). Πρέπει να σημειώσουμε ότι επιλέχθηκε η ιδιότητα «αν η έξοδος είναι αποκλεισμένη τα items να δοκιμάζουν μη αποκλεισμένες εξόδους», αυτό επιλέχθηκε διότι πρώτα γίνεται ο πιθανοτικός υπολογισμός ο οποίος καθορίζει την έξοδο προς επιλογή, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγεί προϊόντα σε ένα γεμάτο χώρο ΚΨ ακόμα και αν ο άλλος είναι άδειος. Χρησιμοποιώντας την προηγούμενη ιδιότητα γίνεται πιο ρεαλιστική η διαδικασία και μειώνεται το φαινόμενο bottleneck. Επιπλέον στο παράθυρο διαλόγου επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση του seed νούμερο τέσσερα, το οποίο σημαίνει ότι το block αυτό θα έχει την ίδια συμπεριφορά ως προς την πιθανοτική κατανομή των items σε εξόδους για κάθε νέα εκτέλεση της προσομοίωσης. Αυτή η επιλογή (seed νούμερο 4) μας επιτρέπει να τρέχουμε την προσομοίωση πολλές φορές, εφαρμόζοντας μετατροπές στον υπάρχον μοντέλο, εξαλείφοντας τον παράγοντα της τυχαιότητας στα αποτελέσματα. Αυτό θα φανεί

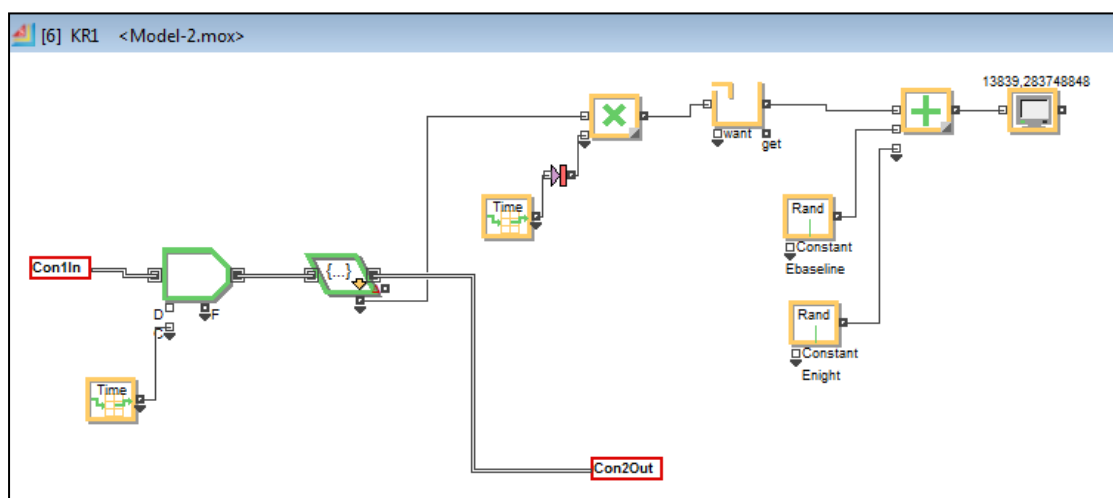
πολύ χρήσιμο στην εφαρμογή των MEE. Η άλλη έξοδος του δεύτερου block *Unbatch*, οδηγεί κατευθείαν στον χώρο που είναι οι Φριτέζες, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 33: Εστιασμένη εικόνα από το συνολικό μοντέλο – έξοδος από το στάδιο της παραγωγής

6.5.3 Στάδια παραγωγής

Τα στάδια της παραγωγής περιλαμβάνουν την Κουζίνα και Ψύξη 1 (ΚΨ1), Κουζίνα και Ψύξη 2 (ΚΨ2), Φριτέζες (ΦΡ). Στο στάδιο ΚΨ1 αναπαριστάται η διαδικασία παραγωγής των αντίστοιχων προϊόντων. Επίσης σε αυτό το στάδιο γίνονται οι υπολογισμοί κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τον χώρο αυτόν. Η υλοποίηση της προσομοίωσης του σταδίου ΚΨ1 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

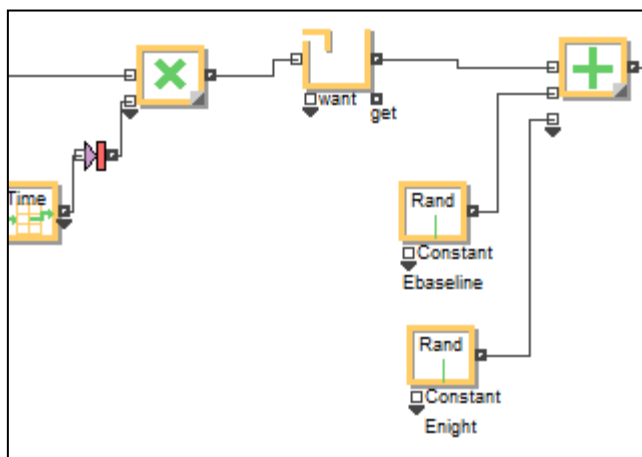


Εικόνα 34: Εσωτερική δομή του ιεραρχικού μπλοκ του σταδίου της παραγωγής στην ΚΨ1

Αρχικά τα items που εισέρχονται από τα προηγούμενα στάδια εισέρχονται στο block *Activity*. Το block αυτό προσομοιώνει την διαδικασία παραγωγής των προϊόντων.

Κύρια χαρακτηριστικά του, τα οποία προσομοιώνουμε από το παράθυρο διαλόγου, είναι η χωρητικότητα του (Capacity), το οποίο αντιπροσωπεύει το μέγιστο αριθμό ταυτόχρονης επεξεργασίας items (προϊόντων) και ο χρόνος καθυστέρησης (Time delay) ο οποίος αντιπροσωπεύει στην ουσία τον χρόνο παραγωγής των προϊόντων. Για την είσοδο του Capacity συνδέουμε ένα block Lookup Table στον ακροδέκτη εισόδου του block Activity, που ρυθμίζει το μέγεθος της χωρητικότητας και συμβολίζεται με το γράμμα “C”. Η τιμή που αποδόθηκε στο μέγεθος της χωρητικότητας είναι 4 και στην τιμή του delay δίνεται τα 2,5 λεπτά, όπως προέκυψε επίσης από την βιβλιογραφική έρευνα και την ανάλυση των δεδομένων. Στο παράρτημα υπάρχει το παράθυρο διαλόγου αυτού του block.

Στη συνέχεια εισερχόμαστε στη φάση του υπολογισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είχε προκύψει από την ανάλυση των δεδομένων είχαμε διαχωρίσει την ενέργεια η οποία καταναλώνεται σε διάφορες υποκατηγορίες. Οι τιμές για την κατανάλωση ενέργειας νυχτερινής λειτουργίας και την κατανάλωση βάσης υπολογίστηκαν για το σύνολο του χρόνου προσομοίωσης και έχουν υπολογιστεί στο στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων. Οι τιμές εισάγονται προς υπολογισμό με την χρήση του block Random Number και επιλέγοντας ως κατανομή, σταθερό αριθμό (εναλλακτικά θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί και το block Constant με τα ίδια αποτελέσματα). Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ανά προϊόν χρειαζόμαστε μια πιο σύνθετη δομή block, η οποία φαίνεται παρακάτω.



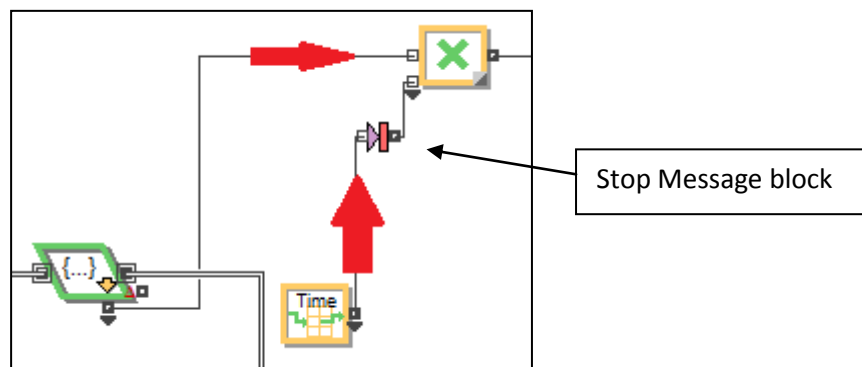
Εικόνα 35: Εστιασμένη εικόνα από το συνολικό μοντέλο – υλοποίηση υπολογισμού κατανάλωσης ανά προϊόν

Για την κατασκευή της χρειάζεται: ένας αθροιστής (Holding Tank) ο οποίος θα αποθηκεύει και θα αθροίζει την τιμή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά προϊόν, κάθε φορά που ένα item (προϊόν) εξέρχεται από το block Activity και στο τέλος της προσομοίωσης θα εμφανίζει το συνολικό ποσό.

Ένα ζήτημα που παρουσιάστηκε κατά την φάση του σχεδιασμού του μοντέλου ήταν η απόδοση σε κάθε Item της ενεργειακής του ταυτότητας ανάλογα με την ώρα το οποίο αυτό επεξεργάστηκε. Και επίσης η ενεργοποίηση των υπολογισμών. Καταλήξαμε στο να χρησιμοποιηθεί ένας πολλαπλασιαστής ο οποίος θα δέχεται ως είσοδο την τιμή του ανά ώρα δείκτη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά προϊόν (*Evariable/number_of_customers_hour_i*) και ενεργοποιείται όταν περνάει το προϊόν.

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των εξής:

- του block *Lookup Table* το οποίο έχει αποθηκευμένους τους προαναφερόμενους δείκτες.
- του block *Get* το οποίο απλά εξάγει τον αριθμό 1 (ο οποίος έχει αποθηκευτεί ως attribute του item, σε προηγούμενο στάδιο) ο οποίος είναι χρήσιμος για την ενεργοποίηση του υπολογισμού.
- Του block *Math*, με την επιλογή της συνάρτησης *multiply* (πολλαπλασιασμός), το οποίο ουσιαστικά δέχεται ως εισόδους τον αριθμό 1 και τον δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης του προϊόντος, και εξάγει το αποτέλεσμα αυτό προς τον αθροιστή.
 - Στο σημείο αυτό παρουσιάστηκε το εξής πρόβλημα: ο πολλαπλασιαστής (το block *Math*) ενεργοποιείται όποτε λαμβάνει σήμα από μία από τις δύο εισόδους του. Εμάς όμως μας ενδιαφέρει να εξάγει αποτελέσματα προς τον αθροιστή μόνο όταν λαμβάνει σήμα κατά την έξοδο του item από το block *Activity* και την διέλευση του από το block *Get* και όχι στην αλλαγή των δεικτών (από την δεύτερη είσοδο του). Όταν δηλαδή ανά μία ώρα αλλάζε η τιμή του δείκτη στο block *Lookup Table* το block *Math* λάμβανε εντολή για υπολογισμό.



Εικόνα 36: Επεξηγηματική εικόνα-διαδρομή σημάτων προς το math block

Αυτό το γεγονός οδηγούσε σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την εισαγωγή του block *Stop Message* (εικόνα 36). Το block αυτό διακόπτει την μεταφορά του σήματος αλλαγής της τιμής, την στιγμή που αλλάζει η ώρα. Παράλληλα όμως επιτρέπει την διάθεση της τιμής του δείκτη προς υπολογισμό. Δηλαδή οι τιμές των δεικτών είναι διαθέσιμες και ο υπολογισμός πραγματοποιείται μόνο όταν γίνει η παραγωγή ενός προϊόντος (που είναι και το ζητούμενο).

Τέλος προστέθηκε ένας αθροιστής ο οποίος θα εμφανίζει το συνολικό άθροισμα των διαφόρων κατηγοριών κατανάλωσης για όλο τον χρόνο της προσομοίωσης. Η υλοποίηση έγινε με την χρήση ενός block *Math* και επιλέγοντας την συνάρτηση *add*. Για την εμφάνιση του τελικού αποτελέσματος χρησιμοποιήθηκε το block *Display Value*.

Η προσομοίωση του σταδίου ΚΨ2 γίνεται με ακριβώς όμοιο τρόπο εισάγοντας τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων και των αντίστοιχων δεικτών.

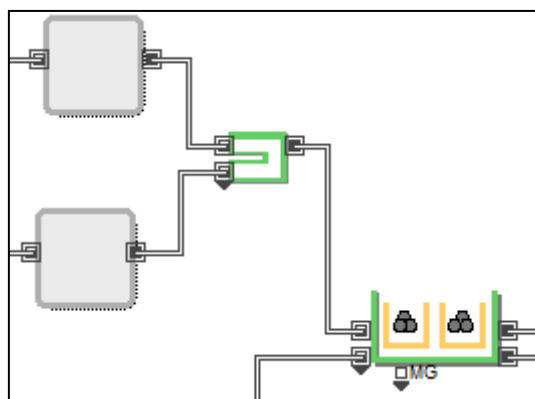
Η προσομοίωση του σταδίου – χώρος Φριτέζας γίνεται με ακριβώς όμοιο τρόπο με το στάδιο ΚΨ1 εισάγοντας τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων και των αντίστοιχων δεικτών. Στο πεδίο της χωρητικότητας εισήχθη η τιμή 8.

6.5.4 Τελευταία στάδια

Τα τελευταία στάδια του μοντέλου αφορούν στο κομμάτι εκείνο που έπεται της παραγωγής των προϊόντων και είναι:

- **Διασύνδεση ΚΨ1 και ΚΨ2 με το στάδιο «Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη»**

Κατά την έξοδο των προϊόντων από τους χώρους ΚΨ1 και ΚΨ2 η ροή των προϊόντων αυτών πρέπει να συγχωνευθεί σε μία ροή αφού τα προϊόντα αυτά έχουν κοινά χαρακτηριστικά (είναι τα προϊόντα τα οποία παράγουν οι χώροι κουζίνας και Ψύξης). Η υλοποίηση αυτής της ενοποίησης της διαδρομής τους γίνεται με το block *Select Item In* το οποίο δέχεται ως εισόδους τα δύο ρεύματα εξόδων από ΚΨ1 και ΚΨ2 και τα ενοποιεί σε μία έξοδο. Στο παράθυρο διαλόγου στην επιλογή της εισόδου διαλέγουμε την επιλογή *merge* (συγχώνευση). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η χρησιμοποίηση του στο ExtendSim8.

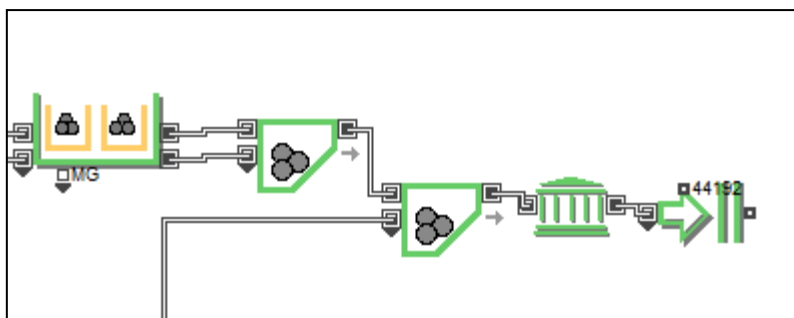


Εικόνα 37: Έξοδος προϊόντος από την παραγωγική διαδικασία

- **Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη**

Σε αυτό το στάδιο αρχικά γίνεται το ταίριασμα της παραγγελίας. Όπως είχαμε αναφέρει και προηγουμένως δεχόμαστε ότι κάθε παραγγελία αποτελείται από προϊόντα (1 item) τα οποία παράγονται σε μία από τις δύο ΚΨ και προϊόντα(1 item) τα οποία παράγονται στο χώρο που βρίσκονται οι φριτέζες. Στο σημείο αυτό γίνεται η ένωση των δύο αυτών προϊόντων για να παραδοθούν στον πελάτη. Σχηματικά θα μπορούσαμε να το σκεφτούμε ότι είναι η στιγμή στην οποία τα προϊόντα τοποθετούνται σε μια σακούλα (συσκευασία). Στη συνέχεια γίνεται η απόδοση αυτής της «σακούλας» στον πελάτη.

Προσομοίωση σταδίου - Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη: Παρακάτω ακολουθεί εικόνα που αποτυπώνει την δομή του μοντέλου στο στάδιο αυτό.



Εικόνα 38: Σύνδεση των block - Ταίριασμα παραγγελίας και παράδοση στον πελάτη

Η προσομοίωση αυτής της διαδικασίας γίνεται χρησιμοποιώντας ένα block Queue Matching. Κατά την φάση του ταιριάσματος, μπορούμε να σκεφτούμε ότι είναι σαν να έχουμε δύο αποθηκευτικούς χώρους στους οποίους καταφθάνουν προϊόντα (ανά είδος στον κάθε αποθηκευτικό χώρο), το οποία όλα φέρουν ένα serial number. Σκοπός μας είναι να ομαδοποιήσουμε τα προϊόντα με τον ίδιο σειριακό αριθμό. Τα προϊόντα αυτά είναι σε στάση αναμονής μέχρι το ταίριασμα, οπότε χρειαζόμαστε ουσιαστικά δύο ουρές. Επομένως ανοίγοντας το παράθυρο διαλόγου του block Queue Matching επιλέγουμε μέθοδο ταξινόμησης FIFO και ομαδοποίηση σύμφωνα με τον σειριακό αριθμό (serial number). Έχουμε δύο εξόδους από το block αυτό, οι οποίες όμως απελευθερώνουν τα ταιριασμένα items. Τα items αυτά οδηγούνται σε ένα block *Batch* το οποίο τα ομαδοποιεί και τα ενώνει ουσιαστικά εξάγοντας ένα item. Σε αυτό το block επιλέγεται η ρύθμιση: Batch items into a single item. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται πάλι ο ίδιος συνδυασμός block(Queue matching και Batch) για την αναπαράσταση της διαδικασίας της απόδοσης της παραγγελίας (ο πελάτης έχει και εκείνος ένα serial number, το οποίο είναι ο αριθμός της παραγγελίας του).

- Έξοδος

Στο σημείο αυτό όλα τα διασπασμένα items έχουν ενωθεί και πάλι, οπότε έχουμε την έξοδο του πελάτη με την παραγγελία του εκπνερασμένη σε ένα item. Το block Exit αποτελεί το τελευταίο κομμάτι του μοντέλου και εμφανίζει τον αριθμό των πελατών που εξέρχονται από την αρχή της προσομοίωσης.

6.6 Προσομοίωση Κλιματιστικού συστήματος

Στο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης ήταν διαθέσιμα ωριαία δεδομένα μέτρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας (indoor temperature) και της εξωτερικής θερμοκρασίας, δηλαδή του περιβάλλοντος χώρου (outdoor temperature). Όπως είναι ευρύτερα αντιληπτό και χρησιμοποιώντας στοιχεία της διεθνούς βιβλιογραφίας επιχειρήθηκε να συσχετισθεί η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού συστήματος με την αριθμητική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας στόχου.

$$\text{αριθμητική διαφορά} = (\text{outdoor temperature}) - (\text{setpoint temperature})$$

Όπου:

outdoor temperature: εξωτερική θερμοκρασία

setpoint temperature: επιθυμητή θερμοκρασία (θερμοκρασία θερμοστάτη)

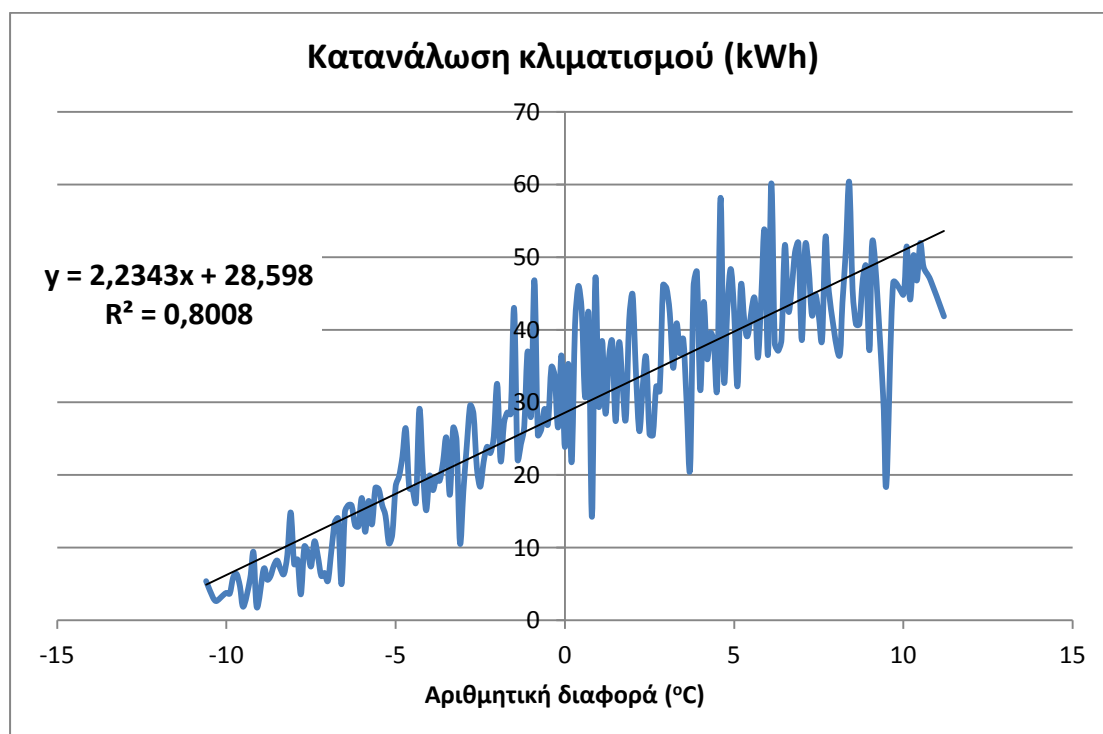
Εισάγοντας τα διαθέσιμα δεδομένα για τον μήνα Οκτώβριο του 2012 στο πρόγραμμα Microsoft Excel και χρησιμοποιώντας την συνάρτηση *Correl* (Correlation-αποδίδει το συντελεστή συσχέτισης δύο συνόλων δεδομένων) βρίσκουμε ότι ο συντελεστής συσχέτισης των δύο μεταβλητών είναι περίπου 0,8. Θεωρώντας ότι τα δύο μεγέθη έχουν σχεδόν γραμμική σχέση, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε μία από τις πιο γνωστές ευρετικές μεθόδους, την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για να υπολογίσουμε την συνάρτηση μεταξύ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κλιματιστικού συστήματος και της αριθμητικής διαφοράς από την θερμοκρασία στόχο. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel. Η συνάρτηση είναι:

$$y = 2,2343x + 28,598$$

όπου y : η κατανάλωση του κλιματιστικού συστήματος

και x : η αριθμητική διαφορά

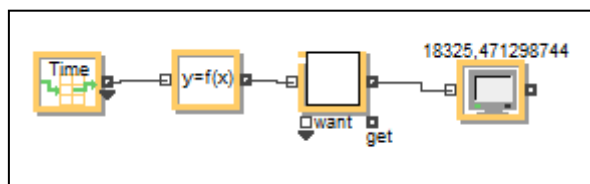
Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η σχεδόν γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Στον οριζόντιο άξονα έχει τοποθετηθεί η διαφορά μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας και στον κατακόρυφο η κατανάλωση ηλεκτρισμού του κλιματιστικού συστήματος.



Εικόνα 39: Γραφική απεικόνιση της σχέσης κατανάλωσης ηλεκτρισμού του κλιματισμού με την διαφορά θερμοκρασίας

Κατά την κατασκευή του μοντέλου διατυπώθηκε η παραδοχή ότι η κατανάλωση κλιματισμού δεν επηρεάζεται από τον αριθμό των ατόμων τα οποία βρίσκονται στον χώρο, ούτε από την λειτουργία διαφόρων άλλων συσκευών οι οποίες ενδεχομένως να παράγουν θερμότητα (όπως οι φούρνοι, φριτέζες, φωτιστικά). Επομένως η κατανάλωση του κλιματισμού όπως θα δούμε και στην συνέχεια θα επιχειρηθεί να μειωθεί ρυθμίζοντας την θερμοκρασία στόχο του κλιματιστικού συστήματος (set-point temperature).

Η παρακάτω εικόνα εμφανίζει την δομή της προσομοίωσης του κλιματιστικού συστήματος στο πρόγραμμα.



Εικόνα 40: Προσομοίωση του κλιματισμού στο ExtendSim8

Για την υλοποίηση της προσομοίωσης αξιοποιήσαμε την παραπάνω σχέση. Για να την εισάγουμε στο πρόγραμμα χρησιμοποιήσαμε το block Equation.

Για την δόμηση της προσομοίωσης του κλιματισμού χρησιμοποιήσαμε το block Lookup Table, θέτοντας του τις τιμές της αριθμητικής διαφοράς ανά ώρα και το block Equation, θέτοντας τμήμα κώδικα στο παράθυρο διαλόγου του, το οποίο υπάρχει στο παράρτημα της εργασίας.

6.7 Προσομοίωση Φωτιστικού συστήματος

Για τον τομέα του φωτιστικού συστήματος διαθέτουμε λεπτομερή δεδομένα, της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και φωτεινότητας του χώρου. Στο μοντέλο εισάγονται: η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ή ένταση φωτισμού, και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας χρησιμοποιώντας τα block Lookup Table. Στην συνέχεια ο έλεγχος γίνεται με το block Equation. Τα αποτελέσματα εισάγονται και αθροίζονται στο block Holding Tank. Το block Display παρουσιάζει την κατανάλωση φωτισμού ανά ώρα. Το τελικό αποτέλεσμα δύναται να μεταφερθεί με το block Write σε φύλλο Excel.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος του φωτισμού μέσω του block Equation περιγράφεται με λεπτομέρεια στο αντίστοιχο ΜΕΕ. Συνοπτικά θα αναφέρουμε ότι έγινε χρήση δύο μπλοκ πινάκων, ο ένας περιέχει την πραγματική κατανάλωση ηλεκτρισμού από το φωτιστικό σύστημα και ο άλλος την εξοικονομημένη. Τα δύο αυτά μπλοκ στην συνέχεια συνδυάζονται σε ένα μπλοκ ελέγχου του επιπέδου φωτισμού (block Equation) και το οποίο εξάγει το τελικό αποτέλεσμα της κατανάλωσης ενέργειας.

6.8 Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (MEE), εισαγωγή τους στο μοντέλο και υλοποίηση τους μέσω του ExtendSim8

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια βασικός σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναδείξει μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας κυρίως μηδενικού κόστους (no-cost ECMs), οι οποίες δεν θα περιλαμβάνουν αντικατάσταση ή ανακαίνιση εξοπλισμού (non-retrofit measures). Στο πλαίσιο αυτού του σκεπτικού σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν τα παρακάτω μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (MEE).

1. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 - Increase accepted capacity KR1
2. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 - Increase accepted capacity KR2
3. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ1 - Selective function of KR1
4. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ2 - Selective function of KR2
5. Υποχώρηση ελέγχου του κλιματιστικού συστήματος τις νυχτερινές ώρες - Night-time ac setback control
6. Αλλαγή της επιθυμητής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας που εισάγεται στο κλιματιστικό σύστημα - AC cooling set-point temperature
7. Αλλαγή στο επίπεδο φωτισμού - Alter Illumination level
8. Συνδυασμός MEE 1,3,5,6,7 - ECMs 1,3,5,6,7
9. Συνδυασμός MEE 1,4,5,6,7 - ECMs 1,4,5,6,7
10. Συνδυασμός MEE 2,3,5,6,7 - ECMs 2,3,5,6,7
11. Συνδυασμός MEE 2,4,5,6,7 - ECMs 2,4,5,6,7

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση των εφαρμοζόμενων MEE:

1. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 - Increase accepted capacity KR1

Κατά την κατασκευή του μοντέλου εισήχθησαν διάφορες τιμές οι οποίες προσδιόριζαν την χωρητικότητα του χώρου παραγωγής ΚΨ1 και βασίστηκαν σε εμπειρικά νούμερα. Παρατηρώντας τα δεδομένα εντοπίστηκε η μέγιστη τιμή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τον χώρο ΚΨ1. Διατυπώθηκε λοιπόν η ιδέα ότι υπήρχε πλεόνασμα μεταξύ της πραγματικής παραγωγής και της μέγιστης δυνατής παραγωγής από τον ΚΨ1. Επομένως σκοπός αυτού του MEE είναι να αυξηθεί η παραγωγή προϊόντων από τον ΚΨ1. Μεταβάλλαμε λοιπόν την τιμή της μεταβλητής Capacity από 4 σε 5 για να δούμε και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα της αλλαγής αυτής. Αυτό το μέτρο εφαρμόστηκε μονομερώς στην ΚΨ1.

2. Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 - Increase accepted capacity KR2

Με παρόμοιο με παραπάνω τρόπο σκέψης εφαρμόστηκε και αυτό το ΜΕΕ. Αυτό το μέτρο εφαρμόστηκε μονομερώς στην ΚΨ1.

3. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ1 - Selective function of KR1

Ερευνώντας τα γραφικές απεικονίσεις της κατανάλωσης για τους χώρους ΚΨ1 και ΚΨ2, παρατηρήσαμε ότι η καταναλώσεις και η εμπορική κίνηση ήταν μειωμένες τις πρωινές και τις νυχτερινές ώρες (08:00 πμ έως 12:πμ και 00:00 πμ έως 04:00 πμ αντίστοιχα). Αποφασίσθηκε λοιπόν η εισαγωγή ενός νέου τρόπου λειτουργίας και παραγωγής της επιχείρησης ο οποίος θα θέτει ένα διαφορετικό χρονοδιάγραμμα λειτουργίας για τους χώρους ΚΨ1 και ΚΨ2. Σε αυτό το ΜΕΕ ο χώρος ΚΨ1 συμμετέχει στην παραγωγή των προϊόντων κατά τις ώρες αιχμής, δηλαδή από τις 12:00 μμ έως τις 24:00 μμ. Για την καλύτερη προσομοίωση της κατανάλωσης ενέργειας εισάγαμε και την ενέργεια ανοίγματος του συστήματος (Eopen) , η ενέργεια αυτή θεωρήθηκε ότι είναι η τελευταία ώρα πριν το άνοιγμα(στο αρχικό μοντέλο). Επομένως σε αυτό το ΜΕΕ έχουμε Enight τις ώρες μη λειτουργίας της ΚΨ1 εκτός της τελευταίας, Eopen την τελευταία ώρα μη λειτουργίας, και τις ώρες λειτουργίας Ebaseline και Evariable.

4. Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ2 - Selective function of KR2

ΜΕ παρόμοιο με παραπάνω τρόπο σκέψης (ΜΕΕ 3) εφαρμόστηκε και αυτό το ΜΕΕ. Σε αυτό το ΜΕΕ ο χώρος ΚΨ2 συμμετέχει στην παραγωγή των προϊόντων κατά της ώρες αιχμής, δηλαδή από τις 12:00 μμ έως τις 24:00 μμ

5. Υποχώρηση ελέγχου του κλιματιστικού συστήματος τις νυχτερινές ώρες - Night-time ac setback control

Σε πολλές εργασίες έχει διατυπωθεί η άποψη ότι είναι δυνατή η χαλάρωση των περιορισμών στην επιθυμητή θερμοκρασία κατά την διάρκεια της μη λειτουργίας της επιχείρησης. Σε μία από αυτές είχε εισαχθεί η τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας στους 27 °C. Επομένως κατά τις ώρες που το κατάστημα είναι κλειστό (04:00 πμ έως 08:00 πμ) η θερμοκρασία στόχος ρυθμίστηκε στους 27 °C.

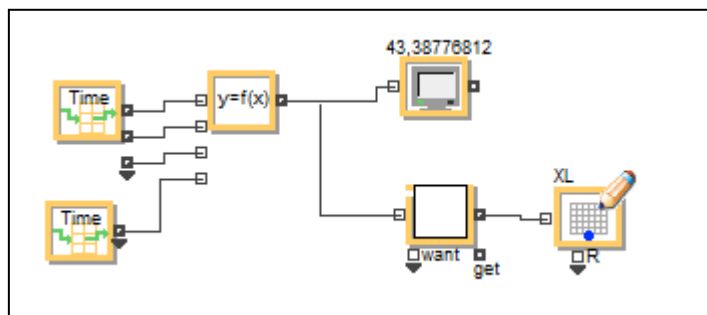
6. Αλλαγή της επιθυμητής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας που εισάγεται στο κλιματιστικό σύστημα - AC cooling set-point temperature

Το ΜΕΕ αυτό είναι ουσιαστική η αύξηση της επιθυμητής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας που εισάγεται στο κλιματιστικό σύστημα στους 25,5 °C. Έχοντας ερευνήσει από διεθνή πρότυπα τα αποδεκτά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας καταλήξαμε στην εισαγωγή κατά τις ώρες λειτουργίας της επιχείρησης, θερμοκρασίας στόχου 25,5 °C.

7. Αλλαγή στο επίπεδο φωτισμού - Alter Illumination level

Στο ΜΕΕ αυτό εισάγεται ως ιδέα η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας φωτισμού μειώνοντας τις απαιτήσεις φωτισμού του εσωτερικού χώρου χωρίς ωστόσο να υπάρξει ζημία για την επιχείρηση ως προς το επίπεδο άνεσης των πελατών.

Αντλώντας στοιχεία από πίνακες του βιβλίου Φραγκίσκος Β. Τοπαλής (2010), «ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ», εκδόσεις Τζιόλα είδαμε ότι η ένταση φωτισμού σε εστιατόρια πρέπει να είναι τουλάχιστον 150 lux. Δεχτήκαμε λοιπόν ότι και στην περίπτωση της υπό εξέταση επιχείρησης η ένταση φωτισμού μπορεί να μειωθεί στα 150 lux. Ακολουθεί η εικόνα της υλοποίησης της προσομοίωσης στο πρόγραμμα.



Εικόνα 41: Προσομοίωση του φωτισμού στο ExtendSim8

Στο block Equation συνδέουμε τέσσερις ακροδέκτες θέτοντας τα αντίστοιχα ονόματα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου. Η μορφή του παραθύρου διαλόγου με την ακριβή ονομασία των εισόδων βρίσκεται στο παράρτημα. Επίσης ο έλεγχος στο block Equation γίνεται θέτοντας τμήμα κώδικα στο παράθυρο διαλόγου του το οποίο επίσης βρίσκεται στο παράρτημα.

Στα MEE 8 έως 11 εφαρμόζεται συνδυασμός των προηγούμενων MEE τα οποία μπορεί να έχουν πολλαπλά οφέλη. Για παράδειγμα επιλέγεται συνδυασμένη αύξηση της χωρητικότητας των ΚΨ με την επιλεκτική λειτουργία τους ή συνδυασμένη τροποποίηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στόχου και κατά την διάρκεια λειτουργίας της επιχείρησης και την διάρκεια μη λειτουργίας της. Παρακάτω ακολουθεί πίνακας που συνοψίζει την συνδυασμένα αυτή χρήση.

Πίνακας 7: Εφαρμογή συνδυασμένων MEE

| | MEE 1 | MEE 2 | MEE 3 | MEE 4 | MEE 5 | MEE 6 | MEE 7 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MEE 8 | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| MEE 9 | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| MEE 10 | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| MEE 11 | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

6.9 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης και εισαγωγή των μεθόδων μέτρησης τους στο μοντέλο

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ) αποτελούν τα μεγέθη με τα οποία μπορούμε να αξιολογήσουμε τα προς εφαρμογή MEE. Στην εξεταζόμενη περίπτωση επιλέχθηκε οι δείκτες αυτοί να είναι οι ακόλουθοι:

1. Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία - average queue line before order
2. Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία - average waiting time before order
3. Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης - average total service time
4. Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
5. Ένταση φωτισμού (φωτεινή ισχύς ανά περιοχή: Lux)

Στην συνέχεια αναλύονται οι δείκτες:

1 . Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία - average queue line before order

Ο δείκτης αυτός μετράει το μέσο μήκος της σχηματιζόμενης ουράς στο ταμείο πριν την παραγγελία. Επιλέχθηκε καθώς είναι ευρέως αντιληπτό ότι ένα μέγεθος σαν και αυτό επηρεάζει τις πωλήσεις και την εικόνα γενικότερα μιας εμπορικής επιχείρησης.

Υλοποίηση της μέτρησης μέσω της προσομοίωσης: Στο ιεραρχικό block ORDER έχουμε τοποθετημένο ένα block Queue το οποίο προσομοιώνει την ουρά στο ταμείο. Το block αυτό έχει ενσωματωμένο μετρητή της μέσης ουράς που σχηματίζεται κατά την αναμονή των πελατών. Τα αποτελέσματα του μετρητή είναι εύκολα προσβάσιμα από την καρτέλα Results.

2 . Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία - average waiting time before order

Ο δείκτης αυτός αντικατοπτρίζει τον μέσο όρο του χρόνου που περιμένουν οι πελάτες στο ταμείο για να παραγγείλουν. Επιλέχθηκε καθώς είναι ευρέως αντιληπτό ότι ένα μέγεθος σαν και αυτό επηρεάζει την εικόνα της επιχείρησης και έχει σημαντική βαρύτητα στην γνώμη που διαμορφώνει ένας πελάτης για μια εμπορική επιχείρηση.

Υλοποίηση της μέτρησης μέσω της προσομοίωσης: Στο ιεραρχικό block ORDER έχουμε τοποθετημένο ένα block Queue το οποίο προσομοιώνει την ουρά στο ταμείο. Το block αυτό έχει ενσωματωμένο μετρητή του μέσου χρόνου αναμονής των πελατών στην ουρά που σχηματίζεται. Τα αποτελέσματα του μετρητή είναι εύκολα προσβάσιμα από την καρτέλα Results.

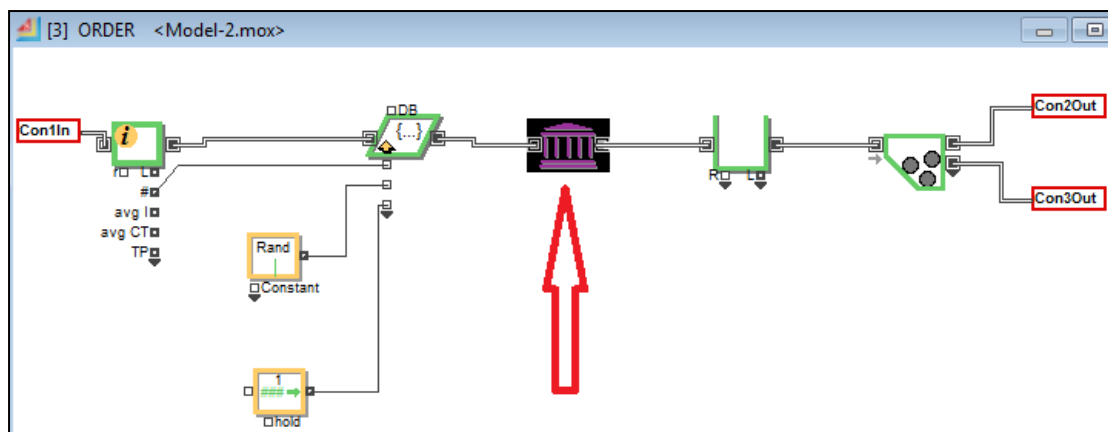
3 . Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης - average total service time

Ο δείκτης αυτός απεικονίζει τον συνολικό χρόνο που χρειάζεται ένας πελάτης για να εξυπηρετηθεί, από την στιγμή που θα μπει στο κατάστημα μέχρι την στιγμή που θα εξέλθει. Επιλέχθηκε καθώς αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς KPIs (βασικούς δείκτες απόδοσης) πολλών εμπορικών επιχειρήσεων. Προσδίδει την συνολική εικόνα του επιπέδου εξυπηρέτησης μιας επιχείρησης καθώς περιλαμβάνει όλα τα στάδια λειτουργίας.

Υλοποίηση της μέτρησης μέσω της προσομοίωσης: Η μέτρηση γίνεται με την χρησιμοποίηση δύο «καταγραφών» στο μοντέλο. Ο πρώτος καταγραφέας καταγράφει την χρονική στιγμή άφιξης του πελάτη. Βρίσκεται στο ιεραρχικό block ORDER και έχει τοποθετηθεί πριν το block Queue. Ο δεύτερος βρίσκεται στο τέλος, λίγο πριν το block Exit και καταγράφει την χρονική στιγμή αποχώρησης του πελάτη. Η καταγραφή γίνεται με την χρησιμοποίηση ενός block History. Το block αυτό έχει

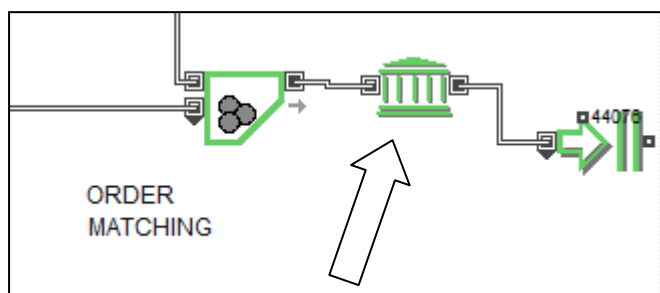
ενσωματωμένο έναν πίνακα με στήλες. Η πρώτη στήλη καταγράφει τον χρόνο άφιξης του κάθε item στο block. Οι επόμενες απεικονίζουν διάφορα χαρακτηριστικά (attributes) του item. Στο δικό μας μοντέλο το attribute το οποίο απεικονίζεται είναι το serial number. Με όμοιο τρόπο έχει ρυθμιστεί και το History block στον δεύτερο καταγραφέα. Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες των καταγραφών μέσα στο υλοποιημένο μοντέλο του ExtendSim8.

- 1^{ος} καταγραφέας:



Εικόνα 42: Απεικόνιση του 1^{ου} χρονικού καταγραφέα της εισόδου των πελατών στο ExtendSim8

- 2^{ος} καταγραφέας



Εικόνα 43: Απεικόνιση του 2^{ου} χρονικού καταγραφέα της εισόδου των πελατών στο ExtendSim8

4. Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου

Ο δείκτης αυτός συμπεριλαμβάνεται στην κατηγορία “ambient conditions”. Στους χώρους εστίασης και γενικά σε εμπορικά καταστήματα δίνεται μεγάλη έμφαση στις παραμέτρους του περιβάλλοντος χώρου, οι οποίες επηρεάζουν την γνώμη και την διάθεση του καταναλωτή. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα που αφορούν τις επιθυμητές τιμές που πρέπει να έχει η εσωτερική θερμοκρασία, αναλόγως τον τύπο του κτιρίου και τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Επομένως στα πλαίσια του τρόπου με τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε τους ΒΔΑ, όπως περιγράψαμε και σε προηγούμενα κεφάλαια, δεχόμαστε ότι η τιμή της θερμοκρασίας είναι ένας ΒΔΑ. Αξιοποιώντας τα ευρήματα σε έρευνες διεθνώς καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατή η τροποποίηση της τιμής της επιθυμητής θερμοκρασίας.

Στο ΜΕΕ 6 Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε. από τους 25 °C στους 25,5 °C χωρίς να υπάρχει σημαντική επίπτωση στην αίσθηση των πελατών για την ποιότητα των συνθηκών του περιβάλλοντος χώρου. καθώς η τιμή αυτή είναι μέσα στα αποδεκτά όρια διεθνών προτύπων.

5 . Ένταση Φωτισμού

Η ένταση φωτισμού ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής ροής που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Στο SI μετράται με τη μονάδα μέτρησης lux , η οποία εκφράζει την ένταση φωτισμού σε επιφάνεια 1m² στην οποία προσπίπτει κάθετα φωτεινή ροή 1 lm.

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

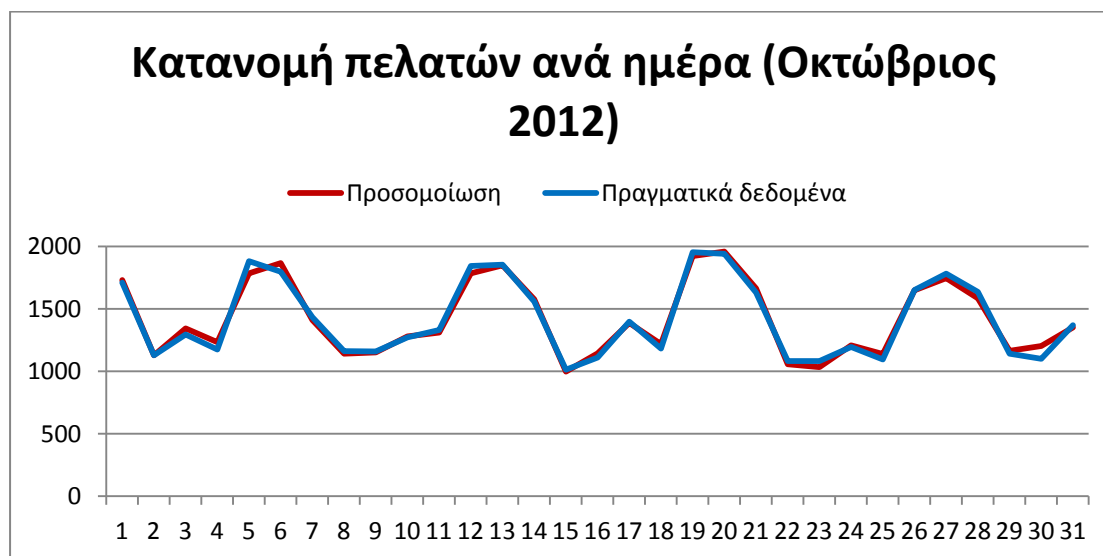
Στη ανάγκη προσδιορισμού του επιπέδου φωτισμού εσωτερικών χώρων χρησιμοποιούνται τα lux ως μονάδες μέτρησης. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα τα οποία δίνουν σε lux την ένταση φωτισμού για διάφορους τύπους εσωτερικών χώρων ανάλογα με την σκοπό λειτουργίας τους. Δεχόμαστε την ένταση φωτισμού ως έναν ΒΔΑ, καθώς αποτελεί κρίσιμο παράγοντα της αντίληψης των πελατών για έναν εσωτερικό χώρο.

Κεφάλαιο 7

Αποτελέσματα

7.1 Αρχικό μοντέλο προσομοίωσης και πραγματικά δεδομένα

Μετά το στάδιο της ανάλυσης των δεδομένων καταλήξαμε στη κατασκευή του τελικού μοντέλου προσομοίωσης, το οποίο εισήχθη στο πρόγραμμα Extendsim8. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αρχικού μοντέλου και τα πραγματικά δεδομένα που είχαμε στη διάθεση μας.



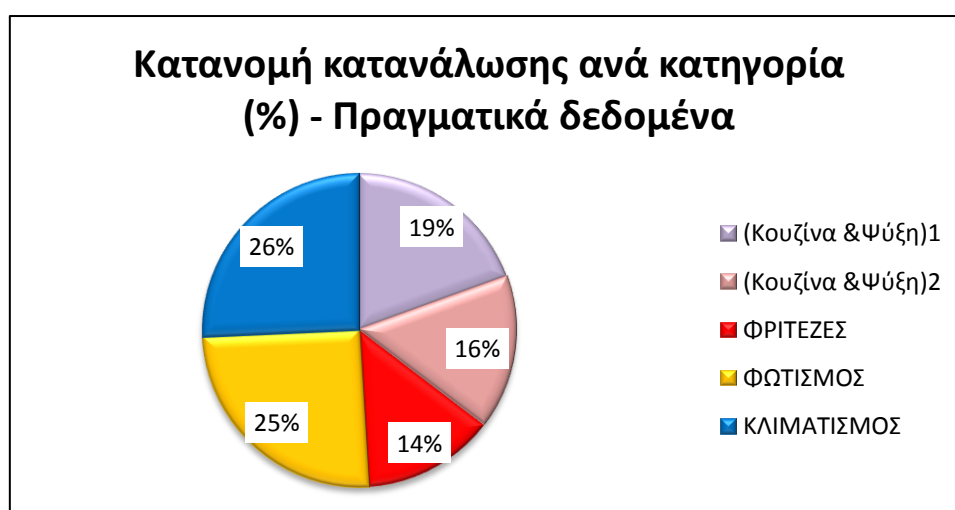
Εικόνα 44: Ημερήσια Κατανομή πελατών για τον μήνα Οκτώβριο 2012 – σύγκριση πραγματικών και προσομοιωμένων δεδομένων

Από το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η προσομοίωση του αριθμού των πελατών είναι εξαιρετικά ικανοποιητική καθώς ακολουθεί την ίδια κατανομή με τα πραγματικά δεδομένα. Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ηλεκτρισμού ανά κατηγορία και συνολικά.

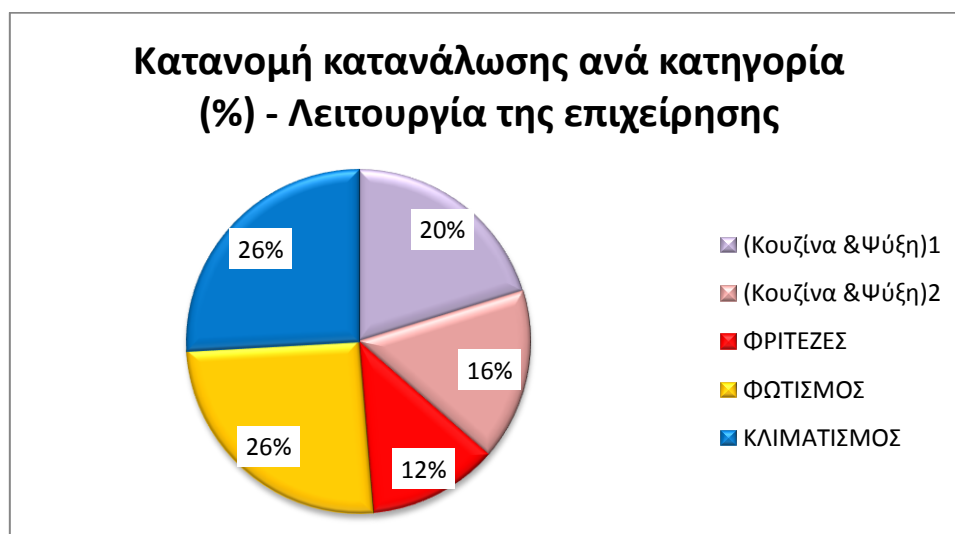
Πίνακας 8: Καταναλώσεις και απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα ανά κατηγορία

| | ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (kWh) | ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (kWh) | ΑΠΟΛΥΤΟ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟ ΣΦΑΛΜΑ(%) |
|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 13876,271 | 14329,832 | 3,269 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | 11358,777 | 11454,577 | 0,843 |
| ΦΡΙΤΕΖΕΣ | 9742,928 | 8662,079 | 11,094 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 18017,941 | 18017,941 | 0,000 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 18350,886 | 18325,471 | 0,138 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 71346,803 | 70789,900 | 0,781 |

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι το προσομοιωμένο μοντέλο μας παρουσιάζει μια πολύ καλή προσαρμογή στα πραγματικά δεδομένα στο επίπεδο της συνολικής κατανάλωσης. Το απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι κάτω από 1%, και συγκεκριμένα 0,78%. Το μεγαλύτερο σφάλμα στις επιμέρους καταναλώσεις παρουσιάζεται στην κατανάλωση ηλεκτρισμού στις φριτέζες αγγίζοντας περίπου το 11%, ποσοστό το οποίο όμως δεν οδηγεί σε μεγάλη σφάλμα της συνολικής κατανάλωσης καθώς η κατανάλωση στις φριτέζες είναι η μικρότερη από όλες τις άλλες κατηγορίες κατανάλωσης. Στα αποτελέσματα αυτά βασίστηκε και η παραδοχή για την μελέτη περίπτωσης μας για ικανοποιητική προσομοίωση της πραγματικότητας από το μοντέλο, η οποία στη συνέχεια οδήγησε στην εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια εμφανίζονται διαγράμματα πίνα τα οποία αποτυπώνουν την κατανομή των ποσοστών συμμετοχής των εξεταζόμενων κατηγοριών κατανάλωσης στη συνολική κατανάλωση.



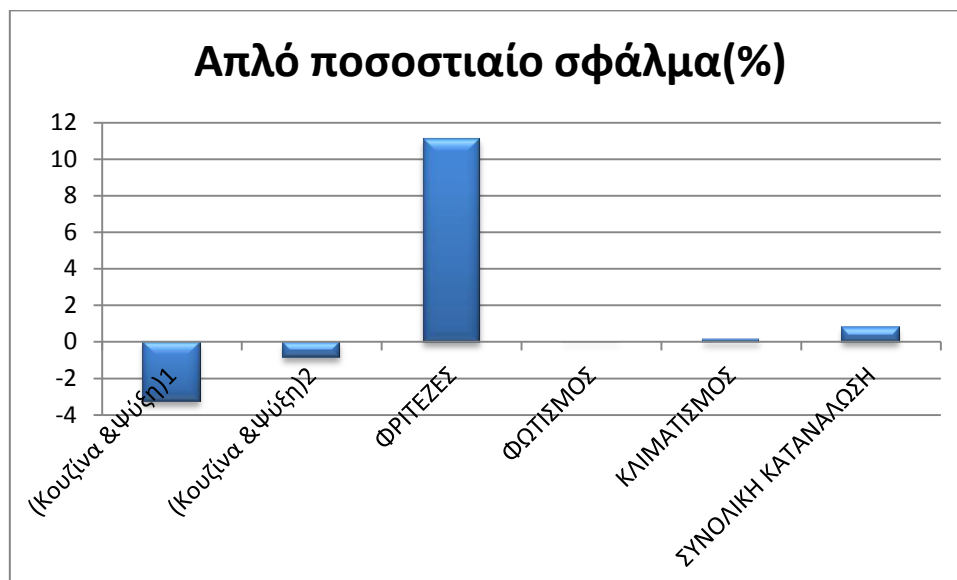
Εικόνα 45: Πραγματική κατανομή κατανάλωσης ανά κατηγορία



Εικόνα 46: Κατανομή κατανάλωσης ανά κατηγορία – λειτουργία της επιχείρησης

Παρατηρούμε ότι ο χαρακτήρας της κατανομής των καταναλώσεων δεν αλλάζει σημαντικά. Διαπιστώνουμε μια μικρή μεταβολή του ποσοστού της (Κουζίνα & Ψύξη)1

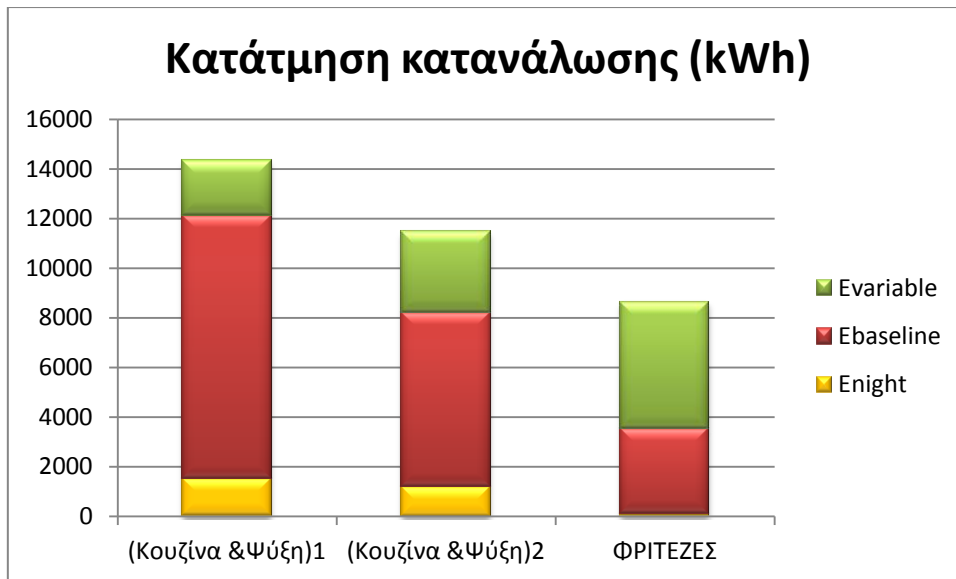
από 19% σε 20% και μια λίγο μεγαλύτερη μεταβολή του ποσοστού της κατηγορίας Φριτέζες από το 14% σε 12%. Επίσης φαίνεται μια μεταβολή του ποσοστού του φωτισμού η οποία οφείλεται στην μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης και όχι στην προσομοίωση της κατανάλωσης φωτισμού. Αν απομονώσουμε τα ποσοστά σφάλματος ανά κατηγορία, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τις κατηγορίες οι οποίες προσομοιώνονται ικανοποιητικά και τις κατηγορίες στις οποίες υπάρχουν αποκλίσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 47: Ποσοστιαία σφάλματα πραγματικών και προσομοιωμένων δεδομένων ανά κατηγορία

Εκτός από την κατηγορία Φριτέζες όλες οι υπόλοιπες καταναλώσεις προσομοιώνονται ικανοποιητικά με ποσοστά κάτω από 4%. Στη συνολική κατανάλωση υπάρχει ποσοστιαίο σφάλμα μόνο 0,781%. Στην κατηγορία στη οποία εντοπίζεται μεγάλο σφάλμα είναι στην κατηγορία Φριτέζες.

Στην προσπάθεια να αναλύσουμε τους λόγους αυτού του μεγαλύτερου σφάλματος σε σχέση με τα μικρά σφάλματα των άλλων καταναλώσεων, εστίασαμε στα επιμέρους τμήματα των κατηγοριών κατανάλωσης. Όπως έχουμε αναλύσει σε προηγούμενο κεφάλαιο η κατανάλωση των παραγωγικών κατηγοριών (Κουζίνα & Ψύξη) 1 , (Κουζίνα & Ψύξη) 2 και Φριτέζες αποτελείται από τρία τμήματα. Κατανάλωση κατά τις ώρες μη λειτουργίας (Enight), κατανάλωση βάσης (Ebaseline) και μεταβλητή κατανάλωση (Evariable). Πιο εύκολες στην πρόβλεψη καταναλώσεις είναι οι σχετικά σταθερές καταναλώσεις Enight και Ebaseline. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτές τις ώρες δεν έχουμε παραγωγή προϊόντων για τους πελάτες και το ποσό της κατανάλωσης εξαρτάται από άλλους παράγοντες (λειτουργία σε κατάσταση αναμονής για διάφορες συσκευές κλπ.). Παρακάτω παρουσιάζεται η συμμετοχή του κάθε τμήματος στην συνολική κατανάλωση για τον μήνα Οκτώβριο του 2012.



Εικόνα 48: Κατάτμηση κατανάλωσης στις Φριτέζες

Παρατηρούμε ότι η κατηγορία Φριτέζες έχει ένα πολύ μικρό ποσοστό σχετικά «σταθερών» τμημάτων, ελάχιστη Enight στις 121 kWh και πολύ μικρή Ebaseline στις 3396 kWh. Επομένως γίνεται πιο ευαίσθητη στις τυχαίες μεταβολές των πελατών και πιο δύσκολο να προσομοιωθεί στο σύνολο της. Αντίθετα παρατηρούμε ότι στο χώρο (Κουζίνα & Ψύξη) 1 η Evariable μόλις ανέρχεται στις 1541 kWh σε σύνολο 14330 kWh και στο χώρο (Κουζίνα & Ψύξη) 2 στις 1210 kWh σε σύνολο 11455 kWh. Η προσομοίωση του μοντέλου, κρίθηκε ικανοποιητική και προχωρήσαμε στην εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

7.2 Εφαρμογή Εναλλακτικών Σεναρίων Έντασης Χρήσης της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το σκεπτικό της εργασίας μας είναι η αναπαράσταση της πραγματικότητας μέσω της προσομοίωσης και στην συνέχεια η εξέταση των παρελθοντικών καταστάσεων με την εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων. Δηλαδή αφού έχουμε προσομοιώσει επαρκώς το υπό εξέταση κτίριο εξετάζουμε κατά πόσο τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας της επιχείρησης (τα οποία υλοποιούνται με την εφαρμογή διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης) αύξησαν την ενεργειακή απόδοση της και πόσο. Σε αυτό το στάδιο εμπεριέχεται και η έννοια της πρόβλεψης, θεωρώντας ότι προβλέπουμε την απόκριση της συνολική συμπεριφοράς του κτιρίου (κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργικής διαδικασίας) για διαφορετικές καταστάσεις στο παρελθόν. Όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο εισήχθησαν ορισμένα ΜΕΕ προς εφαρμογή. Τα μέτρα αυτά παρατίθενται συνοπτικά:

Πίνακας 9 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας

| | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 | Increase accepted capacity KR1 |
| 2 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 | Increase accepted capacity KR2 |
| 3 | Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ1 | Selective function of KR1 |
| 4 | Επιλεκτική λειτουργία της ΚΨ2 | Selective function of KR2 |
| 5 | Υποχώρηση ελέγχου του κλιματιστικού συστήματος τις νυχτερινές ώρες | Night-time ac setback control |
| 6 | Αλλαγή της επιθυμητής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας που εισάγεται στο κλιματιστικό σύστημα | AC cooling set-point temperature |
| 7 | Αλλαγή στο επίπεδο φωτισμού | Alter Illumination level |
| 8 | Συνδυασμός MEE 1,3,5,6,7 | ECMs 1,3,5,6,7 |
| 9 | Συνδυασμός MEE 1,4,5,6,7 | ECMs 1,4,5,6,7 |
| 10 | Συνδυασμός MEE 2,3,5,6,7 | ECMs 2,3,5,6,7 |
| 11 | Συνδυασμός MEE 2,4,5,6,7 | ECMs 2,4,5,6,7 |

Στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των MEE και σχολιασμός τους. Κρίθηκε σκόπιμο η παρουσίαση των αποτελεσμάτων να μην γίνει συνολικά για όλα τα MEE αλλά να ομαδοποιηθούν τα αποτελέσματα ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και να παρουσιαστούν ανά ομάδες.

Επομένως θα παρουσιαστούν τα,

- MEE 1 & MEE 2 : καθώς κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η αλλαγή της χωρητικότητας της ΚΨ1 και ΚΨ2.
- MEE 3 & MEE 4 : καθώς κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η αλλαγή του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της ΚΨ3 και ΚΨ4.
- MEE 5 & MEE 6 : καθώς κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η εφαρμογή αλλαγών στην χρήση του κλιματιστικού συστήματος.
- MEE 7: καθώς κύριο χαρακτηριστικό του είναι η εφαρμογή αλλαγών στην κατανάλωση φωτισμού.
- MEE 8 & MEE 9 & MEE 10 & MEE 11 : καθώς κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η συνδυασμένη εφαρμογή όλων των παραπάνω μέτρων.

7.3 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 1 & 2

Η ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων της λειτουργικής διαδικασίας ενδέχεται να επηρεάζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στη διαδικασία εφαρμογής

διάφορων ΜΕΕ εισήχθη η ιδέα της τροποποίησης της χωρητικότητας των δύο σταδίων (Κουζίνα & Ψύξη) 1 και (Κουζίνα & Ψύξη) 2 . Δηλαδή του μέγιστου αριθμού ταυτόχρονης παραγωγής των προϊόντων που παράγονται σε αυτούς τους χώρους. Στο αρχικό μας μοντέλο ο αριθμός αυτός ήταν και για τους δύο χώρους ίσος με 4. Κατά την εισαγωγή των ΜΕΕ διερευνήθηκε η επίπτωση που θα έχει στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μια μικρή διαφοροποίηση στην χωρητικότητα από 4 σε 5 προϊόντα. Σε πραγματικούς όρους αυτή διαφοροποίηση μπορεί να εκφραστεί ως αλλαγή της πολιτικής παρασκευής γευμάτων της επιχείρησης ή ως τροποποίηση του αριθμού των εργαζομένων και άλλους τρόπους. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και ΜΕΕ 2 εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

| Κατηγορία κατανάλωσης(τιμές σε kWh) | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 1 | ΜΕΕ 2 | Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας (%) | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------|--------|
| | | | | ΜΕΕ 1 | ΜΕΕ 2 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 14329,832 | 14466,279 | 14203,906 | -0,952 | 0,879 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | 11454,577 | 11241,033 | 11625,339 | 1,864 | -1,491 |
| ΦΡΙΤΕΖΕΣ | 8662,079 | 8662,079 | 8662,079 | 0,000 | 0,000 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 18017,941 | 18017,941 | 18017,941 | 0,000 | 0,000 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 18325,471 | 18325,471 | 18325,471 | 0,000 | 0,000 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 70789,900 | 70712,803 | 70834,737 | 0,109 | -0,063 |

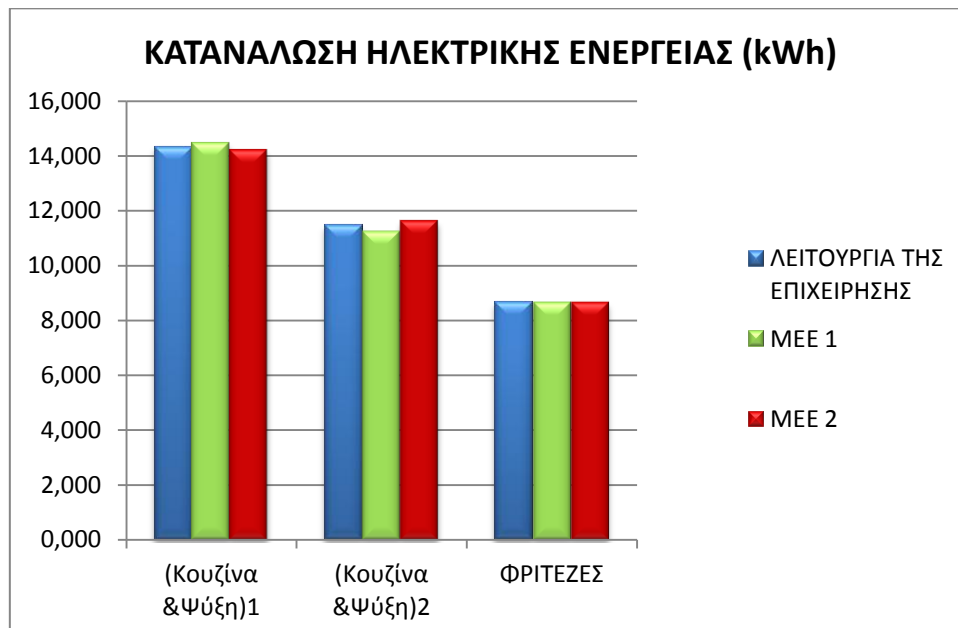
Στον παραπάνω πίνακα είναι εμφανής η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στην Κουζίνα & Ψύξη στην οποία εφαρμόζεται η αύξηση της χωρητικότητας και αντίστοιχη μείωση στην άλλη Κουζίνα & Ψύξη. Για παράδειγμα στο ΜΕΕ 1 στο οποίο εφαρμόζεται αύξηση της χωρητικότητας έχουμε αύξηση στην κατανάλωση της (Κουζίνα & Ψύξη)1 από τις 14329,832 kWh στις 14466,279 kWh και μείωση στην (Κουζίνα & Ψύξη)2 από τις 11454,577 kWh στις 11241,033 kWh. Κατόπιν έχουμε τον παρακάτω πίνακα , ο οποίος συνοψίζει τους επηρεαζόμενους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (ΒΔΑ).

Πίνακας 11: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

| ΒΔΑ | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 1 | ΜΕΕ 2 |
|-------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|
| Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία | 1,626 | 1,626 | 1,626 |
| Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία | 1,648 | 1,648 | 1,648 |
| Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης | 4,275 | 4,275 | 4,275 |

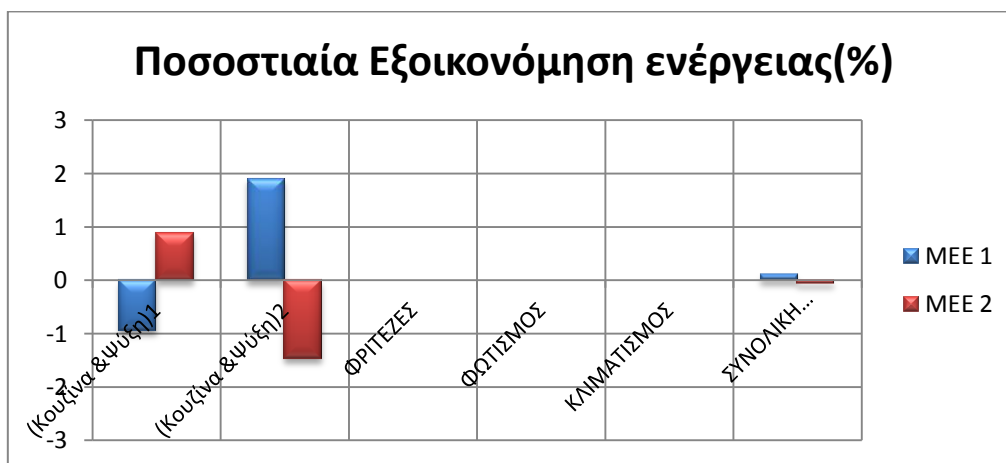
Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι δεν αλλάζει η τιμή σε κανέναν από τους δείκτες. Επομένως τα ΜΕΕ 1 και ΜΕΕ 2 δεν επηρεάζουν τους ΒΔΑ ούτε αρνητικά (που είναι και το ζητούμενο προς διερεύνηση) ούτε θετικά. Στο παρακάτω γράφημα

απεικονίζεται η επίδραση των ΜΕΕ στην αρχική κατανάλωση των επιμέρους κατηγοριών κατανάλωσης.



Εικόνα 49: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των παραγωγικών κατηγοριών πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

Βλέπουμε ότι τα ΜΕΕ 1 και ΜΕΕ 2 δεν επηρεάζουν την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις Φριτέζες. Αυτό δείχνει ότι αυτού του είδους τα μέτρα στο βαθμό που τροποποίησαν την χωρητικότητα των χώρων παραγωγής δεν επέδρασαν ούτε θετικά ούτε αρνητικά στην κατανάλωση των φριτέζων. Επίσης βλέπουμε ότι κατά την εφαρμογή του πρώτου ΜΕΕ έχουμε αύξηση της κατανάλωσης κατά περίπου 136 kWh για την (Κουζίνα & Ψύξη)1 και μείωση κατά περίπου 213 kWh της (Κουζίνα & Ψύξη)2. Αντίστοιχα κατά την εφαρμογή του δεύτερου ΜΕΕ υπάρχει μείωση της κατανάλωσης στην (Κουζίνα & Ψύξη)1 κατά περίπου 126 kWh και αύξηση στην (Κουζίνα & Ψύξη)2 κατά περίπου 170 kWh. Στο επόμενο γράφημα συνοψίζονται η ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με το αρχικά προσομοιωμένο μοντέλο, στις επιμέρους καταναλώσεις αλλά και στη συνολική κατανάλωση(τελευταία στήλη).



Εικόνα 50: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

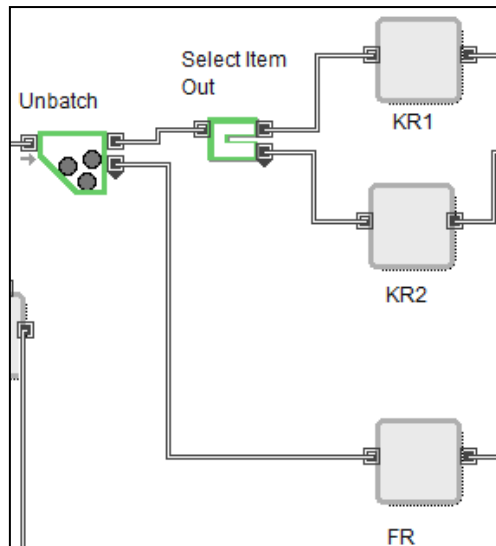
Μπορούμε να διακρίνουμε ότι η επίδραση του MEE 1 στην κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στο MEE 2. Επίσης βλέπουμε ότι ενώ στο MEE 1 η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται, στο MEE 2 η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται κατά περίπου 45 kWh φτάνοντας σε συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού τις 70835 kWh. Βλέπουμε και από την παραπάνω εικόνα ότι κατά την εφαρμογή του MEE 2 έχουμε ποσοστιαία εξοικονόμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά περίπου 0,9% στην ΚΨ1. Όμως ταυτόχρονα έχουμε ως αποτέλεσμα και μία αύξηση της κατανάλωσης της ΚΨ2 κατά περίπου 1,5% η οποία υπερβαίνει το ποσοστό της εξοικονόμησης στην ΚΨ1. Η συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια αντί να μειώνεται, αυξάνεται κατά 0,063%. Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζει την μεμονωμένη εφαρμογή του MEE 2 ως ασύμφορο ενεργειακά μέτρο. Αντίθετα η εφαρμογή του MEE1 οδήγησε σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 77 kWh.

Βλέπουμε και από την παραπάνω εικόνα ότι κατά την εφαρμογή του MEE 1 έχουμε ποσοστιαία εξοικονόμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά περίπου 1,9% στην ΚΨ2. Ταυτόχρονα έχουμε ως αποτέλεσμα και μία αύξηση της κατανάλωσης της ΚΨ1 κατά περίπου 0,95%, η οποία υπολείπεται του ποσοστού της εξοικονόμησης στην ΚΨ2. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά περίπου 0,11%. Το παρακάτω γράφημα αποτελεί μία σύνοψη της επίδρασης των μέτρων στην συνολικά κατανάλωση. Μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε ότι το MEE1 οδήγησε σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης κατά περίπου 77 kWh, αντίθετα το MEE 2 οδήγησε σε αύξηση της κατά περίπου 45 kWh.



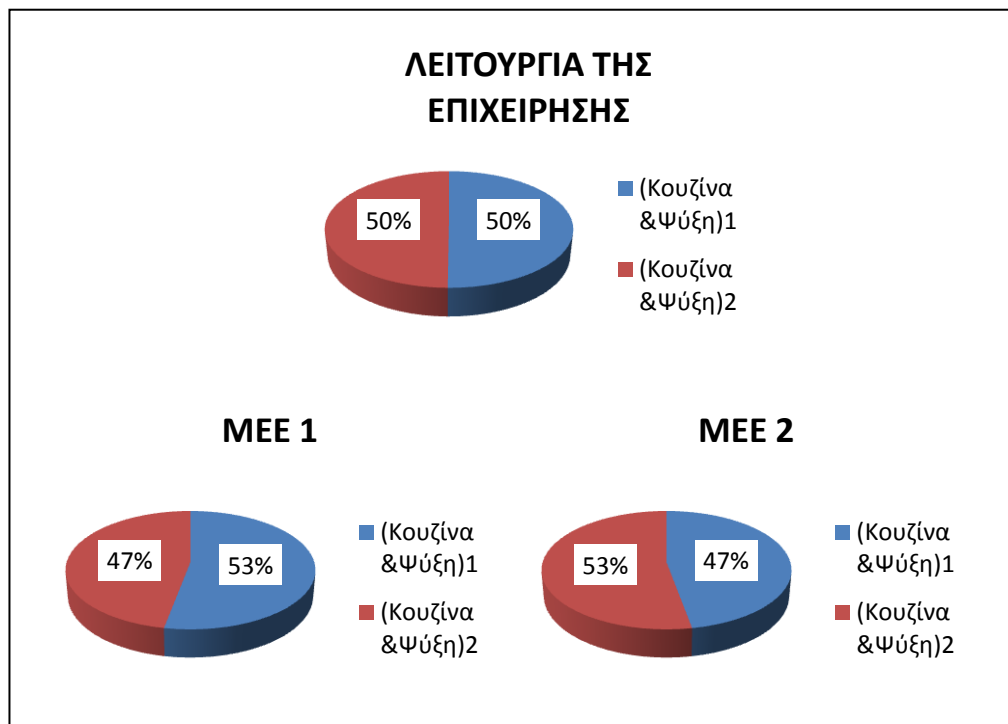
Εικόνα 51: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 1 και 2

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται το block Select Item Out το οποίο όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι το σημείο στο οποίο αποφασίζεται η κατεύθυνση των παραγγελιών σε μία από τις (Κουζίνα & Ψύξη)1 και (Κουζίνα & Ψύξη)2.



Εικόνα 52: Τμήμα εισόδου στις ΚΨ1 και ΚΨ2 – αποτύπωση block Select Item Out

Παρακάτω εμφανίζονται τρία διαγράμματα πίτα τα οποία δείχνουν την ποσοστιαία κατανομή των συνολικών παραγγελιών προς παραγωγή από το block Select Item Out προς την (Κουζίνα & Ψύξη)1 και (Κουζίνα & Ψύξη)2.



Εικόνα 53: Διαγράμματα πίτα – Κατανομή των προϊόντων στις ΚΨ1 και ΚΨ2 πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

Βλέπουμε ότι ενώ στο αρχικό μοντέλο η κατανομή των παραγγελιών είναι σχεδόν ισομοιρασμένη, κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ η κατανομή αυτή μεταβάλλεται σε 47% προς τον χώρο Κουζίνα και Ψύξη 1 (ΚΨ1) και 53% προς την Κουζίνα και Ψύξη 2 (ΚΨ2). Κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 2 έχουμε το ακριβώς αντίστροφο αποτέλεσμα, 53% προς την ΚΨ1 και 47% προς την ΚΨ2.

Ένας δείκτης ο οποίος μπορεί να βοηθήσει στον χαρακτηρισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς των καταναλώσεων είναι :

Κατανάλωση μεταβλητής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγγελία ($Evariable_{order}$) :

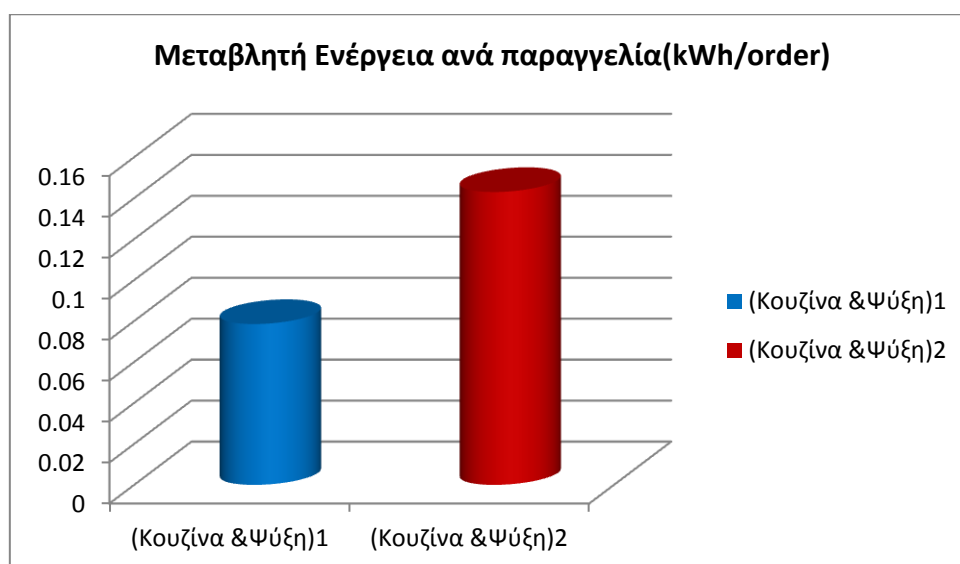
$$Evariable_{order} = \frac{Total\ Evariable}{total\ number\ of\ orders}$$

Όπου :

Total Evariable: ο αριθμός της συνολικής μεταβλητής ενέργειας της αντίστοιχης ΚΨ

Total number of orders: ο συνολικός αριθμός των παραγγελιών που επεξεργάστηκε η αντίστοιχη ΚΨ.

Παρακάτω εμφανίζεται η εικόνα την οποία έχει ο δείκτης :

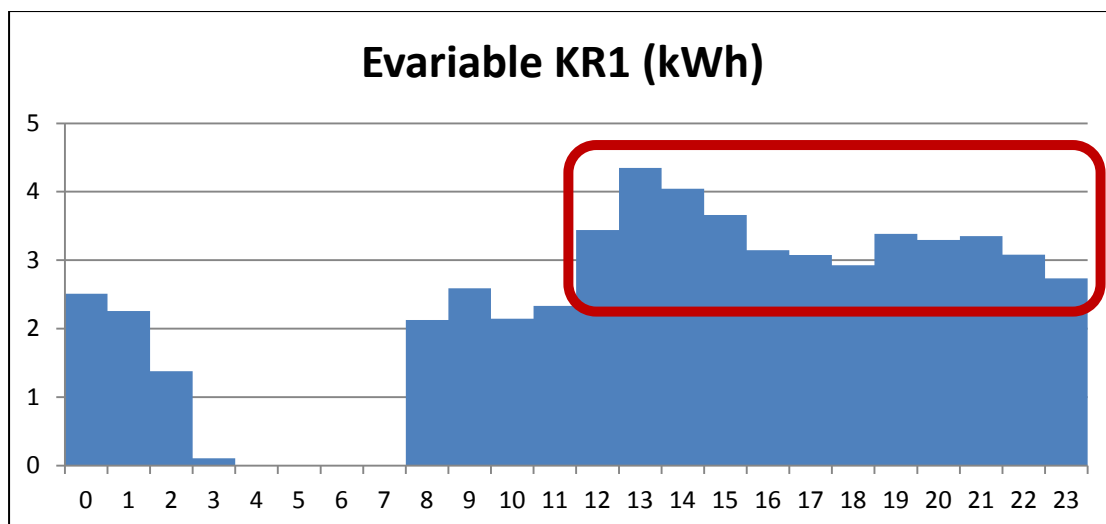


Εικόνα 54: Γράφημα δείκτη Evariable

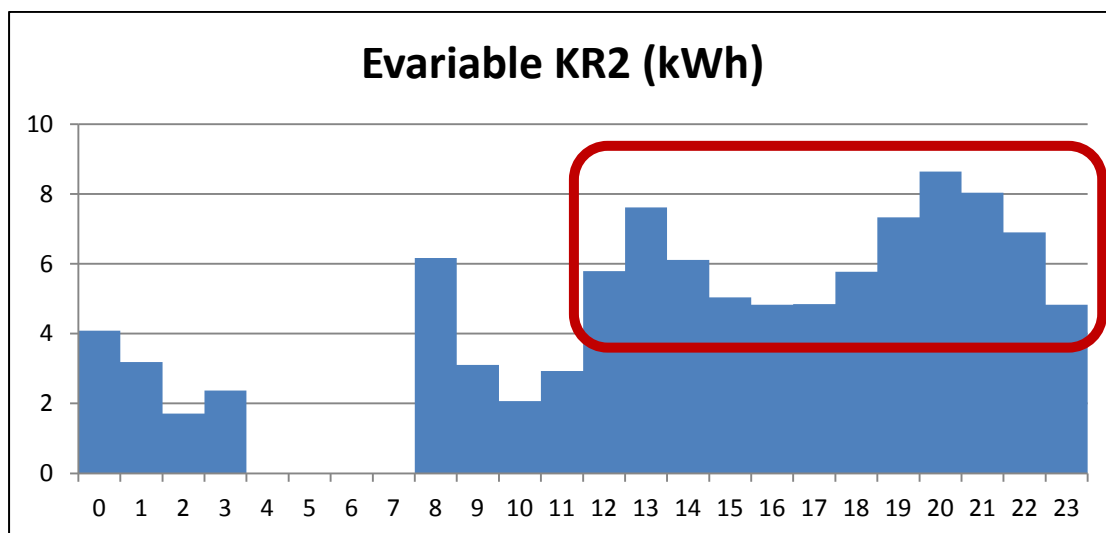
Παρατηρούμε ότι ο δείκτης αυτός είναι αυξημένος για την ΚΨ2 (0,143 kWh ανά παραγγελία) σε σχέση με την ΚΨ1 (0,079 ανά παραγγελία). Επομένως η αυξημένη κατανομή των παραγγελιών στην ΚΨ2 σε ποσοστό 53% στο ΜΕΕ 2 οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια σε απόρριψη του μέτρου αυτού, αφού είναι ενεργειακά ασύμφορο. Αντίθετα ο χαμηλός δείκτης για την ΚΨ1 σε συνδυασμό με την αυξημένη κατανομή των παραγγελιών στο ΜΕΕ 1 οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας.

7.4 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 3 & 4

Τα ΜΕΕ 3 και 4 αφορούν στην αλλαγή του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των ΚΨ. Στο παρακάτω γράφημα αποτυπώνεται το ενεργειακό προφίλ των δύο κατηγοριών κατανάλωσης ΚΨ.



Εικόνα 55: Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης μεταβλητής ενέργειας της ΚΨ1



Εικόνα 56: Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης μεταβλητής ενέργειας της ΚΨ2

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι ώρες αιχμής της κατανάλωσης ενέργειας και κίνησης των πελατών είναι κατά το διάστημα από τις 12 το μεσημέρι έως τις 12 το βραδύ. Το ποσό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται για την ΚΨ1 από τις 3 έως τις 4,5 kWh περίπου για τις προαναφερθείσες ώρες και για την ΚΨ2 από τις 5 έως και τις 8,5 kWh περίπου.

Επιλέχθηκε λοιπόν η εισαγωγή προς εφαρμογή διαφοροποιημένης χρονικής διάρκειας των ΚΨ. Στο ΜΕΕ 3 επιλέγεται να λειτουργεί η ΚΨ1 κατά το χρονικό διάστημα από τις 12:00 μμ έως τις 24:00 μμ και στο ΜΕΕ 4 αντίστοιχα η ΚΨ2 από τις 12:00 μμ έως τις 24:00 μμ. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και ΜΕΕ 4 εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 12: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4

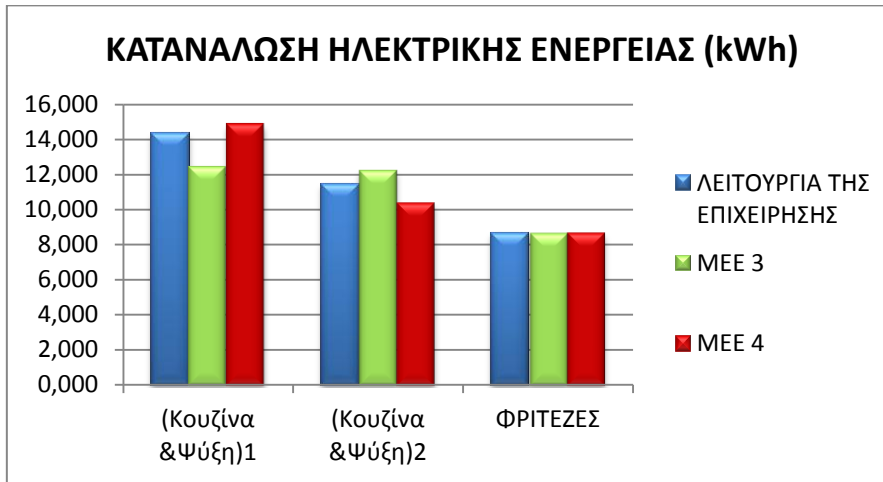
| Κατηγορία κατανάλωσης(τιμές σε kWh) | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 3 | ΜΕΕ 4 | Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας (%) | |
|-------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------------|--------|
| | | | | ΜΕΕ 3 | ΜΕΕ 4 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 14329,832 | 12459,660 | 14842,647 | 13,051 | -3,579 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | 11454,577 | 12233,522 | 10360,213 | -6,800 | 9,554 |
| ΦΡΙΤΕΖΕΣ | 8662,079 | 8661,861 | 8661,861 | 0,003 | 0,003 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 18017,941 | 18017,941 | 18017,941 | 0,000 | 0,000 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 18325,471 | 18325,471 | 18325,471 | 0,000 | 0,000 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 70789,900 | 69698,460 | 70208,130 | 1,542 | 0,822 |

Παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή των μέτρων αυτών έχουμε μείωση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας. Στο ΜΕΕ 4 έχουμε μείωση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας από τις 70789,9 kW στις 70280,13 kWh, δηλαδή μείωση 581,77 kWh. Στο ΜΕΕ 3 η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη, από τις 70789,9 kWh στις 69698,46 kWh, δηλαδή μείωση 1091,44 kWh. Για την αξιολόγηση των μέτρων αυτών χρησιμοποιούμε τους δείκτες οι οποίοι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 13: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4

| ΒΔΑ | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 3 | ΜΕΕ 4 |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία | 1,626 | 1,785 | 1,784 |
| Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία | 1,648 | 1,809 | 1,808 |
| Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης | 4,275 | 4,477 | 4,475 |

Στη συνέχεια ακολουθεί γράφημα με την κατανάλωση ενέργειας στις κατηγορίες οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή των γευμάτων.



Εικόνα 57: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των παραγωγικών κατηγοριών πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4

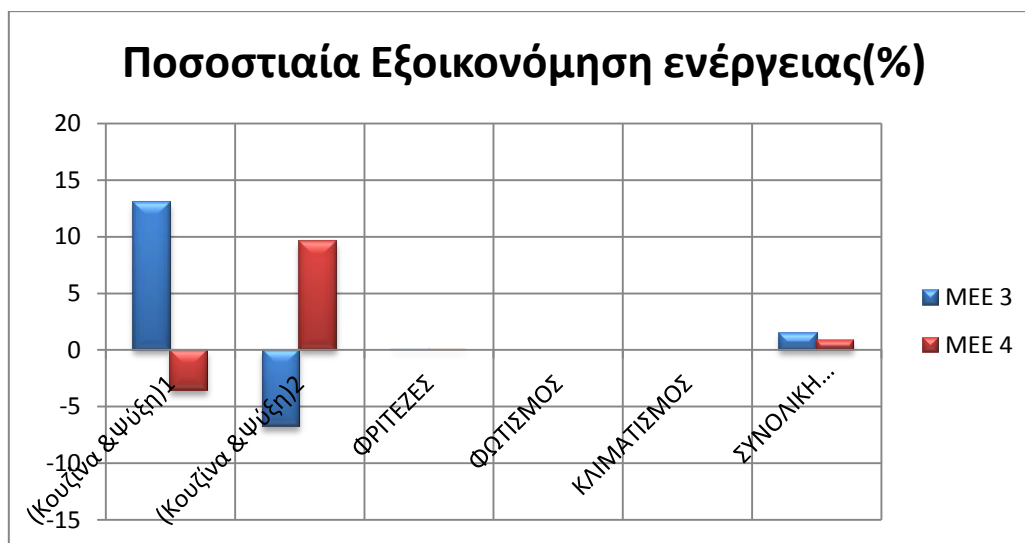
Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι κατά την εφαρμογή των μέτρων έχουμε αύξηση της κατανάλωσης στην μια ΚΨ και μείωση στην άλλη ενώ δεν επηρεάζεται η κατανάλωση στις Φριτέζες. Στο MEE 3 αυξάνεται η κατανάλωση στην ΚΨ2 κατά 778,945 kWh ενώ παράλληλα μειώνεται η κατανάλωση στην ΚΨ1 κατά 1870,172 kWh. Η μείωση της κατανάλωσης στην ΚΨ1 είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση στην άλλη ΚΨ συνεισφέροντας στην συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Αντίστροφα κατά την εφαρμογή του MEE 4 αυξάνεται η κατανάλωση στην ΚΨ1 κατά 512,815 kWh και μειώνεται στην ΚΨ2 κατά 1094,364 kWh.

Η σχέση αύξησης και μείωσης της κατανάλωσης των ΚΨ κατά την εφαρμογή των εναλλακτικών σεναρίων (MEE3 και 4) γίνεται εμφανής και με το παρακάτω γράφημα το οποίο δείχνει τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας ανά κατηγορία κατανάλωσης για τον Οκτώβριο. Η πρόβλεψη για το σενάριο εφαρμογής του MEE 3 είναι ποσοστιαία εξοικονόμηση ηλεκτρισμού κατά 1,5% περίπου και αντίστοιχα για το σενάριο εφαρμογής του MEE 4, ποσοστιαία εξοικονόμηση κατά 0,8% περίπου.

Μπορούμε να διακρίνουμε ότι η επίδραση του MEE 3 στην κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στο MEE 4. Βλέπουμε και από την παρακάτω εικόνα ότι κατά την εφαρμογή του MEE 3 έχουμε ποσοστιαία εξοικονόμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά περίπου 13% στην ΚΨ1. Ταυτόχρονα έχουμε ως αποτέλεσμα μία αύξηση της κατανάλωσης της ΚΨ2 κατά περίπου 6,8% η οποία υπολείπεται του ποσοστού της εξοικονόμησης στην ΚΨ1. Οι Φριτέζες επηρεάζονται ελάχιστα, έχουμε εξοικονόμηση μόλις 0,003%. Με την εφαρμογή του MEE 3 επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργεια κατά περίπου 1,54%.

Επίσης βλέπουμε από την παρακάτω εικόνα ότι κατά την εφαρμογή του MEE 4 έχουμε ποσοστιαία εξοικονόμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά περίπου 9,55% στην ΚΨ2. Ταυτόχρονα έχουμε ως αποτέλεσμα μία αύξηση της κατανάλωσης της ΚΨ1 κατά περίπου 3,6% η οποία υπολείπεται του ποσοστού της εξοικονόμησης στην

ΚΨ2. Οι Φριτέζες επηρεάζονται ελάχιστα, έχουμε εξοικονόμηση μόλις 0,003%. Με την εφαρμογή του ΜΕΕ 4 επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρική ενέργεια κατά περίπου 0,82%.



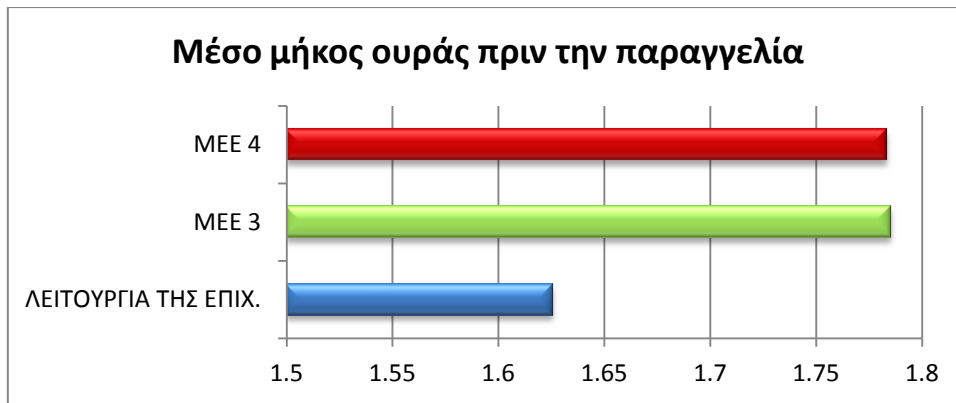
Εικόνα 58: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4

Το ίδιο δείχνει και το παρακάτω γράφημα με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Παρατηρώντας τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την συνολική κατανάλωση βλέπουμε ότι αν και είχαμε κάποιες αυξήσεις σε ορισμένες υποκατηγορίες της συνολικού μοντέλου, και στις δύο περιπτώσεις έχουμε πρόβλεψη εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, κατά 1091,445 kWh για το σενάριο εφαρμογής του ΜΕΕ 3 και 581,767 kWh για το σενάριο εφαρμογής του ΜΕΕ 4.

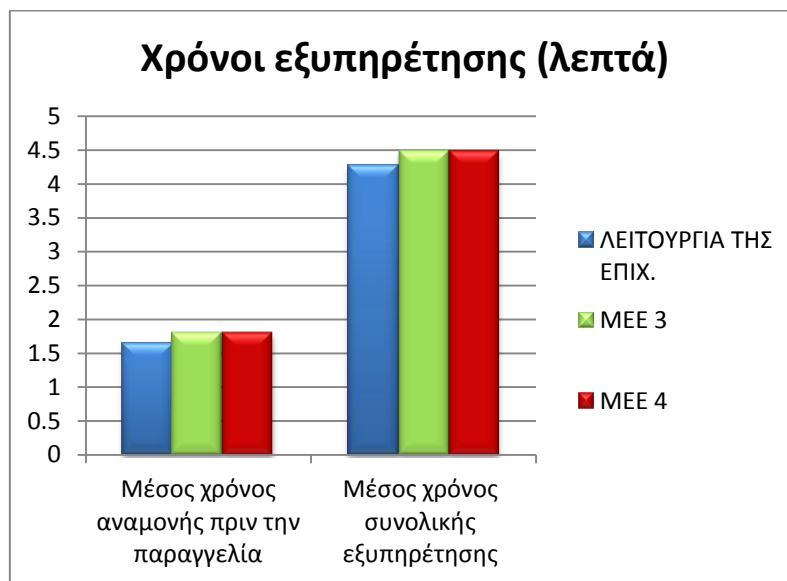


Εικόνα 59: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 1 και 2

Παρακάτω εμφανίζονται γραφήματα με τις επιπτώσεις στους ΒΔΑ.



Εικόνα 60: Γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4



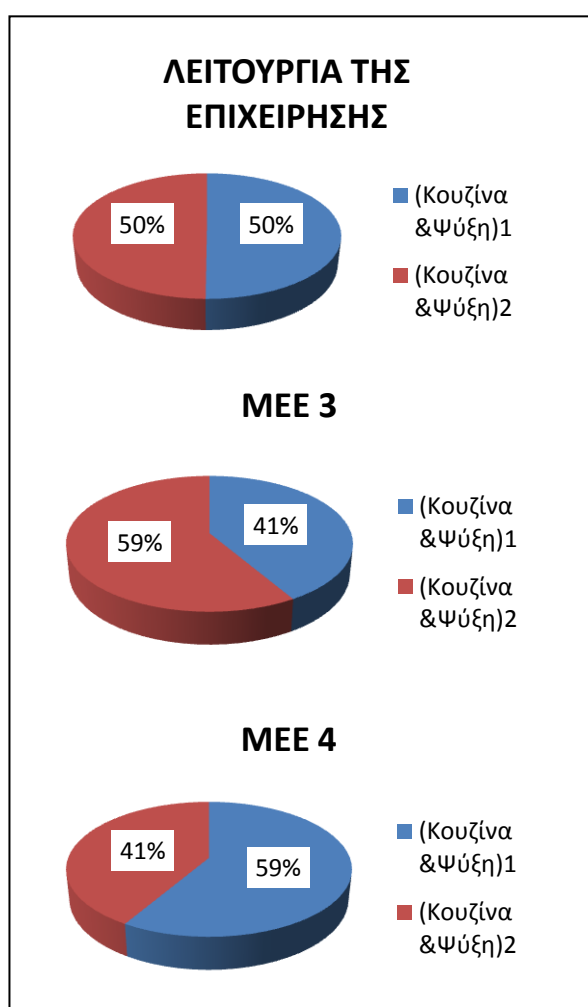
Εικόνα 61: Γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 3 και 4

Παρατηρούμε ότι οι δείκτες αυτοί επηρεάζονται ελαφρώς αρνητικά. Το ποσό όμως της διαφοροποίησης είναι σχετικά μικρό. Το μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία αυξάνεται περίπου το ίδιο και για τα δύο εναλλακτικά σενάρια, κατά την εφαρμογή του MEE 3 αυξήθηκε από το 1,626 στο 1,785 και κατά την εφαρμογή του MEE 4 στο 1,783. Ο μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία αυξήθηκε από τα 1,648 λεπτά, στα 1,809 κατά την εφαρμογή του MEE3 και στα 1,808 κατά την εφαρμογή του MEE 4. Επίσης ο μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης αυξήθηκε από τα 4,275 λεπτά, στα 4,477 κατά την εφαρμογή του MEE 3 και στα 4,475 κατά την εφαρμογή του MEE 4. Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια τα αποδεκτά όρια επηρεασμού των ΒΔΑ είναι υποκειμενικά και επιλέγονται από τον εκάστοτε ενδιαφερόμενο. Στην προκειμένη περίπτωση όμως η διαφορά δεν είναι μεγάλη.

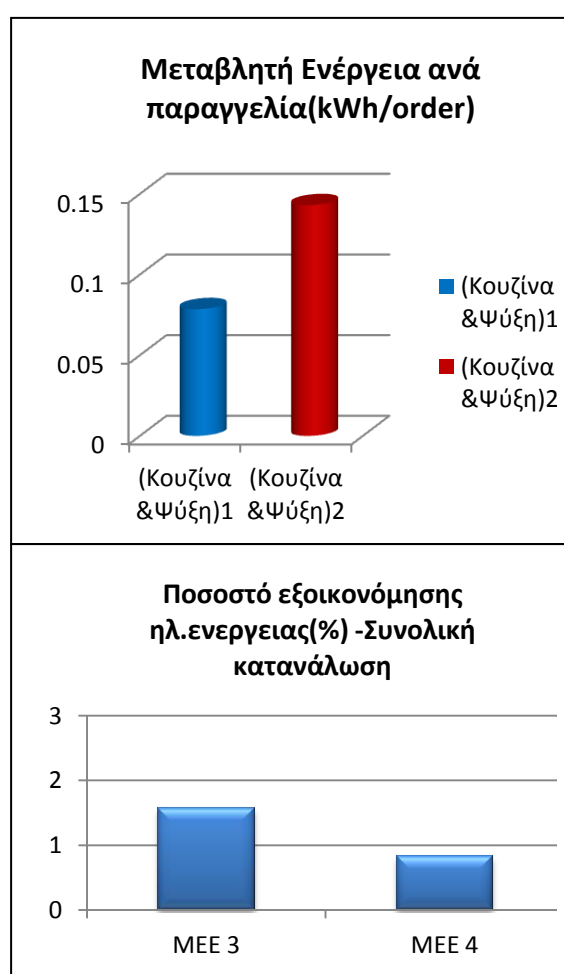
Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με την κατανομή των παραγγελιών ανά κατηγορία κατανάλωσης από το block Select Item Out, τα χαρακτηριστικά του οποίου αναφέρθηκαν στην ανάλυση των προηγούμενων μέτρων (MEE 1 και 2).

Πίνακας 14: κατανομή των παραγγελιών πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4

| (τιμές σε kWh) | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 3 | ΜΕΕ 4 |
|-------------------|----------------------------|-------|-------|
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 22082 | 18269 | 25769 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | 21965 | 25778 | 18278 |



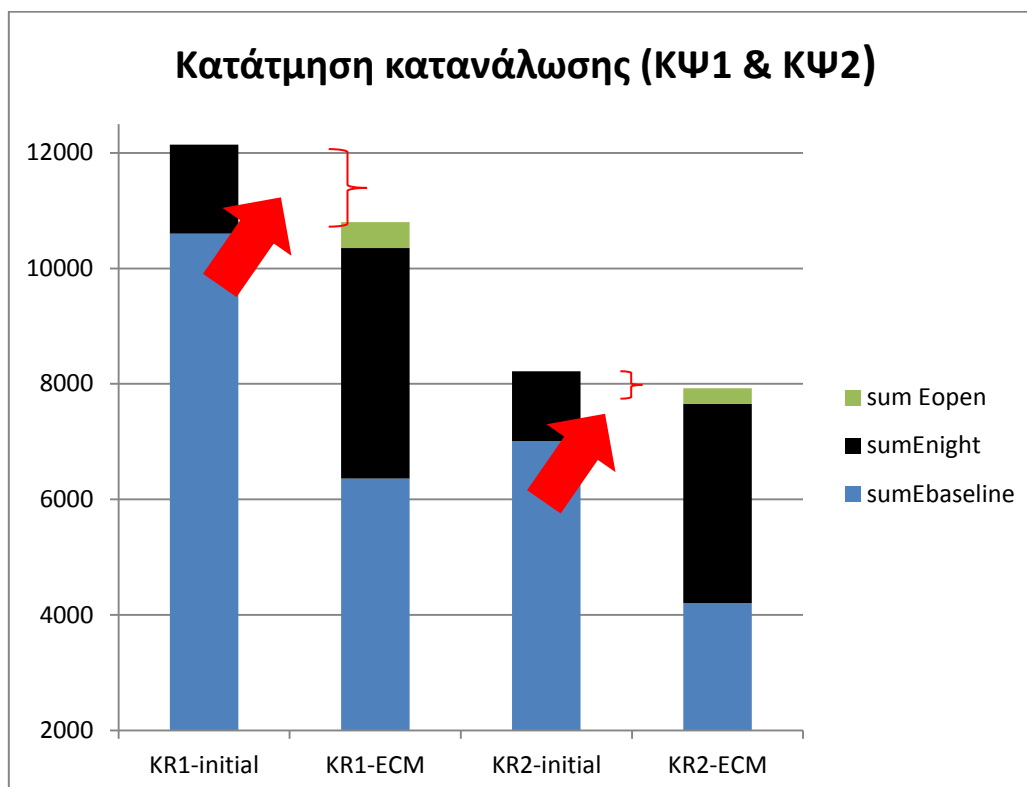
Εικόνα 62: Διαγράμματα πίτα – Κατανομή των προϊόντων στις ΚΨ1 και ΚΨ2 πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4



Εικόνα 63: Διαγράμματα Evariableorder και ποσοστού εξοικονόμησης

Όπως βλέπουμε από τα παραπάνω γραφήματα-πίτα η κατανομή των παραγγελιών διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με το αρχικό μοντέλο. Στην αρχική λειτουργία της επιχείρησης έχουμε απολύτως ισορροπημένη κατανομή των παραγγελιών από 50 % σε κάθε στάδιο παραγωγής. Στο σενάριο εφαρμογής του ΜΕΕ 3 έχουμε

σημαντική μεταβολή στην κατανομή των παραγγελιών, 41% στην ΚΨ1 και 59% στην ΚΨ2. Αντίστροφα στο σενάριο εφαρμογής του MEE 4 έχουμε 59% στην ΚΨ1 και 41% στην ΚΨ2. Λαμβάνοντας υπόψη και την τιμή του δείκτη Μεταβλητή Ενέργεια ανά παραγγελία (kWh/order) θα περίμενε κανείς όπως και στην εφαρμογή των MEE 1&2 να έχουμε μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στο MEE 4 το οποίο είναι πιο αποδοτικό όσον αφορά στην μεταβλητή ενέργεια. Κατά την εφαρμογή των MEE 3&4 όμως έχουμε διαφοροποίηση στα άλλα τμήματα κατανάλωσης της κάθε κατηγορίας ΚΨ, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 64: Κατάτμηση κατανάλωσης στις ΚΨ1 και ΚΨ2

Για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις ΚΨ κατά την εφαρμογή των MEE 3 και 4 διασπάσαμε την κατανάλωση σε ενέργεια ανοίγματος (Eopen), ενέργεια κλεισίματος (Enight), μεταβλητή ενέργεια (Evariable) και σταθερή ενέργεια (Ebaseline). Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζεται η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ΚΨ για τα μη μεταβλητά κομμάτια (δεν απεικονίζεται δηλαδή Evariable). Το παραπάνω γράφημα μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε ότι η μείωση της ενέργειας στο μη μεταβλητό κομμάτι της ΚΨ1 (κατά την εφαρμογή του MEE 3) είναι 1337,374 kWh, πολύ μεγαλύτερη από την μείωση στην ΚΨ2 (κατά την εφαρμογή του MEE 4) που είναι 294,935 kWh. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί στο MEE 3 έχουμε μεγαλύτερη εξοικονόμηση ηλεκτρισμού.

7.5 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 5 & 6

Σε αυτά τα ΜΕΕ επηρεάζεται ο τρόπος λειτουργίας του κλιματισμού. Στο ΜΕΕ 5 εισάγεται η ιδέα τροποποίησης της επιθυμητής θερμοκρασίας κατά τις ώρες μη λειτουργίας του καταστήματος (4πμ - 8πμ) από τους 25°C στους 27°C. Στο ΜΕΕ 6 εισάγεται η ιδέα της τροποποίησης της επιθυμητής θερμοκρασίας καθ' όλη την διάρκεια του Οκτωβρίου από τους 25°C που ήταν αρχικά στους 25,5°C. Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ενέργειας και στην κατηγορία κατανάλωσης του κλιματισμού αλλά και στην συνολική κατανάλωση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

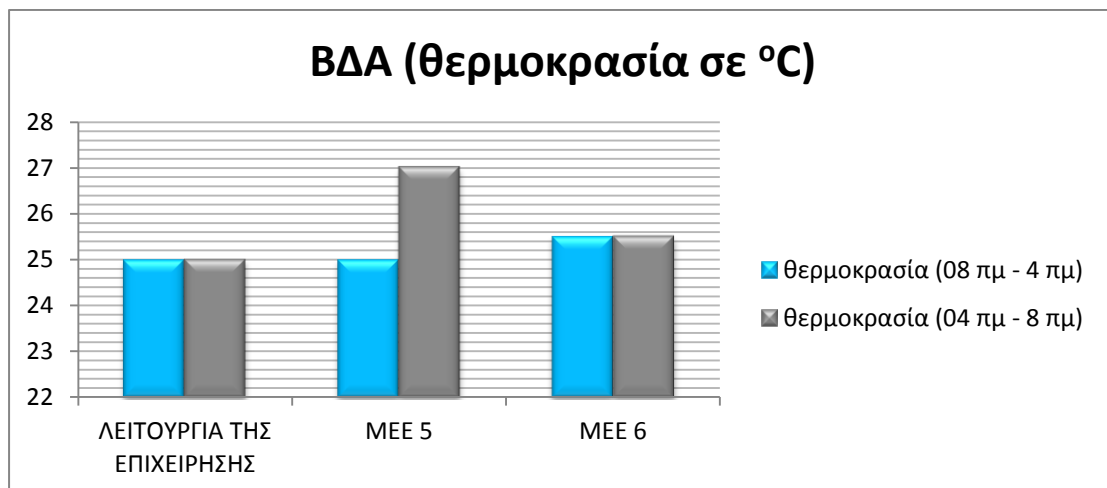
Πίνακας 15: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6

| (τιμές σε kWh) | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 5 | ΜΕΕ 6 | Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας (%) | |
|---------------------|----------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------|-------|
| | | | | ΜΕΕ 5 | ΜΕΕ 6 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 18325,471 | 17771,365 | 17494,312 | 3,024 | 4,536 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 70789,900 | 70235,794 | 69958,741 | 0,783 | 1,174 |

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι για το ΜΕΕ 6 έχουμε μεγαλύτερη πρόβλεψη εξοικονόμησης ενέργειας κατά 831,159 kWh έναντι 554,106 kWh για το ΜΕΕ 5. Για αυτήν την κατηγορία των μέτρων ο επηρεαζόμενος ΒΔΑ είναι η θερμοκρασία. Λόγω της χρονικής διαφοράς εφαρμογής των δύο μέτρων γίνεται και η διάσπαση παρουσίασης του δείκτη όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και στο παρακάτω γράφημα.

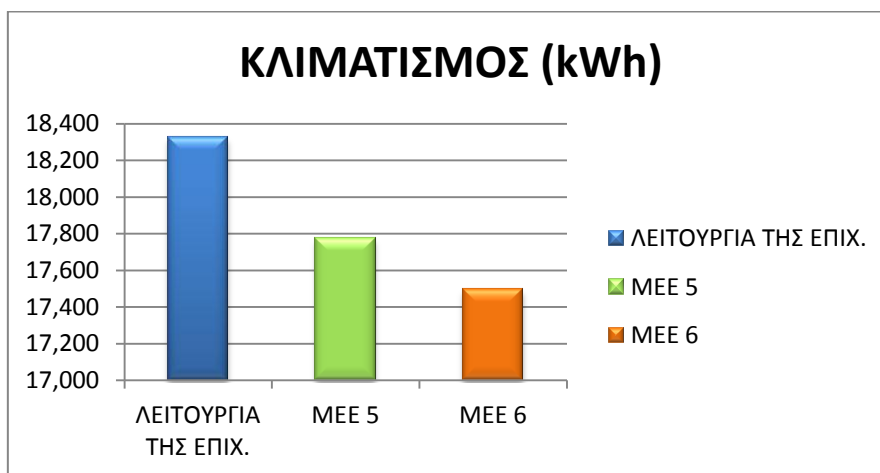
Πίνακας 16: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 3 και 4

| ΒΔΑ | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 5 | ΜΕΕ 6 |
|----------------------------------|----------------------------|-------|-------|
| θερμοκρασία (08 πμ - 4 πμ) σε °C | 25 | 25 | 25,5 |
| θερμοκρασία (04 πμ - 8 πμ) σε °C | 25 | 27 | 25,5 |

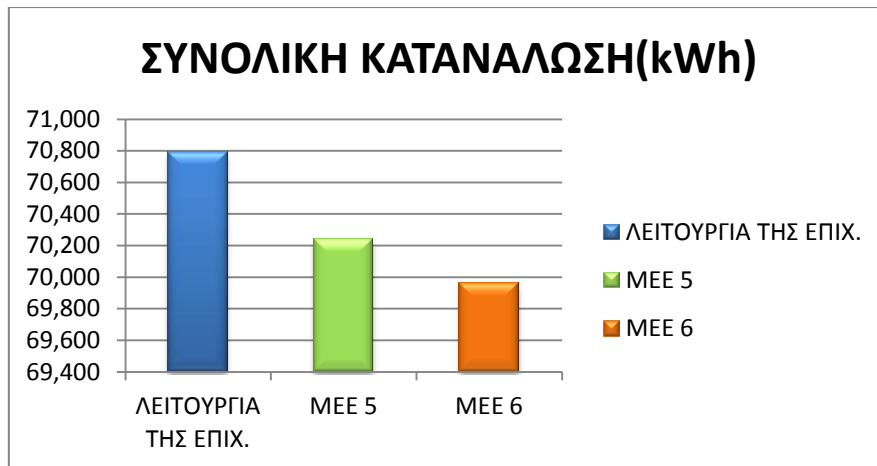


Εικόνα 65: Γραφική απεικόνιση της εσωτερικής θερμοκρασία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6

Στο παραπάνω γράφημα αποτυπώνεται σχηματικά η μικρή διαφοροποίηση στους ΒΔΑ. Βλέπουμε ότι για το σενάριο εφαρμογής του ΜΕΕ 5 έχουμε την πρόβλεψη ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί από τους 25°C στους 27°C από τις 4πμ έως τις 8 πμ. Για το σενάριο εφαρμογής του ΜΕΕ 6 έχουμε την πρόβλεψη ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί από τους 25°C στους 25,5°C για όλες τις ώρες. Στα παρακάτω γραφήματα αποτυπώνεται η μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και το ποσοστό εξοικονόμηση ενέργειας στην κατανάλωση του κλιματισμού και στην συνολική κατανάλωση.

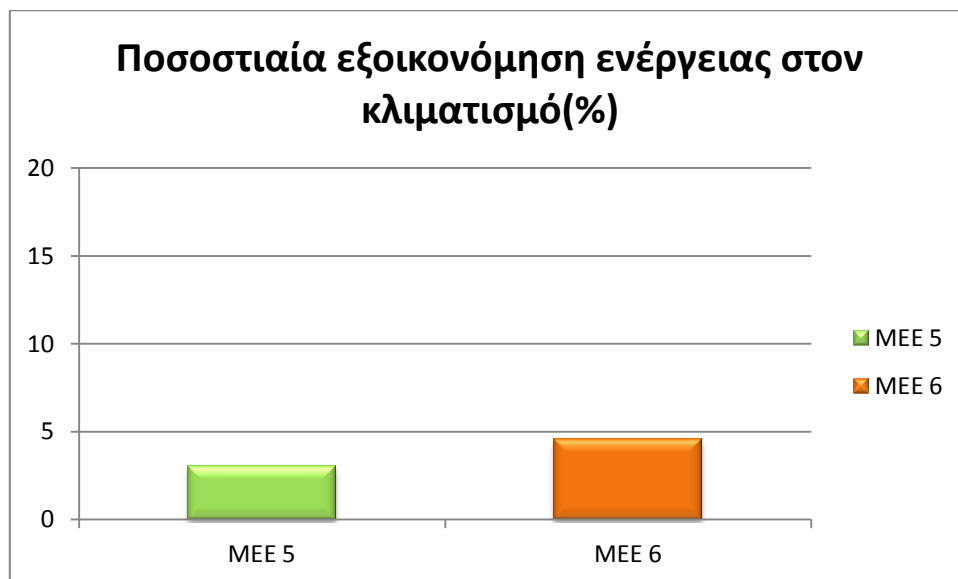


Εικόνα 66: Κατανάλωση κλιματισμού πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6

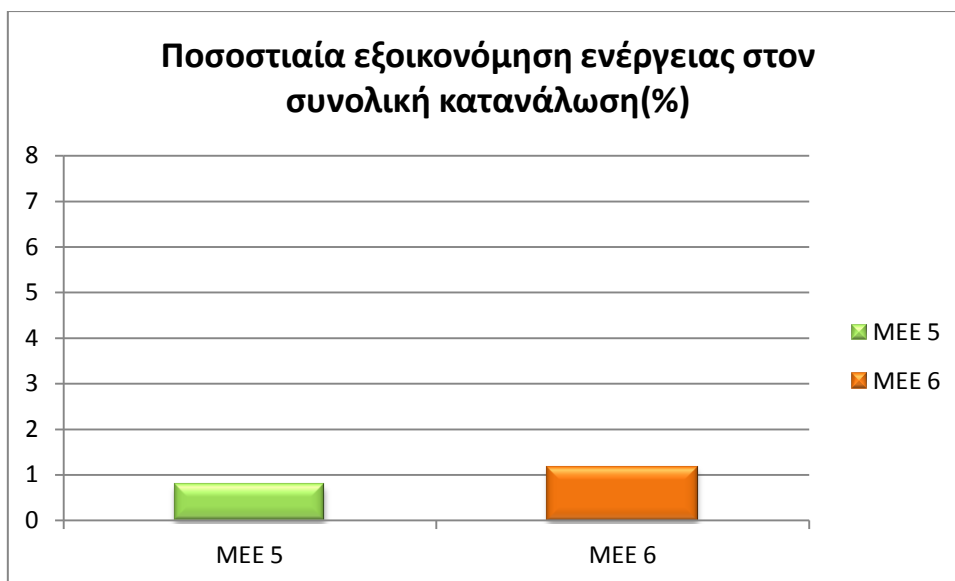


Εικόνα 67: Συνολική κατανάλωση κλιματισμού πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6

Είναι εμφανές ότι κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 5 έχουμε μικρότερη εξοικονόμηση ενέργειας κατά 154,106 kWh έναντι 831,160 kWh κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 6. Το ποσά αυτά αντανακλούν την μείωση και στην συνολική κατανάλωση αφού τα σενάρια αυτά επηρεάζουν μόνο μία κατηγορία κατανάλωσης αυτή του κλιματισμού. Στη συνέχεια ακολουθούν γραφήματα που απεικονίζουν την ποσοστιαία εξοικονόμηση των δύο αυτών σεναρίων.



Εικόνα 68: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην κατανάλωση κλιματισμού κατά την εφαρμογή των ΜΕΕ 5 και 6



Εικόνα 69: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην συνολική κατανάλωση κατά την εφαρμογή των MEE 5 και 6

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της εξοικονόμησης είναι μεγαλύτερο κατά την εφαρμογή του MEE 6 (4,54% στην κατανάλωση κλιματισμού και 1,17% στην συνολική κατανάλωση) διότι αν και εφαρμόζεται μικρότερη αλλαγή στην τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας (25,5 °C στο MEE 6 έναντι 27 °C στο MEE 5) εντούτοις εφαρμόζεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (24 ώρες στο MEE 6 έναντι 4 ώρες στο MEE 5). Η πρόβλεψη για το ποσοστό εξοικονόμησης στο σενάριο εφαρμογής του MEE 5 είναι 3,02% στην κατανάλωση κλιματισμού και 0,78% στη συνολική κατανάλωση. Επίσης η εφαρμογή της νυχτερινής χαλάρωσης του ελέγχου (MEE 5) γίνεται σε ώρες κατά τις οποίες η εξωτερική θερμοκρασία εμφανίζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την υπόλοιπη ημέρα ,επομένως είναι πιο εύκολο να δροσιστεί ο χώρος και να επιτευχθεί η θερμοκρασία στόχος των 27 °C.

7.6 Μέτρο Εξοικονόμησης Ενέργειας 7

Σε αυτό μέτρο εφαρμόζεται μείωση της κατανάλωσης φωτισμού. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα ποσά της καταναλισκόμενης ενέργειας πριν και μετά την εφαρμογή του μέτρου.

Πίνακας 17: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή του MEE 7

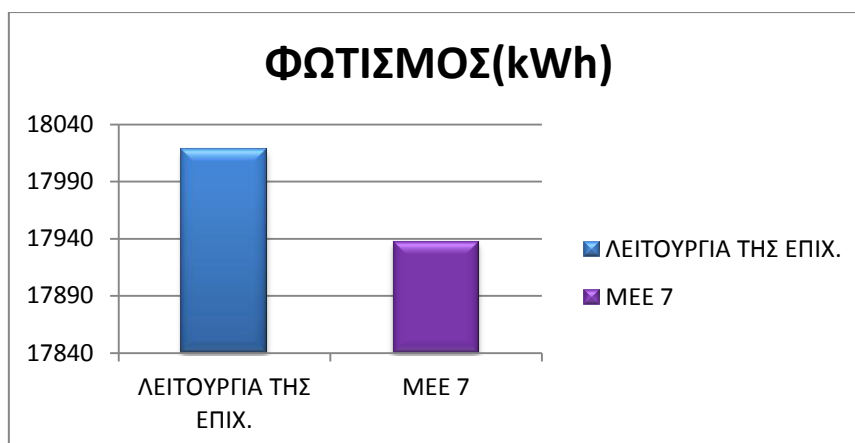
| (τιμές σε kWh) | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | MEE 7 | Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας (%) |
|---------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------|
| | | | MEE 7 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 18017,941 | 17937,142 | 0,448 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 70789,900 | 70709,102 | 0,114 |

Επίσης στον παρακάτω πίνακα φαίνεται οι τιμές των επηρεαζόμενων δεικτών.

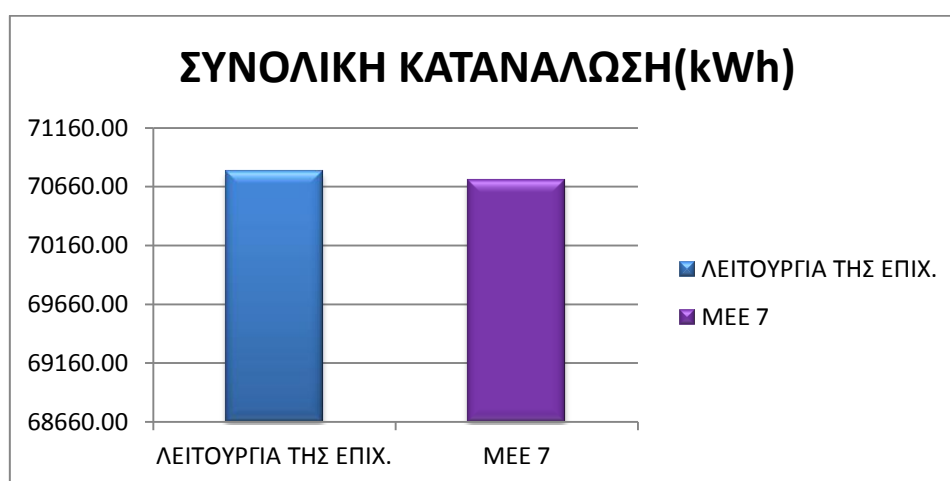
Πίνακας 18: : Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7

| | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 7 |
|----------------------------------------------|----------------------------|-------|
| ένταση φωτισμού σε lux (από 18:00 έως 04:00) | 180 | 150 |

Παρακάτω παρουσιάζονται γραφήματα τα οποία αποτυπώνουν την μείωση της εξοικονομούμενης ενέργειας και το ποσοστό της.



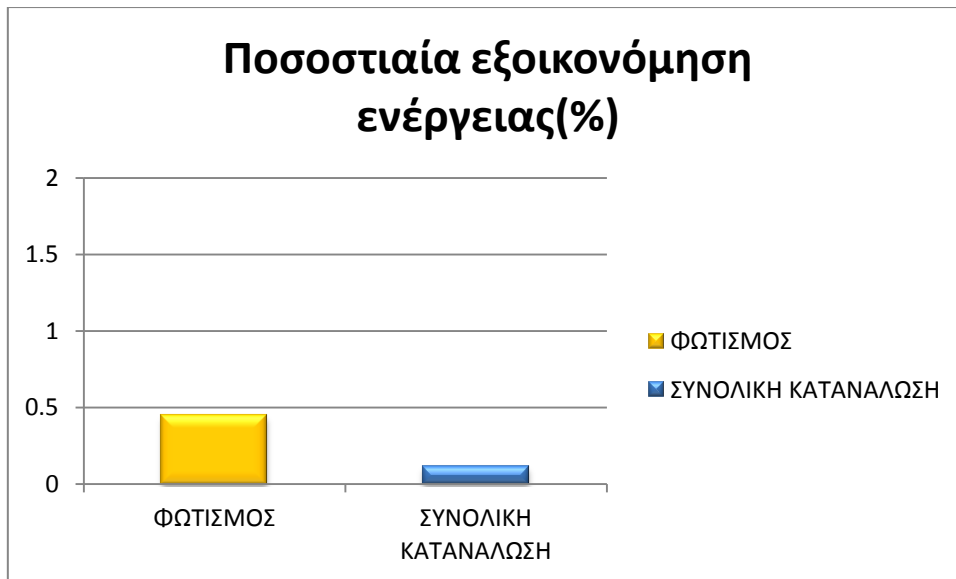
Εικόνα 70: Κατανάλωση φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7



Εικόνα 71: Συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7

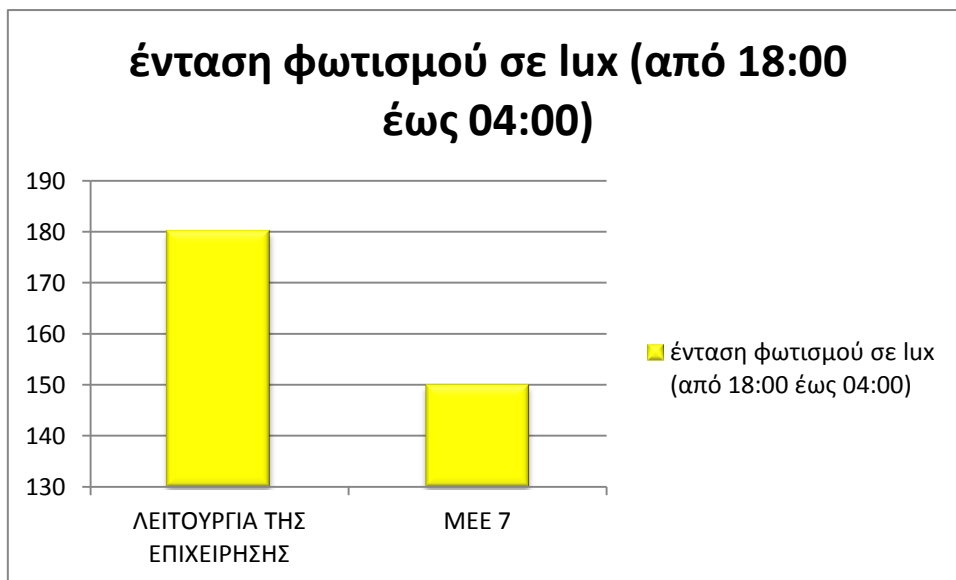
Η πρόβλεψη για αυτό το σενάριο είναι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 80 kWh στη κατανάλωση φωτισμού (το ίδιο ισχύει και για την συνολική κατανάλωση καθώς εξετάζεται η εφαρμογή ενός μέτρου).

Γράφημα με ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας για τον Οκτώβριο.



Εικόνα 72: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στην κατανάλωση φωτισμού και στην συνολική κατανάλωση κατά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7

Το ποσό της μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας ανέρχεται στο 0,45% στη κατανάλωση κλιματισμού και στο 0,114% στη συνολική κατανάλωση. Ποσοστό σημαντικό αν ληφθεί υπόψη ότι δεν προσομοιώθηκαν ισχυρές επεμβάσεις (και ως προς την ένταση φωτισμού και ως προς τον χρόνο λειτουργίας) στο τρόπο χρήσης του φωτιστικού συστήματος. Επίσης παρακάτω παρατίθεται γράφημα το οποίο αποτυπώνει την επίδραση του μέτρου στην ένταση φωτισμού.




Εικόνα 73: Γραφική απεικόνιση της έντασης φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή του ΜΕΕ 7

Όπως βλέπουμε ο δείκτης αφορά στην ένταση φωτισμού για τις απογευματινές και τις βραδινές ώρες (καθότι τότε ήταν δυνατή η προσομοίωση) δηλαδή από τις 6μμ έως τις 4 πμ. Το ποσό της ζητούμενης έντασης φωτισμού αποφασίστηκε να μειωθεί από τα 180 lux στα 150 lux, που είναι και το κατώτατο όριο φωτισμού για εστιατόρια.

7.7 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας 8 & 9 & 10 & 11

Η τελευταία ομάδα εφαρμοζόμενων μέτρων αποτελείται από μέτρα τα οποία συνδυάζουν κάποια από τα προηγούμενα βασικά ΜΕΕ.

Πίνακας 19: Συγκεντρωτικός πίνακας των χαρακτηριστικών των ΜΕΕ 8,9,10,11

|  | Μέτρα που αφορούν στις ΚΨ | Μέτρα που αφορούν στον κλιματισμό | Μέτρα που αφορούν στον φωτισμό |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MEE 8 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 αλλά και μείωση του ωραρίου λειτουργίας της | Συνδυασμένη αλλαγή της επιθυμητής θερμοκρασίας τις ώρες λειτουργίας στους 25,5°C και τις ώρες μη λειτουργίας στους 27°C | Μείωση της κατανάλωσης φωτισμού μειώνοντας την ένταση φωτισμού τις απογευματινές και βραδινές ώρες στα 150 lux |
| MEE 9 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1 και μείωση του ωραρίου λειτουργίας της ΚΨ2 | Ομοίως | Ομοίως |
| MEE 10 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 και μείωση του ωραρίου λειτουργίας της ΚΨ1 | Ομοίως | Ομοίως |
| MEE 11 | Αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2 αλλά και μείωση του ωραρίου λειτουργίας της | Ομοίως | Ομοίως |

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των ΜΕΕ 8 έως 11 στην κατανάλωση ενέργειας και στο ποσοστό εξοικονόμησης της εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες και γραφήματα.

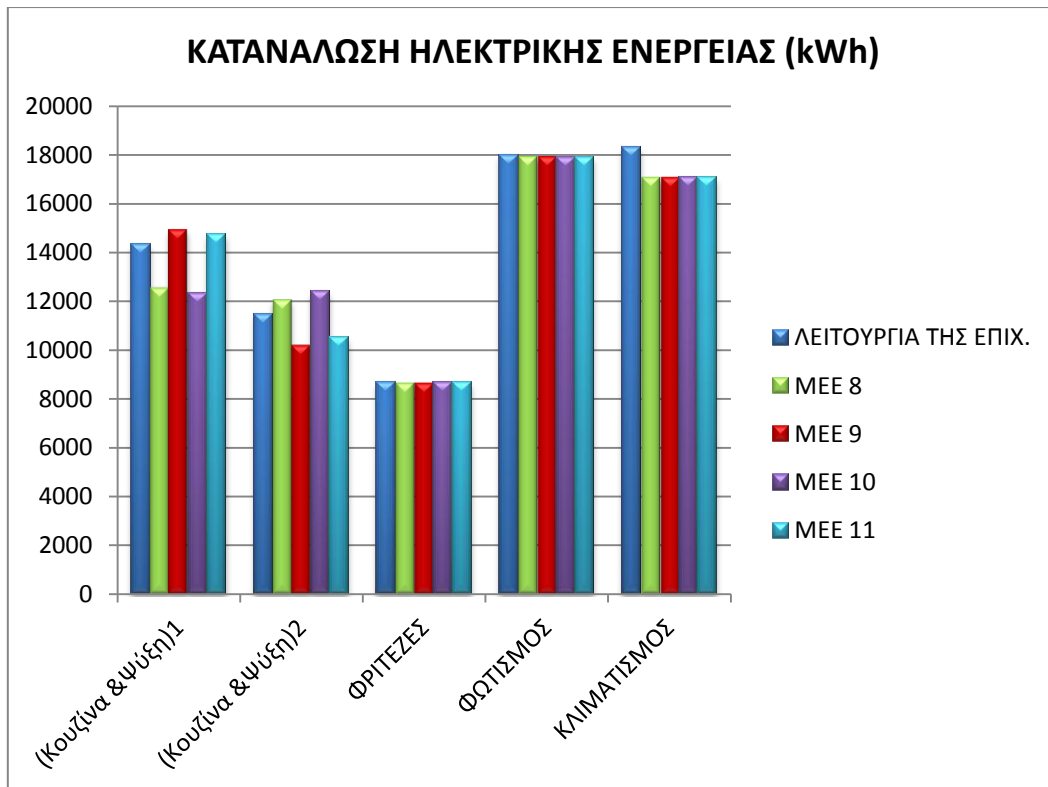
Πίνακας 20: Καταναλώσεις ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11

| | ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh) | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 8 | ΜΕΕ 9 | ΜΕΕ 10 | ΜΕΕ 11 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 14329,832 | 12556,291 | 14948,018 | 12338,109 | 14724,719 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | 11454,577 | 12073,317 | 10211,808 | 12402,057 | 10512,630 |
| ΦΡΙΤΕΖΕΣ | 8662,079 | 8661,873 | 8663,026 | 8663,026 | 8661,873 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 18017,941 | 17937,142 | 17937,142 | 17937,142 | 17937,142 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 18325,471 | 17078,732 | 17078,732 | 17078,732 | 17078,732 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 70789,900 | 68307,355 | 68838,727 | 68419,067 | 68915,096 |

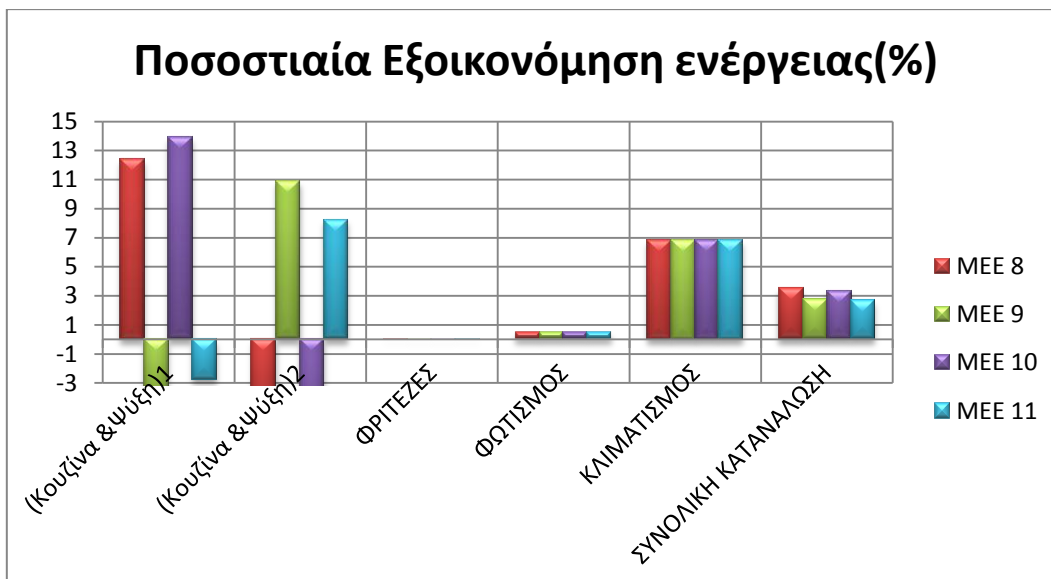
Πίνακας 21: Ποσοστό εξοικονόμησης ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11

| | ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ(%) | | | |
|---------------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| | ΜΕΕ 8 | ΜΕΕ 9 | ΜΕΕ 10 | ΜΕΕ 11 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)1 | 12,377 | -4,314 | 13,899 | -2,756 |
| (Κουζίνα & Ψύξη)2 | -5,402 | 10,850 | -8,272 | 8,223 |
| ΦΡΙΤΕΖΕΣ | 0,002 | -0,011 | -0,011 | 0,002 |
| ΦΩΤΙΣΜΟΣ | 0,448 | 0,448 | 0,448 | 0,448 |
| ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ | 6,803 | 6,803 | 6,803 | 6,803 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ | 3,507 | 2,756 | 3,349 | 2,648 |

Από τους παραπάνω πίνακες είναι εμφανές ότι τα σενάρια στα οποία συνδυάζονται μεμονωμένα ΜΕΕ είναι τα πιο αποδοτικά καθώς έχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας από 1874,804 kWh (ΜΕΕ 11) έως και 2482,545 kWh (ΜΕΕ 8). Παρακάτω ακολουθούν και συγκεντρωτικά γραφήματα των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 74: Κατανάλωση ηλεκτρισμού ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 8,9,10,11



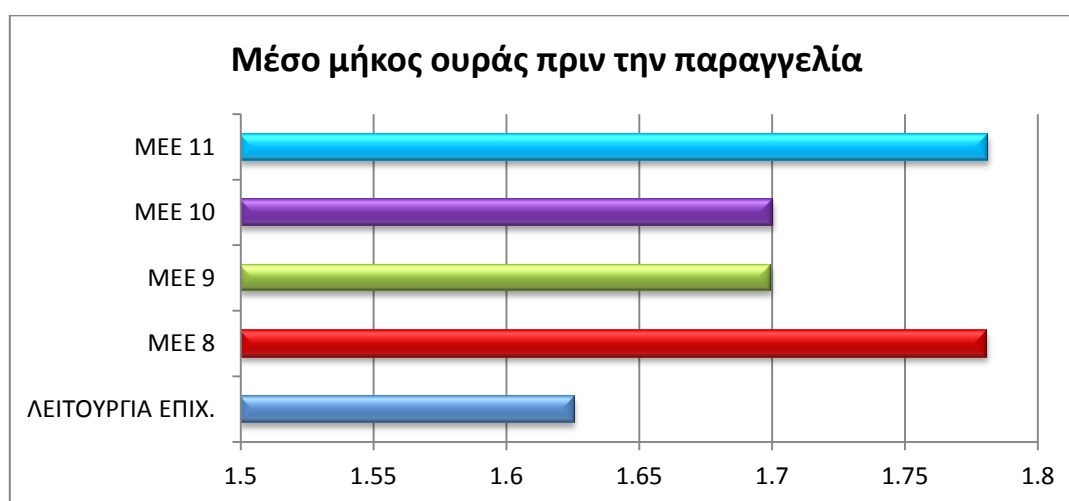
Εικόνα 75: Ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατηγορία πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 8,9,10,11

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι σε όλα τα μέτρα επιτυγχάνεται σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, με πιο αποδοτικά τα MEE 8 & 10 (3,51% και 3,35% αντίστοιχα). Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σχετική διαφοροποίηση στις κατηγορίες ΚΨ ανάμεσα στα διάφορα σενάρια, ενώ άλλες κατηγορίες είναι σχετικά σταθερές στην εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων. Το υψηλότερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για μεμονωμένη κατηγορία είναι για την ΚΨ1 στο MEE 10,

και ανέρχεται στο 13,9%. Παρακάτω παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στην επίδραση που έχουν τα μέτρα στους ΒΔΑ.

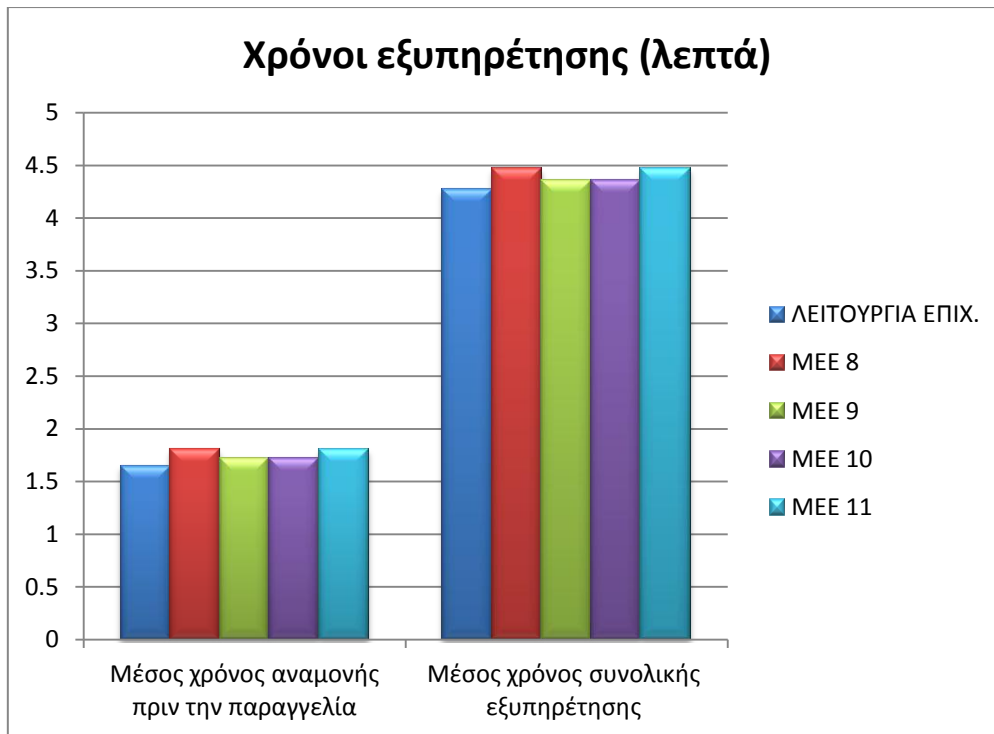
Πίνακας 22: Τιμές των ΒΔΑ πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11

| ΒΔΑ | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | ΜΕΕ 8 | ΜΕΕ 9 | ΜΕΕ 10 | ΜΕΕ 11 |
|------------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|--------|--------|
| Μέσο μήκος ουράς πριν την παραγγελία | 1,626 | 1,781 | 1,700 | 1,700 | 1,781 |
| Μέσος χρόνος αναμονής πριν την παραγγελία (σε λεπτά) | 1,648 | 1,805 | 1,723 | 1,723 | 1,805 |
| Μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης (σε λεπτά) | 4,275 | 4,473 | 4,362 | 4,363 | 4,473 |
| θερμοκρασία (08 πμ - 4 πμ) | 25 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 |
| θερμοκρασία (04 πμ - 8 πμ) | 25 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| ένταση φωτισμού σε lux (από 18:00 έως 04:00) | 180 | 150 | 150 | 150 | 150 |



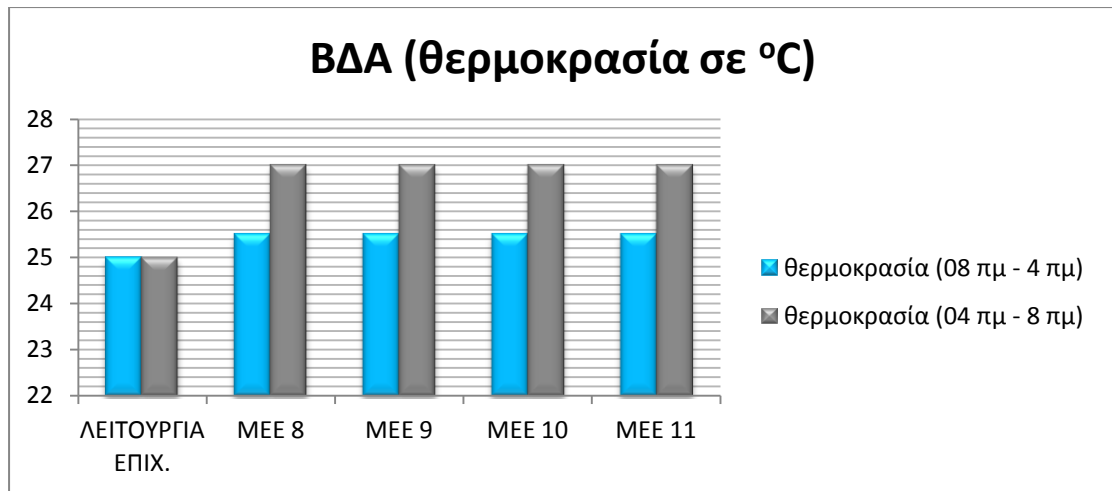
Εικόνα 76: Γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ 8,9,10,11

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι για όλα τα σενάρια υπάρχει επηρεασμός του μέσου μήκους ουράς πριν την παραγγελία αν και σχετικά μικρός. Η υψηλότερη μεταβολή είναι από 1,626 σε 1,781 για τα σενάρια εφαρμογής των ΜΕΕ 8 και 11 και η χαμηλότερη μεταβολή από 1,626 σε 1,7 για τα σενάρια εφαρμογής των ΜΕΕ 9 και 10.



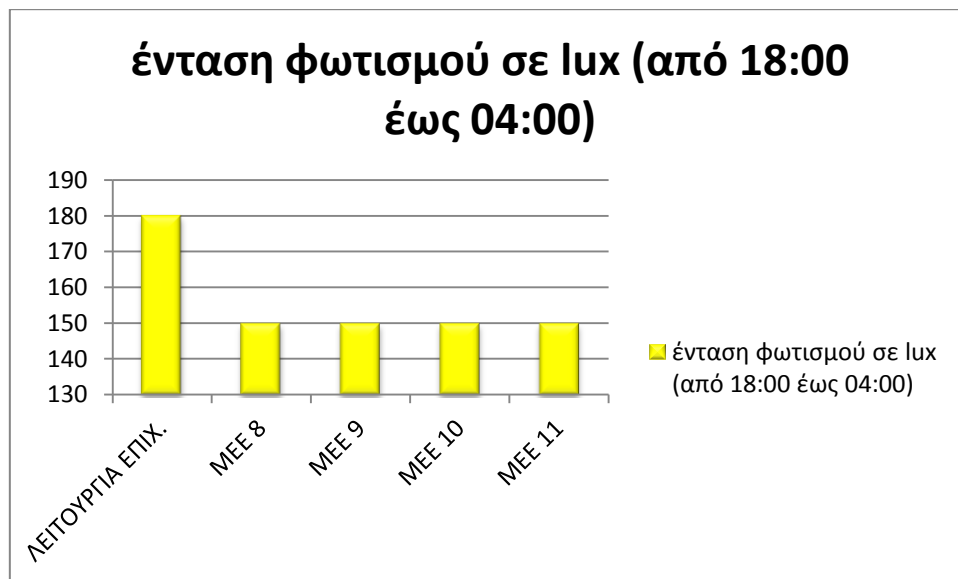
Εικόνα 77: Γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 8,9,10,11

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι οι μεταβολές στους χρόνους αναμονής αυξάνονται λίγο, για όλα τα σενάρια. Η μεγαλύτερη αύξηση στον μέσο χρόνο αναμονής πριν την παραγγελία είναι από τα 1,648 λεπτά στα 1,805 για τα σενάρια εφαρμογής των MEE 8 και 11, γεγονός που αντιστοιχίζεται με τα ευρήματα για το μέσο μήκος ουράς. Η μικρότερη μείωση είναι κατά την εφαρμογή των MEE 9 και 10 από τα 1,648 λεπτά στα 1,723. Ο μέσος χρόνος συνολικής εξυπηρέτησης αυξάνεται κατά 0,198 λεπτά από τα 4,275 λεπτά στα 4,473 για τα σενάρια εφαρμογής των MEE 8 και 11. Επίσης αυξάνεται κατά 4,275 λεπτά στα 4,362 για τα σενάρια εφαρμογής των MEE 9 και 10. Παρακάτω ακολουθούν γραφήματα τα οποία αποτυπώνουν την μεταβολή της θερμοκρασίας και της έντασης φωτισμού. Η επίδραση των μέτρων στους ΒΔΑ της θερμοκρασίας και της έντασης φωτισμού είναι ίδια για όλα τα μέτρα καθώς εφαρμόζονται σε όλα με τον ίδιο τρόπο η εξοικονόμηση στις σχετιζόμενες κατηγορίες κατανάλωσης.



Εικόνα 78: Γραφική απεικόνιση της εσωτερικής θερμοκρασία πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 8,9,10,11

Στο παραπάνω γράφημα φαίνονται συγκεντρωτικά οι μεταβολές στη θερμοκρασία για όλα τα σενάρια εφαρμογής των συνδυαστικών μέτρων (MEE 8 έως 11). Βλέπουμε ότι σε όλα συνδυάστηκε η χαλάρωση του έλεγχου κατά τις ώρες μη λειτουργίας στους 27°C και η ρύθμιση του θερμοστάτη σε υψηλότερη θερμοκρασία από τους 25 στους 25,5°C κατά τις ώρες λειτουργίας.



Εικόνα 79: Γραφική απεικόνιση της έντασης φωτισμού πριν και μετά την εφαρμογή των MEE 8,9,10,11

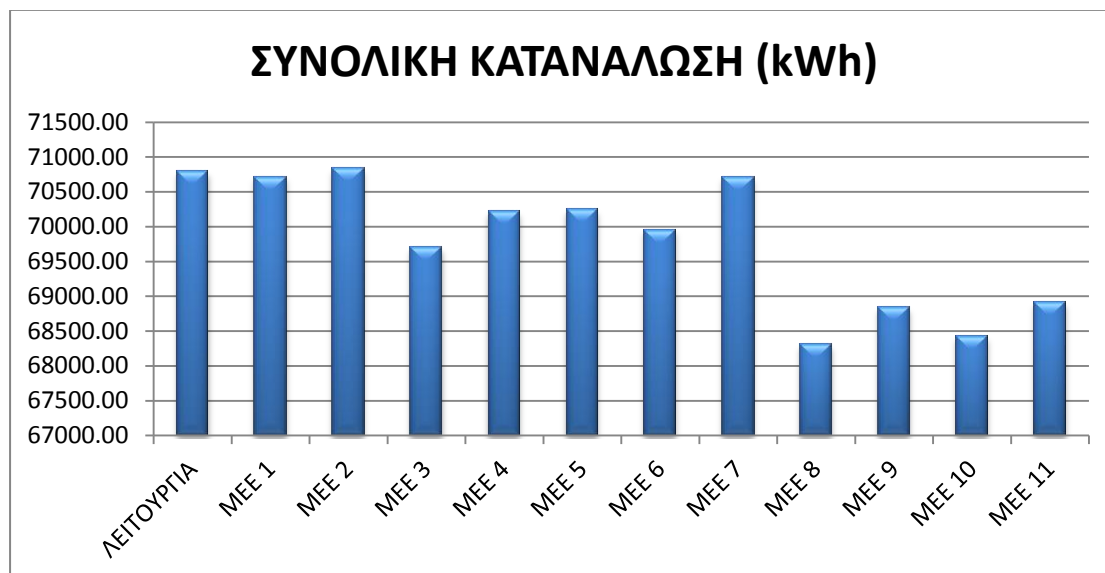
Παρατηρούμε από το παραπάνω γράφημα ότι σε όλα τα εξεταζόμενα εναλλακτικά σενάρια επηρεάστηκε η ένταση φωτισμού και μειώθηκε από τα 180 lux που ήταν αρχικά στα 150 lux, που είναι και το κατώτατο επιτρεπτό όριο.

Κεφάλαιο 8

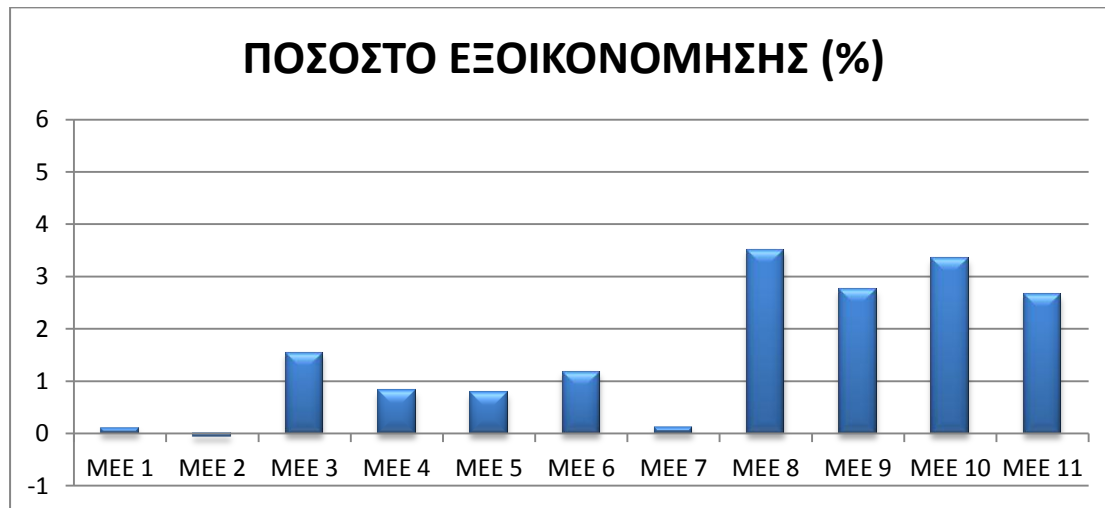
Συμπεράσματα – Προεκτάσεις

8.1 Συμπεράσματα & Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της εφαρμογής των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) στην μελέτη περίπτωσης.



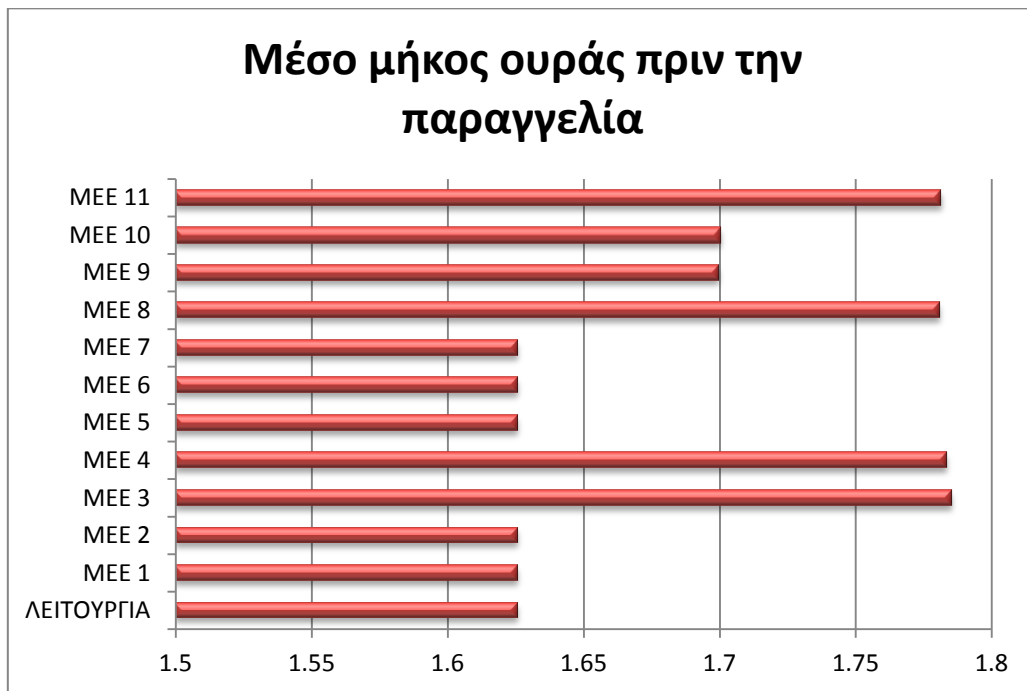
Εικόνα 80: Συγκεντρωτική απεικόνιση της συνολικής κατανάλωσης πριν και μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ



Εικόνα 81: Συγκεντρωτική απεικόνιση του ποσοστού εξοικονόμησης μετά την εφαρμογή των ΜΕΕ

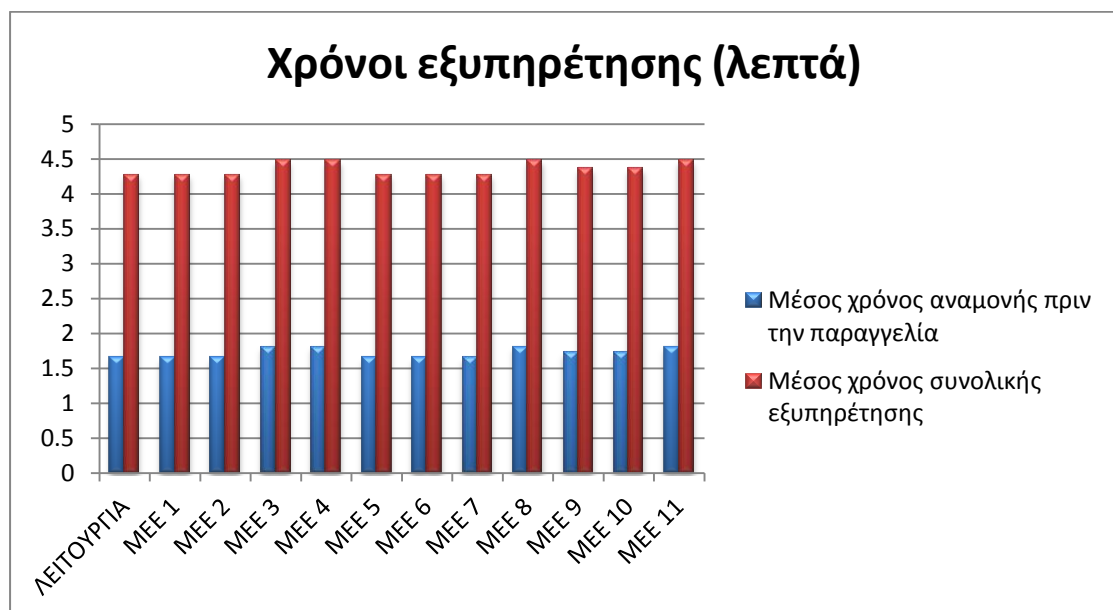
Κοιτάζοντας τα παραπάνω συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν στην εξέταση όλων τα εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα σενάρια στα οποία εφαρμόζονται συνδυαστικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ 8,9,10,11) πετυχαίνουν μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης το οποίο κυμαίνεται από 2,76% έως και 3,51%, ποσοστό πολύ υψηλό για μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας μηδενικού κόστους. Τα σενάρια εφαρμογής μεμονωμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ 1 έως 7) όπως ήταν

αναμενόμενο πετυχαίνουν εξοικονόμηση μέχρι 1,54%. Παρακάτω παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης.



Εικόνα 82: Συγκεντρωτικό γράφημα απεικόνισης του μέσου μήκους ουράς (πριν την παραγγελία) πριν και μετά την εφαρμογή των MEE

Στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι το μέσο μήκος ουράς επηρεάζεται σε όλα τα συνδυαστικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, όσον αφορά στα σενάρια μεμονομένων MEE επηρεάζεται στα μέτρα τα οποία τροποποιούν την χωρητικότητα των χώρων παραγωγής (ΚΨ1 και ΚΨ2).



Εικόνα 83: Συγκεντρωτικό γράφημα απεικόνισης του χρόνου εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή των MEE

Το παραπάνω γράφημα προσφέρει μια συνολική καταγραφή του επηρεασμού του χρόνου εξυπηρέτησης σε όλα τα σενάρια. Βλέπουμε ότι η μεταβολή του χρόνου εξυπηρέτησης είναι μικρή για όλα τα εφαρμοζόμενα μέτρα, όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες παραγράφους.

Η εφαρμογή των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και τα αποτελέσματα τους κρίνονται ικανοποιητικά. Τα εφαρμοζόμενα μέτρα αντλήθηκαν από την βιβλιογραφία ή εισήχθησαν με πρωτότυπο τρόπο ειδικά για την μελέτη περίπτωσης. Το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας έφθασε μέχρι και το 3,5 % επί της συνολικής κατανάλωσης, εφαρμόζοντας μέτρα με μηδενικό κόστος. Η αρνητική επίδραση τους στον λειτουργικό χαρακτήρα της επιχείρησης ήταν επίσης πολύ χαμηλή. Αυτά τα γεγονότα αναδεικνύουν την χρησιμότητα της παρούσας εργασίας και την άποψη ότι θα ήταν χρήσιμη περαιτέρω επέκταση και διερεύνηση της.

Η λεπτομερής καταγραφή της λειτουργικής διαδικασίας της επιχείρησης μπορεί να οδηγήσει σε μία αξιόπιστη προσομοίωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η απόκλιση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης της λειτουργίας της επιχείρησης σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα ήταν μικρή καθώς στους υπολογισμούς συμπεριλήφθηκαν η κατανομή των πελατών και των προϊόντων στους χώρους παραγωγής (σε όγκο αλλά και χρονικά κατά την διάρκεια της ημέρας), και ο χρόνος λειτουργίας των διαφόρων συστημάτων (π.χ. φωτιστικό, κλιματιστικό σύστημα, Φριτέζες).

Επίσης τα αποτελέσματα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια λειτουργίας της επιχείρησης επιβεβαίωσαν τα ευρήματα των θεωρητικών κεφαλαίων. Για επιχειρήσεις στον τομέα παροχής υπηρεσιών εστίασης (food service), η μεγαλύτερη κατανάλωση ήταν η ψύξη (refrigeration) σε συνδυασμό με το μαγείρεμα των προϊόντων (cooking), όπως και στην μελέτη περίπτωσης της εργασίας. Επίσης το σύστημα κλιματισμού και το σύστημα φωτισμού αποτελούν τις αμέσως μεγαλύτερες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας της αυξημένης ισχύος τους αλλά και της χρονικής διάρκειας λειτουργίας τους. Πιο ειδικά για το σύστημα του κλιματισμού ήταν ενδιαφέρον το γεγονός ότι είχαμε μεγαλύτερη εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή της ρύθμισης του θερμοστάτη κατά μόλις 0,5°C αλλά για όλο το διάστημα της ημέρας (με ποσοστό εξοικονόμησης στην συνολική κατανάλωση 1,17%), έναντι της ρύθμισης του θερμοστάτη κατά 2°C αλλά για το διάστημα μη λειτουργίας της επιχείρησης (με ποσοστό εξοικονόμησης στην συνολική κατανάλωση 0,78%).

Το ποσό της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζοντας μέτρα μηδενικού κόστους είναι χαμηλότερο σε σχέση με μέτρα μεγάλης επένδυσης ή ακόμα και χαμηλού κόστους. Παρόλα αυτά οι πόροι που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή αυτών των εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μηδαμινοί. Στη μελέτη περίπτωσης μας όλες οι αλλαγές αφορούσαν στην τροποποίηση της λειτουργικής διαδικασίας, όπως η αλλαγή της χρήσης του φωτιστικού και του κλιματιστικού συστήματος. Μεμονωμένα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας δύνανται να προσφέρουν αξιοσημείωτη ποσοστιαία εξοικονόμηση, όπως για παράδειγμα η τροποποίηση της λειτουργίας του κλιματιστικού συστήματος μέσω ρύθμισης του θερμοστάτη για την οποία η πρόβλεψη για την εξοικονόμηση ενέργειας έφθασε κοντά στο 5% στη κατανάλωση κλιματισμού. Επίσης οι καταναλώσεις οι

οποίες σχετίζονται με την παραγωγική διαδικασία προσφέρονται για την εφαρμογή πολλών εναλλακτικών σεναρίων καθώς μπορούμε να τροποποιήσουμε τον χρόνο, τον τρόπο και την ποσότητα παραγωγής, και την χωρητικότητα των χώρων παραγωγής. Το πιο αποδοτικό σενάριο εφαρμογής μεμονωμένου MEE ήταν η εφαρμογή του MEE 3, με τροποποίηση του χρόνου λειτουργίας της ΚΨ1, η οποία μόνη της μπορούσε να μειώσει την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για τον μήνα Οκτώβριο κατά 1,54%.

Η μελέτη μεμονωμένων MEE μπορεί να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για το αποτέλεσμα που αυτά έχουν στην κατηγορία κατανάλωσης στην οποία εφαρμόζονται αλλά και για το αντίκτυπο τους στην κατανάλωση συνολικά. Στο σενάριο εφαρμογής του MEE 3 η πρόβλεψη εξοικονόμησης ενέργειας στους χώρους παραγωγής διαφέρει, για την Κουζίνα&Ψύξη 1–ΚΨ1 είναι ποσοστό εξοικονόμησης περίπου 13,05% και για την Κουζίνα&Ψύξη 2 – ΚΨ2 είναι αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 6,8%. Το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης όμως αντιστοιχεί στη συνολική κατανάλωση μόλις σε εξοικονόμησης 1,54%. Επομένως είναι σημαντικό να εξετάσουμε την αξία των μέτρων μεμονωμένα για το κάθε υποσύστημα στο οποίο αναφέρεται (κατηγορία κατανάλωσης) αλλά και στο συνολικό σύστημα, για να αξιολογείται και η συνεισφορά του στο συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα.

Επίσης η μελέτη μεμονωμένων MEE μπορεί να αποκαλύψει τους συσχετισμούς ανάμεσα στα διάφορα υποσυστήματα όσον αφορά στην λειτουργία τους και στην κατανάλωση ενέργειας. Κατά την προσομοίωση της εφαρμογής των MEE 1 και 2 έγινε φανερό ότι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στον έναν χώρο παραγωγής ΚΨ οδηγούσε σε αύξηση στον άλλον χώρο παραγωγής ΚΨ. Στο σημείο αυτό οδηγηθήκαμε και σε ένα άλλο συμπέρασμα, ότι παρόμοια μέτρα μπορεί να έχουν αντίθετο αποτέλεσμα. Η εφαρμογή του MEE 1 οδηγεί, όπως αναμέναμε, σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης σε ποσοστό 0,1%. Όμως αν και δεν ήταν αναμενόμενο, η εφαρμογή του MEE 2 αύξησε την κατανάλωση της ΚΨ 2 σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να έχουμε αύξηση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, αντί για μείωση, σε ποσοστό 0,063%. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί και σε ένα επιπλέον συμπέρασμα, ότι ορισμένα μέτρα δεν γίνεται να αξιολογηθούν ως προς την χρησιμότητα τους παρά μόνο αν πραγματοποιηθεί η προσομοίωση τους. Γεγονός το οποίο αναδεικνύει την σημασία της προσομοίωσης σε ενεργειακές μελέτες, ειδικότερα όταν υπεισέρχονται παράμετροι λειτουργίας μιας επιχείρησης.

Ορισμένες φορές η επιτυχία ενός σεναρίου εξοικονόμησης ενέργειας εξαρτάται και από τα εσωτερικά χαρακτηριστικά των υποσυστημάτων. Η εφαρμογή του MEE 2, όπως προαναφέραμε είχε αρνητικό αποτέλεσμα (αύξηση της ενέργειας κατά 0,063%) καθώς η παραγωγή προϊόντων από την ΚΨ2 ήταν εξαιρετικά ενεργοβόρα, οπότε η ανακατεύθυνση περισσότερων προϊόντων προς παραγωγή σε αυτό το υποσύστημα οδήγησε σε αύξηση αντί για μείωση της ενέργειας. Επίσης κατά την εφαρμογή των MEE 3 και 4, παρότι και τα δύο οδήγησαν σε μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παρατηρήσαμε ότι η εξοικονόμηση κατά την εφαρμογή του MEE 3 ήταν σχεδόν διπλάσια από την εξοικονόμηση κατά την εφαρμογή του MEE 4 (1,542% έναντι 0,822%). Όπως προέκυψε από την ανάλυση στο προηγούμενο κεφάλαιο, αυτό οφείλεται στα εσωτερικά χαρακτηριστικά του κάθε υποσυστήματος παραγωγής και ειδικότερα κατά πόσο χρειάζεται ένα σταθερό(μη μεταβλητό) ποσό ενέργειας για να λειτουργήσει.

Έχοντας αναφέρει τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την μελέτη των σεναρίων τα οποία εφαρμόζουν μεμονωμένα ΜΕΕ, θα περιγράψουμε και ορισμένα συμπεράσματα από την εφαρμογή συνδυασμού μέτρων. Η μεμονωμένη εφαρμογή των μέτρων ενδέχεται να μην αποφέρει μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Γεγονός το οποίο καθιστά την εφαρμογή τους λιγότερο ελκυστική. Καθώς όμως τα μέτρα τα οποία εφαρμόσαμε ήταν μηδενικού κόστους, ήταν αναμενόμενα αυτά τα αποτελέσματα. Η συνδυασμένη όμως εφαρμογή τους και η παρουσίαση τους ως δέσμες μέτρων αναδεικνύει την χρησιμότητα τους και τα περιθώρια εξοικονόμησης ηλεκτρισμού που υπάρχουν σε διάφορες λειτουργίες των κτιρίων των εμπορικών επιχειρήσεων. Όπως φάνηκε και στην μελέτη περίπτωσης η συνολική ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας τριπλασιάστηκε από περίπου 1% για τα περισσότερα μεμονωμένα ΜΕΕ σε περίπου 3% για τα συνδυαστικά ΜΕΕ.

Επίσης η μελέτη αυτών των σεναρίων μπορεί να αποκαλύψει δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες δεν θα υπήρχαν για μεμονωμένες περιπτώσεις. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το ΜΕΕ 2 ήταν το μοναδικό το οποίο είχε ελαφρώς αρνητική επίπτωση στη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Παρόλα αυτά η εφαρμογή του μπορούσε να οδηγήσει σε αποσυμφόρηση της παραγωγής προϊόντων. Στην εξέταση του σεναρίου εφαρμογής του ΜΕΕ 3 έχουμε περιορισμό των ωρών λειτουργίας της ΚΨ1, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μικρή αύξηση του ουράς και του χρόνου αναμονής, εξαιτίας της συγκέντρωσης πολλών παραγγελιών στην άλλη ΚΨ. Στην εξέταση του σεναρίου εφαρμογής του ΜΕΕ 10 έχουμε συνδυασμό του ΜΕΕ 2 και 3, δηλαδή κλείσιμο της ΚΨ1 για κάποιες ώρες (το οποίο οδηγεί σε λειτουργία μόνο της ΚΨ2) αλλά παράλληλα αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ2. Ο συνδυασμός αυτός οδήγησε σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 3,35%, με ελάχιστη επίπτωση στους ΒΔΑ οι οποίοι σχετίζονται με την αναμονή των πελατών. Επομένως η συνδυασμένη προσομοίωση των ΜΕΕ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το τελικό στάδιο μιας μελέτης εξοικονόμησης ενέργειας η οποία δείχνει το τελικό αποτέλεσμα και παράλληλα περιλαμβάνει τις ενδεχόμενες αλληλεπιδράσεις των μέτρων.

Η κατηγοριοποίηση κάποιων μέτρων ως θετικών εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης. Για παράδειγμα το ΜΕΕ 7 το οποίο αφορούσε στην μείωση της κατανάλωσης φωτισμού, δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί εφόσον η ένταση φωτισμού ήταν ήδη χαμηλή. Επίσης αν άλλαζε ο τρόπος χρήσης του κτιρίου πάλι θα άλλαζε και το επιθυμητό επίπεδο της έντασης φωτισμού. Στη μελέτη περίπτωσης μας το επίπεδο της έντασης φωτισμού μπορούσε να μειωθεί σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα στα 150 lux, γεγονός το οποίο έδωσε την δυνατότητα εισαγωγής του αντίστοιχου ΜΕΕ. Επίσης υπήρχε περιθώριο αύξησης της θερμοκρασίας κατά τις ώρες λειτουργίας αλλά και μη λειτουργίας. Αυτό δείχνει ότι η μελέτη εναλλακτικών σεναρίων έντασης χρήσης της ενέργειας θα πρέπει να περιέχει καταγραφή και αξιολόγηση των αποδεκτών επιπέδων ΒΔΑ στο αρχικό της στάδιο, κατά την εισαγωγή προτεινόμενων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Κατά την εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων συμπεράναμε ότι είναι πολύ δύσκολη η διατήρηση των ΒΔΑ στα στάδια της παραγωγής σε συνδυασμό με την αυξημένη εξοικονόμηση ενέργειας. Στο σημείο αυτό υπεισέρχεται ο παράγοντας των ειδικών κριτηρίων που θέτει η κάθε επιχείρηση. Τα πιο αποδοτικά σεναρία μεμονωμένων ΜΕΕ (εφαρμογή ΜΕΕ 3 και ΜΕΕ 4) συνοδεύτηκαν από πιο μεγάλη μεταβολή, σε

σχέση με τα άλλα σενάρια, του μέσου μήκους ουράς πριν την παραγγελία και των χρόνων αναμονής. Τα οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας σταθμίζονται με τις όποιες επιπτώσεις στους ΒΔΑ ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε επιχείρησης.

8.2 Περιορισμοί του μοντέλου

Ο περιορισμός της πληροφόρησης, περιορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και επίσης περιορίζει την εισαγωγή και εφαρμογή πολλών ΜΕΕ. Οι κυριότεροι περιορισμοί του μοντέλου αφορούν κυρίως σε δύο κατηγορίες πληροφόρησης: πληροφόρηση για τις κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και την πληροφόρηση για θέματα λειτουργίας της επιχείρησης.

8.2.1 Πληροφόρηση για τις κατηγορίες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Οι διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία στα κτίρια εμπορικών επιχειρήσεων. Στην προσπάθεια κατασκευής του μοντέλου σημαντικό ρόλο είχε η προσπάθεια απλοποίησης του. Επομένως σημαντικός περιορισμός του μοντέλου είναι η μη εξειδίκευση του σε όλους τους πιθανούς τύπους κτιρίων. Ενδέχεται δηλαδή σε κάποιες περιπτώσεις να μην καλύπτει επαρκώς συγκεκριμένες και εξειδικευμένες ανάγκες προσομοίωσης της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και εισαγωγής μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.

Για την ολοκληρωμένη και ακριβέστερη μελέτη απαιτούνται δεδομένα τα οποία είναι δύσκολο να αποκτηθούν καθώς ειδικά για τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζονται ολοκληρωμένα συστήματα μέτρησης και καταγραφής αποτελεσμάτων και στόχευσης(energy monitoring & targeting systems). Επιπλέον η bottom up προσέγγιση για την προσομοίωση της κατανάλωσης, δηλαδή η σύνθεση επιμέρους καταναλώσεων απαιτεί εξειδικευμένα και κατηγοριοποιημένα δεδομένα, δηλαδή είναι σημαντικό οι μετρήσεις να γίνονται ξεχωριστά για κάθε κατηγορία κατανάλωσης. Επομένως οποιοσδήποτε περιορισμός στην πληροφόρηση των καταναλώσεων έχει ως συνέπεια την μείωση της ακρίβειας του προσομοιωμένου μοντέλου μας. Τα παραπάνω, αναδεικνύουν την δυσκολία και τον περιορισμό εφαρμογής του σε περιπτώσεις κτιρίων χωρίς εξειδικευμένα δεδομένα.

8.2.2 Πληροφόρηση για θέματα λειτουργίας της επιχείρησης και τεχνικών χαρακτηριστικών

Ένα από τα νέα ζητήματα τα οποία εισάγει το μοντέλο είναι η αξιολόγηση των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας με κριτήριο τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στο επίπεδο λειτουργίας της επιχείρησης, Η ερμηνεία του επιπέδου λειτουργίας είναι πολλές φορές υποκειμενική (για παράδειγμα η ποιότητα ενός γεύματος ή η συμπεριφορά των υπαλλήλων). Επίσης πολλά στοιχεία είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν (π.χ. παραγωγικότητα εργαζομένων), άλλα είναι δύσκολο να μετρηθούν (π.χ. χρόνος παρασκευής διαφορετικών γευμάτων) και αλλά βασίζονται σε ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία δεν σχετίζονται με τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης ο περιορισμός στην πληροφόρηση σχετικά με τις λειτουργίες της

επιχείρησης δυσκολεύει την εισαγωγή διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Για παράδειγμα αν δεν γνωρίζουμε ότι ένας χώρος χρησιμεύει ως αποθήκη ή ότι είναι κενός δεν μπορούμε να προτείνουμε μείωση του καταναλισκόμενου φωτισμού. Επομένως η αξιολόγηση των ΜΕΕ βασίζεται στα διαθέσιμα στοιχεία για την λειτουργία της επιχείρησης τα οποία είναι δύσκολο να βρεθούν και επομένως περιορίζει την ευρεία και ολοκληρωμένη εφαρμογή του μοντέλου.

Επίσης ο περιορισμός στη γνώση τεχνικών χαρακτηριστικών για διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης (π.χ. κλιματισμός) ενδεχομένως περιορίζει την ακρίβεια των προσομοιωμένων αποτελεσμάτων.

8.3 Προεκτάσεις του μοντέλου

8.3.1 Δείκτες ενεργειακής απόδοσης και δείκτες μη σχετιζόμενοι άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας, αλλά με την λειτουργία της επιχείρησης

Κατά την εφαρμογή των MEE στη μελέτη περίπτωσης καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα εφαρμοζόμενα μέτρα επιδρούν ποικιλοτρόπως στον τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης. Επομένως η ανάδειξη διαφόρων δεικτών οι οποίοι δεν σχετίζονται άμεσα με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά με διάφορα λειτουργικά χαρακτηριστικά της επιχείρησης μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία στην εισαγωγή και εφαρμογή MEE και την μελέτη των επιπτώσεων τους. Για παράδειγμα στη μελέτη περίπτωσης του ταχυφαγείου με την οποία ασχοληθήκαμε, διαπιστώσαμε ότι τα ποσοστά κατανόμης των παραγγελιών οι οποίες εξέρχονται από το block *select item out* προς τις ΚΨ 1 και ΚΨ2 επηρεάζουν την κατανάλωση ηλεκτρισμού.

Αν διευρύνουμε την ανάλυση μας σε δείκτες που έχουν σχέση με την λειτουργία της επιχείρησης θα μπορούσαμε να εισάγουμε ολοκληρωμένες προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στις οποίες οι αρνητικές επιπτώσεις από την εφαρμογή ενός μέτρου στο επίπεδο λειτουργίας θα αντισταθμίζονταν από την εφαρμογή ενός έμμεσου μέτρου βελτίωσης του επιπέδου λειτουργίας. Για παράδειγμα στη μελέτη περίπτωσης που ασχοληθήκαμε, ένα MEE μείωνε την κατανάλωση ενέργειας αλλά αύξανε την ουρά αναμονής (χρήση της ΚΨ2 μόνο τις ώρες αιχμής). Συνδυασμένη εφαρμογή αυτού του μέτρου με ένα άλλο το οποίο μείωνε την ουρά αναμονής (αύξηση της χωρητικότητας της ΚΨ1) είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση του φαινομένου.

8.3.2 Ανάλυση των απαιτήσεων του μοντέλου

Μία από τις βελτιώσεις οι οποίες θα μπορούσαν να γίνουν στο μοντέλο είναι η βαθύτερη ανάλυση σε διάφορες παραμέτρους του μοντέλου, όπως:

Τύποι κτιρίων: κατάτμηση των πέντε κατηγοριών σε μικρότερες υποκατηγορίες. Για παράδειγμα περαιτέρω διαχωρισμός της κατηγορίας των νοσοκομείων σε μεγάλα νοσοκομεία και μικρές κλινικές ή διαχωρισμός της κατηγορίας των ξενοδοχείων σε μεγάλα ξενοδοχειακά συγκροτήματα και μικρά καταλύματα.

Κατηγορίες κατανάλωσης: Περισσότερη λεπτομέρεια στις κατηγορίες κατανάλωσης, όπως:

- *Φωτισμός*: εσωτερικός και εξωτερικός.
- *Κλιματισμός*: διάκριση κλιματιστικών συστημάτων ανά χώρο (για εξειδίκευση των μέτρων, π.χ. σε ένα νοσοκομείο διαφορετικές οι απαιτήσεις στην αίθουσα του χειρουργείου από ότι σε άλλους χώρους).
- *Κουζίνα* : εξειδίκευση των καταναλώσεων σε κατανάλωση παραγωγής διαφορετικών προϊόντων.

8.3.3 Γενικές επεκτάσεις

Το μοντέλο αυτής της εργασίας θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλα πεδία, όπως:

- Εφαρμογή και σε προς σχεδίαση κτίρια: η προέκταση αυτή θα διεύρυνε την χρησιμότητα του μοντέλου και στο επίπεδο της σχεδίασης κτιρίων εμπορικής χρήσης. Δηλαδή για κτίρια τα οποία δεν έχουν ακόμα κατασκευαστεί. Η επιλογή των απαιτούμενων στοιχείων και η προτυποποίηση της μεθόδου σχεδίασης ενός καινούριου κτιρίου είναι μια διαδικασία η οποία έχει πολλές ομοιότητες με το μοντέλο της εργασίας μας.
Ο προσανατολισμός λοιπόν μιας έρευνας η οποία να περιλαμβάνει και τέτοιου είδους μελέτες θα αναδείκνυε τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να επιτύχουμε την προσομοίωση σε κτίρια για τα οποία δεν έχουμε πραγματικά δεδομένα (καθότι δεν έχουν ακόμα κατασκευαστεί), αλλά και τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να πετύχουμε την βέλτιστη και πιο αποδοτική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσαμε να μιλάμε αντί για μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας για μεθόδους βέλτιστου ενεργειακού σχεδιασμού.
- Εργαλείο ανάλυσης περιβαλλοντικών επιπτώσεων: μια πολύ σημαντική επέκταση του μοντέλου θα ήταν να συμπεριλάβει δείκτες μέτρησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για παράδειγμα εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα συνολικά, ανά προϊόν και άλλα.
- Εργαλείο οικονομικής ανάλυσης: Καθώς ένα από τα κίνητρα της μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι η μείωση του κόστους θα μπορούσε να επεκταθεί το μοντέλο στον τομέα της οικονομικής ανάλυσης διάφορων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Θα ήταν χρήσιμη η σύνδεση των MEE με ζητήματα όπως, το κόστος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh, νυχτερινό τιμολόγιο, τιμολόγια σε εγκαταστάσεις με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ), ή η διαδικασία υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης μιας επένδυσης (αρχικό κεφάλαιο, κέρδος κλπ.).
- Εισαγωγή άλλων μορφών ενέργειας όπως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και άλλα.
- Εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις: Η επέκταση του μοντέλου στον βιομηχανικό τομέα θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρουσα. Η φύση των λειτουργιών παραγωγής στον βιομηχανικό τομέα διευκολύνει τις μεθόδους καταγραφής και αξιολόγησης της κατανάλωσης ενέργειας. Θα ήταν εξαιρετικά σημαντικό το γεγονός ότι τα ενδεχόμενα MEE θα μπορούσαν να αξιολογηθούν με πιο χειροπιαστά και ποσοτικοποιημένα μεγέθη όπως ο χρόνος παραγωγής κάποιων εξαρτημάτων, ο όγκος της παραγωγής κλπ. Τα προγράμματα προσομοίωσης διαδικασιών, όπως το ExtendSim8 που χρησιμοποιήσαμε, είναι ιδανικά για την προσομοίωση της βιομηχανικής παραγωγής.

Το μοντέλο της εργασίας μας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους σε ηλεκτρονικές και διαδικτυακές εφαρμογές, όπως:

- Εταιρικά συστήματα ενεργειακής διαχείρισης: Διάφορες μεγάλες εταιρείες διαθέτουν ίδιου τύπου καταστήματα σε διάφορες περιοχές (για παράδειγμα αλυσίδα fastfood). Η προτυποποίηση των καταναλώσεων η οποία προσφέρει το μοντέλο μας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μία εφαρμογή παρακολούθησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των διαφόρων κτιρίων. Θα μπορούσε να γίνεται σύγκριση ανάμεσα στα κτίρια ως προς το ενεργειακό προφίλ τους και τον τρόπο και τον βαθμό της εξοικονόμησης ενέργειας. Δείκτες ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να κινητοποιήσουν εργαζόμενους και διευθυντές στην εφαρμογή μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας. Ο συνδυασμός όλων αυτών θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο πλαίσιο προγραμμάτων εταιρικής ευθύνης για θέματα προστασίας του περιβάλλοντος.
- Διασύνδεση λογισμικού προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών με λογισμικό Προσομοίωσης Ενεργειακής Κατανάλωσης Κτιρίων: Επίσης μια άλλη εφαρμογή στην οποία θα ήταν χρήσιμα τα συμπεράσματα του μοντέλου θα ήταν μια πλατφόρμα διασύνδεσης προγραμμάτων προσομοίωσης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων, όπως το EnergyPlus και προγραμμάτων προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών , όπως το ExtendSim. Θα μπορούσαν να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα των δύο προγραμμάτων και να μεγαλώσει το εύρος των περιπτώσεων προς εφαρμογή.
- Διασύνδεση προγραμμάτων με βάση MEE: Μια πολύ ενδιαφέρουσα προσθήκη θα ήταν η δημιουργία μιας διαδικτυακής βάσης δεδομένων MEE. Διάφοροι χρήστες θα μπορούσαν να καταχωρούν τις ιδέες τους για διάφορες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας ή ακόμα και συγκεκριμένα αρχεία εφαρμογής τους και κατόπιν ο χρήστης θα μπορούσε να επιλέξει όποιο μέτρο ήθελε για να το εφαρμόσει στο μοντέλο του.
- Ηλεκτρονική διασύνδεση τιμολογιακών πολιτικών επιχειρήσεων ηλεκτρισμού.

9. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42(3), 1298-1314.

Boyano, A., Hernandez, P., & Wolf, O. (2013). Energy demands and potential savings in european office buildings: Case studies based on energyplus simulations. *Energy and Buildings*.

Carbon Trust, The, (2011). *Energy Management Guide*. [online] Available at: <www.carbontrust.com/media/13187/ctg054_energy_management.pdf> [Accessed 2 May 2013].

Carriere, M., Schoenau, G. J., & Besant, R. W. (1999). Investigation of some large building energy conservation opportunities using the DOE-2 model. *Energy conversion and Management*, 40(8), 861-872.

Carriere, M., Schoenau, G. J., & Besant, R. W. (1999). Investigation of some large building energy conservation opportunities using the DOE-2 model. *Energy conversion and Management*, 40(8), 861-872.

Council. (2007). *Council conclusions of 2 May 2007 7224/1/07*. Council of the European Union, Brussels.

Gugele, B., Huttunen, K., Ritter, M., & Gager, M. (2003). Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2001 and inventory report 2003. *Eur. Environ. Agency, Copenhagen*.

Hong Kong. Electrical and Mechanical Services Dept. (1998). *Guidelines on Energy Efficiency of Air Conditioning Installation*, 1998 edition.

Iqbal, I., & Al-Homoud, M. S. (2007). Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate. *Building and environment*, 42(5), 2166-2177.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. John Wiley & Sons.

Mathews, E. H., Botha, C. P., Arndt, D. C., & Malan, A. (2001). HVAC control strategies to enhance comfort and minimise energy usage. *Energy and buildings*, 33(8), 853-863.

Mavromatidis, G., Acha, S., & Shah, N. (2013). Diagnostic Tools of energy performance for supermarkets using Artificial Neural Network algorithms. *Energy and Buildings*.

Pan, Y., Huang, Z., & Wu, G. (2007). Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai. *Energy and Buildings*, 39(6), 651-657.

Poel, B. (2007). *EPA-NR Energy Performance Assessment for Existing Non Residential Buildings, Overview of Results*. Arnhem, The Netherlands. EPA-NR.

Santamouris, M., Argiriou, A., Dascalaki, E., Balaras, C., & Gaglia, A. (1994). Energy characteristics and savings potential in office buildings. *Solar Energy*, 52(1), 59-66.

Tassou, S. A., Ge, Y., Hadaway, A., & Marriott, D. (2011). Energy consumption and conservation in food retailing. *Applied Thermal Engineering*, 31(2), 147-156.

US Environmental Protection Agency <www.epa.gov>

European Environment Agency, 2008. *EN18 Electricity Consumption*. [online] Available at: <www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/en18-electricity-consumption-1/nbsp-18en/at_download/file> [accessed 15 December 2013]

Eurostat, 2012. *Headline indicators*. [online] Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/europe_2020_indicators/headline_indicators> [accessed 15 September 2013]

Priambodo, A., & Kumar, S. (2001). Energy use and carbon dioxide emission of Indonesian small and medium scale industries. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1335-1348.

Markis, T., & Paravantis, J. A. (2007). Energy conservation in small enterprises. *Energy and Buildings*, 39(4), 404-415.

Gibbons, J. H., & Gwin, H. L. (2004). History of conservation measures for energy. *Encyclopedia of Energy*, 1, 649-659.

US Energy Information Administration <www.eia.gov>

McDonald's. <<http://www.aboutmcdonalds.com>>

United Parcel Service of America, Inc. <<http://www.responsibility.ups.com>>

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2008. *Defining Energy Efficiency*. [online] Available at: <http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/energy_efficiency_definition.pdf> [accessed 15 December 2013]

E.O. Lawrence Berkeley National Laboratory. *What is energy efficiency?*. Available at: <<http://eetd.lbl.gov/ee/>> [accessed 15 December 2013]

Spyropoulos, G. N., & Balaras, C. A. (2011). Energy consumption and the potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches—a case study. *Energy and Buildings*, 43(4), 770-778.

Rahman, M. M., Rasul, M. G., & Khan, M. M. K. (2010). Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Applied Energy*, 87(10), 2994-3004.

Fasiuddin, M., & Budaiwi, I. (2011). HVAC system strategies for energy conservation in commercial buildings in Saudi Arabia. *Energy and Buildings*, 43(12), 3457-3466.

Ryu, K., Han, H., & Kim, T. H. (2008). The relationships among overall quick-casual restaurant image, perceived value, customer satisfaction, and behavioral intentions. *International Journal of Hospitality Management*, 27(3), 459-469.

Ha, J., & Jang, S. S. (2010). Effects of service quality and food quality: The moderating role of atmospherics in an ethnic restaurant segment. *International Journal of Hospitality Management*, 29(3), 520-529.

Bitner, M. J. (1992). Servicescapes: the impact of physical surroundings on customers and employees. *The Journal of Marketing*, 57-71.

Efficiency Valuation Organization, 2012. *International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume 1*.

ImagineThat Inc (2010). *ExtendSim8 User Guide*. Available at: <http://www.extendsim.com/support_manuals.html> [accessed 15 April 2013]

Efficiency Valuation Organization, 2012. *International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume 1*.

Ministry of Environment, Energy & Climate Change, National Committee for Meeting 20-20-20 Targets and Other Requirements (20-20-20 Committee) (2009). *National renewable energy action plan in the scope of directive 2009/28/ec*

U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 2.1 (April 2013), preliminary 2012 data

Eurostat (2013). *Energy transport and environment indicators*, eurostat pocketbooks

U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review* (November 2013)

Bouranta, N., Chitiris, L., & Paravantis, J. (2009). The relationship between internal and external service quality. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 21(3), 275-293.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Πετρόπουλος Φ., & Ασημακόπουλος Β. (2011). *Επιχειρησιακές Προβλέψεις* [Business Forecasting], εκδόσεις Συμμετρία.

Βασίλης Σ. Κουϊκόγλου, (2002). *Σημειώσεις Μαθήματος «Προσομοίωση»*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ανδρέας Κ. Γεωργίου, (2008). *Πανεπιστημιακές Παραδόσεις «Τεχνικές Προσομοίωσης στη διοίκηση επιχειρήσεων»*, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, *Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Συστήματα HVAC*. Διαθέσιμο στο:

<<http://www.cres.gr/kape/publications/download.htm>>

Φ. Τοπαλής, Λ. Οικονόμου, Σ. Κουρτέση (2010), *Φωτοτεχνία*. Εκδόσεις: Τζιόλα

Σπηλιώτης Ευάγγελος (2013), *Πρόβλεψη Ενεργειακής Κατανάλωσης Κτιρίων και Εντάσεων Χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης*, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ.

Λεγάκη Ι. Νικολέττα – Ζαμπέτα (2012), *Μελέτη Εναλλακτικής Προσέγγισης της Μεθοδολογίας Croston μέσω Εμπειρικής Εφαρμογής Μεθόδων Χρονοσειρών*, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ.

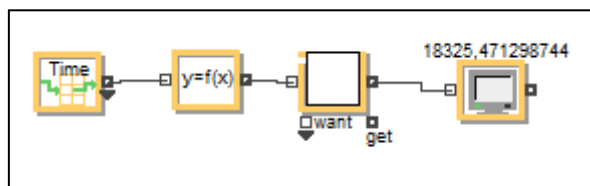
Ιωάννης Ψαρράς, Κων/νος Δ. Πατλιτζιάνας (2006). *Σημειώσεις: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παράρτημα

A. Τμήμα κώδικα εισηγμένο σε blocks του μοντέλου

i) Τμήμα κώδικα στο στάδιο της προσομοίωσης της κατανάλωσης του κλιματιστικού συστήματος

Στο στάδιο της προσομοίωσης του κλιματιστικού συστήματος απαιτήθηκε η εισαγωγή ενός τμήματος κώδικα σε γλώσσα ModL (γλώσσα προγραμματισμού ανεπτυγμένη ειδικά για το πρόγραμμα ExtendSim η οποία μοιάζει αρκετά με την γλώσσα C). Το τμήμα του κώδικα εισήχθη στο παράθυρο διαλόγου του block Equation Οι συνδέσεις του οποίου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 84: Συνδέσεις του block Equation στην προσομοίωση κλιματισμού στο ExtendSim8

Το block Equation έχει μία είσοδο (inCon0) από το block Lookup Table, το οποίο τροφοδοτεί τις ωριαίες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας, όπως ορίστηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο και μία έξοδο(outCon0) η οποία αποτυπώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

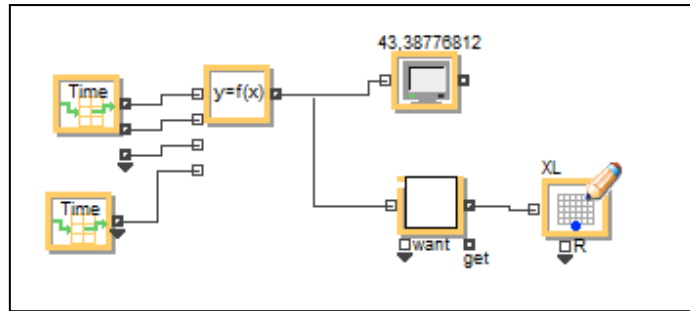
Τμήμα κώδικα:

```
outCon0 = (inCon0*2.2343)+28.598; // outCon0 : ο ακροδέκτης
// εξόδου
// inCon0 : ο ακροδέκτης
//εισόδου από
//το block Lookup Table, ο
//οποίος αντιπροσωπεύει την
//αριθμητική διαφορά
```

Εικόνα 85: Τμήμα κώδικα εισηγμένο στο block Equation

ii)) Τμήμα κώδικα στο στάδιο της προσομοίωσης της κατανάλωσης του φωτιστικού συστήματος

Στο στάδιο της προσομοίωσης του φωτιστικού συστήματος απαιτήθηκε επίσης η εισαγωγή ενός τμήματος κώδικα σε γλώσσα ModL. Το τμήμα του κώδικα εισήχθη στο παράθυρο διαλόγου του block Equation Οι συνδέσεις του οποίου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 86: Συνδέσεις του block Equation στην προσομοίωση φωτισμού στο ExtendSim8

Οι χαρακτηριστικές ονομασίες των συνδέσμων φαίνονται στο παράθυρο διαλόγου του block Equation παρακάτω.

| Input Variables | | | | Output Variables (results) | | | |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------------------|---------------|---------------|----------------|
| | Variable Type | Variable Name | Variable Value | | Variable Type | Variable Name | Variable Value |
| 1 | Connector 0 | time_of_day | 23 | 1 | Connector 0 | out | 43,38776812 |
| 2 | Connector 1 | lux | 188,4574649 | | | | |
| 3 | Connector 2 | energylighting | 43,02533328 | | | | |
| 4 | Connector 3 | reducedenergy | 43,38776812 | | | | |

Εικόνα 87: Ονομασίες των συνδέσμων του block Equation

Το block Equation έχει τέσσερις εισόδους.

Η είσοδος *time_of_day* αποδίδει την ώρα της ημέρας, έτσι ώστε να γίνεται ο έλεγχος του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας.

Η είσοδος *lux* αποδίδει την τιμή της έντασης φωτισμού, έτσι ώστε να γίνεται ο έλεγχος εφαρμογής του μέτρου μείωσης της κατανάλωσης.

Η είσοδος *energy lighting* αποδίδει την τιμή της κατανάλωσης ενέργειας πριν την εφαρμογή του MEE.

Η είσοδος *reducedenergy* αποδίδει την τιμή της κατανάλωσης ενέργειας μετά την εφαρμογή του MEE.

Τμήμα κώδικα:

```
Real hf;
integer sunset;

hf=150.0;
if (time_of_day > 3 AND time_of_day < 18)

    sunset = 0 ;

else

    sunset = 1 ;

if ((lux >= hf) AND (sunset == 1))

    {out = reducedenergy;}

else

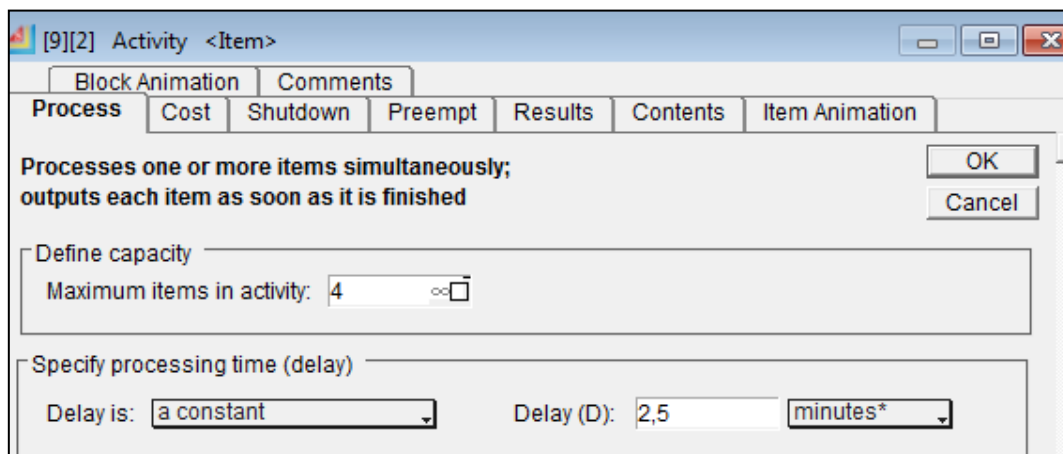
    {out = energylighting;}
```

Εικόνα 88: Τμήμα κώδικα εισηγμένο στο block Equation

B. Εικόνες του μοντέλου υλοποιημένου με το πρόγραμμα ExtendSim8

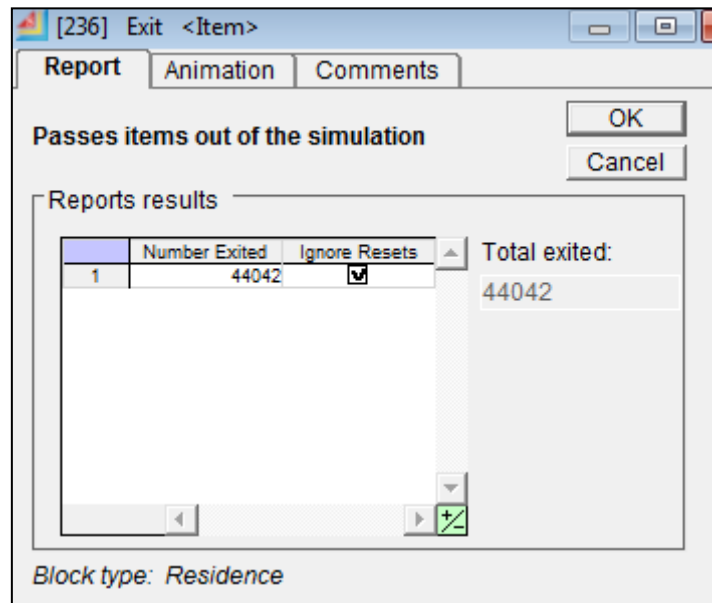
Παρακάτω παρατίθενται εικόνες των blocks του μοντέλου και των εσωτερικών τους παραθύρων διαλόγου.

i) Το block Activity αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά block του μοντέλου μας καθώς αναπαριστά τον χρόνο και την ποσότητα παραγωγής στους χώρους παραγωγής (Κουζίνα & Ψύξη 1, Κουζίνα & Ψύξη 2, Φριτζές). Παρακάτω ακολουθεί το παράθυρο διαλόγου του όπως εφαρμόστηκε για την υλοποίηση της παραγωγής της ΚΨ1.



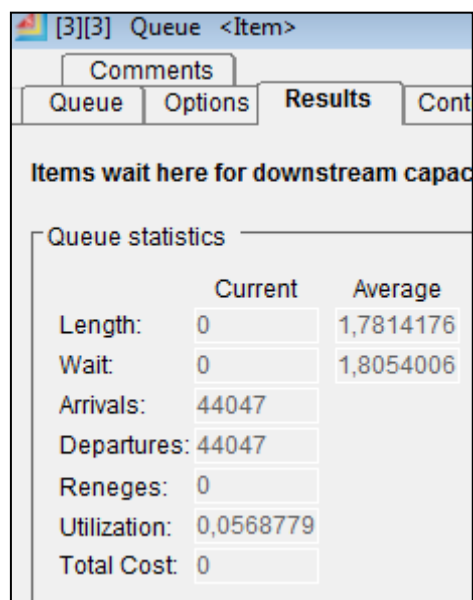
Εικόνα 89: Παράθυρο διαλόγου του block Activity

ii) Το block Exit είναι το τέλος του μοντέλου στο οποίο καταλήγουν όλα τα items που έχουν δημιουργηθεί. Εμφανίζει τον αριθμό των εξερχόμενων πελατών.



Εικόνα 90: Παράθυρο διαλόγου του block Exit

iii) Το block Queue είναι από τα πιο σημαντικά block του μοντέλου. Παρακάτω παρατίθεται η καρτέλα results του παραθύρου διαλόγου του από την οποία αντήσαμε τα αποτελέσματα μας για διάφορα συμπεράσματα του μοντέλου.



Εικόνα 91: Καρτέλα results του block Queue