



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ  
ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Ν. ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ**

**Επιβλέπων:** Βασίλειος Ασημακόπουλος

Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

**Υπεύθυνοι:** Αχιλλέας Ράπτης

Νικολέττα Ζαμπέτα Λεγάκη

Αθήνα, Ιούλιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ  
ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Ν. ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ**

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

**Υπεύθυνοι:** Αχιλλέας Ράπτης  
Νικολέττα Ζαμπέτα Λεγάκη

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την <sup>η</sup> Ιουλίου 2013

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

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

.....  
Δημήτριος Ασκούνης  
Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....  
**ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Ν. ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ**

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

Copyright © Ευάγγελος Ν. Σπηλιώτης, 2013

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 τους συγγραφείς.

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

## Πρόλογος

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

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Βασίλη Ασημακόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των προβλέψεων ενεργειακής κατανάλωσης και για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις του σε κάθε ζήτημα που προέκυψε κατά την περαίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την τιμή που μας έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Διδάκτορα κ. Φώτιο Πετρόπουλο για την επαφή στην οποία με έφερε με τον κλάδο των προβλέψεων και για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που έδειξε στην εξέλιξη της διπλωματικής μου εργασίας και στη μετέπειτα πορεία μου.

Θα ήθελα, τέλος, να ευχαριστήσω τον Αχιλλέα Ράπτη και τη Νικολέττα Ζαμπέτα Λεγάκη για την καθοδήγησή τους και τη συνεχή τους βοήθεια στην προσπάθεια ολοκλήρωσης της παρούσας μελέτης, όπως και τους υπόλοιπους συναδέλφους που δραστηριοποιούνται στη μονάδα.

Ευάγγελος Σπηλιώτης

Αθήνα, Ιούλιος 2013

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας με τη βοήθεια της οποίας θα γίνεται εφικτή η πρόβλεψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε ενεργοβόρες κατηγορίες κτηρίων, όπως εστιατόρια, γραφεία, ξενοδοχεία, νοσοκομεία και supermarkets, μέσω της αξιοποίησης δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης. Συγκεκριμένα, καθορίζονται οι πιο αντιπροσωπευτικοί δείκτες ανά ενεργειακή χρήση μέσα στο κτήριο (κλιματισμός, φωτισμός, κουζίνες, ψυγεία κ.α.) και εφαρμόζοντας στις χρονοσειρές αυτών τεχνικές προβλέψεων χρονοσειρών προβλέπεται και αξιολογείται η μελλοντική ενεργειακή επίδοση του κτηρίου. Η ύπαρξη μίας τέτοιας μεθοδολογίας προβλέψεων κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη στις μέρες μας δεδομένης της ανάγκης εξοικονόμησης ενέργειας που υπάρχει για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους.

Εισαγωγικά, παρουσιάζονται η έννοια του δείκτη, οι λόγοι και τα πλεονεκτήματα υιοθέτησής του ως μέσο έρευνας, ενώ στη συνέχεια γίνεται διεξοδική βιβλιογραφική επισκόπηση ενεργειακών δεικτών που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των ενεργοβόρων κτηρίων που προαναφέρθηκαν και παρουσιάζεται η εικόνα που εμφανίζουν οι διάφορες ενεργειακές χρήσεις εντός αυτών. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι σημαντικότερες έννοιες των προβλέψεων, ενώ αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών και η διαδικασία επεξεργασίας τους που προηγείται της πρόβλεψης. Ύστερα από έκθεση των μεθόδων πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθούν, παρουσιάζονται δείκτες μέτρησης της ακρίβειας και περιγράφεται η διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης κάθε φορά τεχνικής, μέσω ελαχιστοποίησης του σφάλματος.

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας, περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία προβλέψεων που αναπτύχθηκε, ενώ γίνεται και μία αναφορά στο πρόγραμμα Rstudio που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η εργασία περιλαμβάνει και δύο σενάρια μελέτης, το ένα σε εστιατόριο τύπου ταχυφαγείου και το άλλο σε γραφεία τύπου τραπεζής, προκειμένου να εξακριβωθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου και η ακρίβειά της.

Λέξεις Κλειδιά: Τεχνικές Προβλέψεων, Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας, Δείκτες Ενεργειακής Κατανάλωσης, Ενεργειακή Αξιολόγηση

## **Abstract**

The aim of this thesis is to develop a methodology with which it is becoming possible to predict the power consumption in energy-intensive buildings, such as restaurants, offices, hotels, hospitals and supermarkets, through a range of energy performance indicators. Specifically, the most representative indicators per energy sector of the building (HVAC, lighting, kitchen, refrigerators, etc.) are defined and time series forecasting methods are applied at its time series, in order to predict and evaluate future energy performance of the building. The existence of such a forecasting methodology is particularly useful nowadays, given the need of saving energy, due to economic and environmental reasons.

First of all, the concept of index is presented, with particular emphasis given on the advantages that its adoption as a research tool provide. Moreover, a thorough bibliographic review of energy performance indicators used for monitoring energy-intensive buildings listed above is made, while the usual breakdown of energy sectors within them is noted. After describing the main notions of forecasting, the author presents the time series characteristics, as well as the data preprocess that precedes the forecast. In addition, the exposure of the forecasting methods that will be used is followed by definition of important accuracy metrics and description of the best technique's selection process, which is realized through error minimization.

In the last part of the thesis, the developed forecasting methodology is presented in detail, while a general reference to the program Rstudio used to export its results is being made. The thesis also includes two case-studies, one of a fast-food restaurant and one of bank branches, in order to determine the effectiveness and the accuracy of the method.

Key words: forecasting techniques, energy saving techniques, energy performance indicators, energy assessment





# Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract .....	7
Πίνακας Περιεχομένων .....	9
Πίνακας Εικόνων.....	13
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	17
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	17
1.2 Δομή της εργασίας .....	19
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Επισκόπηση των Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης .....	23
2.1 Η Έννοια του Δείκτη.....	23
2.2 Εισαγωγή Στους Δείκτες Ενεργειακής Κατανάλωσης (Energy Performance Indicators- EPI's) .....	25
2.3 Κατηγοριοποίηση EPI's.....	27
2.3.1 Μία απλοποιημένη κατηγοριοποίηση .....	27
2.3.2 Κατηγοριοποίηση κατά IEA .....	28
2.4 Τα πλέον χρησιμοποιούμενα EPI's.....	30
2.5 Τα EPI's που χρησιμοποιούν Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις για την ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων .....	32
2.5.1 EPI's Ολλανδίας .....	32
2.5.2 EPI's Πορτογαλίας.....	33
2.6 Ο Συνθετικός Δείκτης (Compositive Indicator – CI).....	35
Κεφάλαιο 3: Οι ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης σε βασικές κατηγορίες κτιρίων του τριτογενούς τομέα .....	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Εστιατόρια.....	42
3.3 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Ξενοδοχεία.....	48
3.4 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Supermarkets .....	64
3.5 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Νοσοκομεία.....	69
3.6 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Τράπεζες .....	75
Κεφάλαιο 4: Τεχνικές Προβλέψεων.....	81
4.1 Γενικά για τις Προβλέψεις .....	81

4.2 Χαρακτηριστικά Χρονοσειρών .....	83
4.2.1 Η έννοια, οι τύποι και η αναπαράσταση των χρονοσειρών .....	83
4.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Χρονοσειρών .....	84
4.3 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης.....	88
4.3.1 Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης .....	88
4.3.2 Οι Ποσοτικές Μέθοδοι.....	89
4.4 Βασικές Μέθοδοι Πρόβλεψης .....	92
4.4.1 Naive ή Απλοϊκή Μέθοδος .....	93
4.4.2 Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing-SES) .....	94
4.4.3 Εκθετική Εξομάλυνση Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing).....	96
4.4.4 Εκθετική Εξομάλυνση Μη Γραμμικής Τάσης (Damped) .....	97
4.4.5 Μοντέλο Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (LRL) .....	99
4.4.6 Μοντέλο Theta .....	100
4.5 Επιλογή Μεθόδου Πρόβλεψης .....	101
4.6 Στατιστική Ανάλυση και Ακρίβεια Προβλέψεων .....	103
4.6.1 Σφάλματα στις Προβλέψεις .....	103
4.6.2 Ο Δείκτης Συσχέτισης.....	105
Κεφάλαιο 5: Μέθοδος Πρόβλεψης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης - EPI's. ....	107
5.1 Η Ιδέα της Μεθόδου .....	107
5.2 Εντοπισμός Χρήσεων Κτιρίου .....	108
5.3 Επιλογή Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης για τη Παρακολούθηση της Κάθε Χρήσης .....	110
5.4 Πρόβλεψη Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά Χρήση.....	112
5.5 Πρόβλεψη Συνολικής Ηλεκτρικής Κατανάλωσης Κτηρίου .....	114
5.6 Το RStudio ως Εργαλείο Προβλέψεων .....	115
5.6.1 Δύο λόγια για το Rstudio .....	115
5.6.2 Παρουσίαση της λειτουργίας του Rstudio.....	117
Κεφάλαιο 6: Case-Study σε εστιατόριο τύπου ταχυφαγείου.....	127
6.1 Περιγραφή εστιατορίου και συλλογή στοιχείων .....	127
6.2 Δημιουργία δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση και αυτοσυσχέτιση .....	129
6.2.1 Κουζίνα 1.....	129
6.2.2 Κουζίνα 2.....	132
6.2.3 Κλιματισμός.....	135

6.2.4 Φριτέζες .....	138
6.2.5 Φωτισμός .....	141
6.3 Πρόβλεψη ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση .....	145
6.3.1 Κουζίνα 1 .....	145
6.3.2 Κουζίνα 2 .....	148
6.3.3 Φριτέζες .....	151
6.3.4 Κλιματισμός.....	153
6.3.5 Φωτισμός .....	156
6.4 Παραγωγή προβλέψεων για τη συνολική κατανάλωση του κτιρίου .....	159
Κεφάλαιο 7: Case-Study σε γραφεία τύπου τραπέζης .....	163
7.1 Περιγραφή του προβλήματος και δομή της μελέτης.....	163
7.2 Εύρεση βέλτιστου ενεργειακού δείκτη κατανάλωσης ανά χρήση .....	164
7.3 Παραγωγή προβλέψεων ανά χρήση .....	172
7.3.1 Υποκατάστημα Αττικής .....	172
7.3.2 Υποκατάστημα Γλυφάδας .....	180
7.3.3 Υποκατάστημα κέντρου Αθήνας.....	180
7.3.4 Υποκατάστημα Παλλήνης .....	180
7.3.5 Υποκατάστημα Χολαργού .....	180
7.4 Παραγωγή προβλέψεων για το σύνολο της κατανάλωσης των καταστημάτων .....	182
7.4.1 Υποκατάστημα Αττικής .....	182
7.4.2 Υποκατάστημα Γλυφάδας .....	182
7.4.3 Υποκατάστημα κέντρου Αθήνας.....	183
7.4.4 Υποκατάστημα Παλλήνης .....	184
7.4.5 Υποκατάστημα Χολαργού .....	184
7.5 Παρατηρήσεις επί του πειράματος.....	185
Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα και προεκτάσεις .....	191
8.1 Συνοπτικά αποτελέσματα της εργασίας.....	191
8.2 Μελλοντικές προεκτάσεις .....	193
Βιβλιογραφία.....	197



# Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.6.1: Παράδειγμα εφαρμογής συνθετικού δείκτη για αξιολόγηση ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίου .....	38
Εικόνα 3.2.1: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε εστιατόρια κατά EnergyStar ...	43
Εικόνα 3.2.2: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε εστιατόρια .....	43
Εικόνα 3.2.3: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε εστιατόρια Sustainable Foodservice .....	45
Εικόνα 3.2.4: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τετραγωνικό feet σε εστιατόρια .....	45
Εικόνα 3.2.5: Κόστος λειτουργίας ανά τετραγωνικό feet σε εστιατόρια .....	46
Εικόνα 3.2.6: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εστιατόρια ανά χρήση και κλιματική ζώνη.....	47
Εικόνα 3.3.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε ξενοδοχεία στις Η.Π.Α ανά χρήση .....	49
Εικόνα 3.3.2: Διακύμανση κατανάλωσης ενέργειας σε ξενοδοχεία των Η.Π.Α. ....	49
Εικόνα 3.3.3: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε ξενοδοχεία στην Αυστραλία ανά χρήση .....	50
Εικόνα 3.3.4: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με επιφάνεια ξενοδοχείου.....	53
Εικόνα 3.3.5: Συσχέτιση ετήσιας καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με συνολική επιφάνεια ξενοδοχείου .....	54
Εικόνα 3.3.6: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με αριθμό δωματίων ξενοδοχείου.....	55
Εικόνα 3.3.7: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με νύχτες διανυκτέρευσης πελατών σε ξενοδοχεία .....	56
Εικόνα 3.3.8: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αξιολόγησης ξενοδοχείου.....	57
Εικόνα 3.3.9: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αξιολόγησης ξενοδοχείων στη Σιγκαπούρη .....	58
Εικόνα 3.3.10: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αριθμού εργαζομένων σε ξενοδοχεία.....	59
Εικόνα 3.3.11: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείων με αριθμό εργαζομένων (αριστερά) και αριθμό ψυγείων (δεξιά) σε αυτά κατά EnergyStar .....	60
Εικόνα 3.3.12: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείων με αριθμό ημερών λειτουργίας κλιματισμού (για ψύξη) σε αυτά κατά EnergyStar .....	60
Εικόνα 3.3.13: Παρουσίαση εποχικότητας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης και συσχέτισής της με τη θερμοκρασία.....	61
Εικόνα 3.3.14: Παρουσίαση σχέσης κλίματος και ηλεκτρικής κατανάλωσης στη Νέα Ζηλανδία.....	63
Εικόνα 3.4.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε supermarket στις Η.Π.Α ανά χρήση .....	65
Εικόνα 3.4.2: Διασπορά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στις Η.Π.Α κατά EnergyStar.....	65
Εικόνα 3.4.3: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στις Η.Π.Α ανά χρήση κατά U.S. Energy Information Administration .....	66
Εικόνα 3.4.4: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στην Ευρώπη ανά χρήση .....	66

Εικόνα 3.4.5: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarkets με ωράριο λειτουργίας, αριθμό ψυγείων και αριθμό ημερών λειτουργίας κλιματισμού (για ψύξη) σε αυτά κατά EnergyStar.....	68
Εικόνα 3.5.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε νοσοκομεία της Αμερικής.....	70
Εικόνα 3.5.2: Καταμερισμός κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε νοσοκομεία της Μαλαισίας.....	71
Εικόνα 3.6.1: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με εβδομαδιαίο ωράριο λειτουργίας σε γραφεία .....	76
Εικόνα 3.6.2: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με αριθμό εργαζομένων σε γραφεία.....	77
Εικόνα 3.6.3: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με CDD σε γραφεία .....	77
Εικόνα 4.2.2.1: Παράδειγμα χρονοσειράς με τάση: Το πλήθος οικοδομών στις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. από το 1994 έως το 2006 εμφανίζει αυξητική τάση .....	84
Εικόνα 4.2.2.2: Παράδειγμα χρονοσειράς με εποχικότητα: Οι πωλήσεις των παγωτών παρουσιάζουν έντονη εποχικότητα με μέγιστη ζήτηση τον Ιούλιο. ....	85
Εικόνα 4.2.2.3: Παράδειγμα χρονοσειράς με κύκλο: Η τιμή του χρυσού παρουσιάζει κυκλικότητα ανά πενταετία .....	86
Εικόνα 4.2.2.4: Παράδειγμα χρονοσειράς με τυχαιότητα: Συνεδρίαση Down Jones, μία χρονοσειρά γεμάτη τυχαιότητα.....	86
Εικόνα 4.3.2.2.1: Αποεποχικοποίηση χρονοσειράς με Fixed Multiplicative Method χρησιμοποιώντας Rstudio.....	90
Εικόνα 5.2.1: Ο διαχωρισμό της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης σε ένα ταχυφαγείο της Κύπρου.....	109
Εικόνα 5.6.1.1: Το περιβάλλον του Rstudio: Ευχάριστο και λειτουργικό.....	115
Εικόνα 5.6.2.1: Απεικόνιση εισακτέας από αρχείο χρονοσειράς στο Rstudio.....	118
Εικόνα 5.6.2.2: Αποτελέσματα ανάλυσης χρονοσειράς με απλή πολλαπλασιαστική αποεποχικοποίηση με χρήση του προγράμματος Rstudio.....	119
Εικόνα 5.6.2.3: Διάγραμμα αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς, όπως αυτό προέκυψε απ' το Rstudio .....	120
Εικόνα 5.6.2.4: Πρόβλεψη επί της εκατό κατανάλωσης φωτισμού με χρήση απλής γραμμικής παλινδρόμησης μέσω Rstudio .....	121
Εικόνα 5.6.2.5: Η γραμμή εντολών στο Rstudio με την οποία γίνεται εισαγωγή, απεικόνιση, αποεποχικοποίηση και πρόβλεψη χρονοσειρών .....	122
Εικόνα 6.3.1.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 1.....	146
Εικόνα 6.3.1.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 1 και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου Theta .....	147
Εικόνα 6.3.2.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2 .....	148
Εικόνα 6.3.2.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2.....	149
Εικόνα 6.3.2.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2 και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου Theta .....	149
Εικόνα 6.3.3.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες.....	151
Εικόνα 6.3.3.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες.....	151

Εικόνα 6.3.3.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου LRL.....	152
Εικόνα 6.3.4.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό .....	153
Εικόνα 6.3.4.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό .....	154
Εικόνα 6.3.4.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου LRL .....	154
Εικόνα 6.3.5.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό .....	156
Εικόνα 6.3.5.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό .....	156
Εικόνα 6.3.5.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου damped .....	157
Εικόνα 7.3.1.1.1: Η χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής .....	172
Εικόνα 7.3.1.1.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής.....	173
Εικόνα 7.3.1.1.3: Πρόβλεψη της επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου Theta.....	173
Εικόνα 7.3.1.2.1: Η χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση των συνδεδεμένων σε UPSσυσκευών στο υποκατάστημα Αττικής .....	175
Εικόνα 7.3.1.2.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση των συνδεδεμένων σε UPSσυσκευών στο υποκατάστημα Αττικής .....	175
Εικόνα 7.3.1.3: Πρόβλεψη της επί τις εκατό κατανάλωση της χρήσης των συνδεδεμένων σε UPSσυσκευών στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου Damped.....	176
Εικόνα 7.3.1.3.1: Η χρονοσειρά kWh/εργαζόμενο της χρήση του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής .....	177
Εικόνα 7.3.1.3.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά kWh/εργαζόμενο της χρήση του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής.....	178
Εικόνα 7.3.1.3.3: Πρόβλεψη της χρονοσειράς kWh/εργαζόμενο της χρήσης του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου Damped .....	179
Εικόνα 7.5.1: Τα μέσα ποσοστιαία απόλυτα σφάλματα στα πέντε υποκαταστήματα ανά ημέρα. ....	186





# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων αποτελούσε πάντα για τους εκάστοτε ενδιαφερόμενους ένα κεφάλαιο μέγιστης σημασίας, καθώς είναι στενά συνδεδεμένο τόσο με τις οικονομικές υποχρεώσεις του ιδιοκτήτη και του προσώπου που το εκμεταλλεύεται, όσο και με την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικά βήματα στη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, στην παρακολούθηση και καταγραφή των επιδόσεών τους και την εύρεση έξυπνων λύσεων που θα δώσουν τις επιθυμητές βελτιώσεις με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Μία μέθοδος παρακολούθησης της συμπεριφοράς των κτιρίων, που αναπτύχθηκε κυρίως απ' τη δεκαετία του '90 και μετά, είναι η χρήση δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης. Η φιλοσοφία πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι ότι αντί να ελέγχεται η τιμή της κατανάλωσης ενέργειας της εγκατάστασης καθαυτή, υπολογίζονται και παρακολουθούνται δείκτες κατανάλωσης που την περιγράφουν αντιπροσωπευτικά. Αυτό, με μία πρώτη ματιά μπορεί να φανεί περιττό βήμα στη μελέτη ενός κτιρίου, ωστόσο δίνει εν τέλει πολλά πλεονεκτήματα στον ενεργειακό επιθεωρητή του.

Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η χρήση δεικτών δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ κτιρίων του ίδιου τύπου. Με τη βοήθειά τους, ένας επιθεωρητής μπορεί σχετικά εύκολα να εξάγει συμπεράσματα για την απόδοση ενός αγνώστου σε αυτόν κτίριο, συγκρίνοντας τους δείκτες του με αυτούς άλλων κτιρίων με παρόμοιες εγκαταστάσεις και λειτουργίες. Κατ' επέκταση, λοιπόν, μπορούν να θεσπιστούν όρια από αρμόδιους φορείς για τις διάφορες καταναλώσεις σε κτίρια και να δημιουργηθούν αξιόπιστες βάσεις αξιολόγησης.

Το βασικότερο απ' τα πλεονεκτήματα της χρήσης δεικτών ωστόσο, είναι η συσχέτιση των καταναλώσεων με συγκεκριμένες αιτίες και φαινόμενα. Ο δείκτης αποτελεί στην ουσία το λόγο της καταναλισκόμενης ενέργειας με έναν παράγοντα απ' τον οποίο θεωρούμε ότι εξαρτάται. Αν λοιπόν καταφέρουμε να βρούμε δείκτες με στενές σχέσεις μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών, γίνεται αντιληπτό ότι φανερώνεται παράλληλα η βαθύτερη αιτία της κατανάλωσης και ανοίγει ο δρόμος προς τον περιορισμό αυτής. Έτσι, η παρακολούθηση του κτιρίου και η εύρεση λύσεων μείωσης του κόστους λειτουργίας του γίνεται ευκολότερη και πιο κατανοητή.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα γίνει λοιπόν μία προσπάθεια εύρεσης αντιπροσωπευτικών δεικτών σε πέντε τύπους ενεργοβόρων κτιρίων (εστιατόρια,

ξενοδοχεία, γραφεία, supermarkets, νοσοκομεία) που θα μας οδηγήσουν σε αποδοτικότερη παρακολούθηση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς και κατανόηση των παραγόντων απ' τις οποίες αυτή εξαρτάται. Στη συνέχεια, θα αναπτυχθεί μία μεθοδολογία παραγωγής προβλέψεων των καταναλώσεων των κτιρίων μέσω αυτών των δεικτών, με στόχο τη δημιουργία δυνατότητας εκτίμησης των καταναλώσεων των κτιρίων στο μέλλον και την καλύτερη διαχείρισή τους.

Η πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης είναι εξίσου σημαντική με την καθαυτή εύρεση των δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς ο άνθρωπος πάντα καλούταν να λαμβάνει αποφάσεις για το μέλλον, τόσο υποσυνείδητα όσο και στο πλαίσιο του οργανωμένου προγραμματισμού. Αυτό συμβαίνει λόγω της αβεβαιότητας που υπάρχει γύρω από την εξέλιξη των αντικειμένων και την πορεία τους στη πάροδο του χρόνου, η οποία όσο πιο πολύπλοκα είναι τα αντικείμενα τόσο αυξάνει και είναι δυσκολότερο να πραγματοποιηθούν προβλέψεις χωρίς τη βοήθεια συστηματικών μεθόδων και τεχνικών πρόβλεψης. Η γνώση του μέλλοντος ή έστω η προσέγγιση του σε έναν ικανοποιητικό βαθμό, γίνεται ακόμα πιο επιτακτική ανάγκη όταν συσχετίζεται με χρηματικές μονάδες, όπως στην περίπτωση της κατανάλωσης ενέργειας που μεταφράζεται σε οικονομικό κόστος.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική επισκόπηση των δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης. Ορίζεται, αρχικά, ο όρος δείκτης, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα υιοθέτησής του ως μέσο μελέτης και η μορφή που παίρνει για την περιγραφή ενεργειακών καταναλώσεων. Στη συνέχεια, γίνεται κατηγοριοποίηση των δεικτών βάση διάφορων χαρακτηριστικών και παρουσιάζονται ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης από εταιρείες μελέτης κτιρίων και χώρες, όπως αυτοί εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία.

Την επισκόπηση των δεικτών ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο η παρουσίαση δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης για πέντε βασικές ενεργοβόρες κατηγορίες κτιρίων (εστιατόρια, ξενοδοχεία, γραφεία, supermarkets, νοσοκομεία). Στο σημείο αυτό δεν παρουσιάζονται μόνο οι δείκτες που εντοπίστηκαν να χρησιμοποιούνται για τις δεδομένες κατηγορίες κτιρίων σε μελέτες ερευνητών και εταιρειών ενεργειακής επιθεώρησης, αλλά και οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις καταναλώσεις τους, όπως και ο συνήθης καταμερισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων σε χρήσεις (φωτισμός, θέρμανση, κλιματισμός, ψυγεία, κουζίνες κ.τ.λ.).

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής αναφορά στις τεχνικές προβλέψεων, στις κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης και στα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται σε αυτές. Ακόμα παρουσιάζονται έξι βασικά μοντέλα πρόβλεψης (Naive, LRL, SES, Holt, Damped, Theta) και τα κριτήρια με τα οποία κάποιος μπορεί να επιλέξει την καταλληλότερη μέθοδο για την παραγωγή προβλέψεων. Το τέλος του κεφαλαίου ασχολείται με τα στατιστικά σφάλματα των μεθόδων, τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να τα εκμεταλλευτούμε για την αξιολόγηση των μεθόδων πρόβλεψης και τα πλεονεκτήματα που το καθένα μας προσφέρει.

Στο κεφάλαιο πέντε, παρουσιάζεται η φιλοσοφία της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της εργασίας για την παραγωγή προβλέψεων και τα βήματα που πρέπει κανείς να ακολουθήσει για την εφαρμογή της. Μάλιστα, η τελευταία παράγραφος είναι αφιερωμένη στο αναπτυξιακό περιβάλλον Rstudio, που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή προβλέψεων και εξηγούνται λειτουργίες και συναρτήσεις που αξιοποιήθηκαν προς αυτή την κατεύθυνση.

Τα επόμενα δύο κεφάλαια αποτελούν Case-Studies της μεθόδου της εργασίας, παρουσιάζουν δηλαδή την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας πάνω σε αληθινά δεδομένα κτιρίων, το ένα από τα οποία εντάσσεται στην κατηγορία των εστιατορίων (ταχυφαγείο στην Κύπρο) και το άλλο στη κατηγορία των γραφείων (υποκαταστήματα τραπεζών). Στόχος εδώ είναι η ανάδειξη της αποτελεσματικότητας της μεθόδου

παρατηρώντας τις αποκλίσεις των προβλέψεων από τα πραγματικά δεδομένα και συνεπώς η αξιολόγησή της υπό ρεαλιστικές συνθήκες.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, τέλος, εξάγονται τα κύρια συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων και προτείνονται θέματα για μελέτη και ανάλυση στο μέλλον.





# Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Επισκόπηση των Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης

## 2.1 Η Έννοια του Δείκτη

Ως δείκτης ορίζεται σύμφωνα με τον οργανισμό OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) μία τιμή που παράγεται συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων και η οποία μας πληροφορεί για ένα φαινόμενο, απλοποιώντας και ποσοτικοποιώντας το. Έτσι, μπορούμε να το κατανοήσουμε και να το ερευνήσουμε ευκολότερα σε βάθος.

Συνήθως, οι δείκτες σχεδιάζονται για να μας δείξουν τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται το φαινόμενο το οποίο περιγράφουν. Για παράδειγμα, οι οικονομικοί δείκτες δείχνουν μεταβολές σε ατομικό, τοπικό ή εθνικό επίπεδο, οι περιβαλλοντικοί δείκτες μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον και οι δείκτες φτώχειας και υγείας μεταβολές στην κοινωνία και στην πρόνοια σε ατομικό και εθνικό επίπεδο.

Εδώ χρειάζεται να τονιστεί ότι σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ταυτίζουμε τις τιμές των δεικτών με την απόλυτη αλήθεια, και αυτό γιατί οι δείκτες είναι μονάχα μία προσπάθεια να την προσεγγίσουμε εκμεταλλευόμενοι κάποιες απ' τις πολλές παραμέτρους που πιθανώς την διαμορφώνουν.

Υπάρχουν πολλοί τομείς στους οποίους μας βοηθάει η χρήση δεικτών. Οι κυριότεροι είναι:

- Αξιολόγηση Συμπεριφοράς, *ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν υπάρχει αυστηρά καθορισμένη βάση σύγκρισης και αξιολόγησης.*
- Θέσπιση Ορίων (Thresholds), *ιδιαίτερα χρήσιμο στη παραγωγή εκτιμήσεων και στη θέσπιση μίας βάσης αξιολόγησης*
- Αιτιολόγηση και Συσχέτιση Φαινομένων, *καθότι δείχνουν χειροπιαστά το δρόμο με τον οποίο συνδέονται και αλληλεπιδρούν δύο φαινόμενα.*
- Μοντελοποίηση και Ανάλυση Σεναρίων, *καθώς τροφοδοτούν την έρευνα με πραγματικά δεδομένα πλήρως αξιοποιήσιμα σε προσομοιώσεις και ελέγχους.*

Αν και οι δείκτες είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι, παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά, χωρίς ακριβείς μετρήσεις προερχόμενες από ειδικές διατάξεις παρακολούθησης (monitoring), δεν μπορούμε να έχουμε αξιόπιστους δείκτες. Επίσης, το να χρησιμοποιούμε δείκτες για αξιολόγηση απαιτεί τη δημιουργία ενός πολύπλοκου συστήματος μεθοδολογιών, ορίων, κριτηρίων και στόχων μέσα στο οποίο οι δείκτες θα αξιοποιούνται. Πολύπλοκη κάνει τη χρήση

δεικτών και η εξειδίκευσή τους, καθώς όχι μόνο κάθε τομέας απαιτεί διαφορετικό δείκτη, αλλά αυτός μεταβάλλεται ανάλογα το τόπο στον οποίο αναφέρεται ( δημογραφικά, κοινωνικά, πολιτικά, οικονομικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά). Τέλος, τα αποδεκτά όρια των δεικτών αλλάζουν συνεχώς μέσα στο χρόνο επηρεάζοντας εν τέλη τη λειτουργία του ίδιου του συστήματος στο οποίο αναφέρονται (π.χ. η υποβάθμιση της οικονομίας μίας χώρας λόγω χρέους επηρεάζει την ίδια τη χώρα και πιθανώς την παγκόσμια οικονομία).

Όσον αφορά τους ενεργειακούς δείκτες, οι οποίοι και θα απασχολήσουν την παρούσα εργασία, αυτοί περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ της χρησιμοποιούμενης ενέργειας και της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η συνηθέστερη μορφή τους είναι οι εντάσεις , δηλαδή κανονικοποιήσεις της ενεργειακής χρήσης ως προς κάποιο μέτρο. Οι εντάσεις είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες αφενός λόγω του πλεονεκτήματος που προσφέρουν για σύγκριση μεταξύ παρόμοιων δραστηριοτήτων και αφετέρου λόγω της δυνατότητας εύκολης παρακολούθησης της εξέλιξης των δραστηριοτήτων που περιγράφουν στην πάροδο του χρόνου.



## 2.2 Εισαγωγή Στους Δείκτες Ενεργειακής Κατανάλωσης (Energy Performance Indicators-EPI's)

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης (EPI) έχουν ως στόχο να καταστήσουν πιο εύκολη και αποδοτική την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε κτίρια και κατ' επέκταση να ενημερώσουν τις επιχειρήσεις που στεγάζονται σε αυτά (ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εστιατόρια, γραφεία, βιομηχανίες κ.τ.λ.) για την αποδοτικότητα του εξοπλισμού τους, την ορθότητα της ενεργειακής τους διαχείρισης, την κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά χρήση κ.α. Αυτό, όπως γίνεται αντιληπτό, θα μπορέσει να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα κυρίως για τα πιο ενεργοβόρα σημεία της εγκατάστασης που πιθανώς λειτουργούν μη αποδοτικά και αποτελούν άσκοπα έξοδα για την επιχείρηση. Παράλληλα, τα αποτελέσματα θα δείξουν το δρόμο προς πιθανά σενάρια βελτιώσεων, ικανά να εξομαλύνουν την ενεργειακή κατανάλωση και να τη φέρουν σε φυσιολογικά για το είδος και το μέγεθος της επιχείρησης επίπεδα. Οι δείκτες EPI έχουν κάνει περισσότερο έντονη την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ανάπτυξης συστημάτων παρακολούθησης εγκαταστάσεων (monitoring).

Δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης μπορούν να υπάρξουν και σε μακροσκοπικό επίπεδο, προφανώς σε τελείως διαφορετική μορφή και περιεχόμενο από αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω για την αξιολόγηση μεμονωμένων κτιρίων και συνεπώς με μεγαλύτερη και διαφορετική βάση δεδομένων προς επεξεργασία.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή για τους δείκτες, τα EPI's έχουν και αυτά συγκεκριμένους τομείς στους οποίους μπορούν να βρουν εφαρμογή και να αποτελέσουν ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο. Αυτοί είναι:

**Αξιολόγηση απόδοσης:** Αυτό συμβαίνει γιατί αποκτούμε μία κοινή βάση αξιολόγησης και μπορούμε να συγκρίνουμε παρόμοια αντικείμενα, με τη βοήθεια βέβαια προτύπων και μεθόδων benchmarking.

**Monitoring:** Συνδέεται στενά με την αξιολόγηση της απόδοσης, με τη διαφορά ότι όποιοι και να είναι οι δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε για να εξάγουμε συμπεράσματα, αυτοί θα αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο στόχο που έχει τεθεί συναρτήσει του χρόνου.

**Προγραμματισμός τακτικής:** Οι κρίσεις πετρελαίου το 1973-74 και 1979-80 έχουν οδηγήσει τους υπεύθυνους στην παραγωγή συγκεκριμένων τακτικών που πρέπει να ακολουθούνται για την εξασφάλιση ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτές περιλαμβάνουν παρακολούθηση και μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης, αξιολόγηση των προγραμμάτων περί αυτής, ανάπτυξη νέων προγραμμάτων που

ανταποκρίνονται καλύτερα σε αλλαγές στην ενεργειακή συμπεριφορά, παραγωγή προβλέψεων σχετικά με την ενεργειακή ζήτηση και προσφορά στο μέλλον και σύγκριση ενεργειακών συστημάτων. Είναι προφανές πως χωρίς ενεργειακούς δείκτες όλα αυτά θα ήταν αδύνατα.

**Συγκρίσεις οικονομιών:** Καθώς η έμφαση που δίνεται στην ενεργειακή αποδοτικότητα έχει μεγαλώσει σε μικροσκοπικό επίπεδο, είναι λογικό να έχει αυξηθεί και η προσπάθεια παραγωγής συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών οικονομιών. Οι ενεργειακοί δείκτες δίνουν τη δυνατότητα εμφάνισης των δυνατών και αδύνατων σημείων της κάθε οικονομίας και να προταθούν λογικά σενάρια βελτιώσεων. Βέβαια, εδώ εμφανίζονται πολλά προβλήματα, καθώς αφενός είναι δύσκολο να αποκτηθούν ακριβή στοιχεία για μία τόσο μακροσκοπική μελέτη και αφετέρου εμφανίζονται θέμα αδυναμίας σύγκρισης λόγω διαφορετικής οικονομικής δομής, διαφορετικής βάσης πόρων, διαφορετικών τεχνολογιών, τρόπων μέτρησης, γεωγραφικών, κλιματικών και δημογραφικών ιδιαιτεροτήτων.

**Ανάλυση Ενεργειακής Ζήτησης:** Οι ενεργειακοί δείκτες μπορούν να γίνουν χρήσιμο εργαλείο στην πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με την προβλεπόμενη ζήτηση. Η προσέγγιση της μελλοντικής ζήτησης θα αυξήσει σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα.

## 2.3 Κατηγοριοποίηση EPI's

### 2.3.1 Μία απλοποιημένη κατηγοριοποίηση

Αν θέλαμε να κατηγοριοποιήσουμε τα EPI's, θα μπορούσαμε να τα χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες: Το **σύνηθες EPI**, τους **Φυσικούς Δείκτες** (Physical Indicators) και τους **Δείκτες Αξίας** (Value Based).

- Το **σύνηθες EPI** είναι αυτό που εκφράζει τη καταναλισκόμενη ενέργεια σε σχέση με την επιφάνεια του χώρου στην οποία αναφέρεται σε τετραγωνικά μέτρα. Προτιμάται λόγω της καθολικότητάς του και της μεγάλης ευκολίας που παρουσιάζει στην εξαγωγή του καθώς μπορεί να υπολογιστεί τόσο με απλές μετρήσεις, όσο και μέσω των διαθέσιμων λογαριασμών και τιμολογίων. Η διάδοση του συγκεκριμένου δείκτη έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις και εξαιτίας της χρήσης του από μεγάλες εταιρείες μελέτης εξοικονόμησης ενέργειας, όπως η EnergyStar, που μελετούν τη λειτουργία και την αποδοτικότητα επιχειρήσεων σε ολόκληρο το κόσμο.

- Οι **Physical Indicators** (PI's) υπολογίζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μία εργασία σε σχέση με ένα φυσικά μετρούμενο μέγεθος παραγωγής, όπως π.χ. τόνοι παραγόμενου προϊόντος.

Το θετικό των PI's είναι ότι έχουν σαν δείκτες άμεση σχέση με την αποδοτικότητα του κάθε τμήματος της εγκατάστασης και συνεπώς φανερώνουν ξεκάθαρα το χρηματικό όφελος που μπορεί να υπάρξει με τη βελτίωση της τεχνολογίας του. Επίσης, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών του κτιρίου απ' τη στιγμή που παρονομαστής του δείκτη είναι το ίδιο το προϊόν.

Αρνητικό του συγκεκριμένου τύπου δείκτη αποτελεί η αδυναμία συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών επιχειρήσεων. Αυτό συμβαίνει γιατί ο παρονομαστής είναι κάτι πολύ συγκεκριμένο και σχεδόν μοναδικό για κάθε μονάδα (το προϊόν που αυτή παράγει), οπότε μόνο κάνοντας παραδοχές σε παρόμοια προϊόντα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα PI's ως μέτρα σύγκρισης επιχειρήσεων. Επίσης, για να μπορέσει να υπολογιστεί ένας PI απαιτούνται αρκετά στοιχεία και αναλυτική μελέτη της εγκατάστασης, κάτι που κάνει τα PI's δύσκολα και ασύμφορα να αποκτηθούν.

- Οι **Value Based Indicators** (VBI's) υπολογίζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μία εργασία σε σχέση με το οικονομικό αντίκρισμα που θα έχει αυτή για την επιχείρηση.

Θετικό αυτών των δεκτών είναι ότι μπορεί εύκολα να γίνει σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μονάδων αφού ο παρονομαστής (χρήματα) είναι κοινός. Βέβαια,

εδώ μπορούν και πάλι να προκύψουν προβλήματα αν σκεφτούμε πως για διαφορετικές χώρες πρέπει να λάβουμε υποψιών ισοτιμίες νομίσματος , κάτι αρκετά ασταθές. Επίσης, ένας δείκτης VBI δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα για αξιολόγηση σε κάποιους τομείς όπως οικίες, τριτογενής τομέας, μεταφορές κ.α.

### 2.3.2 Κατηγοριοποίηση κατά ΙΕΑ

Μία διαφορετική κατηγοριοποίηση έχει γίνει στους ενεργειακούς δείκτες απ' την ΙΕΑ (international energy agency). Αυτή έχει πραγματοποιηθεί με γνώμονα τη διάσταση στην οποία αναφέρεται η κατανάλωση της ενέργειας. Οι κατηγορίες είναι:

- **Περιγραφικοί Δείκτες** (Descriptive Indicators), οι οποίοι δίνουν για παράδειγμα τα ποσοστά της ενέργειας ανά καύσιμο.
- **Βασικοί κανονικοποιημένοι δείκτες** (Basic normalized indicators), οι οποίοι δείχνουν τις χρήσεις της ενέργειας ανά τομέα διαιρεμένες με τον πληθυσμό ή το Α.Ε.Π.
- **Συγκριτικοί δείκτες** (Comparative indicators), οι οποίοι δείχνουν τα παρόμοια χαρακτηριστικά διαφορετικών χωρών, χρησιμοποιώντας κατάλληλες κανονικοποιήσεις.
- **Διαρθρωτικοί Δείκτες** (Structural indicators), οι οποίοι κατανέμουν τις οικονομικές και ανθρώπινες δραστηριότητες σε διάφορες κλίμακες και μορφές απόδοσης.
- **Δείκτες εντάσεως** (intensity indicators), οι οποίοι συνδέουν τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια με το μέτρο μίας δραστηριότητας και είναι στενά συνδεδεμένοι με την έννοια της αποδοτικότητας.

- **Δείκτες αποσύνθεσης** (Decomposition indicators), οι οποίοι δείχνουν πώς διαφορετικά τμήματα της συνολικής χρήσης της ενέργειας επηρεάζουν το σύνολο αυτών.
- **Αιτιολογικοί δείκτες** (Causal indicators), οι οποίοι υποδεικνύουν ποια είδη παραγόντων (οικονομικοί, δημογραφικοί, γεωγραφικοί κ.α.) επηρεάζουν περισσότερο τη χρήση ενέργειας.
- **Δείκτες επιπτώσεων** (Consequential indicators), οι οποίοι φανερώνουν τις επιπτώσεις της ενεργειακής χρήσης. Τέτοιος είναι π.χ. τα επίπεδα καυσαερίων, όπου οι μετρήσεις περί των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της χρήσης ενέργειας δίνουν σαν αποτέλεσμα το ποσοστό μόλυνσης.
- **Φυσικοί δείκτες** (Physical indicators), οι οποίοι δείχνουν πώς μεταβάλλονται η παραγωγικότητα και η ενεργειακή αποδοτικότητα.

## 2.4 Τα πλέον χρησιμοποιούμενα EPI's

Πριν προχωρήσουμε στην αναφορά των πλέον χρησιμοποιούμενων EPI's, καλό θα ήταν να αναφέρουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να εξαλείψουμε προβλήματα που δημιουργούνται στον υπολογισμό EPI's σε περιπτώσεις που εξετάζουμε μονάδες που λειτουργούν με περισσότερες από μία μορφές ενέργειας (π.χ. εκτός από ηλεκτρική και με φυσικό αέριο, μαζούτ κ.τ.λ.) ή που επιθυμούμε να συγκρίνουμε μία μονάδα με μία άλλη που καταναλώνει διαφορετικό καύσιμο. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπολογίσουμε τη συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια εκφράζοντας τις επιμέρους ενέργειες σε κοινή βάση. Οι πιο συνήθεις βάσεις είναι το MJ (mega joule) και το toe (Tone of oil equivalent) που εκφράζει τους τόνους πετρελαίου που αποδίδουν ενέργεια ίση με 41868 kJ. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι κυριότερες ισοτιμίες μετατροπών σε toe.

Μορφή Ενέργειας	Συντελεστής Μετατροπής σε toe
Γαϊάνθρακας (1 tn)	0,7
Ξηρός Λιγνίτης (1 tn)	0,38
Φυσικός Λιγνίτης (1 tn)	0,14
Υγραέριο (1 tn)	1,195
Πετρέλαιο Θέρμανσης (1 tn)	1,095
Μαζούτ (1 tn)	1,055
Βενζίνη (1 tn)	1,128
Κηροζίνη (1 tn)	1,133
Ηλεκτρισμός (1 Mwh)	0,086
Φυσικό Αέριο (1 m <sup>3</sup> )	0,0025
Diesel (1 tn)	1,01
Diesel (1 m <sup>3</sup> )	0,98
Biodiesel (1 tn)	0,86
Biodiesel (1 m <sup>3</sup> )	0,78
Bioethanol (1 tn)	0,64
Bioethanol (1 m <sup>3</sup> )	0,51
Πετρέλαιο (1 tn)	1,05
Πετρέλαιο (1 m <sup>3</sup> )	0,86
1 kcal	10 <sup>-7</sup>

Στη παρούσα εργασία δεν παρουσιάζονται τέτοια προβλήματα, αφού η μελέτη αφορά αποκλειστικά καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπάρχει πληθώρα δεικτών EPI που θα μπορούσε κάποιος να χρησιμοποιήσει για την αξιολόγηση ενός κτιρίου. Η επιλογή βέβαια είναι ανάλογη του τύπου του κτιρίου, των εγκαταστάσεών του, των μονάδων μέτρησης που επιλέγει και του σκοπού για τον οποίο τους χρησιμοποιεί. Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με τα πλέον διαδεδομένα EPI's σε βιβλιογραφία.

<b>EPI</b>	<b>Εφαρμογή</b>
Btu/m <sup>2</sup>	παντού
Btu/εργαζόμενο	γραφεία
Btu/μονάδα παραγωγής	μονάδες συναρμολόγησης
Btu/kg παραγόμενης μονάδας	κατασκευαστικές
Btu/αριθμό μονάδων που επεξεργάστηκαν	δυλιστήρια, βιομηχανίες
Btu/αριθμό κατελιημένων κρεβατιών	ξενοδοχεία
Watts/m <sup>3</sup> ροής αέρα ανά λεπτό	συστήματα κλιματισμού
kWatts/τόνο	ψύξη νερού
Kwh/m <sup>2</sup>	φωτισμός

Προφανώς κάνοντας αναφορά σε διαφορετικές μονάδες (π.χ. kWh αντί για Btu) μπορούν να προκύψουν παρόμοιοι δείκτες με την ίδια ερευνητική αξία. Σε ποιο γενικό πλαίσιο έχουν ορισθεί EPI's και περιγραφικά ως εξής:

EPI	Τύπος Δείκτη	Πιθανές Μονάδες
Κατανάλωση/Οικονομική μονάδα	Οικονομικός δυναμικότητας	kWh/\$
Κατανάλωση/Ισοτιμία νομίσματος	Μακροοικονομικός δυναμικότητας	kWh
Καθαρή ενέργεια/Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια	Εκ μηχανικής όψης αποδοτικότητας	NA
Εξοικονομούμενη Ενέργεια ανά έτος	Φυσικός αποδοτικότητας εθνικού επιπέδου	GJ
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Ιδανική Διαδικασία	Ευστάθειας και αποδοτικότητας	MWh
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ μίλια ταξιδιού	Ειδικού	tn/mile
Χρησιμοποιούμενη Ενέργεια σε εικονικές μονάδες/ παραγόμενες μονάδες	Οικονομικός Αποδοτικότητας	Econical_Unit/Unit
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Προστιθέμενη Αξία στην Μονάδα	Φυσικός αποδοτικότητας σε παραγωγή	Btu/\$
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Μονάδα Παραγωγής	Φυσικός για κατανάλωση	kWh/Unit
Διαθέσιμη Ενέργεια προ χρήση/ Χρησιμοποιούμενη Ενέργεια	Φυσικός για μία μονάδα μόνο	NA
Αξία Ενέργειας	Φυσικός	\$
Αξιολόγηση Αποδοτικότητας	Στατιστικός	%

## 2.5 Τα EPI's που χρησιμοποιούν Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις για την ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων

### 2.5.1 EPI's Ολλανδίας

Υπάρχουν τρεις δείκτες ενεργειακής απόδοσης που μελετούν οι ολλανδικοί οργανισμοί για να αποφανθούν για την ενεργειακή κλάση και αποδοτικότητα των κτιρίων τους σύμφωνα με τη μεθοδολογία EPA της Senter Novem (εθνικό ινστιτούτο καινοτομιών και εξέλιξης).

▪ Ο πρώτος δείκτης ονομάζεται Energy Performance Coefficient (EPC) και πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 1995. Εξάγεται ως εξής:

$$EPC = \frac{Q_{total}}{C1 * A_{gs} + C2 * A_{ts}} * \frac{1}{C_{perc}}$$

Όπου,

EPC, ο ζητούμενος δείκτης

$Q_{total}$ , η κατανάλωση ενέργειας σε MJ

$A_{ts}$ , η θερμαινόμενη επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

$A_{gs}$ , η συνολική επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

$C1, C2$ , σταθερές με τιμές αντίστοιχα  $330 \text{ MJ/m}^2$ ,  $66 \text{ MJ/m}^2$

$C_{perc}$ , διορθωτικός παράγοντας οριζόμενος απ' τη μεθοδολογία της EPA

Στο  $Q_{total}$  περιλαμβάνονται καταναλώσεις για θέρμανση, ζεστό νερό, ανεμιστήρες και A/C, φωτισμό, μικροσυσκευές και φωτοβολταϊκά.

Ανάλογα με τη τιμή του ο δείκτης μπορεί να εντάξει το υπό μελέτη κτίριο σε μία απ' τις 10 διαθέσιμες κατηγορίες. Οι δοκιμές μέσα στο χρόνο δείχνουν ότι ο EPC είναι αρκετά αποτελεσματικός και αντιπροσωπευτικός της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

▪ Ο δεύτερος δείκτης Eold προτάθηκε το 2000 για τη μελέτη των υπαρχόντων κτισμάτων και εξάγεται ως εξής:

$$Eold = \frac{Q_{total} * A_{ts} * C3}{C4 * A_{s2} + C5 * Q_{total} * A_{gs}}$$

Όπου,

Eold, ο ζητούμενος δείκτης

$Q_{total}$ , η κατανάλωση ενέργειας σε MJ

$A_{ts}$ , η θερμαινόμενη επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

$A_{gs}$ , η συνολική επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

$C3, C4, C5$ , σταθερές με τιμές αντίστοιχα 0.13,  $56 \text{ MJ/m}^2$  και 0.06



Στο  $Q_{total}$  περιλαμβάνονται οι καταναλώσεις για φωταγωγή, θέρμανση και ζεστό νερό.

Ο δείκτης αποδείχτηκε πως δεν έδινε ορθά αποτελέσματα, εμφανίζοντας μικρές ενεργειακές αποκλίσεις ανάμεσα σε παλαιά και καινούργια κτίρια. Αυτό συνέβη γιατί είχε αρχικά σχεδιαστεί για σπίτια παλαιάς κατασκευής με αποτέλεσμα να μην λαμβάνει σωστά υπόψη την κεντρική θέρμανση και να αγνοεί τη λειτουργία A/C.

- Ο τρίτος δείκτης Enew προέκυψε μετά από αλλαγές στον EPC το 2008 για καλύτερα αποτελέσματα και εξάγεται ως εξής:

$$E_{new} = \frac{Q_{total}}{C6 * A_{gs} + C7 * A_{ts} + C8}$$

Όπου,

Enew, ο ζητούμενος δείκτης

$Q_{total}$ , η κατανάλωση ενέργειας σε MJ

$A_{ts}$ , η θερμαινόμενη επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

$A_{gs}$ , η συνολική επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα

C6, C7, C8, σταθερές με τιμές αντίστοιχα 155 MJ/m<sup>2</sup>, 106 MJ/m<sup>2</sup> και 9560 MJ

Το  $Q_{total}$  υπολογίζεται όπως και στην περίπτωση του EPC. Ο δείκτης μπορεί να κατηγοριοποιήσει ένα κτήριο σε κατηγορίες A-G με επίπεδο A για τιμές μικρότερες του 1.05 και με επίπεδο G για τιμές μεγαλύτερες του 2.90.

## 2.5.2 EPI's Πορτογαλίας

Η πορτογαλική νομοθεσία προτείνει σύμφωνα με αποφάσεις του 2002 και την EPB (Energy Performance of Buildings) τρεις δείκτες για την αξιολόγηση την ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων.

Ο πρώτος δείκτης ονομάζεται Primary Based Energy Indicator και εκφράζεται ως ο λόγος της πρωτογενούς σε ζήτηση ενέργειας που δαπανήθηκε σε κιλά ισοδύναμων τόνων πετρελαίου (toe) προς τη συνολική επιφάνεια στην οποία αυτή αναφέρεται (δηλ. μονάδες μέτρησης  $kgeq/m^2 \text{ year}$ ).

Μάλιστα, δεχόμενοι ότι τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια καύσιμα που καταναλίσκονται είναι πρωτογενής πηγή ενέργειας, θεωρείται για αυτά

παράγοντας μετατροπής ίση με 0.086 kger/kWh. Αντίθετα, για την ηλεκτρική ενέργεια που θεωρείται προϊόν μετατροπών έχουμε παράγοντα 0.29 kger/kWh.

Για την εξαγωγή του δείκτη θεωρούμε τα εξής: Αν  $E_{pi}$  είναι η κατανάλωση ενός χρήστη  $i$  σε πρωτογενή ενέργεια,  $E_{fi}$  είναι η κατανάλωσή του σε ορυκτά καύσιμα ανά χρόνο,  $W_{eli}$  η κατανάλωσή του σε ηλεκτρική ενέργεια και  $\eta_{eg}$  ο βαθμός απόδοσης του Σ.Η.Ε. στο οποίο απευθύνεται (Μ/Σ, δίκτυο, μετατροπείς κ.τ.λ.) τότε έχουμε:

$$E_{pi} = E_{fi} + \frac{W_{eli}}{\eta_{eg}}$$

Συνεπώς ο δείκτης μου θα είναι ο  $EP = \frac{E_{pi}}{At}$ , όπου  $At$  η επιφάνεια του κτιρίου σε  $m^2$ .

Τα μεγέθη  $E_{fi}$  και  $W_{eli}$  υπολογίζονται με βάση τους λογαριασμούς του κτιρίου τα τρία τουλάχιστον τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα ενός αλγορίθμου προσομοιώσεων του οργανισμού RCCTE.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο παραπάνω δείκτης επηρεάζεται τόσο από την αποδοτικότητα του συστήματος, όσο και απ' την ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους του κτιρίου. Ωστόσο δεν μας δίνει κάποιο στοιχείο για το πόσο συμβάλει ο καθένας απ' τους παραπάνω παράγοντες ξεχωριστά, κάτι που θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο αν θέλαμε να περάσουμε σε μία σειρά βελτιώσεων. Έτσι, λοιπόν, ο δείκτης συνοδεύεται από έναν επιπλέον δείκτη, τον Primary Energy Ratio, ο οποίος στην ουσία δείχνει το λόγο της καταναλισκόμενης ενέργειας και της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτήθηκε.

$$PER_i = \frac{E_{ui}}{E_{pi}}$$

## 2.6 Ο Συνθετικός Δείκτης (Compositive Indicator – CI)

Ο συνθετικός δείκτης CI είναι ένας δείκτης που παράγεται απ' τη μαθηματική σύμπτυξη άλλων μεμονωμένων δεικτών, ο καθένας απ' τους οποίους εξετάζει κάποια πτυχή του στοιχείου στον οποίο αναφέρεται ο CI. Όπως είναι αντιληπτό, οι επιμέρους δείκτες κατά κανόνα έχουν διαφορετικές μονάδες και τρόπους μέτρησης, κάτι που δημιουργεί εν γένη προβλήματα στην εξαγωγή του CI. Παρόλα αυτά, ο CI αποτελεί εξαιρετικό εργαλείο αν χρησιμοποιηθεί σωστά για monitoring, benchmarking και αξιολόγηση σε πληθώρα εφαρμογών.

Αυτό που μας κάνει να μελετάμε και να αναπτύσσουμε δείκτες CI, είναι ότι μπορούν να αξιολογήσουν μόνοι τους ένα περίπλοκο αντικείμενο, το οποίο κάτω από άλλες συνθήκες θα αξιολογούνταν από μία σειρά πολλών και φαινομενικά άσχετων μεταξύ τους δεικτών.

Το βασικό θέμα που τίγεται στους CI, είναι σε ποιο βαθμό θα πρέπει να επηρεάζει ο κάθε υπό-δείκτης τον τελικό δείκτη ή καλύτερα ποιο θα είναι το βάρος που θα πρέπει να του εφαρμοστεί. Σε πρώτη φάση, κάποιος θα έλεγε να εφαρμόσουμε ίσα βάρη (EqualWeights). Αυτό σε περίπτωση που δεν έχουμε πληροφορίες για τη συμπεριφορά των υπό-τομέων που επηρεάζουν το δείκτη θα ήταν μάλλον δίκαιο, ωστόσο, συνήθως γνωρίζουμε σε κάποιο βαθμό πώς τον επηρεάζει ή τουλάχιστον υποπτευόμαστε ότι τα πράγματα δεν μπορεί να είναι και τόσο ιδανικά. Έτσι, σε ένα αρχικό επίπεδο, κρίνεται ότι τα μέσα βάρη (Average Weights) θα ήταν μια πολύ καλύτερη επιλογή.

Ευτυχώς, το πρόβλημα επιλογής ορθών βαρών μπορεί να μας το λύσει το λειτουργικό εργαλείο data envelopment analysis (DEA), ένα πρόγραμμα που αξιολογεί τα στοιχεία που του δίνονται και παράγει αντικειμενικά βάρη. Συγκεκριμένα, το DEA δημιουργήθηκε απ' τον Charnes το 1978 και χρησιμοποιεί μη παραμετρικές τεχνικές για την εκτίμηση της σχετικότητας συνόλων συγκρίσιμων οντοτήτων μέσω προγραμματιστικών μοντέλων. Κάθε οντότητα επιλέγει μία γκάμα βαρών ικανή να δώσει το ορθότερο αποτέλεσμα και στη συνέχεια αυτά αξιολογούνται και συσχετίζονται στο σύνολο των οντοτήτων για την επιλογή της καλύτερης μέσης οδού. Για παράδειγμα, σε ένα εργοστάσιο μέτρο επιλογής βαρών θα μπορούσε να είναι η ποσοστιαία κατανάλωση που υπάρχει ανά τομέα ή μηχανήμα κατά μέσο όρο και βάση αυτής να παραχθούν τα βάρη των επιμέρους δεικτών.

Αν θέλαμε να παρουσιάσουμε και οπτικά την παραγωγή ενός δείκτη CI, αυτό θα γινόταν με τη μορφή πινάκων ως εξής:

Έστω  $m$  ο αριθμός των υπό-τομέων που εξετάζουμε για να εξάγουμε τον  $CI$  και  $n$  οι δείκτες που τους περιγράφουν. Έτσι ο  $I_{ij}$  εκφράζει τον δείκτη  $j$  του υπο-τομέα  $i$  και ο  $CI_k$  τον συνθετικό δείκτη του υπο-τομέα  $k$ .

$$\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1n} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{m1} & I_{m2} & \dots & I_{mn} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CI_1 \\ CI_2 \\ \vdots \\ CI_m \end{bmatrix}$$

Εφαρμόζοντας στους  $CI_1, CI_2, \dots, CI_m$  βάρη προκύπτει ο τελικός δείκτης  $CI$ . Συνήθως αυτό γίνεται μετά την κανονικοποίηση των επιμέρους δεικτών για πιο εξομαλυμένα αποτελέσματα και τα βάρη που εφαρμόζονται είναι είτε αυτά των απλών προσθετικών μεθόδων SAW (simple additive weighting), είτε βάση κριτηρίων με weighted product (WP) είτε αυτά της μεθόδου αντιστάθμισης MCDA.

Πολύ κοντά στη φιλοσοφία των  $CI$ 's κινείται το σύστημα BEAS (building environmental assessment system) που ανέπτυξε το ινστιτούτο Σλοβακίας για την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων της χώρας. Το σύστημα αυτό παράγει βάρη σύμφωνα με τις αρχές του AHP (analytic hierarchy process) του Thomas Saaty, έχοντας ως δεδομένα τις απόψεις ειδικών πάνω σε θέματα ενέργειας.

Το AHP είναι μία διαδικασία κατά την οποία ιεραρχούμε τα στοιχεία που επηρεάζουν το αντικείμενο που εξετάζουμε, ποσοτικοποιώντας τη μεταξύ τους σχέση ή καλύτερα εκφράζοντας κατά πόσο το κάθε στοιχείο επηρεάζει το αντικείμενο που εξετάζεται σε σχέση με τα υπόλοιπα. Έτσι, μπορούμε να αποφασίσουμε ποια στοιχεία θα λάβουμε υπόψη στη μελέτη μας και σε ποιο βαθμό για να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Επιστρέφοντας στη λειτουργία του BEAS, για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων ζητήθηκε από ειδικούς να βαθμολογήσουν σύμφωνα με την εμπειρία τους σε μία δεδομένη κλίμακα τους παράγοντες που τη διαμορφώνουν (καταναλώσεις σε θέρμανση, ζεστό νερό και ψύξη, χρήση συστημάτων διαχείρισης κ.α.). Έτσι, αν  $m$  ο αριθμός των ειδικών ( $e$ ) και  $n$  ο αριθμός των δεικτών αξιολόγησης, για τον κάθε ειδικό υπάρχει μία μήτρα σύγκρισης  $A_e$  ως εξής:

$$A_e = \begin{pmatrix} a_{11}^e, a_{12}^e, \dots, a_{1n}^e \\ a_{21}^e, a_{22}^e, \dots, a_{2n}^e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}^e, a_{n2}^e, \dots, a_{nn}^e \end{pmatrix}$$

Το στοιχείο  $a_{ij}$  δείχνει τη σχέση του δείκτη  $i$  με τον δείκτη  $j$  σύμφωνα με τον ειδικό  $e$ , για την οποία ισχύει  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ . Οι  $m$  μήτρες που παράγονται συνδυάζονται στη συνέχεια για την εξαγωγή της σύνθετης μήτρας  $A$ , που εμπεριέχει τη συνολική άποψη των ειδικών. Αυτή έχει ως εξής:

$$A = \begin{pmatrix} \sqrt[m]{a_{11}^1 \times a_{11}^2 \times \dots \times a_{11}^m}, \dots, \sqrt[m]{a_{1n}^1 \times a_{1n}^2 \times \dots \times a_{1n}^m} \\ \sqrt[m]{a_{21}^1 \times a_{21}^2 \times \dots \times a_{21}^m}, \dots, \sqrt[m]{a_{2n}^1 \times a_{2n}^2 \times \dots \times a_{2n}^m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sqrt[m]{a_{n1}^1 \times a_{n1}^2 \times \dots \times a_{n1}^m}, \dots, \sqrt[m]{a_{nn}^1 \times a_{nn}^2 \times \dots \times a_{nn}^m} \end{pmatrix}$$

Ο κάθε δείκτης  $i$  θα έχει εν τέλει βάρος  $R_i = [ \prod (A_{ij}) ]^{1/n}$ , το οποίο προφανώς μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε ποσοστό επί τις εκατό.

Παρακάτω παρουσιάζεται η εξαγωγή δεικτών αξιολόγησης ενεργειακής συμπεριφοράς από το BEAS βάση των απόψεων εννέα ειδικών. Υπάρχουν τρία στοιχεία που τη διαμορφώνουν:

- D1: ενέργεια λειτουργίας
- D2: ανανεώσιμες πηγές
- D3: ενεργειακή διαχείριση.

Το κάθε στοιχείο αποτελείται από υπο-στοιχεία (κάτω πίνακας). Τα υπο-στοιχεία είναι εκείνα που ανάλογα με τα βάρη τους δίνουν τη σχέση του κάθε στοιχείου με το άλλο στη σύνθετη μήτρα. Από τη σύνθετη μήτρα παράγονται τα τελικά βάρη για κάθε στοιχείο.

a(i,j) Criteria	Criteria			$\Pi a(i,j)$	$R(i) = [\Pi a(i,j)]^{1/3}$	Weights v(i)	%
	D1	D2	D3				
D1	1,00	5,50	2,00	11	2,224	0,692	69,2
D2	0,18	1,00	1,00	0,181818	0,567	0,176	17,6
D3	0,15	0,50	1,00	0,076923	0,425	0,132	13,2
Total:					3,780	1,000	100

Main field	D Energy performance									
Weight [%]	27,84									
Sub-fields	D1 Operation Energy					D2 Active systems using renewable energy sources			D3 Energy management	
Weight[%]	69,2					17,6			13,2	
Indicators	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D3.1	D3.2
	Energy needs for heating	Energy needs for domestic hot water	Energy needs for mechanic ventilation and cooling	Energy needs for lighting	Energy needs for appliances	Active solar design	Heat pump	Photovoltaic technology and heat recuperation	System of energy management	Operation and maintenance
Weight[%]	23,08	23,08	23,08	17,95	12,82	36	32	32	50	50

*Εικόνα 2.6.1: Παράδειγμα εφαρμογής συνθετικού δείκτη για αξιολόγηση ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίου*

Παραλλαγή του συστήματος BEAS χρησιμοποιείται και στην Κίνα στην αξιολόγηση πιθανών ενεργειακών βελτιώσεων για την αντιμετώπιση των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ Χειμώνα και Καλοκαιριού. Η διαφορά εκεί έγκειται στο ότι δεν χρησιμοποιείται σαν εργαλείο η μέση άποψη των ειδικών, αλλά πραγματοποιείται μία ανάλυση cluster στα δεδομένα ούτως ώστε να αποκαλυφθούν τα ισχυρότερα εξ αυτών και να αμεληθούν τα πιο ασθενή. Έτσι, η αξιολόγηση αποκτά πιο αντικειμενικό χαρακτήρα.







# Κεφάλαιο 3: Οι ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης σε βασικές κατηγορίες κτιρίων του τριτογενούς τομέα

## 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν ενεργειακά στοιχεία για πέντε μεγάλες κατηγορίες κτιρίων του τριτογενούς τομέα (εστιατόρια, ξενοδοχεία, γραφεία, καταστήματα λιανικής-supermarkets, νοσοκομεία). Τα στοιχεία αυτά έχουν εξαχθεί από δημοσιευμένες εργασίες ερευνητών και μελέτες εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενεργειακής διαχείρισης, εξοικονόμησης ενέργειας και αξιολόγησης απόδοσης κτιρίων.

Για κάθε κατηγορία κτιρίου γίνεται αρχικά μία προσπάθεια να εντοπιστούν οι πιο ενεργοβόρες χρήσεις εντός αυτού ( HVAC, φωτισμός, ψυγεία κ.τ.λ.) , ούτως ώστε στο επόμενο μέρος της εργασίας να μπορούμε να ξέρουμε για ποιες χρήσεις αναζητούμε αντιπροσωπευτικά EPI's. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά των EPI's που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για τη μελέτη των συγκεκριμένων τύπων κτιρίων και περιγράφονται ιδιαιτερότητές τους, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

## 3.2 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Εστιατόρια

Όπως σε κάθε κτίριο, έτσι και στα εστιατόρια, η χρήση των EPI's μπορεί να φανεί ιδιαίτερα ωφέλιμη, ειδικά αν σκεφτούμε ότι ένα σύνηθες εστιατόριο καταναλώνει την τριπλάσια ενέργεια από ένα σπίτι παρόμοιων διαστάσεων, μεγάλο ποσοστό εκ της οποίας άσκοπα (π.χ. συσκευές σε αναμονή) και λόγω υπερβολών (π.χ. λειτουργία ψυγείων σε χαμηλότερες απ' το αναγκαίο επίπεδο). Η μεγάλη ανάγκη των εστιατορίων σε ενέργεια είναι συνάθροιση αρκετών παραγόντων όπως το μεγάλο ωράριο λειτουργίας, η υψηλή ένταση φωτισμού, τα μεγάλα φορτία, η διατήρηση συσκευών σε αναμονή, οι μεγάλες ανάγκες σε ψύξη, το συχνό άνοιγμα θυρών και παραθύρων στο χώρο που αποσταθεροποιεί τη θερμοκρασία κ.α. Βέβαια, τα EPI's εδώ θα πρέπει να μελετηθούν έχοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης κατηγορίας κτιρίων.

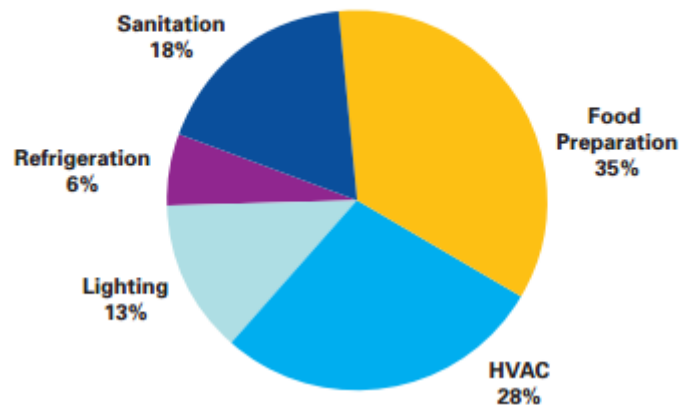
Βασικοί τομείς στους οποίους οφείλουμε να δείξουμε προσοχή σε ένα εστιατόριο υπό μελέτη είναι η ποσότητα των γευμάτων που παρασκευάζονται, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, η χωρητικότητά των χώρων του εστιατορίου και η αξιοποίησή τους. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν ιδιαιτερότητες σε κάθε τομέα παρασκευής, διαφορετικές πρώτες ύλες υπό επεξεργασία, δυσανάλογη παραγωγή, διαφορετικά τελικά προϊόντα και ωράριο λειτουργίας που ποικίλει. Όλα αυτά μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις ενεργειακές καταναλώσεις από σημείο σε σημείο της επιχείρησης και να εξάγουμε λανθασμένα συμπεράσματα αν δεν τα λάβουμε υπόψη. Το αρνητικό, ωστόσο, είναι ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν οργανωμένα δεδομένα σχετικά με τη χωρητικότητα των εστιατορίων, κάτι που μας κάνει να αγνοούμε τον παράγοντα αυτό και μας δυσκολεύει να εξάγουμε συμπεράσματα περί της αξιοποίησής τους.

Σύμφωνα με την EnergyStar, οι πιο ενεργοβόρες χρήσεις σε ένα σύνηθες εστιατόριο είναι οι εξής:

1. Προετοιμασία φαγητού (κουζίνες, φριτέζες, γκριλ, βραστήρες, φούρνοι) - 35%
2. HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) – 28%
3. Φωτισμός – 13%
4. Υγιεινή – 18%
5. Ψυγεία – 6%

Τα παραπάνω παρουσιάζονται και στο παρακάτω διάγραμμα:

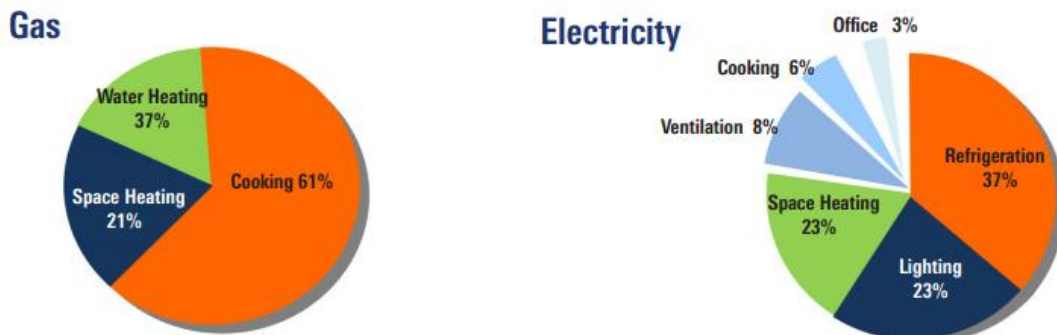
**Example of the Average Energy Consumption in a Full-Service Restaurant  
(British Thermal Units [Btu])**



Εικόνα 1

Εικόνα 3.2.1: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε εστιατόρια κατά EnergyStar

Μάλιστα, ως προς τη μορφή ενέργειας που καταναλώνουν (φυσικό αέριο ή ηλεκτρισμό), οι χρήσεις παρουσιάζουν συνήθως τη παρακάτω συμπεριφορά:



Data from U.S. Energy Information Administration

Εικόνα 3.2.2: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε εστιατόρια

Σε αριθμούς, στην Αμερική καταναλώνονται περίπου 38kWh ηλεκτρισμού και 111 ft<sup>3</sup> φυσικού αερίου το έτος ανά ft<sup>2</sup>.

Κάνοντας λοιπόν τους υπολογισμούς και τις απαραίτητες μετατροπές μονάδων για να εμφανίσουμε τα αποτελέσματα ανά τετραγωνικά μέτρα έχουμε:

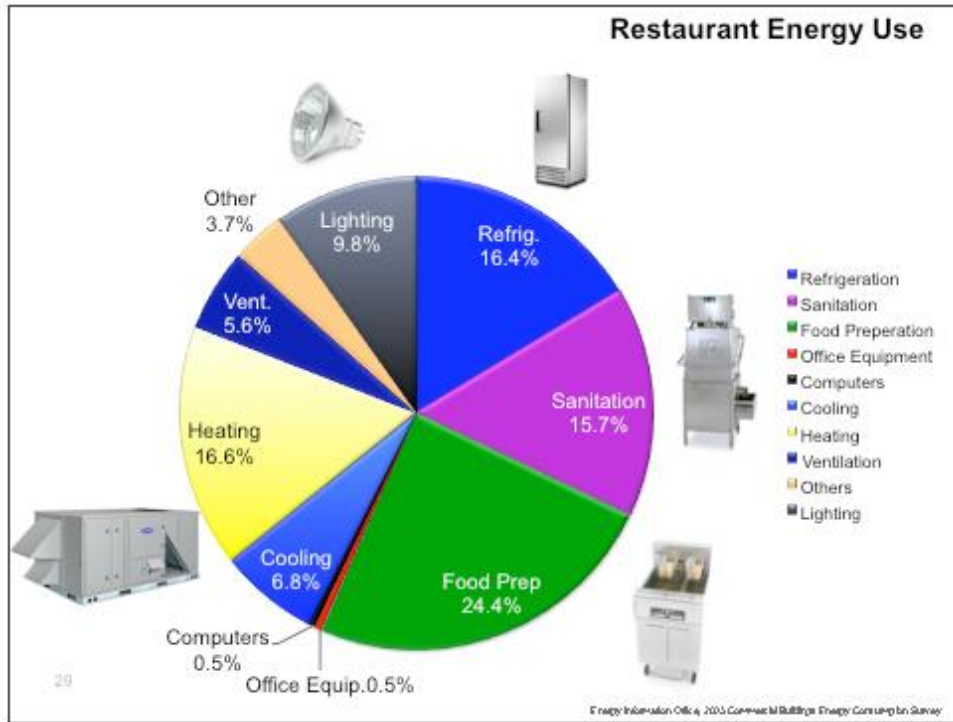
1. Ψυγεία 151,35 kWh/m<sup>2</sup>-37%
2. HVAC 126,8 kWh/m<sup>2</sup>-31% εκ του οποίου το 74% αναφέρεται σε θέρμανση χώρου, το υπόλοιπο σε ψύξη του
3. Φωτισμός 94,08 kWh/m<sup>2</sup>-23%
4. Κουζίνες 24,54 kWh/m<sup>2</sup> -6%
5. Εξοπλισμός γραφείου και άλλα 12,27 kWh/m<sup>2</sup> – 3%

Βλέποντας τις κύριες καταναλώσεις των εστιατορίων και λαμβάνοντας υπόψη τους χώρους που έχουν μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια πιθανά EPI's.

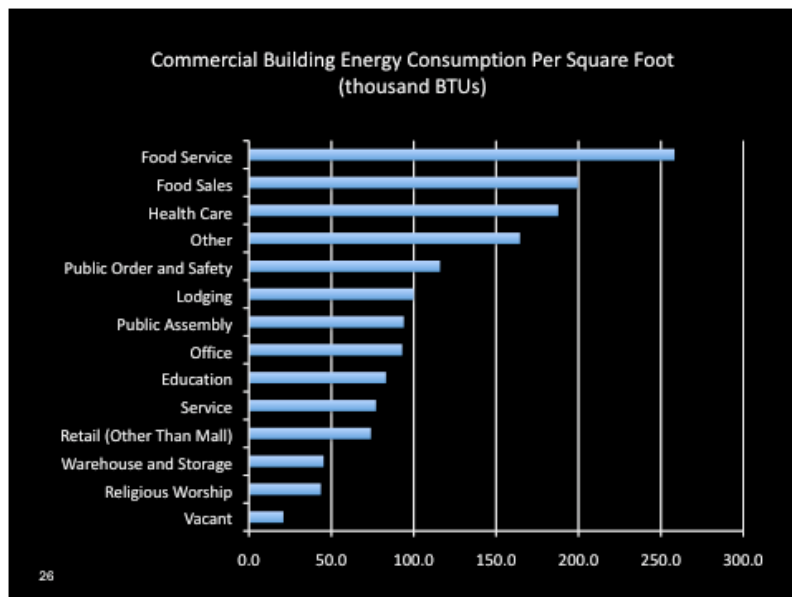
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Επιφάνεια	kWh/m <sup>2</sup>
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Θερμαινόμενη Επιφάνεια	kWh/m <sup>2</sup>
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Εργαζόμενο	kWh/εργαζόμενο
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Πελάτη	kWh/πελάτη
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/όγκο ροής αέρα ανά λεπτό	Watts/m <sup>3</sup> ροής αέρα ανά λεπτό
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Οικονομική μονάδα	kWh/euro
Καθαρή ενέργεια/Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια	NA
Εξοικονομούμενη Ενέργεια ανά έτος	kWh
Διαθέσιμη Ενέργεια προ χρήση/ Χρησιμοποιούμενη Ενέργεια	NA
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Μονάδα παραγωγής	kWh/γεύμα
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/kg παραγόμενης μονάδας	kWh/kg

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω δείκτες, για τον υπολογισμό τους απαιτούνται αρκετές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του κτιρίου. Τέτοιες χρήσιμες πληροφορίες είναι το μέγεθος και η διακύμανση ενδεχομένως των φορτίων, η συνήθης παραγωγή, η καταναλισκόμενη ενέργεια, η ποσότητα πρώτων υλών για την παρασκευή φαγητού, η καταναλώσεις στους καυστήρες και το εργατικό δυναμικό. Δεδομένα μπορούμε να αντλήσουμε και από άλλες πηγές, όπως έρευνες ενεργειακών καταναλώσεων σε ένα δείγμα εγκαταστάσεων (Manufacturing Energy Consumption Survey–MECS) ή κρατικές βάσεις δεδομένων και στατιστικά (Census of Manufacturers -CM).

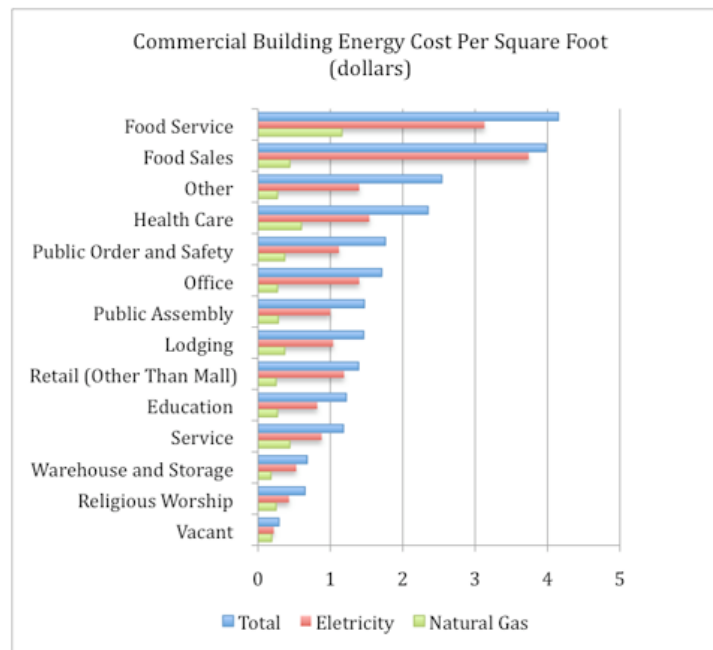
Παράδειγμα τέτοιων δεδομένων αποτελούν τα παρακάτω στοιχεία που παρουσιάζουν σύμφωνα με την Sustainable Foodservice τις βασικότερες καταναλώσεις σε ένα εστιατόριο επί τις εκατό και δύο EPI's ανά κατηγορία κτιρίου: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τετραγωνικό feet (1) και κόστος λειτουργίας ανά τετραγωνικό feet (2). Όπως φαίνεται, ο πρώτος δείκτης κυμαίνεται στα 255.000Btu/ft<sup>2</sup>( ή 805 kWh/m<sup>2</sup> ) και ο δεύτερος στα 4.1 \$/ft<sup>2</sup>. Μάλιστα, από αυτά τα 0.93 \$/ft<sup>2</sup> αναφέρονται σε κατανάλωση φυσικού αερίου ενώ τα 3.17\$/ft<sup>2</sup> σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.2.3: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε εστιατόρια Sustainable Foodservice

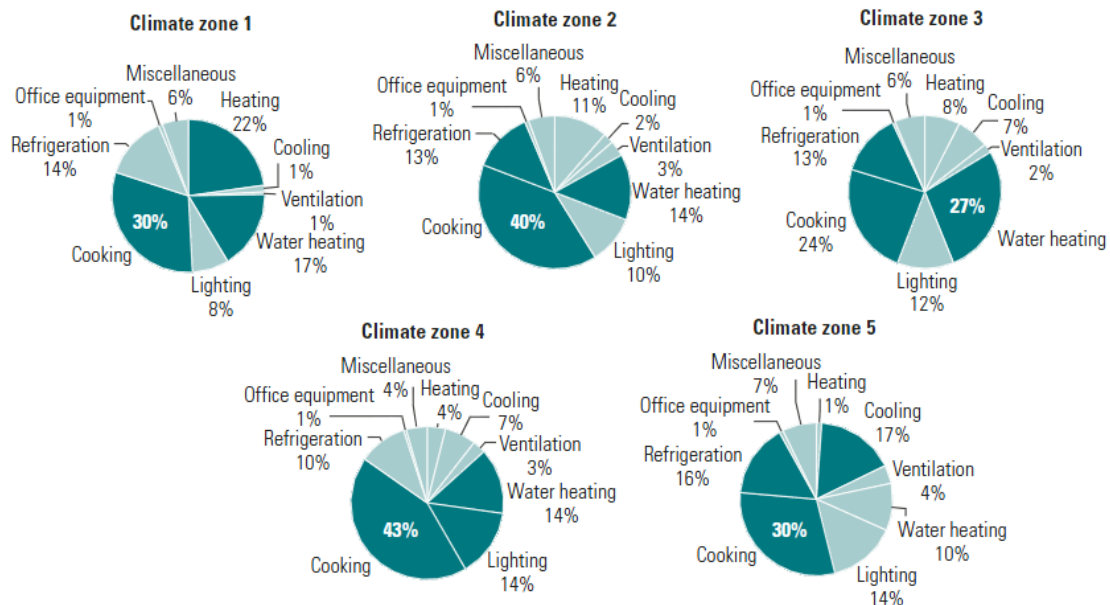


Εικόνα 3.2.4: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τετραγωνικό feet σε εστιατόρια



Εικόνα 3.2.5: Κόστος λειτουργίας ανά τετραγωνικό feet σε εστιατόρια

Άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη μελέτη των EPI's είναι η κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει η υπό μελέτη εγκατάσταση και γενικά οι κλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, παρακάτω παρατίθενται οι επί τις εκατό καταναλώσεις ξενοδοχείων κατά μέσο όρο στις πέντε κλιματικές ζώνες της Αμερικής. Παρατηρούμε ότι στη ζώνη πέντε η θέρμανση καταλαμβάνει μόλις το 1% της συνολικής κατανάλωσης ενώ στην ένα το 22%, και αντίστοιχα ότι ο κλιματισμός στη ζώνη πέντε βρίσκεται στο 17% με όλες τις υπόλοιπες ζώνες να κυμαίνονται στο 1 με 7 τις εκατό. Ο φωτισμός, η ψύξη, ο εξαερισμός, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός, η προετοιμασία φαγητού και η θέρμανση νερού διατηρούν παρόμοιες τιμές με εξαίρεση τη θέρμανση νερού στη ζώνη τρία που απασχολεί το 27% σε αντίθεση με το σύνθητες 14%.



Εικόνα 3.2.6: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εστιατόρια ανά χρήση και κλιματική ζώνη

Νωρίτερα παρατέθηκε ένας πίνακας με πιθανώς χρήσιμα EPI's για την ενεργειακή παρακολούθηση εστιατορίων. Ωστόσο, όπως μπορεί να καταλάβει κανείς, για να οριστεί ένα πραγματικά χρήσιμο EPI πρέπει να θέσουμε επακριβώς τον σκοπό μας και τη σκοπιά απ' την οποία θα εξετάσουμε τις εγκαταστάσεις.

Ο σκοπός μας είναι η απεικόνιση της αποδοτικότητας, άρα πρέπει ο δείκτης να είναι αναλογία μίας εισόδου και μίας εξόδου. Η είσοδος προφανώς στη περίπτωση μας θα είναι ηλεκτρική ενέργεια εκφρασμένη σε kWh και η έξοδος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τη σκοπιά που θα δούμε το πρόβλημα του εστιατορίου.

Από τη σκοπιά του προϊόντος μπορούμε σαν βάση μας να θέσουμε τα γεύματα που πωλούνται, τα πιάτα που παρασκευάζονται μεμονωμένα ή τη ποσότητα πρώτης ύλης που δαπανάται. (kWh/πιάτο-γεύμα-kg)

Από τη σκοπιά του ανθρώπου μπορούμε σαν βάση να θέσουμε τους πελάτες που εξυπηρετούνται ή τους εργαζόμενους που απασχολούνται (kWh/πελάτη-εργαζόμενο - σερβιτόρο)

Από την οικονομική σκοπιά μπορούμε να θέσουμε σαν βάση τα κέρδη ανά πιάτο ή τα κέρδη ανά πελάτη (kWh/euro).

Από χωρική σκοπιά μπορούμε να θέσουμε σαν βάση την έκταση του εστιατορίου, τη θερμαινόμενη έκταση ή την έκταση των μαγειρειών (kWh/m<sup>2</sup>).

Το ποια (ή ποιες) θα επιλέξουμε σαν σκοπιά μας θα μας το καθορίσει η εκ φύσεως αποτελεσματικότητα της κάθε σκοπιάς και η μεθοδολογία μας ύστερα από μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων.

### 3.3 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Ξενοδοχεία

Ένας άλλος ενεργοβόρος τομέας κτιρίων είναι αυτός των ξενοδοχειακών μονάδων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες ένα ξενοδοχείο δαπανά ετησίως κατά μέσο όρο 2.196\$ για κάθε δωμάτιο που διαθέτει, ποσό που αναλογεί στο 6% των συνολικών εξόδων του. Φυσικά το νούμερο αυτό εξαρτάται σε μεγάλο απ' το μέγεθός του, τις κλιματικές συνθήκες, τις εγκαταστάσεις, την πληρότητα, το επίπεδο υπηρεσιών που προσφέρει και πολλούς άλλους παράγοντες. Πάντα όμως μπορούν να υπάρξουν οφέλη απ' τη μείωση των δαπανών ενεργειακής κατανάλωσης, σε βαθμό βέβαια που αυτό να μην επηρεάζει τη ποιότητα των υπηρεσιών προς τον πελάτη.

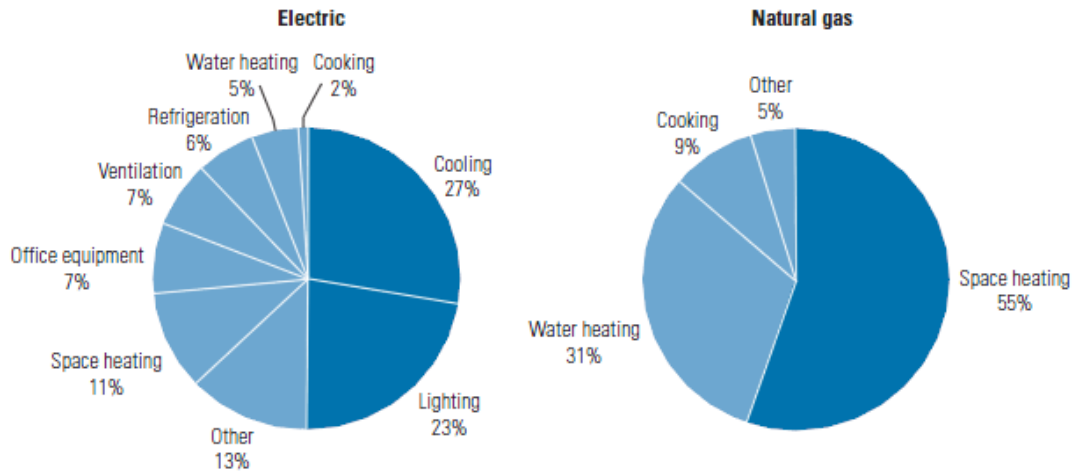
Αν θέλαμε να κατηγοριοποιήσουμε τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των ξενοδοχείων θα δημιουργούσαμε δύο οικογένειες παραμέτρων: Τις φυσικές και τις λειτουργικές.

Στις φυσικές παραμέτρους ανήκουν το μέγεθος, η δόμηση και ο σχεδιασμός του κτιρίου, η γεωγραφική τοποθεσία, το κλίμα, η παλαιότητα του κτιρίου, ο τύπος των ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων, το πλάνο λειτουργίας και συντήρησης, οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας, οι συνήθειες καταναλώσεις ενέργειας και νερού και το κόστος τους.

Στις λειτουργικές παραμέτρους ανήκουν τα σχέδια λειτουργίας υπο-τομέων του ξενοδοχείου (πλυντήρια, εστιατόρια, catering, bar, αίθουσες συνεδριάσεων, πισίνες, αθλητικές εγκαταστάσεις, spa κ.α.), οι διάφορες προσφερόμενες υπηρεσίες, οι αυξομειώσεις στην πληρότητα του ξενοδοχείου, οι διαφοροποιήσεις στις προτιμήσεις των πελατών και η κουλτούρα των τελευταίων.

Σύμφωνα με μελέτη της EnergyStar το 1999 για ξενοδοχεία στις Η.Π.Α., η κατανάλωση διαμορφώνεται ως εξής ως προς τη μορφή καταναλισκόμενης ενέργειας:

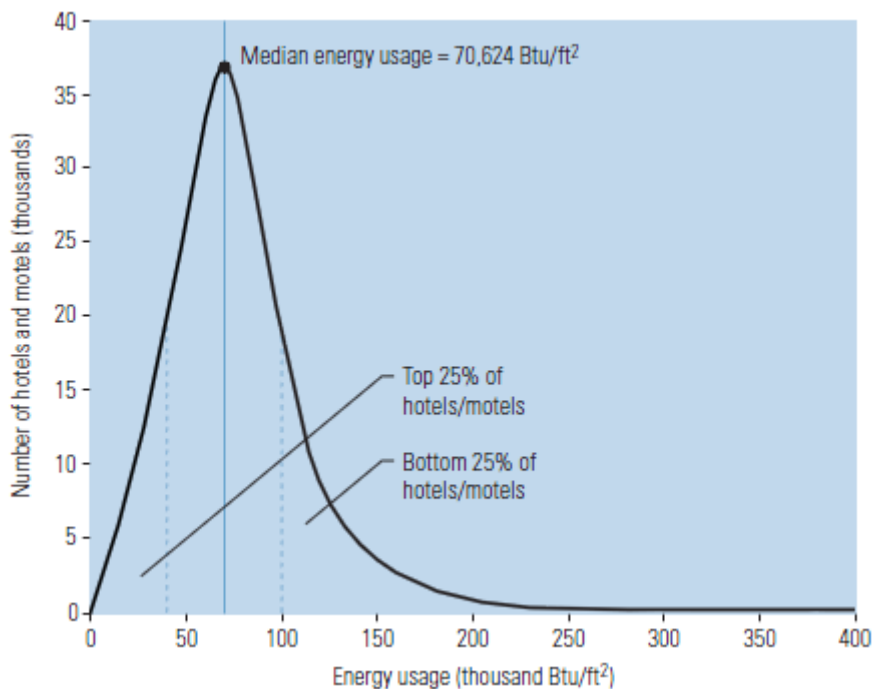




Courtesy: E source; from Commercial Building Energy Consumption Survey, 1999 data

Εικόνα 3.3.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε ξενοδοχεία στις Η.Π.Α ανά χρήση

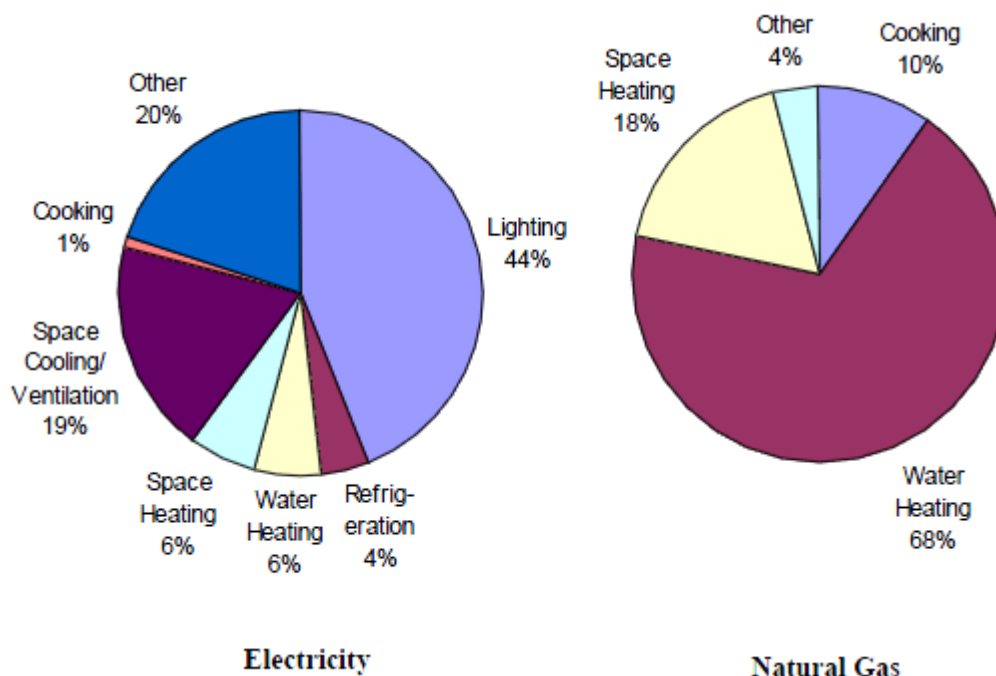
Όπως φαίνεται, κύριοι ενεργοβόροι τομείς είναι η θέρμανση χώρου, η θέρμανση νερού, ο κλιματισμός και ο φωτισμός. Η μέση κατανάλωση κυμαίνεται στα 70.000Btu/ft<sup>2</sup>, με το 75% του δείγματος να βρίσκεται ανάμεσα στα 37.000Btu/ft<sup>2</sup> και 110.000Btu/ft<sup>2</sup>. Η εικόνα αυτή του δείγματος παρουσιάζεται και παρακάτω:



Εικόνα 3.3.2: Διακύμανση κατανάλωσης ενέργειας σε ξενοδοχεία των Η.Π.Α.

Η εικόνα στις καταναλώσεις δεν είναι και κατά πολύ διαφορετική στα ξενοδοχεία της Αυστραλίας, τουλάχιστον στον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τομείς μικρής κατανάλωσης ηλεκτρισμού έχουν πάνω κάτω τα ίδια ποσοστά (

ψυγεία, κουζίνα, θέρμανση νερού, λουπά), ενώ διαφορά έχουμε στην κατανάλωση σε φωτισμό (διπλάσια στην Αυστραλία) και σε HVAC(διπλάσια στις Η.Π.Α.). Πολύ μεγάλες διαφορές έχουμε σε ότι αφορά τις καταναλώσεις φυσικού αερίου.



Εικόνα 3.3.3: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε ξενοδοχεία στην Αυστραλία ανά χρήση

Αυτές οι διαφορές μπορεί έχουν να κάνουν με τη διαφορετική πολιτική των ξενοδοχείων από χώρα σε χώρα, με το είδος των ξενοδοχείων που περιλαμβάνει το δείγμα, τις κλιματικές διαφορές κ.α. Ενθαρρυντικό είναι ωστόσο ότι και στις δύο έρευνες η μέση κατανάλωση των ξενοδοχείων απέχει μόλις 10%. Για τις Η.Π.Α. είναι 220kWh/m<sup>2</sup> και για την Αυστραλία 250kWh/m<sup>2</sup> (208kWh/m<sup>2</sup> για απλά ξενοδοχεία και 292 kWh/m<sup>2</sup> για ξενοδοχεία με πρόσθετες προσφερόμενες υπηρεσίες). Αναλυτικά, οι καταναλώσεις επί τις εκατό για τις δύο στατιστικές μελέτες φαίνονται παρακάτω ως προς την ηλεκτρική ενέργεια, που είναι και αυτές που μας αφορούν:

Ποσοστό (%)	U.S.A	Ποσοστό (%)	Αυστραλία
45	HVAC	44	Φωτισμός
23	Φωτισμός	25	HVAC
13	Άλλα	20	Άλλα
7	Εξοπλισμός γραφείου	6	Ζεστό νερό
6	Ψυγεία	4	Ψυγεία
5	Ζεστό νερό	1	Κουζίνα
2	Κουζίνα		

Παρακάτω ακολουθούν οι καταναλώσεις σε kWh/m<sup>2</sup>ανά χρόνο για διάφορες χώρες του κόσμου σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει κατά χρονικά διαστήματα.

Country (data for the year)	Average energy use, kWh/m <sup>2</sup> /year, unless specified otherwise
Canada (1991)	688.7
Japan (1991)	745
Europe (1990s)	238.9–300
Hong Kong (1995–1997)	148.4–988, average 564
US (1999)	250–844, average 406
	313.9
UK (1988)	200–1000, average 495
	715
New Zealand (1999)	158.6
Sweden (1999, 2001, 2003–2004)	100–200
	198–379
	282–300
Cyprus (2001)	103–370, average 272.6
Greece (2001)	72–519, average 289.9
Italy (2001)	249–436, average 364.4
Portugal (2001)	99–444.6, average 296.4
Europe (1990s)	55.5 kWh/guest-night
New Zealand (1999)	9.7–105.6, average 43.1 kWh/guest-night
Zanzibar (2000)	61.4–254.4, average 71.1 kWh/guest-night
Cyprus (2001)	24.2 kWh/guest-night
Majorca (2001)	14.2 kWh/guest-night

Στη συνέχεια θα γίνει μία προσπάθεια να προταθούν πιθανοί ενεργειακοί δείκτες για ξενοδοχειακές μονάδες, ερευνώντας σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των στοιχείων των ξενοδοχείων και της ενεργειακής κατανάλωσης.

Βασικό στάδιο της μελέτης είναι η κατηγοριοποίηση των ξενοδοχείων ανάλογα με:

- Την αναλογία των χώρων διαμονής με τους υπόλοιπους χώρους
- Την χωρική έκταση δωματίων
- Τον αριθμό προσφερόμενων γευμάτων ανά δωμάτιο

Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί αφενός το κάθε ξενοδοχείο ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρει έχει διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά, και αφετέρου γιατί αυτό θα μας δώσει την ικανότητα να προβλέπουμε σε κάποιο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση και συμπεριφορά ενός ξενοδοχείου χωρίς να έχουμε στοιχεία για την κατανάλωσή του, παρά μόνο για το σε ποια κατηγορία ανήκει.

Οι κατηγορίες που διακρίνουμε είναι:

- **Ξενοδοχεία απλής διαμονής**, όπου οι πρόσθετες υπηρεσίες (εστιατόρια, *café*, *bar* και *μαγαζιά*)κατέχουν πολύ μικρή έκταση στη μονάδα

- **Ξενοδοχεία επιχειρηματικών δραστηριοτήτων**, όπου εγκαταστάσεις σίτισης, διασκέδασης και διεξαγωγής συνεδριάσεων και επαγγελματικών συναντήσεων κατέχουν σημαντικό μέρος της μονάδας
- **Καζίνο**, όπου οι υπηρεσίες διαμονής έχουν μάλλον συμπληρωματικό χαρακτήρα στο ξενοδοχείο
- **Γενικού τύπου**, όπου πάλι η διαμονή δεν είναι το κύριο μέλημα του ξενοδοχείου αλλά προσφέρει πληθώρα εγκαταστάσεων ψυχαγωγίας
- **Θέρετρα**, όπου εκτός από υποδομές διαμονής υπάρχει πληθώρα εγκαταστάσεων για σίτιση, διασκέδαση, άθληση και ξεκούραση.

Για τις τρεις τελευταίες κατηγορίες η κατηγοριοποίηση γίνεται εύκολα ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρει το ξενοδοχείο. Για τις άλλες δύο κατηγορίες μέτρο αποτελεί ότι ένα σύνθετος ξενοδοχείο απλής διαμονής έχει έκταση δωματίου έως 60m<sup>2</sup> και προσφορά γευμάτων μέχρι δύο ανά δωμάτιο.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί ως προς διάφορα μεγέθη του ξενοδοχείου το πως επηρεάζεται η ενεργειακή κατανάλωση.

#### ● Πληρότητα Ξενοδοχείου

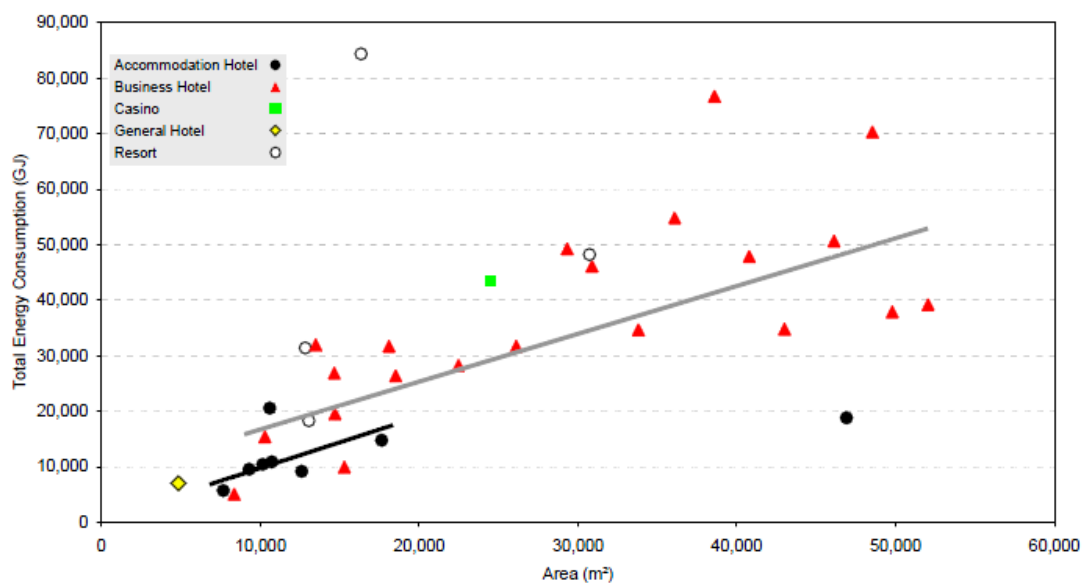
Η πληρότητα σε ένα ξενοδοχείο μπορεί εν δυνάμει να επηρεάσει την ενεργειακή κατανάλωσή του, ειδικά αν μιλάμε για απλά ξενοδοχεία. Ωστόσο, μεγάλο πρόβλημα είναι η διαστασοποίηση του όρου 'πληρότητα' σε αριθμούς, και αυτό γιατί έχει να κάνει με πληθώρα άλλων παραγόντων, όπως ο όγκος και ο αριθμός των δωματίων, ο αριθμός κρεβατιών σε αυτά κ.α.. Σε περίπτωση μάλιστα που το ξενοδοχείο εξυπηρετεί και πελάτες που δεν διαμένουν σε αυτό, υπάρχουν πρόσθετες καταναλώσεις που το μέτρο 'πληρότητα' δεν τις καλύπτει. Τέλος, μετά από συζητήσεις που έχουν γίνει με υπευθύνους ξενοδοχείων, έχει αποκαλυφθεί πως ακόμα και όταν ένα δωμάτιο είναι άδειο, ο κλιματισμός σε αυτό συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά για λόγους κλιματικής άνεσης πιθανώς επερχόμενου πελάτη, παράγοντας που προφανώς αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας χωρίς να υπάρχει αντίκρισμα στην πληρότητα του ξενοδοχείου.

Έτσι, κρίνεται καλύτερη η διάσπαση του περιεχομένου της σε υποκατηγορίες και η ξεχωριστή μελέτη αυτών.

Αυτήν την αοριστία του όρου πληρότητα, που οδηγεί σε αβέβαια συμπεράσματα για το βαθμό που επηρεάζει τις καταναλώσεις, έχει δείξει και έρευνα σε 31 ξενοδοχεία της Αυστραλίας. Σύμφωνα με αυτή, για πληρότητα πάνω από 70% δεν υπάρχει σχεδόν καμία σχέση πληρότητας-κατανάλωσης ενώ για πληρότητα μικρότερη του 70% ξεκινά να υπάρχει μία μικρή και σταδιακή μείωση της κατανάλωσης.

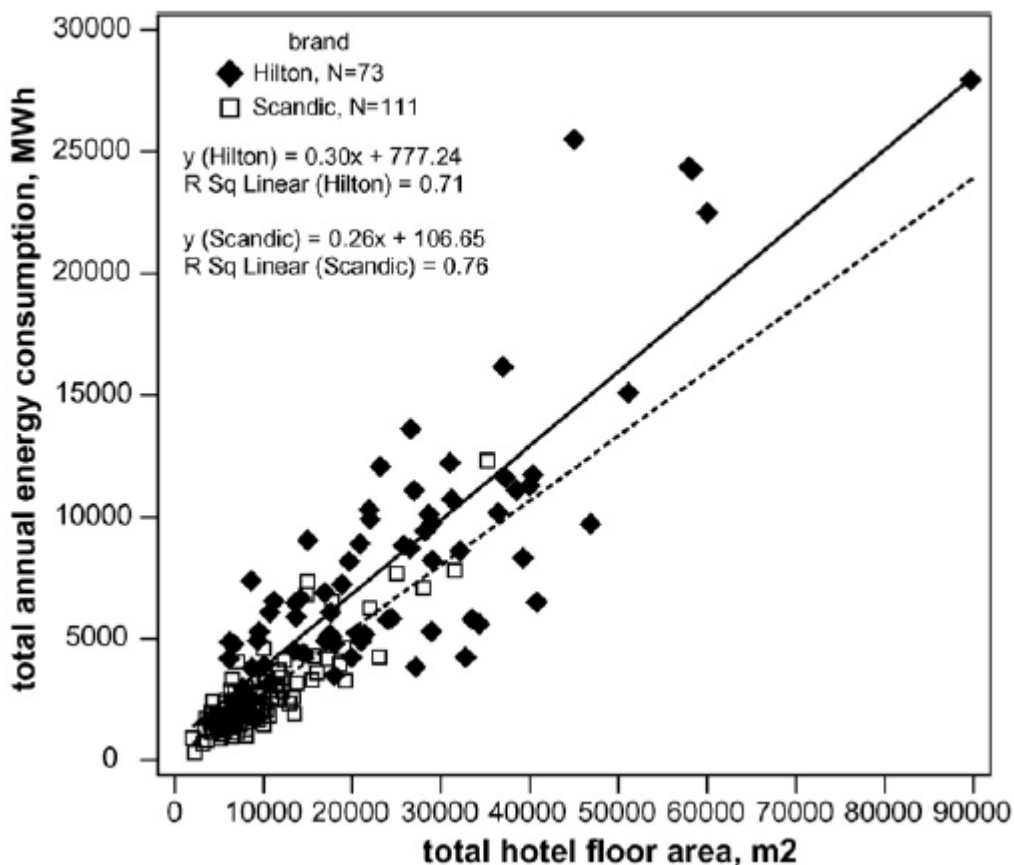
### ● Επιφάνεια Ξενοδοχείου

Η πιο απλή μορφή δείκτη θα μπορούσε να είναι η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας (π.χ. kWh/m<sup>2</sup>). Θεωρητικά, όσο αυξάνει η επιφάνεια τόσο πρέπει να αυξάνει και η κατανάλωση. Αυτό πρακτικά δεν συμβαίνει γιατί η σχέση επιφάνειας-κατανάλωσης δεν είναι τόσο ισχυρή για μικρά μεγέθη, αλλά αυξάνει όσο αυξάνει η επιφάνεια. Έτσι, σε ξενοδοχεία απλής διαμονής δεν θα ήταν και τόσο αξιόπιστος δείκτης, σε αντίθεση με τα ξενοδοχεία επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Παρακάτω φαίνεται η γραμμική σχέση που υπάρχει στους δύο αυτούς τύπους ξενοδοχείων.



Εικόνα 3.3.4: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με επιφάνεια ξενοδοχείου

Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από άλλη έρευνα που έγινε το 2005 με δείγμα τα ξενοδοχεία δύο μεγάλων αλυσίδων, της Hilton και της Scandic. Η έρευνα έδειξε πως υπάρχει αρκετή συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης και της επιφάνειας του ξενοδοχείου, δίνοντας συντελεστή προσδιορισμού R<sup>2</sup> μεγαλύτερη του 0,7.

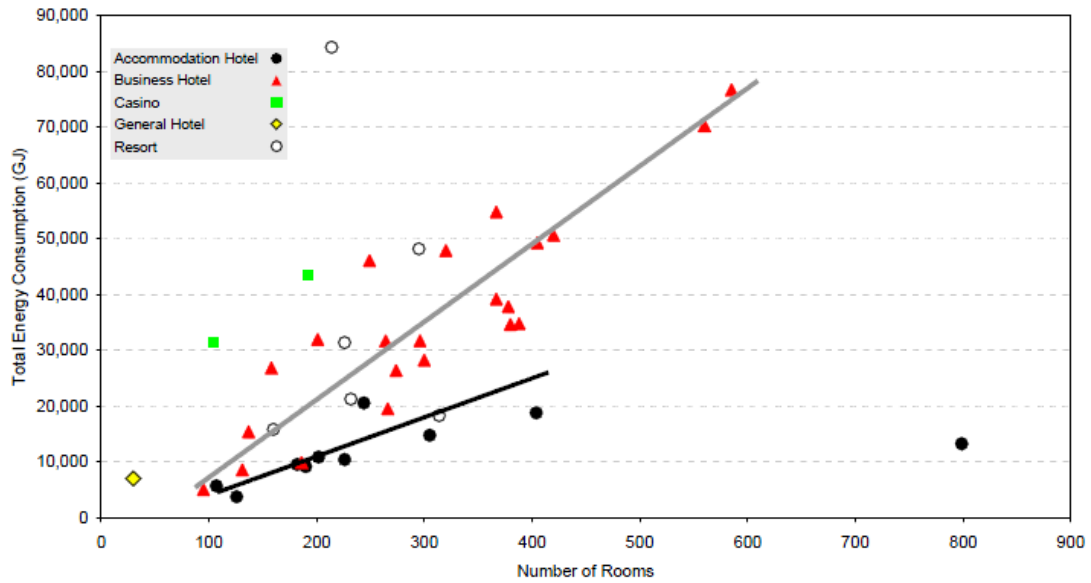


Εικόνα 3.3.5: Συσχέτιση ετήσιας καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με συνολική επιφάνεια ξενοδοχείου

Σημαντικό πρόβλημα του δείκτη είναι το ποια επιφάνεια ακριβώς θα θεωρηθεί για τον υπολογισμό του. Συνήθως υπολογίζεται μόνο η εσωτερική επιφάνεια του ξενοδοχείου πλην των χώρων πολύ χαμηλής κατανάλωσης (π.χ. υπόγεια με καυστήρες και ηλεκτρολογικά). Αυτό όμως οδηγεί το δείκτη να μην δίνει καμία πληροφορία για τις εξαιρούμενες επιφάνειες και τις εξωτερικές εγκαταστάσεις, ενώ παράλληλα μειώνει την αξιοπιστία του, αφού στο μέσο μπαίνουν αρκετές συμβάσεις του ερευνητή. Το πλεονέκτημά του είναι το μεγάλο εύρος μελέτης που προσφέρει για το κτίριο.

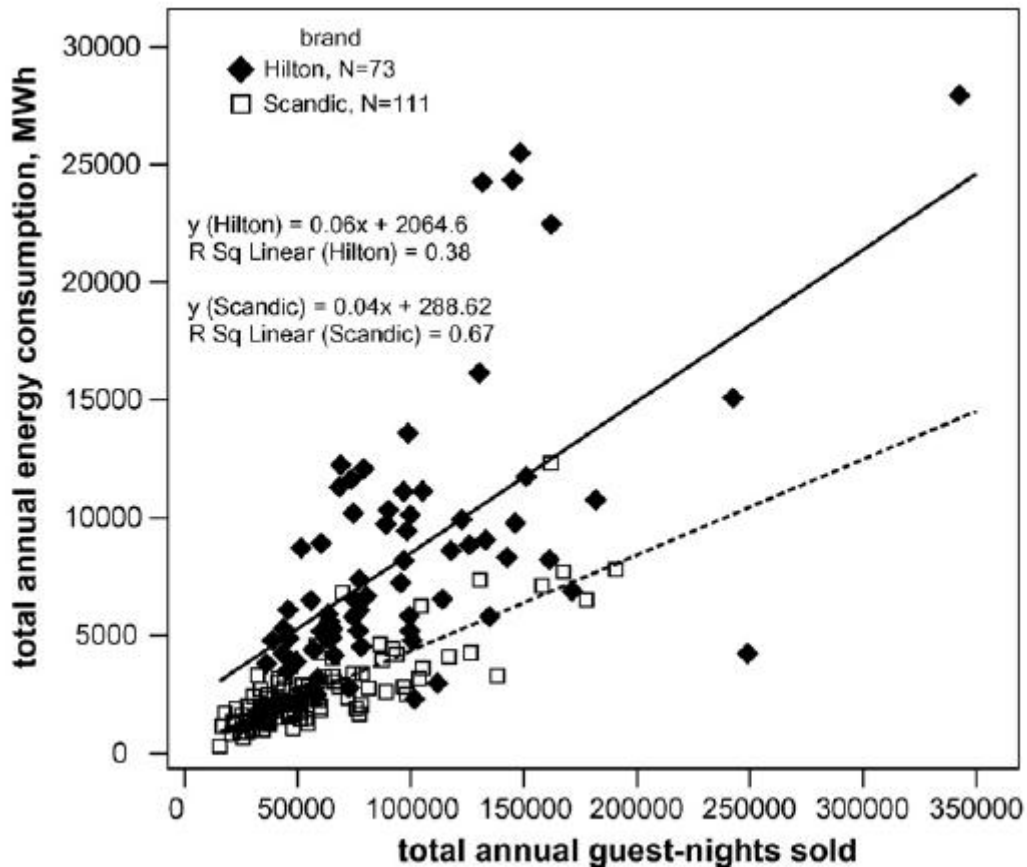
#### • Αριθμός Δωματίων

Άλλος δείκτης είναι η κατανάλωση ενέργειας ανά αριθμό δωματίων (π.χ. kWh / δωμάτιο). Όπως φαίνεται και παρακάτω, υπάρχει στενή γραμμική σχέση κατανάλωσης-αριθμού δωματίων στα ξενοδοχεία απλής διαμονής και μία αξιόλογη σχέση στα ξενοδοχεία επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Αυτό είναι πολύ λογικό αν σκεφτούμε πως τα απλά ξενοδοχεία απασχολούνται αποκλειστικά με υπηρεσίες διαμονής ενώ τα ξενοδοχεία επιχειρηματικών δραστηριοτήτων έχουν και κάποιες περαιτέρω δραστηριότητες.



*Εικόνα 3.3.6: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με αριθμό δωματίων ξενοδοχείου*

Το συμπέρασμα ότι όσο λιγότερες είναι οι πρόσθετες υπηρεσίες που προσφέρει το ξενοδοχείο τόσο πιο μεγάλη συσχέτιση υπάρχει μεταξύ κατανάλωσης και δωματίων που χρησιμοποιούνται, επιβεβαιώνεται και πάλι απ' την έρευνα στα ξενοδοχεία Hilton και Scandic. Η έρευνα έδειξε πως τα συγκριτικά με τα Hilton μικρότερα ξενοδοχεία της Scandic παρουσιάζουν συντελεστή προσδιορισμού πολύ μεγαλύτερης τιμής (0,67 έναντι 0,38). Αυτό παρουσιάζεται και παρακάτω:



Εικόνα 3.3.7: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με νύχτες διανυκτέρευσης πελατών σε ξενοδοχεία

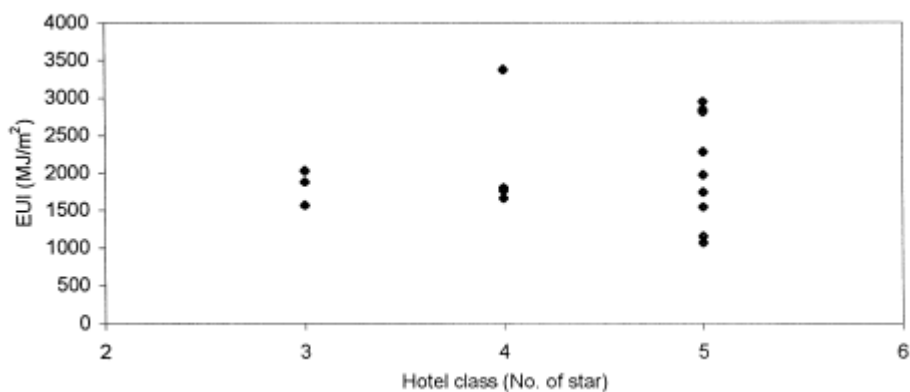
Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει δυστυχώς δύο αδυναμίες. Πρώτον αναφέρεται αποκλειστικά στην κατανάλωση ενέργειας στους χώρους διαμονής του ξενοδοχείου, αδιαφορώντας για τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις εντός αυτού, και δεύτερον δεν μας δίνει καμία πληροφορία για τις καταναλώσεις στα εξωτερικά τμήματα αυτού. Το πλεονέκτημά του δείκτη είναι ότι αν και έχει μικρό εύρος, έχει μεγάλη αξιοπιστία λόγω της αυστηρότητας ορισμού του.

#### ● Αξιολόγηση Ξενοδοχείου:

Μία σκέψη που θα μπορούσε να γίνει για την επιλογή του καλύτερου δυνατού δείκτη σε ένα ξενοδοχείο, είναι η εύρεση κάποιας πιθανής σχέσης αυτού με το επίπεδο υπηρεσιών που προσφέρει, δηλαδή ανάλογα με την αξιολόγησή του σε αστέρια. Σκεφτόμενοι λογικά, όσο αυξάνει το επίπεδο υπηρεσιών αναμένουμε να αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας στο ξενοδοχείο. Το θέμα είναι όμως ότι αν χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα σαν δείκτη την κατανάλωση ανά επιφάνεια δωματίου, δεν είναι απαραίτητο η τιμή του δείκτη σε ένα ξενοδοχείο 5 αστέρων να είναι μεγαλύτερη από ένα τριών, και αυτό γιατί το δωμάτιο στο πρώτο αναμένεται να είναι επίσης μεγαλύτερο. Μάλιστα σε έρευνα που έγινε σε 16 ξενοδοχεία του Hong-Kong, παρατηρήθηκε πως στην ουσία δεν υπάρχει



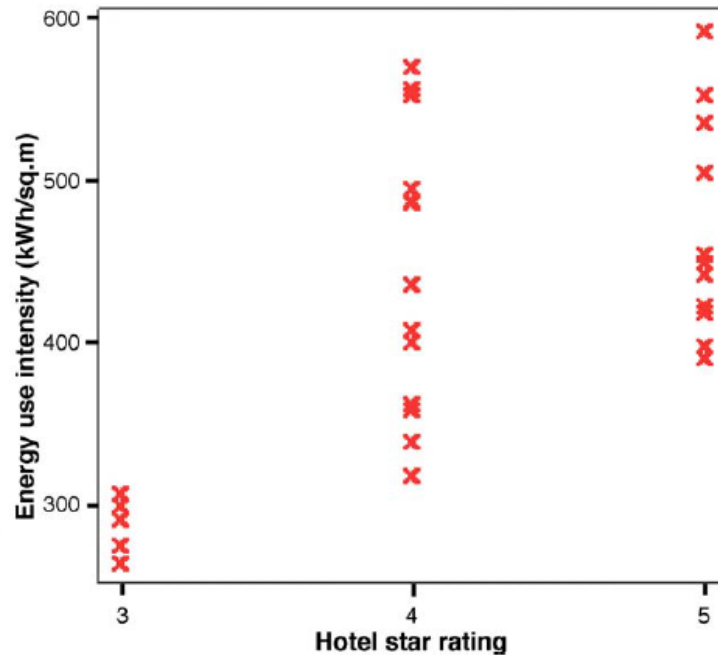
ουδεμία σχέση ανάμεσα στην κλάση του ξενοδοχείου και τη τιμή του συγκεκριμένου δείκτη. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται παρακάτω και φαίνεται πως ορισμένα ξενοδοχεία πέντε αστέρων έχουν ακόμα και μικρότερη τιμή δείκτη από αυτά των τριών, πιθανώς λόγω πολύ μεγάλης έκτασης δωματίων.



*Εικόνα 3.3.8: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αξιολόγησης ξενοδοχείου*

Τα ίδια ασαφή αποτελέσματα έχουμε αν στραφούμε και στη συνολική επιφάνεια του ξενοδοχείου ως μέτρο σύγκρισης, αφού και πάλι αυξάνεται η κατανάλωση στα ξενοδοχεία περισσότερων αστεριών αλλά αυξάνεται πολύ και ο χώρος που μελετάται λόγω εστιατορίων, καθιστικών, bar κ.τ.λ.

Σε αυτή την ασαφή σχέση κατέληξε και στατιστική μελέτη που έγινε σε 29 ξενοδοχεία της Σιγκαπούρης το 2009. Σύμφωνα με αυτή, αν χρησιμοποιήσουμε ένα δείκτη τύπου kWh/m<sup>2</sup> δεν μπορούμε να εντοπίσουμε σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση ενός ξενοδοχείου τεσσάρων και ενός ξενοδοχείου πέντε αστέρων. Διαφορές μπορούμε να βρούμε μόνο για ξενοδοχεία τριών αστεριών και κάτω, όπου οι καταναλώσεις γίνονται ασύγκριτα μικρότερες.



Εικόνα 3.3.9: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αξιολόγησης ξενοδοχείων στη Σιγκαπούρη

#### ● Προσφερόμενα Γεύματα

Ο αριθμός των γευμάτων που παρασκευάζονται και προσφέρονται στους χώρους του ξενοδοχείου επηρεάζουν αρκετά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Αυτό γίνεται αντιληπτό αν σκεφτούμε ότι για την παραγωγή ενός γεύματος απαιτούνται 4 έως 6 kWh. Η σχέση των γευμάτων με την κατανάλωση είναι σε γενικές γραμμές πιο εμφανής σε μικρότερα ξενοδοχεία, όπου και θα καταλαμβάνουν λόγω των μικρότερων υπόλοιπων καταναλώσεων μεγάλο μέρος της συνολικής.

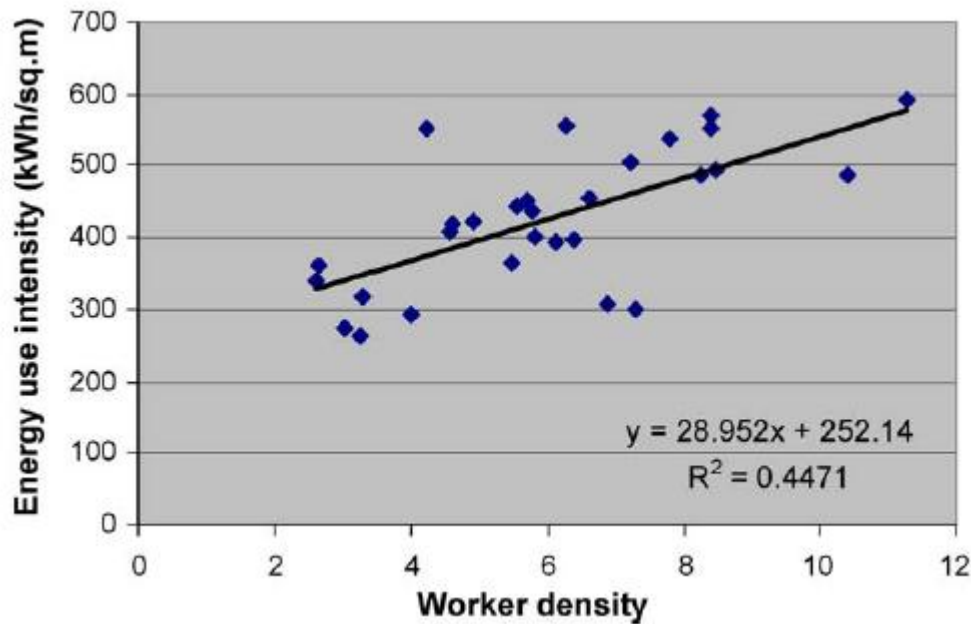
Ενδεικτικά στην έρευνα Hilton-Scandia, τα μικρότερα ξενοδοχεία της δεύτερης έχουν συντελεστή προσδιορισμού 0,66, σε αντίθεση με των ξενοδοχείων της Hilton που έχουν τιμή 0,51.

#### ● Αριθμός Εργαζομένων

Ο αριθμός εργαζομένων σε ένα ξενοδοχείο μπορεί να αποτελέσει ένα έξυπνο μέτρο αξιολόγησης της ενεργειακής συμπεριφοράς του ξενοδοχείου. Αυτό, όχι μόνο επειδή η ύπαρξη μεγαλύτερου προσωπικού οδηγεί αναγκαστικά και σε αυξημένες καταναλώσεις, αλλά κυρίως γιατί υποδηλώνει πολλές δραστηριότητες και αυξημένο εργασιακό πόστο.

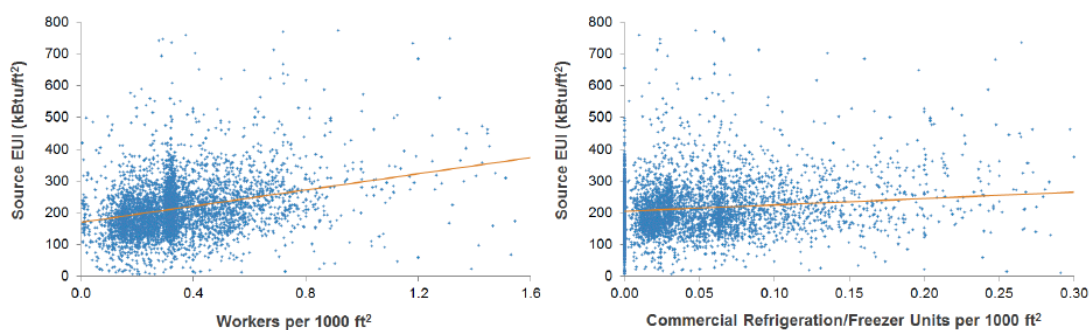
Στην έρευνα της Σιγκαπούρης που προαναφέρθηκε, βρέθηκε να υπάρχει συντελεστής προσδιορισμού 0,45 για τη σχέση εργαζομένων-κατανάλωσης.

Ακολουθεί η γραφική της μελέτης:

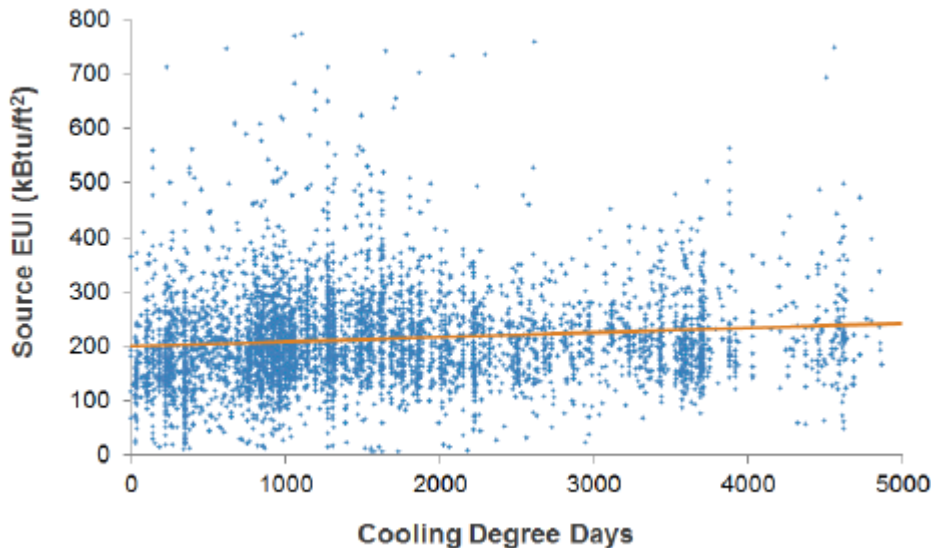


Εικόνα 3.3.10: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αριθμού εργαζομένων σε ξενοδοχεία

Πρόσφατα, η EnergyStar δημοσίευσε στοιχεία της από μελέτη 8.426 ξενοδοχείων στην Αμερική με σκοπό την παρουσίαση των πλέον αντιπροσωπευτικών δεικτών για αξιολόγηση ξενοδοχείων. Τα συμπεράσματα βασίζονται στη συσχέτιση μεταξύ του μέτρου του δείκτη και της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Έτσι, λοιπόν, πιο πολύ φαίνεται να επηρεάζουν την κατανάλωση ο αριθμός εργαζομένων (ανά επιφάνεια), ο αριθμός ψυγείων (ανά επιφάνεια) και ο αριθμός ημερών που λειτουργεί ο κλιματισμός για ψύξη των χώρων του ξενοδοχείου. Μάλιστα, δόθηκαν και οι μέσες τιμές των μέτρων αυτών οι οποίες ήταν: 0,32 εργαζόμενοι/1000ft<sup>2</sup>, 0,03 ψυγεία/1000ft<sup>2</sup> και 1.273 μέρες ψύξης με κλιματισμό (Cooling Degree Days).



Εικόνα 3.3.11: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείων με αριθμό εργαζομένων (αριστερά) και αριθμό ψυγείων (δεξιά) σε αυτά κατά EnergyStar



Εικόνα 3.3.12: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείων με αριθμό ημερών λειτουργίας κλιματισμού (για ψύξη) σε αυτά κατά EnergyStar

Σε αυτό το σημείο θα ήταν χρήσιμο να εξηγηθεί ο όρος Cooling Degree Days. Θεωρώντας αυτόματη λειτουργία κλιματισμού για ψύξη από 18 βαθμούς Κελσίου και πάνω (συνήθως σε αυτή τη θερμοκρασία ρυθμίζεται ο θερμοστάτης) προσπαθούμε να εντοπίσουμε κάθε πότε μέσα στη μέρα λειτούργησε ο κλιματισμός. Έτσι βρίσκουμε τη μέση θερμοκρασία της κάθε μέρας και αφαιρούμε απ' αυτή τους 18 βαθμούς. Για μέση θερμοκρασία π.χ. 29 βαθμούς μες στη μέρα θα έχουμε  $CDD=29-18=11$  και αν όλος ο μήνας έχει την ίδια μέση θερμοκρασία θα έχουμε μηνιαίως  $CDD=\sum_{k=1}^{30} CDDk=11*30=330$ . Αντίστοιχα, για τις μέρες θέρμανσης (Heating Degree Days) ακολουθείται η ίδια διαδικασία αφαιρώντας αυτή τη φορά απ' τη θερμοκρασία του θερμοστάτη (18 βαθμοί) τη μέση θερμοκρασία της ημέρας.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τη κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι η ύπαρξη κουζίνας ή μη εντός του ξενοδοχείου, οι μέρες θέρμανσης του ξενοδοχείου και ο αριθμός δωματίων (ανά επιφάνεια). Η μέση κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις 654 kWh/m<sup>2</sup> και κυμαίνεται από 316-2.526 kWh/m<sup>2</sup>. Γενικά, τα πιο ενεργοβόρα ξενοδοχεία του δείγματος ήταν και τα πιο απομακρυσμένα από τη μέση τιμή και ταυτόχρονα τα λιγότερα αποδοτικά.

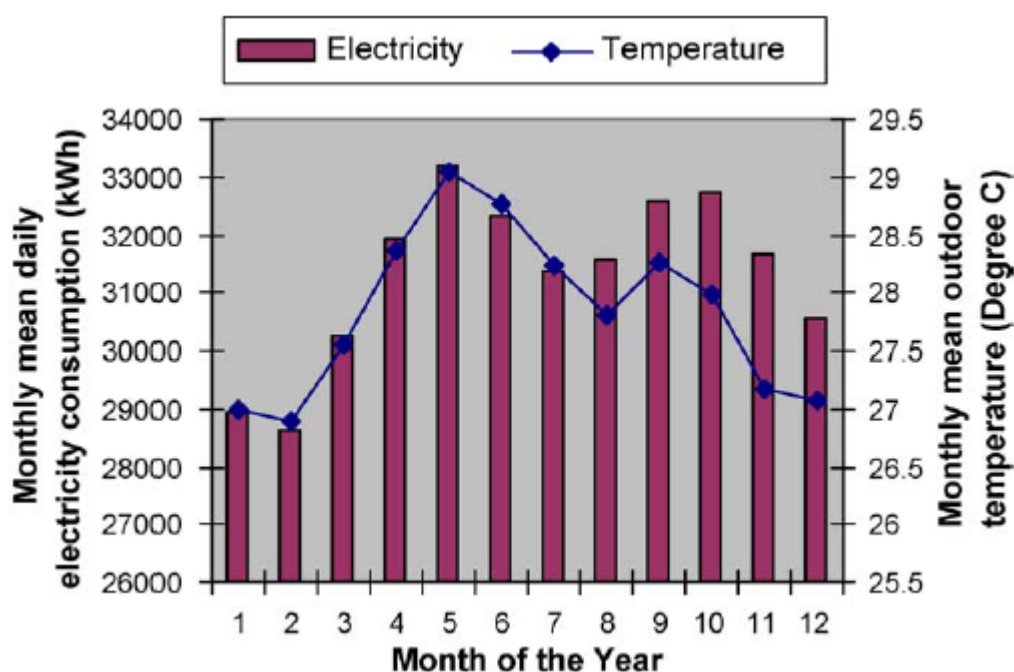
#### ● Το Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής που βρίσκεται το ξενοδοχείο είναι φυσικό να επηρεάσει την ενεργειακή του συμπεριφορά, αυξάνοντας ή μειώνοντας ανάλογα τις

καταναλώσεις που αφορούν κυρίως τον κλιματισμό, τη ψύξη και τη θέρμανση των χώρων. Σύμφωνα με έρευνες, μεγαλύτερη σημασία έχει η εξωτερική θερμοκρασία και όχι άλλα στοιχεία όπως η υγρασία ή η ηλιοφάνεια.

Τα συμπεράσματα για το βαθμό που επηρεάζει το κλίμα τις καταναλώσεις εξαρτώνται προφανώς και από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων κλιματισμού, δηλαδή απ' το βαθμό απόδοσής τους, τον τύπο τους (κεντρικό σύστημα ή όχι), το έτος εγκατάστασης, τη συχνότητα συντήρησης κ.α. Εδώ θα αναφερθούμε σε συνήθη συστήματα κεντρικού κλιματισμού.

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε στα ξενοδοχεία της Σιγκαπούρης, η κατανάλωση σε ηλεκτρική ενέργεια ακολουθεί σε πολύ καλό βαθμό τα επίπεδα της εξωτερικής θερμοκρασίας, κάτι που φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 3.3.13: Παρουσίαση εποχικότητας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης και συσχέτισής της με τη θερμοκρασία

Με αφορμή την εντυπωσιακή αυτή σχέση κατανάλωσης-θερμοκρασίας, έγινε μία πρόσθετη στατιστική μελέτη. Για τα 13 απ' τα 26 ξενοδοχεία του δείγματος που παρουσίασαν πιο έντονη αυτή τη σχέση, υπολογίστηκε ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$  και η διαφορά συντελεστή μεταβλητότητας-ρίζας μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Γενικά ισχύει ότι αν η δεύτερη τιμή είναι κάτω του 5% μιλάμε για ιδιαίτερα στενή σχέση των μεταβλητών. Όπως φαίνεται, στα 9 απ' τα 13 ξενοδοχεία εμφανίστηκε τιμή μικρότερη του 5%, ενώ σε κανένα δεν ξεπέρασε το 9% (επίσης ικανοποιητικό αποτέλεσμα).

A/A	$R^2$	CV-RMSE
1	0,68	2,75

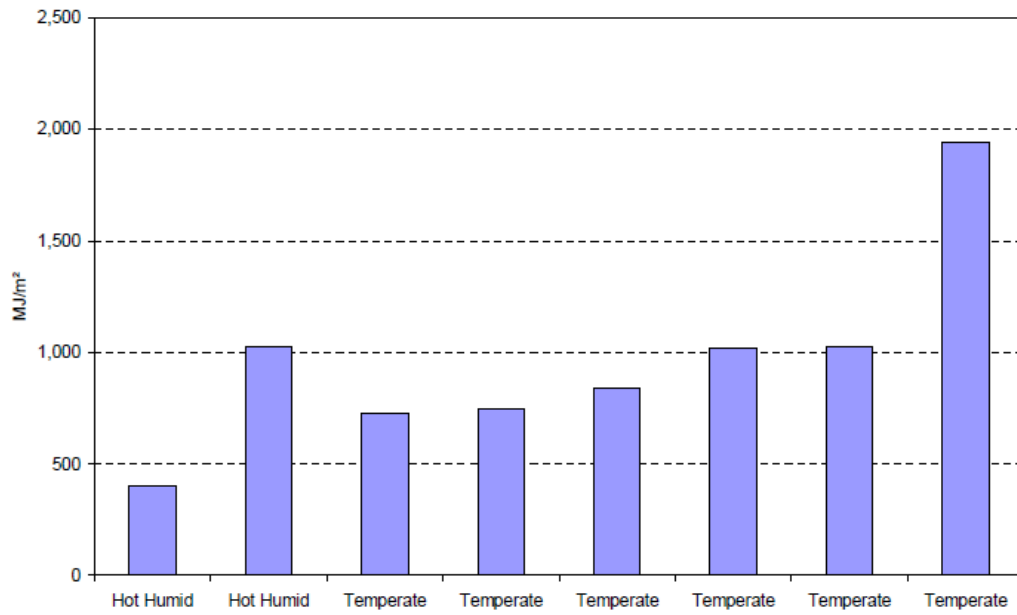
2	0,44	5,27
3	0,42	3,08
4	0,59	1,67
5	0,49	5,55
6	0,41	3,65
7	0,58	3,24
8	0,53	6,82
9	0,64	2,24
10	0,67	3,63
11	0,36	3,67
12	0,48	3,23
13	0,34	8,61

Αυτό μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο στη μελέτη και στη πρόβλεψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός ξενοδοχείου, αφού μπορούμε με ένα απλό γραμμικό μοντέλο που εξετάζει απλές αποκλίσεις να βγάζουμε συμπεράσματα για πρακτικά ζητήματα. Το θέμα είναι ότι τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής αφορούν αποκλειστικά κλιματισμό σε λειτουργία θέρμανσης, αφού όπως βλέπουμε ποτέ δεν έχουμε εξωτερικές θερμοκρασίες κάτω των 26 βαθμών και το κατώφλι αλλαγής από θέρμανση σε ψύξη συνήθως είναι στους 23 βαθμούς.

Η ψύξη σε αντίθεση με τη θέρμανση δεν παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά, ενώ ακόμα πιο περίπλοκα είναι τα πράγματα όταν έχουμε συνεχώς μεταγωγή από θέρμανση σε ψύξη και αντίστροφα. Συνεπώς, ναι μεν τα αποτελέσματα της μελέτης είναι άξια προβληματισμού, αλλά θα πρέπει να εφαρμόζονται για συγκεκριμένες μόνο κατηγορίες ξενοδοχείων ή σε προσεγγιστικές εφαρμογές.

Επιπλέον, θα πρέπει να έχουμε υπόψη πως αν και το κλίμα επηρεάζει σημαντικά τις καταναλώσεις ενός ξενοδοχείου, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σαν κριτήριο σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών ξενοδοχείων, παρά μόνο σαν μέτρο βελτιστοποίησης του τρόπου που ανταποκρίνεται μεμονωμένα το καθένα στις καιρικές συνθήκες που είναι εκτεθειμένο.

Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξε έρευνα που έγινε σε ξενοδοχεία της Νέας Ζηλανδίας το 1996. Όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα, ακόμα και για παρόμοια ξενοδοχεία που έχουν το ίδιο κλίμα, οι καταναλώσεις ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας αποκλίνουν αρκετά.



*Εικόνα 3.3.14: Παρουσίαση σχέσης κλίματος και ηλεκτρικής κατανάλωσης στη Νέα Ζηλανδία*

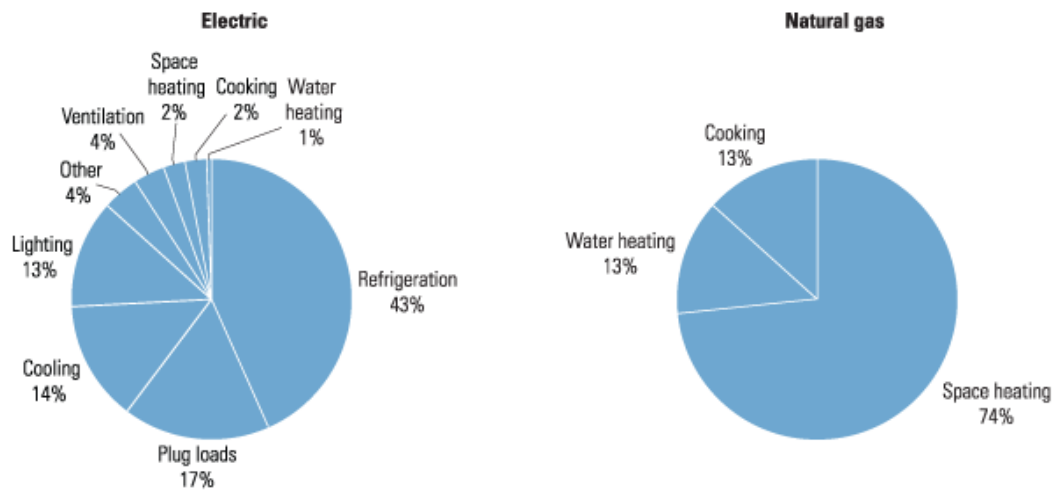
## 3.4 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Supermarkets

Τα supermarkets είναι σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία τα πιο ενεργοβόρα κτίρια στον τομέα των πωλήσεων, έχοντας μέση κατανάλωση 50 kWh ηλεκτρισμού και 50 ft<sup>3</sup> ( 1.416 m<sup>3</sup>) φυσικού αερίου το χρόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι σημερινές τάσεις στα εμπορεύματα οδηγούν σε εντονότερη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών, απαιτώντας αυστηρότερα όρια θερμοκρασιών στα ψυγεία, παραγωγή περισσότερου έτοιμου φαγητού στις κουζίνες των supermarket και αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας κατεψυγμένων και φρέσκων προϊόντων στους διαδρόμους. Ο μόνος τρόπος για την αντιμετώπιση αυτής της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης είναι η χρήση πιο αποδοτικών συσκευών, η μείωση του χρόνου λειτουργία τους τη περίοδο αιχμής και η αφαίρεση άχρηστων φορτίων από την εγκατάσταση. Μάλιστα, επειδή το περιθώριο κέρδους των supermarkets είναι πολύ μικρό (περίπου 1%), είναι φανερό πως η εξοικονόμηση ενέργειας θα είχε καθοριστική σημασία στην αύξηση του κέρδους και την ανάπτυξή τους. Αυτό γίνεται σε μεγέθη πιο αντιληπτό αν σημειώσουμε πως πρόσφατα η αμερικανική EPA (Envelorment Protection Agency) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η διάθεση ενός δολαρίου για την εξοικονόμηση ενέργειας ισοδυναμεί με αύξηση των πωλήσεων κατά 56 δολάρια. Το κόστος λειτουργίας ενέργειας ενός μέσου supermarket κυμαίνεται αυτή τη στιγμή στα 4\$/ft<sup>2</sup>, με τη τιμή να αυξάνεται στους τομείς συντήρησης οπωροκηπευτικών.

Η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός supermarket θα έχει και άλλα οφέλη πέρα από τον περιορισμό των εξόδων ενέργειας και την κατά συνέπεια αύξηση του κέρδους. Η εγκατάσταση, απ' τη στιγμή που καταναλώνει λιγότερο, θα γίνει λιγότερο ευπαθής στις διακυμάνσεις των τιμών ενέργειας και θα αυξηθεί η ποιότητα των προϊόντων, του περιβάλλοντος εργασίας των υπαλλήλων και αγοράς για τους πελάτες με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι πωλήσεις. Ταυτόχρονα θα αυξηθεί η περίοδος αλλοίωσης των προϊόντων, ενώ η εταιρεία θα δημιουργήσει ένα φιλικό προς το περιβάλλον προφίλ κερδίζοντας νέους πελάτες και βελτιώνοντας την εικόνα της στην κοινωνία.

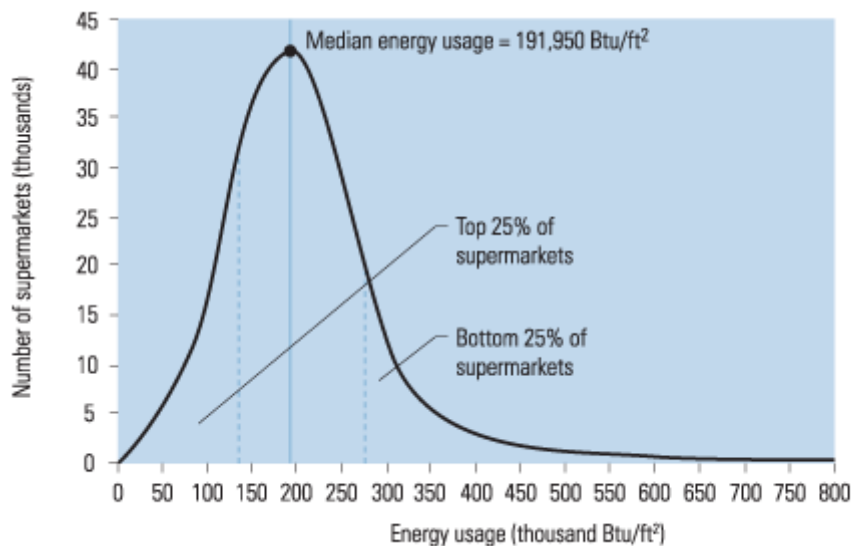
Σύμφωνα με έρευνα της EnergyStar που έγινε σχετικά με τις καταναλώσεις μονάδων λιανικής πώλησης το 1999, το μεγαλύτερο ποσοστό επί της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει η ψύξη τροφίμων, τα λοιπά συνδεδεμένα φορτία, ο φωτισμός και ο κλιματισμός, ενώ στο φυσικό αέριο κυριαρχεί η θέρμανση χώρου. Τα στοιχεία παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.





Εικόνα 3.4.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε supermarket στις Η.Π.Α ανά χρήση

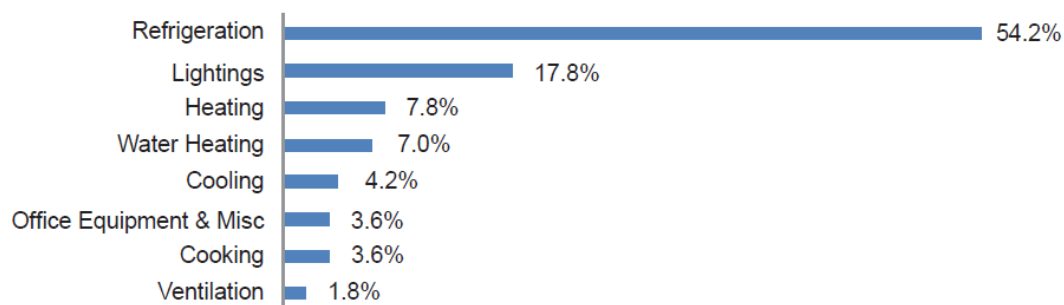
Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι τα ποσοστά αυτά μπορούν να έχουν μεγάλες αποκλίσεις από κατάστημα σε κατάστημα ανάλογα το πλήθος των ψυγείων, την ύπαρξη ή όχι μαγειρείων εντός αυτών, τα ωράρια λειτουργίας, την έκτασή τους και το πλήθος των εργαζομένων. Σε γενική μορφή πάντως οι καταναλώσεις σε Btu/ft<sup>2</sup> κυμαίνονται από 136 έως 278 χιλιάδες (ή 430-878 kWh/m<sup>2</sup>) με τη μέση τιμή να βρίσκεται στα 192 kBtu/ft<sup>2</sup> (607 kWh/m<sup>2</sup>). Αυτό παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.4.2: Διασπορά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στις Η.Π.Α κατά EnergyStar

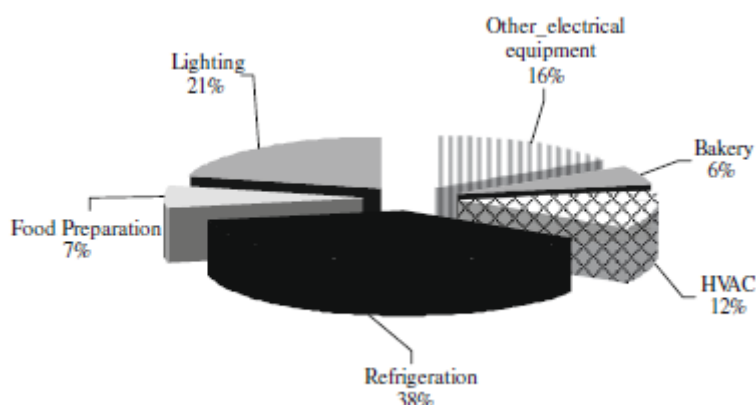
Τα παραπάνω συμβαδίζουν ποσοστιαία και με έρευνα της U.S. Energy Information Administration που έγινε το 2002 για διάφορα supermarkets των Η.Π.Α., με στόχο τη μελέτη του βαθμού που το κλίμα επηρεάζει την κατανομή των καταναλώσεων σε καταστήματα λιανικής στις πέντε κλιματικές ζώνες της χώρας. Σε όλες τις ζώνες τα ψυγεία αποτέλεσαν την πιο ενεργοβόρα χρήση με

ποσοστά από 44 έως 62 τις εκατό. Η μέση κατανάλωση ανά χρήση στο σύνολο του δείγματος πάντως είχε την παρακάτω εικόνα:



*Εικόνα 3.4.3: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στις Η.Π.Α ανά χρήση κατά U.S. Energy Information Administration*

Παρόμοια εικόνα με αυτή των Η.Π.Α. φαίνεται πως έχουμε και στην Ευρώπη. Σύμφωνα με μελέτη supermarket της κεντρικής Ιταλίας εκτάσεως 10.000 m<sup>2</sup>, βρέθηκε ηλεκτρική κατανάλωση για όλη τη χρονιά τιμής 5.093MWh, δηλαδή 509,3 kWh/m<sup>2</sup>. Αν σε αυτή συνυπολογίζουμε την κατανάλωση για θέρμανση, τιμής 880MWh, τότε φτάνουμε σε κατανάλωση 597,3 kWh/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ κοντά στην μέση κατανάλωση που υπολογίστηκε απ' την EnergyStar. Η κατανομή της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά χρήση, η οποία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, έχει κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με της EnergyStar, κυρίως στο τομέα παραγωγής έτοιμου φαγητού, στο HVAC και στο φωτισμό. Προφανώς αυτό είναι αποτέλεσμα της ιδιαίτερης πολιτικής του συγκεκριμένου καταστήματος και της έντονης παρουσίας μαγειρειών εντός αυτού.

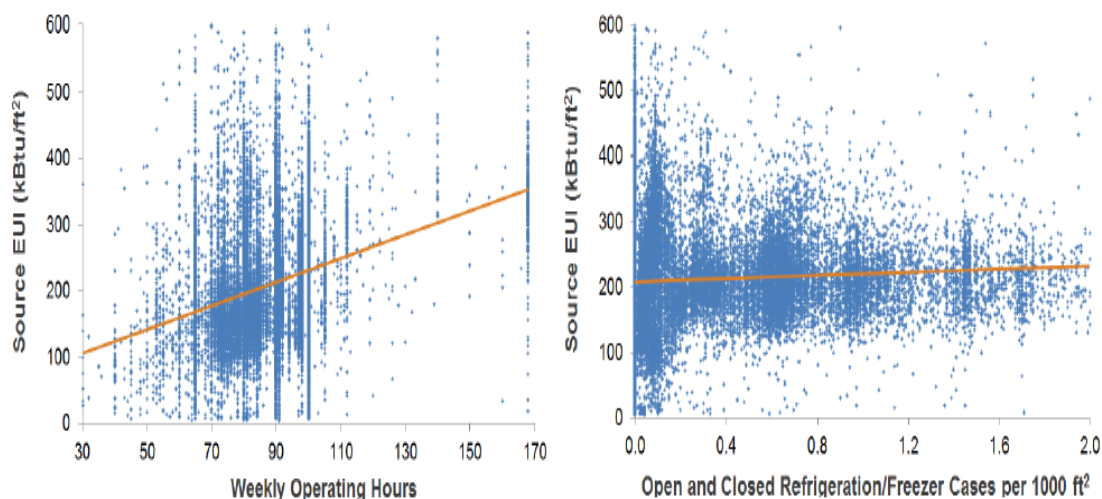


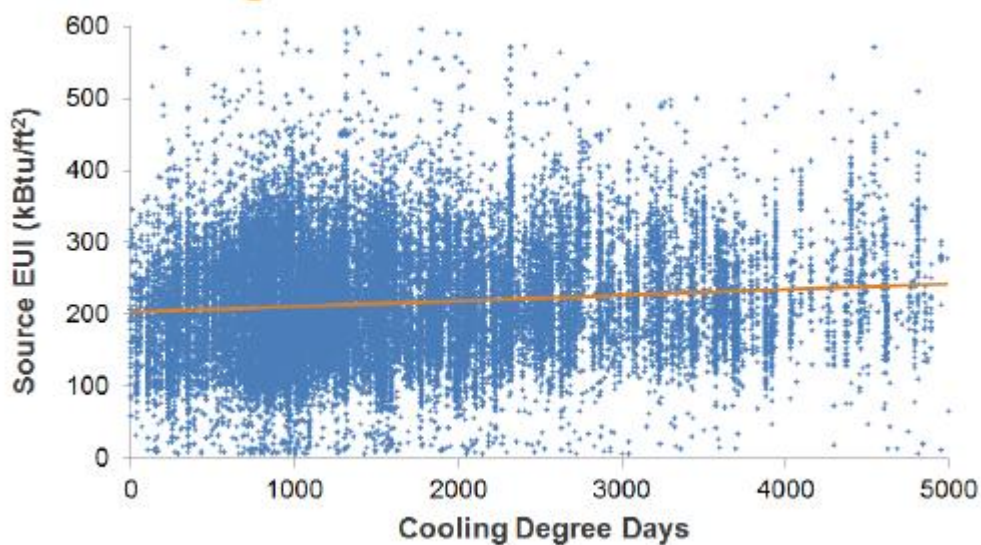
*Εικόνα 3.4.4: Καταμερισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε supermarket στην Ευρώπη ανά χρήση*

Βλέποντας τα διαθέσιμα EPI's, για την αξιολόγηση ενός Supermarket θα χρησιμοποιούσαμε όσα έχουν καθολική εφαρμογή στα κτίρια και όσα απευθύνονται σε κτίρια λιανικής πώλησης με φορτία σαν αυτά των Supermarkets. Τέτοια EPI's είναι:

Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Επιφάνεια	kWh/m <sup>2</sup>
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Θερμαινόμενη Επιφάνεια	kWh/m <sup>2</sup>
Καταναλισκόμενη Ενέργεια / Ημέρα θέρμανσης χώρων	kWh/HDD
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Ημέρα ψύξης χώρων	kWh/CDD
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Εργαζόμενο	kWh/worker
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Ψυγείο	kWh/refrigerator
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Αριθμό PC	kWh/PC
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Ογκο ροής αέρα ανά λεπτό	Watts/m <sup>3</sup>
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/ Απόδειξη	kWh/cash register
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Ωρα λειτουργίας	kWh/OH
Καταναλισκόμενη Ενέργεια/Οικονομική μονάδα	kWh/euro
Καθαρή ενέργεια/Καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια	NA
Εξοικονομούμενη Ενέργεια ανά έτος	kWh
Διαθέσιμη Ενέργεια προ χρήση/ Χρησιμοποιούμενη Ενέργεια	NA

Πρόσφατα, η EnergyStar δημοσίευσε στοιχεία της από μελέτη 41.402 καταστημάτων λιανικής πώλησης στην Αμερική με σκοπό την παρουσίαση των πλέον αντιπροσωπευτικών δεικτών για αξιολόγηση αυτών. Τα συμπεράσματα της μελέτης βασίζονται στη συσχέτιση μεταξύ του μέτρου του δείκτη και της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Έτσι, λοιπόν, πιο πολύ φαίνεται να επηρεάζουν την κατανάλωση οι ώρες λειτουργίας, ο αριθμός ψυγείων (ανά επιφάνεια) και ο αριθμός ημερών που λειτουργεί ο κλιματισμός για ψύξη των χώρων του ξενοδοχείου. Μάλιστα, δόθηκαν και οι μέσες τιμές των μέτρων αυτών οι οποίες ήταν: 91ώρες λειτουργίας, 0,01 ψυγεία/1000ft<sup>2</sup> και 1.442 μέρες ψύξης με κλιματισμό (Cooling Degree Days).





Εικόνα 3.4.5: Συσχέτιση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε *supermarkets* με ωράριο λειτουργίας, αριθμό ψυγείων και αριθμό ημερών λειτουργίας κλιματισμού (για ψύξη) σε αυτά κατά *EnergyStar*

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τη κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι ο αριθμός εργαζομένων (ανά επιφάνεια), ο αριθμός αποδείξεων, οι μέρες θέρμανσης του *supermarket* και ο αριθμός ηλεκτρονικών υπολογιστών (ανά επιφάνεια). Η μέση κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις  $629\text{kWh/m}^2$  και κυμαίνεται από  $300\text{-}2.500\text{kWh/m}^2$ . Γενικά, τα πιο ενεργοβόρα καταστήματα του δείγματος ήταν και τα πιο απομακρυσμένα από τη μέση τιμή και ταυτόχρονα τα λιγότερα αποδοτικά.

## 3.5 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Νοσοκομεία

Τα νοσοκομεία αποτελούν το πιο ενεργοβόρο τμήμα κτιρίων του εμπορικού τομέα, έχοντας μέση κατανάλωση (ανά  $m^2$ ) μέχρι και 66% μεγαλύτερη από ένα μεγάλο supermarket ή ξενοδοχείο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι λειτουργούν σε εικοσιτετράωρη βάση όλο το χρόνο, έχοντας παράλληλα μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις για κλιματισμό και μεγάλα φορτία που βρίσκονται στα ιατρεία, στη μονάδα εντατικής θεραπείας και στα εργαστήρια.

Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των καταναλώσεων στα νοσοκομεία, αναφέρουμε πως με έρευνα του 1980 σε 48 νοσοκομεία των Η.Π.Α. είχαμε ετήσια κατανάλωση  $1500kWh/m^2$  και στην Ελλάδα με έρευνα του 1992 σε 33 νοσοκομεία κατανάλωση  $407kWh/m^2$  (και  $275kWh/m^2$  σε κλινικές). Η έρευνα που αφορά τα νοσοκομεία των Η.Π.Α. επιβεβαιώνεται από τα στοιχεία της ASHRAE, η οποία το 2008 υπολόγισε σε δείγμα 191 νοσοκομείων μέση κατανάλωση  $485kBtu/ft^2$ , δηλαδή  $1531 kWh/m^2$  ετησίως, ενώ το 2003 η CBECs υπολόγισε  $466kBtu/ft^2$ , δηλαδή  $1471 kWh/m^2$  ετησίως.

Εξαιρετικά ψηλές είναι και οι τιμές των καταναλώσεων που αντιστοιχούν σε κάθε ασθενή που νοσηλεύεται εντός του νοσοκομείου. Έρευνα του 2009 σε νοσοκομεία της Ινδίας βρήκε κατανάλωση  $1.000-2.000 kWh/m^2$  σε αστικά κρατικά νοσοκομεία,  $200-400kWh/m^2$  σε επαρχιακά κρατικά νοσοκομεία,  $8.000-25.000 kWh/m^2$  σε ιδιωτικά ή μεγάλα κρατικά νοσοκομεία υψηλών υπηρεσιών και  $3.000-5.000 kWh/m^2$  σε απλά ιδιωτικά νοσοκομεία.

Έτσι, η ανάγκη για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των νοσοκομείων για την εξοικονόμηση ενέργειας κρίνεται απαραίτητη, ειδικά αν σκεφτούμε πως σύμφωνα με εκτιμήσεις της EnergyStar η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης ενός νοσοκομείου κατά 10% οδηγεί κάθε χρόνο σε εξοικονόμηση 7.300kWh ηλεκτρισμού, 283.000kWh προερχόμενες από καύσιμα και περίπου 740.000 δολάρια από λογαριασμούς, ενώ παράλληλα μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

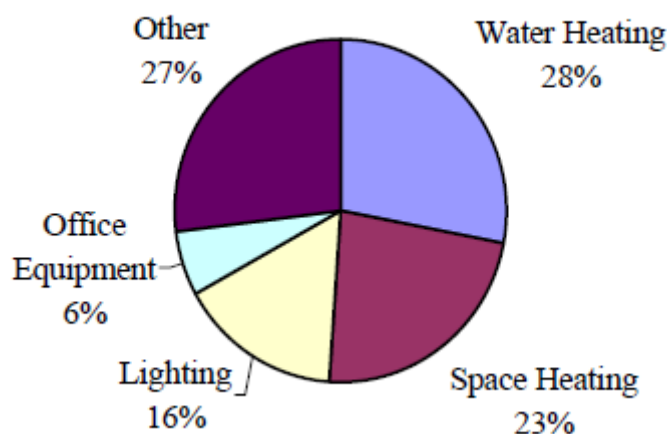
Το μεγάλο πρόβλημα στην υλοποίηση του παραπάνω στόχου, που συνηθέστερα οδηγεί και στην εγκατάλειψή του, είναι ότι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε σε καμία περίπτωση να μην μειωθεί στο ελάχιστο το επίπεδο υπηρεσιών υγείας και άνεσης που προσφέρουν στους ασθενείς το νοσοκομεία. Κάτι τέτοιο όμως γίνεται συνήθως αποτελεσματικά, μόνο με επένδυση μεγάλων κεφαλαίων στις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό, αν και γενικά υπάρχουν και πιο οικονομικές λύσεις, πρακτικές και με μικρότερη περίοδο απόσβεσης. Επίσης, τροχοπέδη αποτελούν και άλλοι παράγοντες που περιορίζουν τις δυνατότητες της ενεργειακής αποδοτικότητας των νοσοκομείων, όπως τα κατά κανόνα παλιά κτίρια στα οποία στεγάζονται, η

συνεχής αύξηση των φορτίων τους, τα περιορισμένα εισοδήματά τους, η αύξηση της τιμής της ενέργειας και ο μεγάλος ανταγωνισμός.

Τα μεγαλύτερα φορτία που παρουσιάζονται στις εγκαταστάσεις ενός νοσοκομείου είναι η θέρμανση νερού, η θέρμανση χώρου και ο φωτισμός, τα οποία στο σύνολό τους αποτελούν το 61-79% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Σύμφωνα με στοιχεία του αμερικανικού ινστιτούτου ενέργειας το 1998, οι μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας ανά παροχή είχαν ως εξής:

<b>Τομέας</b>	<b>Κατανάλωση σε kWh</b>
Θέρμανση Χώρου	0,0452 (22,9%)
Ψύξη Χώρου	0,0088 (4,5%)
Εξαερισμός	0,0053 (2,7%)
Θέρμανση Νερού	0,0556 (28,2%)
Φωτισμός	0,0315 (16%)
Κουζίνες	0,0101 (5,1%)
Εξοπλισμός Γραφείου	0,0115 (5,8%)
Ψυγεία	0,0038 (1,9%)
Άλλα	0,0255 (12,9%)
<b>Σύνολο</b>	<b>0,1718</b>

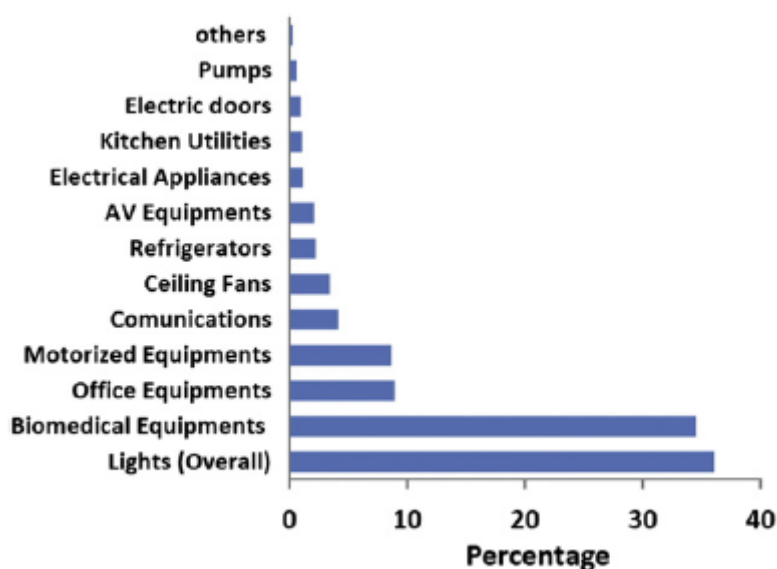
Γραφικά αυτό παρουσιάζεται και παρακάτω:



*Εικόνα 3.5.1: Καταμερισμός κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε νοσοκομεία της Αμερικής*

Επειδή ο όρος 'άλλα' στη συγκεκριμένη στατιστική κατέχει ένα μεγάλο ποσοστό (12,9%) που δεν εξηγείται και μπορεί να εμπεριέχει σημαντική πληροφορία για την επιλογή EPI's, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα αποτελέσματα και μιας άλλης στατιστικής μελέτης που έγινε σε νοσοκομείο της Μαλαισίας.

Σύμφωνα με αυτή ο φωτισμός αποτελεί το 36,3% των συνολικών ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο ιατρικός εξοπλισμός το 34,5%, ο εξοπλισμός γραφείου το 8,9%, οι κινητήρες το 8,7%, τα συστήματα επικοινωνιών το 4,1%, οι ανεμιστήρες το 3,45%, τα ψυγεία το 2,1%, το HVAC το 2,2%, οι λοιπές ηλεκτρικές συσκευές το 1,2%, η κουζίνα το 1,1%, οι ηλεκτρικές πόρτες το 0,9%, οι αντλίες το 0,6% και τα υπόλοιπα (κάμερες, ασανσέρ, CCTV'σκ.τ.λ.) το 0,3%. Αυτά παρουσιάζονται και παρακάτω:



*Εικόνα 3.5.2: Καταμερισμός κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση σε νοσοκομεία της Μαλαισίας*

Με βάση τα παραπάνω, που σε γενικές γραμμές ισχύουν για κάθε νοσοκομείο με αποκλίσεις λόγω τοποθεσίας, κλίματος και μεγέθους, είναι εμφανές που πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στην παρακολούθηση απόδοσης και να γίνουν προσπάθειες για εξοικονόμηση.

Όπως και στις άλλες κατηγορίες κτιρίων εμπορικού τομέα, υπάρχουν πολλά EPI's που θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός νοσοκομείου. Το θέμα για άλλη μία φορά θα είναι ποια προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και είναι πιο αντιπροσωπευτικά.

#### ▪ **Επιφάνεια Νοσοκομείου (kWh/m<sup>2</sup>)**

Η επιφάνεια του νοσοκομείου φαίνεται πως αποτελεί ένα από τα πιο βολικά μέτρα αξιολόγησης ενός νοσοκομείου. Αυτό συμβαίνει γιατί διαθέτει αρκετούς διαφορετικούς τύπους χώρων με ποικίλα χαρακτηριστικά που δεν συμπίπτουν μεταξύ τους. Έτσι, η χρήση ενός γενικού τύπου EPI για την αξιολόγηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του νοσοκομείου μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη.

Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου δείκτη αυξάνεται μάλιστα όταν αναφερόμαστε στους κοινόχρηστους χώρους του νοσοκομείου (διάδρομοι,



χώροι αναμονής, γραφεία εξυπηρέτησης κοινού κ.τ.λ.) όπου και δεν υπάρχει και ξεκάθαρα κάποιος παράγοντας απ' τον οποίο εξαρτάται έντονα η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, με εξαίρεση ίσως την ένταση φωτισμού και τα επίπεδα κλιματισμού.

Όπως και στις άλλες κατηγορίες εμπορικών κτιρίων, η ισχύς του δείκτη επιφανείας ενδυναμώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του νοσοκομείου, καθώς η σχέση εξάρτησης επιφάνειας-κατανάλωσης αυξάνεται σημαντικά.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του δείκτη αυτού είναι ωστόσο η δυσκολία ορισμού της επιφάνειας στην οποία αναφέρεται. Για παράδειγμα, θα θεωρήσουμε χώρους υπό μελέτη τον κήπο, το parking, τους δρόμους και τους λοιπούς εξωτερικούς χώρους, και αν όχι πώς θα μελετηθεί η ενεργειακή συμπεριφορά των φορτίων που βρίσκονται εκεί; Στη συνηθέστερη περίπτωση δεν συμπεριλαμβάνουμε τους χώρους αυτούς στην επιφάνεια του νοσοκομείου, αλλά τους μελετάμε ξεχωριστά με το δικό τους δείκτη. Έτσι αποφεύγουμε να αυξήσουμε ανούσια την συνολική επιφάνεια του κτιρίου εισάγοντας μεγάλες μη θερμαινόμενες επιφάνειες στη μελέτη και καταλήγουμε σε πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Άλλο ένα σημαντικό ζήτημα είναι ποιο ποσοστό των χώρων που θεωρήσαμε είναι κλιματιζόμενο-θερμαινόμενο και ποιο όχι. Αυτό έχει καίρια σημασία στη μελέτη του κτιρίου και στην εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων. Αν για παράδειγμα εξετάζουμε τη συμπεριφορά της χρήσης του HVAC με δείκτη  $\text{tonkWh/m}^2$ , έχει μεγάλη διαφορά στα τελικά αποτελέσματα το να λάβουμε μη κλιματιζόμενους διαδρόμους, αποθήκες κ.τ.λ. ως κλιματιζόμενους, αφού ο δείκτης θα βγει αισθητά μικρότερης τιμής.

#### ▪ Αριθμός Θαλάμων-Κρεβατιών (kWh/room-bed)

Ο αριθμός δωματίων ασθενών που είναι κατειλημμένα, μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό μέτρο έντασης λειτουργίας του νοσοκομείου, αν σκεφτούμε πως επηρεάζει τόσο τις καταναλώσεις συσκευών που είναι εγκατεστημένες εντός των ίδιων των δωματίων ( κλιματισμός, φωτισμός, μηχανήματα παρακολούθησης), όσο και αυτές που βρίσκονται σε άλλους χώρους αυτού, και που έμμεσα χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση των ασθενών (λειτουργία εργαστηρίων για εξετάσεις ασθενών εσωτερικών ιατρείων).

Ένας σημαντικός παράγοντας σφάλματος του συγκεκριμένου δείκτη ωστόσο ( kWh/ room), είναι ότι αν και οι καταναλώσεις στο ίδιο το δωμάτιο είναι περίπου ίδιες ανεξαρτήτως πληρότητας δωματίου, οι έμμεσες καταναλώσεις μάλλον αποκλίνουν σημαντικά ανάλογα το ποσοστό πληρότητας. Το σφάλμα αυξάνεται προφανώς όσο περισσότερα κρεβάτια ασθενών υπάρχουν ανά δωμάτιο. Έτσι, ο συγκεκριμένος δείκτης θα ήταν πιο αντιπροσωπευτικός κυρίως σε ιδιωτικά νοσοκομεία που έχουν κατά κανόνα μικρό αριθμό κρεβατιών ανά θάλαμο και σε μικρά δημόσια νοσοκομεία με την ίδια ιδιότητα.



Στη συνήθη περίπτωση όπου υπάρχουν πολλά κρεβάτια ανά θάλαμο (3-4), κρίνεται καλύτερη η χρήση άλλου παρόμοιου μέτρου, αυτού των κατειλημμένων κρεβατιών (kWh/bed).

Σε γενικές γραμμές, τα συγκεκριμένα EPI είναι πιο αντιπροσωπευτικά για μικρά νοσοκομεία, καθώς συνήθως όσο αυξάνεται το μέγεθος του νοσοκομείου τόσο αυξάνεται και το ποσοστό χώρων που στεγάζονται άλλες εγκαταστάσεις, άσχετες με τους ασθενείς εσωτερικών ιατρείων (εργαστήρια, γραφεία, ερευνητικά κέντρα κ.τ.λ.). Ωστόσο, τα κατειλημμένα κρεβάτια μπορούν να αποτελέσουν ένα εξαιρετικό μέτρο για την εξέταση των μεμονωμένων καταναλώσεων εντός των δωματίων.

#### ▪ **Εργαζόμενοι (kWh/εργαζόμενο)**

Ο αριθμός εργαζομένων (ιατροί, νοσοκόμες, τραυματιοφορείς γραμματεία, καθαρίστριες, μάγειρες κ.τ.λ.) σε ένα νοσοκομείο μπορεί να αποτελέσει ένα έξυπνο μέτρο αξιολόγησης ενεργειακής συμπεριφοράς. Αυτό, όχι τόσο επειδή η ύπαρξη μεγαλύτερου προσωπικού οδηγεί σε αυξημένες καταναλώσεις, αλλά κυρίως γιατί υποδηλώνει πολλές δραστηριότητες και αυξημένο εργασιακό πόστο.

#### ▪ **Προσφερόμενα Γεύματα - Food covers (kWh/F-C)**

Τα προσφερόμενα γεύματα, αν χρησιμοποιηθούν σαν γενικός δείκτης ενός ξενοδοχείου, έχουν σαν μέτρο EPI λογική παρόμοια με αυτή των κατειλημμένων κρεβατιών. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αναλογιστούμε ότι γεύματα παρασκευάζονται μόνο για τους ασθενείς των εσωτερικών ιατρείων.

Αυτό, για λόγους που προαναφέρθηκαν, δεν είναι πολύ αποδοτικό και έτσι τα F-C χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σα δείκτης αξιολόγησης των καταναλώσεων στη κουζίνα του νοσοκομείου, δηλαδή των ψυγείων και των μαγειρειών.

Η σχέση των γευμάτων με τη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση είναι σε γενικές γραμμές πιο εμφανής σε μικρότερα νοσοκομεία, όπου τα φορτία της κουζίνας καταλαμβάνουν λόγω των μικρότερων υπόλοιπων καταναλώσεων μεγαλύτερο μέρος της συνολικής.

#### ▪ **Εξετάσεις (kWh/test)**

Στα εργαστήρια (ερευνητικά και διαγνωστικά) και στα ιατρεία μεγάλων νοσοκομείων βρίσκεται εγκατεστημένος εξοπλισμός τεράστιας ισχύος που προφανώς οδηγεί σε μεγάλες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Έτσι, είναι λογικό οι υπόλοιπες καταναλώσεις εντός αυτών των χώρων να υποσκιάζονται όταν βρίσκονται σε λειτουργία τα εν λόγω ενεργοβόρα μηχανήματα ( αξονικός και μαγνητικός τομογράφος, γαστροσκόπια, υπερηχογράφοι, κ.τ.λ.). Ας μην ξεχνάμε ότι, όπως αναφέρθηκε, οι καταναλώσεις του ιατρικού εξοπλισμού αποτελεί το

35% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης του νοσοκομείου. Έτσι, τουλάχιστον σε αυτούς του χώρους θα ήταν καλό να χρησιμοποιούμε σαν μέτρο EPI το πλήθος των εξετάσεων που πραγματοποιούνται.

#### ▪ Ασθενείς (kWh/patient)

Ο δείκτης αυτός βρίσκεται στη φιλοσοφία των EPI's για βιομηχανίες, αφού στην ουσία αναφέρεται στο 'προϊόν' που 'παράγει' το νοσοκομείο. Οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη μπορούν να δώσουν μεγάλη ακρίβεια αν υπολογισθούν ορθά και χρήσιμες πληροφορίες για την όλη λειτουργία του κτιρίου, δεδομένου ότι είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστεί ο αριθμός ασθενών που βρίσκονταν μέσα στη μέρα στο νοσοκομείο.

Ένα μέτρο που συνιστάτε εδώ για ακριβέστερα αποτελέσματα είναι η ξεχωριστή μελέτη των ασθενών των εξωτερικών από αυτούς των εσωτερικών ιατρείων. Αυτό πρέπει να γίνεται γιατί οι ασθενείς εσωτερικών ιατρείων έχουν περισσότερες παροχές και για μεγαλύτερο χρονικά διάστημα, άρα και περισσότερη ενεργειακή κατανάλωση για την εξυπηρέτησή τους. Θα ήταν λοιπόν άστοχο να θεωρήσουμε όλο το δείγμα ασθενών ίδιο ως προς τις καταναλώσεις.

#### ▪ Διανυκτέρευση (kWh/overnight)

Ένα άλλο μέτρο EPI είναι οι διανυκτερεύσεις στο νοσοκομείο, το οποίο θα μπορούσε να φανεί περισσότερο χρήσιμο σε ιδιωτικές κλινικές για την κοστολόγηση της εισαγωγής ενός ασθενούς. Ο συγκεκριμένος δείκτης δεν θεωρείται και ο πλέον αποτελεσματικός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρόνος παραμονής ενός ασθενούς στο νοσοκομείο έχει να κάνει τόσο από τον τύπο του νοσοκομείου όσο και από το εκάστοτε καθεστώς νοσηλείας, άρα δεν είναι σε καμία περίπτωση καθολικό και συγκρίσιμο. Επίσης, απ' τη στιγμή που οι διανυκτερεύσεις ανά θεραπεία ασθενούς έχουν πολύ μικρό λόγο, είναι προφανές πως δεν μπορεί να στηριχθεί η αξιολόγηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός ολόκληρου νοσοκομείου σε ένα τέτοιο δείκτη. Θα μπορούσε όμως να αξιολογήσει σε επίπεδο δείκτη kWh/bedκάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

## 3.6 Ενεργειακοί δείκτες κατανάλωσης για Τράπεζες

Οι τράπεζες δεν συγκρίνονται σε καμία περίπτωση με τις προηγούμενες κατηγορίες κτιρίων ως προς την κατανάλωση ενέργειας που παρουσιάζουν. Αυτό είναι αναμενόμενο απ' τη στιγμή που οι μόνες ενεργοβόρες χρήσεις εντός αυτών είναι ο κλιματισμός και ο φωτισμός. Ωστόσο, η μελέτη τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως γιατί μέσω αυτών μπορούμε να εξάγουμε με κάποιες μικροαλλαγές συμπεράσματα για κάθε είδος κτιρίου που στεγάζει γραφεία και υπηρεσίες.

Θέλοντας λοιπόν να εντοπίσουμε τις βασικές χρήσεις σε μία τράπεζα, ανατρέχουμε σε μία μελέτη που έγινε το 2010 σε 11 τράπεζες της Ελλάδος με στόχο τον υπολογισμό κάποιων δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης σε αυτές ανά χρήση. Το δείγμα περιλαμβάνει τουλάχιστον μία τράπεζα ανά κλιματική ζώνη (στην Ελλάδα έχουμε τέσσερις κλιματικές ζώνες) και μάλιστα με παρόμοιο ωράριο λειτουργίας ούτως ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στη λειτουργία τους και να αποφευχθούν αποκλίσεις λόγω αυτού του παράγοντα.

Σύμφωνα με αυτήν την έρευνα, οι βασικές χρήσεις στις τράπεζες είναι ο φωτισμός, το HVAC και ο τεχνικός εξοπλισμός (υπολογιστές, ATM's, κάμερες CCTV) οι οποίες παρουσιάζουν κάποιες μικροδιαφοροποιήσεις ανά κλιματική ζώνη ως εξής:

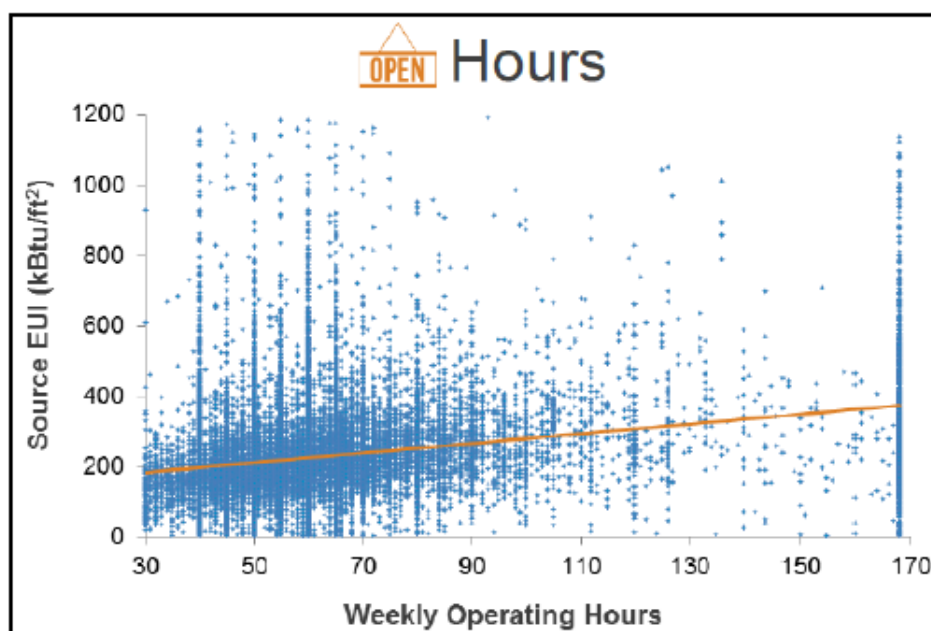
Χρήση	A		B		C		D	
	%	kWh/m <sup>2</sup>	%	kWh/m <sup>2</sup>	%	kWh/m <sup>2</sup>	%	kWh/m <sup>2</sup>
Φωτισμός	32,5	44-81	37,2	76-118	34,6	77,4	33	101
HVAC	49	88-204	47	107-250	47,5	204	41	131
Συσκευές	18,5	49-70	15,8	39-71	17,9	65-95	26	70,4
M.O.	25,6 kWh/m <sup>2</sup>		29,6 kWh/m <sup>2</sup>		33 kWh/m <sup>2</sup>		20,5 kWh/m <sup>2</sup>	

Έτσι, συνολικά έχουμε κατά μέσο όρο κατανάλωση 28,8 kWh/m<sup>2</sup> μηνιαίως, ή 345,7 kWh/m<sup>2</sup> ετησίως, εκ των οποίων τα 118,7 kWh/m<sup>2</sup> αναφέρονται στο φωτισμό, τα 159,5 kWh/m<sup>2</sup> στο HVAC και τα 67,5 kWh/m<sup>2</sup> στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Επιπλέον, βρέθηκε ετήσια κατανάλωση 4298 έως 9650 kWh ανά εργαζόμενο, με μέση τιμή 6993 kWh/εργαζόμενο και κατανάλωση 101,6 kWh/m<sup>3</sup> ετησίως.

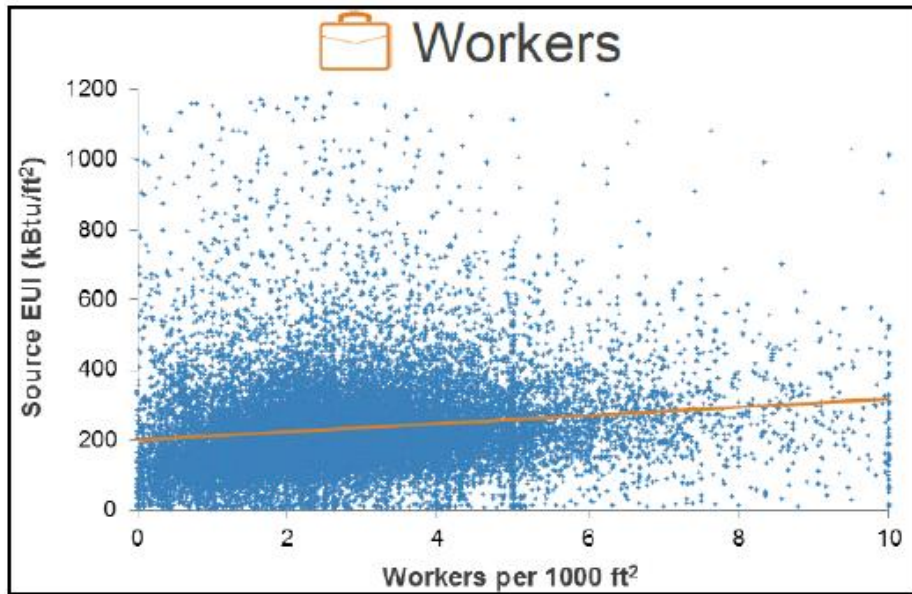
Τα αποτελέσματα δεν συμβαδίζουν και τόσο με έρευνα που έγινε παλαιότερα σε Ελληνικές τράπεζες, όπου βρέθηκε κατανάλωση 187 kWh/m<sup>2</sup>. Ωστόσο, βρίσκονται αρκετά κοντά με τα στοιχεία των τραπεζών στις Η.Π.Α., όπου έχουμε κατανάλωση 301 kWh/m<sup>2</sup> κατά μέσο όρο και με αυτά της Κίνας όπου η κατανάλωση βρίσκεται στα 200 με 300 kWh/m<sup>2</sup>. Στην Ευρώπη ανάλογα το

ωράριο λειτουργίας, την τοποθεσία και τον εξοπλισμό η κατανάλωση κυμαίνεται από 100 έως 1000 kWh/m<sup>2</sup>.

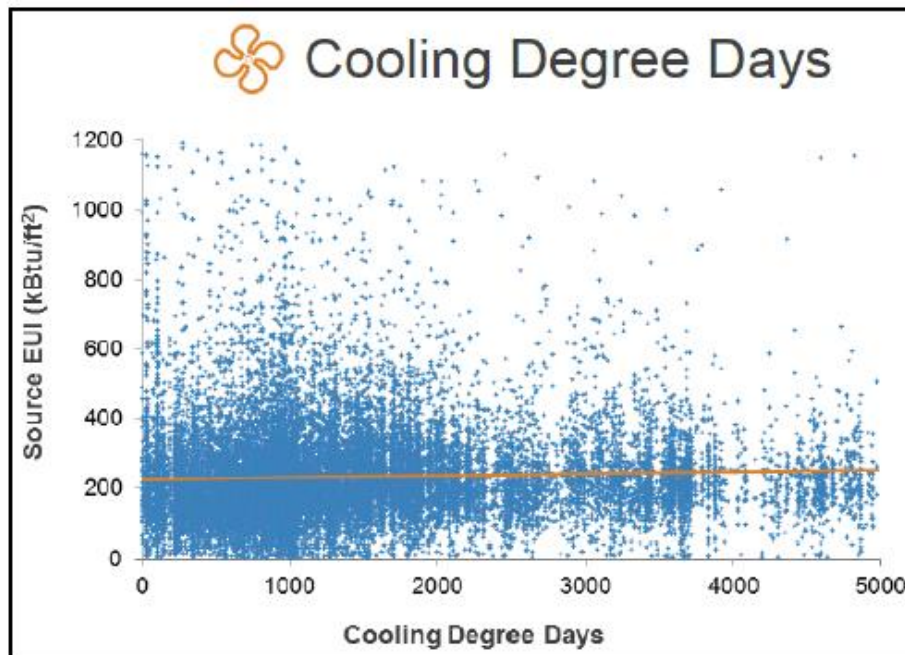
Σύμφωνα με την EnergyStar, σε μελέτη που έγινε το 2011 σε κτίρια όπου στεγάζονταν γραφεία, βρέθηκαν τρεις παράγοντες απ' τους οποίους επηρεάζεται έντονα η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί είναι το ωράριο λειτουργίας ανά βδομάδα, ο αριθμός εργαζομένων ανά 1000 ft<sup>2</sup> και ο αριθμός των ημερών λειτουργίας του κλιματισμού για ψύξη (Cooling Degree Days). Κατά μέσο όρο οι τιμές των παραπάνω ήταν 60 ώρες τη βδομάδα, 2,4 εργαζόμενοι ανά 1000 ft<sup>2</sup> και 1114 CDD τη βδομάδα αντίστοιχα. Τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα δεδομένου ότι η εύρεση της συσχέτισης κάποιων ανεξάρτητων μεταβλητών του κτιρίου με την ηλεκτρική κατανάλωση μπορεί να φανερώσει ποια EPI's είναι τα καταλληλότερα για την παρακολούθησή του ανά χρήση και συνολικά. Άλλοι δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση είναι η έκταση επιφάνειας του κτιρίου ( μέση τιμή 69,635 ft<sup>2</sup>), ο αριθμός υπολογιστών ανά 1000 ft<sup>2</sup> ( μέση τιμή 2,5), και ο αριθμός ημερών λειτουργίας του κλιματισμού για θέρμανση ( μέση τιμή 4,221). Μία εικόνα των παραπάνω παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Εικόνα 3.6.1: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με εβδομαδιαίο ωράριο λειτουργίας σε γραφεία



Εικόνα 3.6.2: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με αριθμό εργαζομένων σε γραφεία



Εικόνα 3.6.3: Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής κατανάλωσης με CDD σε γραφεία

Όπως μπορούμε να δούμε, απ' τα τρία παραπάνω διαγράμματα η ευθεία της συσχέτισης των μεγεθών (κίτρινο χρώμα) έχει μεγαλύτερη κλίση στο διάγραμμα του ωραρίου, κάτι που φανερώνει ότι εκεί έχουμε κατά γενική ομολογία τη στενότερη σχέση με την κατανάλωση. Βέβαια, κοιτάζοντας τις διάσπαρτες τιμές στα διαγράμματα, βλέπουμε ότι ενδέχεται να έχουμε μεγάλη απόκλιση από περίπτωση σε περίπτωση στις ενεργειακές καταναλώσεις. Πάντως η

κατανάλωση των γραφείων σύμφωνα με αυτή τη μελέτη κυμαίνεται στα 653,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Έχοντας υπόψη όλα αυτά και λαμβάνοντας κατά νου τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μίας τράπεζας μπορούμε να καταλήξουμε σε πιθανούς δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτοί φαίνονται συγκεντρωμένοι στον παρακάτω πίνακα.

<b>ΕΠΙ</b>	<b>Μονάδες</b>
Ενέργεια/ μονάδα επιφάνειας	kWh/m <sup>2</sup>
Ενέργεια/ μονάδα όγκου	kWh/m <sup>3</sup>
Ενέργεια/ εργαζόμενο	kWh/employee
Ενέργεια/ ηλεκτρονική συσκευή	kWh/PC (ήcamera/ATM)
Ενέργεια/ μονάδα λειτουργίας HVAC	kWh/CDD (ή HDD)
Ενέργεια/ ώρα λειτουργίας	kWh/O.H.
Ενέργεια/ πελάτη ή συναλλαγή	kWh/customer

Βέβαια εδώ προκύπτουν αρκετά ζητήματα όπως το αν η επιφάνεια που εξετάζουμε είναι η συνολική, η θερμαινόμενη ή αυτή στην οποία εργάζονται οι εργαζόμενοι, το αν η ενέργεια αναφέρεται στην συνολική κατανάλωση ή ανά χρήση και στη δεύτερη περίπτωση για παράδειγμα, το ποια ηλεκτρονική συσκευή περιγράφει καλύτερα τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών. Αυτά τα ερωτήματα τα απαντά η εκάστοτε μεθοδολογία που επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε για τη παρακολούθηση του κτιρίου.







# Κεφάλαιο 4: Τεχνικές Προβλέψεων

## 4.1 Γενικά για τις Προβλέψεις

Η παραγωγή προβλέψεων ήταν πάντα για τον άνθρωπο μία έμφυτη λειτουργία που τον βοηθούσε να λαμβάνει αποφάσεις για όσα τον απασχολούν, απ' τα πιο καθημερινά πράγματα, όπως το αν θα βρέξει για να πάρει ομπρέλα, μέχρι τα πλέον κρίσιμα, όπως το αν υπάρχει προοπτική στο να ανοίξει μία δικιά του επιχείρηση. Ο μηχανισμός πρόβλεψης μπορεί να είναι ανάλογα τη περίπτωση η εμπειρία μας, η διαίσθησή μας ή και ένα ολόκληρο σύνολο μεθόδων προβλέψεων και μοντέλων. Ανεξαρτήτως πάντως του μηχανισμού πρόβλεψης, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να μειωθεί, όσο το δυνατό, η απόκλιση των αποτελεσμάτων της απόφασής μας απ' την αλήθεια. Αυτό μπορεί να μην είναι και τόσο σημαντικό στη περίπτωση της ομπρέλας, αλλά όταν η απόφαση αφορά επενδύσεις εκατομμυρίων η πρόβλεψή μας είναι κρίσιμη.

Έτσι, απ' το 1980 και μετά, ο τομέας των προβλέψεων έχει αναπτυχθεί σημαντικά βρίσκοντας εφαρμογή τόσο σε ακαδημαϊκό επίπεδο, όσο και στο επίπεδο των επιχειρήσεων. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο αναπτύσσονται και βελτιώνονται μοντέλα και μέθοδοι προβλέψεων, ενώ σε επίπεδο επιχειρήσεων εφαρμόζονται οι μέθοδοι προβλέψεων και φανερώνονται στη πράξη τα πραγματικά τους αποτελέσματα.

Η συστηματική ενασχόληση του ανθρώπου με τις προβλέψεις έχει να κάνει κυρίως με το μεγαλύτερο εχθρό αυτών, που ήταν και θα είναι η αβεβαιότητα. Και όταν μιλάμε για αβεβαιότητα, δεν αναφερόμαστε μόνο σε αστοχίες των προβλέψεων λόγω κάποιας μικρής διαφοροποίησης της ροής των γεγονότων από αυτό που αναμέναμε, αλλά και σε απρόβλεπτα γεγονότα που διαφοροποιούν τελείως την αλήθεια του μέλλοντος απ' τις εκτιμήσεις του παρόντος. Σε αυτή την κατηγοριοποίηση της αστοχίας έχει αναφερθεί και ο Μακρυδάκης, ονομάζοντας «αβεβαιότητα του μετρώ» την πρώτη κατηγορία αβεβαιότητας και «αβεβαιότητα της καρύδας» τη δεύτερη. Η «αβεβαιότητα του μετρώ» περιλαμβάνει, δηλαδή, μικροαστοχίες στις προβλέψεις λόγω κάποιου έκτακτου γεγονότος, όπως η καθυστέρηση του μετρώ δύο λεπτά γιατί άργησαν να κλείσουν οι πόρτες στην προηγούμενη στάση και η «αβεβαιότητα της καρύδας» περιλαμβάνει κάτι το αναπάντεχο και απρόβλεπτο όπως είναι το να περπατάς σε μία εξωτική παραλία και να σου πέσει στο κεφάλι μία καρύδα. Προφανώς, οι επιστημονικοί μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να βελτιώσουν προβλήματα αστοχίας μόνο σαν αυτά του μετρώ, και αυτό όμως είναι από μόνο του πολύ σημαντικό.

Αβεβαιότητες, λοιπόν, σαν αυτές του μετρώ και της καρύδας, που κάνουν τα μοντέλα προβλέψεων συχνά να αποκλίνουν σημαντικά ή και να αστοχούν πλήρως, έχουν κατά καιρούς κάνει τους ανθρώπους να αντιμετωπίζουν τον τομέα των προβλέψεων με καχυποψία. Απ' την άλλη όμως, όσο περισσότερο αλλάζει απρόβλεπτα και πολύπλοκα το περιβάλλον, τόσο πιο αδύναμος είναι ο

καθένας να προβλέψει απλοϊκά μόνος του και τόσο πιο αναγκαία φαντάζει η ανάγκη παραγωγής προβλέψεων μέσω συστηματικών μεθόδων. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε και η παρούσα εργασία ούτως ώστε να μπορεί απλά, εύκολα και αποδοτικά να προβλεφθεί η ενεργειακή κατανάλωση σε κάθε κτίριο.

## 4.2 Χαρακτηριστικά Χρονοσειρών

### 4.2.1 Η έννοια, οι τύποι και η αναπαράσταση των χρονοσειρών

Το πρώτο βήμα για την παραγωγή προβλέψεων πάνω σε ένα αντικείμενο είναι η συλλογή των ιστορικών στοιχείων αυτού ή κάποιου άλλου αντικειμένου απ' το οποίο εξαρτάται και που το περιγράφει. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως όσο πιο ακριβή είναι τα παραπάνω στοιχεία, τόσο εγκυρότερες προβλέψεις ενδέχεται να παράγουμε μέσω μίας μεθόδου πρόβλεψης.

Τα ιστορικά στοιχεία μπορούν να δοθούν σε διάφορες μορφές, η επικρατέστερη εκ των οποίων είναι αυτή των χρονολογικών σειρών ή αλλιώς χρονοσειρών. Στη μορφή των χρονοσειρών τα στοιχεία δίνονται σαν μία αλληλουχία διαχρονικών παρατηρήσεων του ίδιου μεγέθους, δηλαδή οι χρονοσειρές παρουσιάζουν την εξέλιξη ενός μεγέθους σε κάποιο εύρος χρόνου. Χρονοσειρές θα χρησιμοποιηθούν και στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας λόγω της ευκολίας επεξεργασίας τους και της μορφής των δεδομένων που δόθηκαν προς μελέτη.

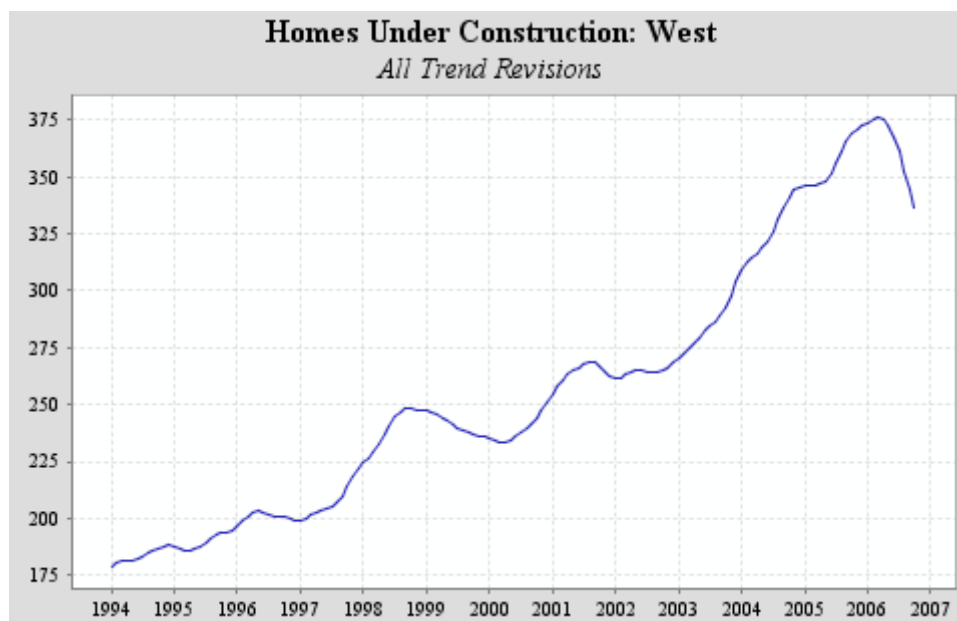
Οι χρονοσειρές ανάλογα τον τρόπο προσδιορισμού των μελλοντικών δεδομένων χωρίζονται σε ντετερμινιστικές και στοχαστικές. Στις πρώτες, οι διαδοχικές παρατηρήσεις είναι εξαρτημένες μεταξύ τους και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε επακριβώς τις μελλοντικές παρατηρήσεις, με την προϋπόθεση βέβαια ότι γνωρίζουμε πλήρως τη σχέση που περιγράφει την μεταξύ τους εξάρτηση. Στις δεύτερες, αντίθετα, οι τιμές των μελλοντικών παρατηρήσεων προκύπτουν από μία στοχαστική διαδικασία και δεν μπορούν να υπολογιστούν επακριβώς απ' τις παρελθοντικές παρατηρήσεις. Στην πράξη, φυσικά, μόνο στοχαστικές χρονοσειρές εμφανίζονται δεδομένου του παράγοντα της τυχαιότητας που όλα τα φυσικά μεγέθη εμπεριέχουν. Άλλωστε, γίνεται κατανοητό πως μόνο για στοχαστικά μεγέθη έχει νόημα η εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης δεδομένου ότι για τα ντετερμινιστικά μεγέθη η πορεία τους είναι προδιαγεγραμμένη. Σε κάθε περίπτωση δεδομένων πάντως, η κατανόηση των παραγόντων απ' τους οποίους εξαρτάται η εξέλιξή τους στο μέλλον είναι κρίσιμη για τη παραγωγή προβλέψεων πάνω σε αυτά.

Οι χρονοσειρές, όπως αναφέρθηκε, παρουσιάζουν σε μορφή διαγράμματος την εξέλιξη ενός μεγέθους μέσα σε κάποιο χρονικό πλαίσιο. Αυτό όμως δεν σημαίνει απαραίτητα πως οι χρονοσειρές έχουν στον έναν άξονά τους τη πάροδο του χρόνου. Μπορούν να έχουν και τα διαστήματα μέσα στα οποία εμφανίζουν εποχικότητα τα δεδομένα (π.χ. οι μήνες του χρόνου) ή ένα άλλο μέγεθος ως προς το οποίο εξετάζεται η συσχέτιση των δεδομένων μας (π.χ. η θερμοκρασία με τις πωλήσεις παγωτών). Έτσι, οι χρονοσειρές χωρίζονται σε διαγράμματα χρόνου, σε εποχιακά διαγράμματα και σε διαγράμματα διασποράς.

## 4.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Χρονοσειρών

Όλες οι χρονοσειρές εμπεριέχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά που τις δομούν και τους προσδίδουν την τελική τους μορφή. Οι πιο κλασικές μέθοδοι ανάλυσης χρονοσειρών μας παρέχουν τέσσερα εξ αυτών, τα οποία είναι και τα πλέον βασικά για την κατανόηση και την επεξεργασία τους. Αυτά είναι η τάση, η εποχικότητα, η κυκλικότητα και η τυχαιότητα. Η κατανόηση των μεγεθών αυτών είναι απαραίτητη για το μετέπειτα χειρισμό της χρονοσειράς και την αξιοποίησή της στην παραγωγή προβλέψεων.

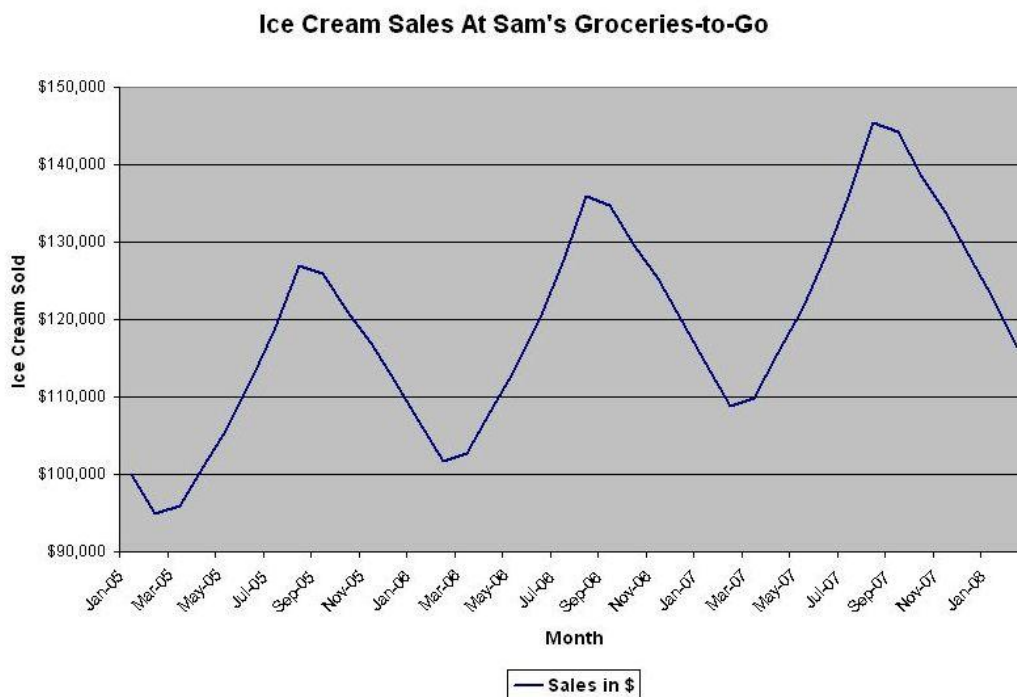
Ως **τάση** ορίζεται μία μακροπρόθεσμη μεταβολή του μέσου επιπέδου των τιμών της χρονοσειράς. Βέβαια, το πρόβλημα εδώ είναι το πώς κρίνεται κάτι ως μακροπρόθεσμο. Η απάντηση έχει να κάνει ξεκάθαρα με τη φύση των εκάστοτε δεδομένων και για αυτό το σκοπό θα πρέπει κανείς να διαθέτει στα χέρια του έναν ικανοποιητικό αριθμό δεδομένων για να μπορεί με ασφάλεια να αποφανθεί για την τάση και να μην υπάρξει παρερμηνεία των στοιχείων. Μία τάση μπορεί να είναι ανοδική, σταθερή ή πτωτική και να εκτιμηθεί ανάλογα τη μορφή της από μία ευθεία ή εκθετική καμπύλη.



*Εικόνα 4.2.2.1: Παράδειγμα χρονοσειράς με τάση: Το πλήθος οικοδομών στις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. από το 1994 έως το 2006 εμφανίζει αυξητική τάση*

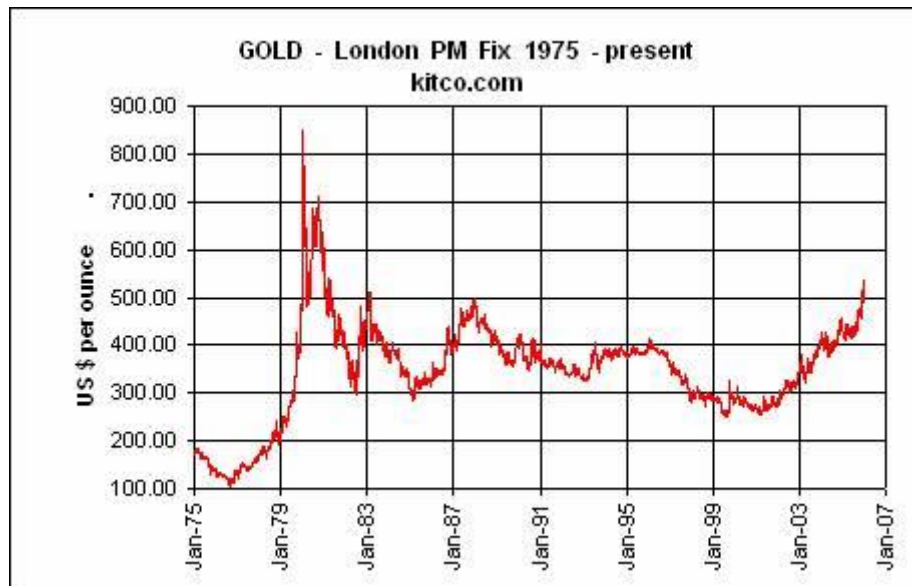
Η **εποχικότητα** εκφράζει μια περιοδική διακύμανση η οποία έχει σταθερό και μικρότερο ή ίσο μήκος από ένα έτος. Είναι, μαζί με την τάση, το πιο εύκολα οπτικά αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό μιας χρονοσειράς λόγω του επαναληπτικού μοτίβου που παρουσιάζει, ενώ εύκολα μπορεί κάποιος να αντιμετωπίσει την επίδρασή της δεδομένου ότι γνωρίζει πότε και σε τι βαθμό αυτή επηρεάζει τα δεδομένα. Συγκεκριμένα, η εποχικότητα αντιμετωπίζεται με

την εύρεση των δεικτών εποχικότητας για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και τη διαίρεση αυτών με τα πραγματικά δεδομένα. Η νέα χρονοσειρά που προκύπτει ονομάζεται αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά.



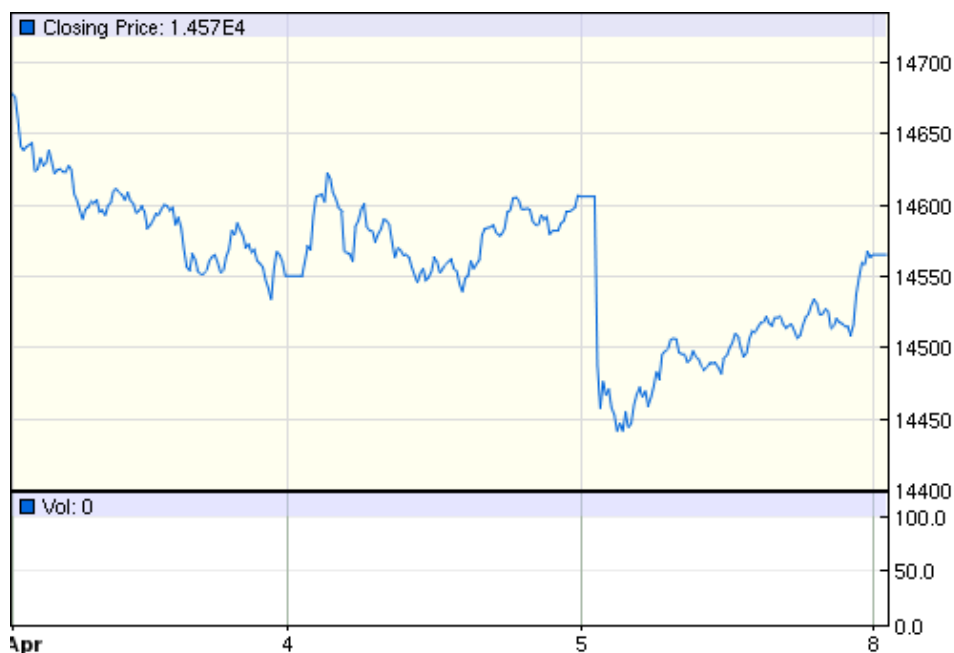
*Εικόνα 4.2.2.2: Παράδειγμα χρονοσειράς με εποχικότητα: Οι πωλήσεις των παγωτών παρουσιάζουν έντονη εποχικότητα με μέγιστη ζήτηση τον Ιούλιο.*

Η **κυκλικότητα** αντιπροσωπεύει μια μεταβολή που εμφανίζεται λόγω εξωγενών παραγόντων κατά μεγάλες περιόδους. Οι περίοδοι αυτοί είναι μεγαλύτερες του έτους και συνήθως της τάξεως της πενταετίας και δεκαετίας, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως είναι πάντα σταθερού μήκους. Στις γραφικές παραστάσεις των χρονοσειρών παρουσιάζεται ως μια κυματοειδής γραμμή η οποία κινείται ανάμεσα στις ακραίες στάθμες της χρονοσειράς. Κυκλικότητα εμφανίζεται κυρίως σε οικονομικές χρονοσειρές, όπως το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν και οι τιμές χρυσού, λόγω των υφέσεων και ανόδων που παρουσιάζουν ανά διαστήματα οι οικονομίες.



Εικόνα 4.2.2.3: Παράδειγμα χρονοσειράς με κύκλο: Η τιμή του χρυσού παρουσιάζει κυκλικότητα ανά πενταετία

Τέλος, η **τυχειότητα** αποτελεί τη διαφορά ανάμεσα στην συνδυασμένη επίδραση των τριών πρώτων συνιστωσών των χρονοσειρών (τάση, κυκλικότητα και εποχικότητα) και των πραγματικών δεδομένων. Μπορεί να χαρακτηριστεί λοιπόν ως κάτι το στοχαστικό και να αντιμετωπιστεί ανάλογα.



Εικόνα 4.2.2.4: Παράδειγμα χρονοσειράς με τυχειότητα: Συνεδρίαση Down Jones, μία χρονοσειρά γεμάτη τυχειότητα

Φυσικά, πέρα των τεσσάρων παραπάνω χαρακτηριστικών, υπάρχουν και άλλα στοιχεία που εμφανίζονται σε χρονοσειρές, όπως οι **ασυνέχειες**, οι οποίες οπτικά φαίνονται ως απότομες αλλαγές στο πρότυπο συμπεριφοράς της

χρονοσειράς. Αυτές οι ασυνέχειες ανάλογα με το αν έχουν παροδικό ή μόνιμο χαρακτήρα χωρίζονται σε special events (ή outliers) και level shifts.

Τα **special events** οφείλονται σε μικρογεγονότα που επηρεάζουν την εξέλιξη των δεδομένων για μικρό χρονικό διάστημα και μπορούν να είναι για παράδειγμα μία διακοπή ρεύματος που μηδενίζει για κάποιο διάστημα την ηλεκτρική κατανάλωση ενός κτιρίου. Αυτές οι ασυνέχειες δεν μπορούν να προβλεφθούν προφανώς απ' τα ιστορικά δεδομένα, ενώ ακόμα και η αναγνώρισή και απομάκρυνσή τους απ' τα ιστορικά στοιχεία προς εξομάλυνση των τελευταίων είναι μία δύσκολη διαδικασία που απαιτεί πολύπλοκες υπολογιστικές μεθόδους και αξιολόγησή τους από έμπειρο ερευνητή.

Από την άλλη πλευρά, τα **level shifts** οφείλονται σε γεγονότα που επιφέρουν μόνιμες αλλαγές στην πορεία των δεδομένων, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα ενός επαγγέλματος στις πληρωμές των εργαζομένων που το ασκούσαν. Εδώ τα δεδομένα συνεχίζουν να εξελίσσονται στο ίδιο μοτίβο με πριν με μόνη διαφορά το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται.

## 4.3 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης

### 4.3.1 Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης

Οι μέθοδοι πρόβλεψης, ανάλογα τη σκοπιά που εξετάζουν τα δεδομένα και τον τρόπο που τα επεξεργάζονται, χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τις **ποσοτικές** (quantitative), τις **κριτικές** (judgmental) και τις **τεχνολογικές** (technological). Στη παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιήσουμε μόνο ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης, οι οποίες και θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια. Θέλοντας πάντως κανείς να πει δυο λόγια για τις άλλες δύο κατηγορίες μεθόδων, θα μπορούσε να αναφέρει τα παρακάτω.

Στις ποσοτικές μεθόδους, βασικά εργαλεία για ένα μελετητή είναι η στατιστική και τα μαθηματικά μοντέλα. Με βάση αυτά επεξεργάζεται τις χρονοσειρές και εξάγει προβλέψεις. Όταν όμως υπάρξουν κάποιες αλλαγές στο μοτίβο που ακολουθεί η χρονοσειρά, όπως π.χ. Special events, τότε οι ποσοτικές μέθοδοι αδυνατούν να τις κατανοήσουν και ακόμα περισσότερο να τις προβλέψουν. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επεμβαίνει η ανθρώπινη κρίση και να αποφασίζει το αν και πόσο θα επηρεάσει η κάθε αλλαγή τις προβλέψεις. Βέβαια, κάτι τέτοιο απαιτεί καλές γνώσεις, μεγάλη εμπειρία και κριτική ικανότητα απ' το άτομο που προβλέπει και για αυτό το σκοπό το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν συνήθως επιτροπές ή άτομα που συμβουλευόμαστε παράλληλα από άλλους ειδικούς και managers. Αυτές είναι οι κριτικές προβλέψεις.

Οι τεχνολογικές προβλέψεις, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούνται για μακροπρόθεσμες προβλέψεις σχετικά με τεχνολογικά, οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά θέματα. Χωρίζονται σε διερευνητικές (exploratory) και κανονιστικές (normative) μεθόδους. Οι διερευνητικές μέθοδοι ξεκινούν από το παρελθόν ή το παρόν και εξετάζοντας όλες τις πιθανές περιπτώσεις οδηγούνται στο μέλλον, ενώ οι κανονιστικές μέθοδοι πρώτα καθορίζουν όλους τους μελλοντικούς στόχους και έπειτα εξετάζουν τη δυνατότητα επίτευξης τους λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα.



## 4.3.2 Οι Ποσοτικές Μέθοδοι

### 4.3.2.1 Μοντέλο Χρονοσειρών και Αιτιοκρατικό Μοντέλο

Οι ποσοτικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο επιμέρους μεθόδους πρόβλεψης: το μοντέλο χρονοσειρών, που είναι και αυτό που θα μας απασχολήσει εδώ, και το αιτιοκρατικό μοντέλο.

Στο **μοντέλο χρονοσειρών**, που είναι και το πιο διαδεδομένο, η πρόβλεψη γίνεται με την προϋπόθεση ότι αφενός υπάρχουν στοιχεία για το υπό εξέταση μέγεθος ανά ίδια χρονικά διαστήματα και αφετέρου ότι η μεταβολή της τιμής του μεγέθους ακολουθεί κάποιο επαναλαμβανόμενο και σταθερό πρότυπο. Έτσι, με την εύρεση αυτού του προτύπου και την προέκτασή του στο μέλλον έχουμε παραγωγή προβλέψεων.

Στο **αιτιοκρατικό μοντέλο** πάλι, θεωρούμε ότι υπάρχει μία σταθερή σχέση του υπό εξέταση μεγέθους και κάποιων παραμέτρων απ' τις οποίες εξαρτάται. Συνεπώς, αντικαθιστώντας στη σχέση αυτή τις νέες τιμές των παραμέτρων έχουμε πρόβλεψη για το μέγεθος που μας ενδιαφέρει.

Παρακάτω θα γίνει μία περεταίρω αναφορά στις μεθόδους των χρονοσειρών που είναι η αποσύνθεση, η εξομάλυνση και οι αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι.

### 4.3.2.2 Μέθοδοι Αποσύνθεσης

Σκοπός των μεθόδων αποσύνθεσης είναι η ανάλυση των χρονοσειρών στις επιμέρους δομές τους, οι κυριότερες απ' τις οποίες είναι όπως έχει ήδη αναφερθεί η τάση, ο κύκλος, η εποχικότητα και η τυχαιότητα. Αυτό έχει σαν σκοπό την καλύτερη κατανόησή τους. Οι κυριότερες μέθοδοι αποσύνθεσης είναι:

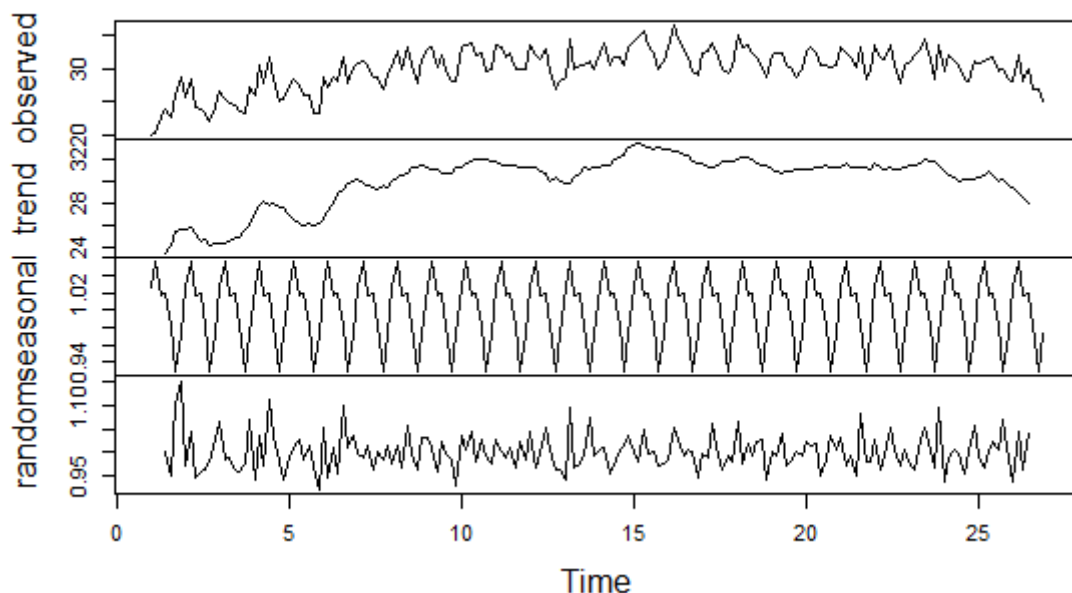
- Fixed Additive Method – σταθερή προσθετική μέθοδος
- Fixed Multiplicative Method – σταθερή πολλαπλασιαστική μέθοδος ή Κλασσική Μέθοδος αποσύνθεσης.
- Moving Additive Method – κινητή προσθετική μέθοδος
- Moving Multiplicative Method – κινητή πολλαπλασιαστική μέθοδος
- Zaycoff's Method
- Μέθοδος Cwmsus X-II
- CPB Method
- KVF Method
- SABL Method

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τη σταθερή πολλαπλασιαστική μέθοδο, η οποία δεδομένου ότι τα στοιχεία μας είναι ημερήσια και αναζητούμε εποχικότητα σε εβδομαδιαίο επίπεδο, ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά υπολογίζεται ο Κινητός Μέσος Όρος 7 παρατηρήσεων ( ΚΜΟ(7) ) για τον υπολογισμό της τάσης της χρονοσειράς. Έπειτα, υπολογίζονται οι λόγοι εποχικότητας ως ο λόγος της πραγματικής τιμής προς την αντίστοιχη τιμή του ΚΜΟ(7). Αυτοί οι λόγοι εμπεριέχουν όμως και τυχαιότητα και συνεπώς πρέπει να κανονικοποιηθούν ανά μέρα εβδομάδας. Αυτό γίνεται υπολογίζοντας τον μέσο όρο των λόγων εποχικότητας που αναφέρονται σε ίδιες μέρες, αφού πρώτα εξαιρεθούν οι δύο ακραίες τιμές εξ αυτών (μέγιστης και ελάχιστης), και κανονικοποιώντας τους μέσους όρους που προκύπτουν με το μέσο εβδομαδιαίο λόγο εποχικότητας. Έτσι προκύπτουν οι δείκτες εποχικότητας. Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά είναι ο λόγος της πραγματικής τιμής με τον αντίστοιχο δείκτη εποχικότητας.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα μίας αποεποχικοποίησης χρονοσειράς που πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα Rstudio. Στο πρώτο διάγραμμα είναι η αρχική χρονοσειρά, στο δεύτερο η τάση της, στο τρίτο η εποχιακότητα και στο τέταρτο η τυχαιότητα της.

### Decomposition of multiplicative time series



Εικόνα 4.3.2.2.1: Αποεποχικοποίηση χρονοσειράς με *Fixed Multiplicative Method* χρησιμοποιώντας *Rstudio*

### 4.3.2.3 Μέθοδοι εξομάλυνσης

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης έχουν ως σκοπό να εξομαλύνουν το πρότυπο βάση του οποίου κινούνται διαχρονικά τα δεδομένα και να μας το φανερώσουν. Με αυτό τον τρόπο θα μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε προβλέψεις, κυρίως βραχυπρόθεσμες, επεκτείνοντας το συγκεκριμένο μοντέλο στο μέλλον.

Η εξομάλυνση μπορεί να γίνει είτε με κινητούς μέσους όρους, είτε με εκθετικές μεθόδους. Στη πρώτη περίπτωση, όλες οι τιμές των δεδομένων συμμετέχουν ισάξια στην εξομάλυνση, ενώ στη δεύτερη ανάλογα το μοντέλο που

χρησιμοποιούμε δίνουμε την επιθυμητή βαρύτητα στις πιο πρόσφατες και στις πιο παλαιές παρατηρήσεις.

#### ***4.3.2.4 Αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι κινητού μέσου όρου***

Οι μέθοδοι κινητού μέσου όρου είναι στην ουσία στοχαστικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της εξέλιξης κάποιου μεγέθους και βασίζονται στην παραδοχή της αλληλεξάρτησης μεταξύ των τιμών που λαμβάνει η χρονοσειρά τις διάφορες χρονικές στιγμές. Τα μοντέλα αυτά παράγουν τις τιμές τους συνδυάζοντας γραμμικά την τυχαιότητα, την ιστορική εξέλιξη των τιμών του υπό εξέταση μεγέθους και άλλους παράγοντες που εμπεριέχουν τα δεδομένα.

## 4.4 Βασικές Μέθοδοι Πρόβλεψης

Στην συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα πραγματοποιηθεί ένας διαγωνισμός μεταξύ έξι μεθόδων, με στόχο την εύρεση εκείνης που περιγράφει καλύτερα το πρότυπο της εκάστοτε χρονοσειράς και δίνει τις πιο ακριβείς προβλέψεις. Αυτές οι μέθοδοι είναι:

1. Naive (Απλοϊκή Μέθοδος)
2. Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (SES)
3. Εκθετική Εξομάλυνση Γραμμικής Τάσης (Holt)
4. Εκθετική Εξομάλυνση Μη Γραμμικής Τάσης (Damped)
5. Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση (LRL)
6. Κλασική Μέθοδο Theta

Προφανώς στο διαγωνισμό θα μπορούσαν να συμμετάσχουν και άλλες μέθοδοι πρόβλεψης, περισσότερο πολύπλοκες και εξεζητημένες, ωστόσο σκοπός της εργασίας δεν είναι τόσο η εύρεση απ' όλα τα διαθέσιμα μοντέλα αυτού που περιγράφει βέλτιστα την εκάστοτε χρονοσειρά, αλλά η παρουσίαση μίας βασικής μεθοδολογίας πρόβλεψης. Προφανώς από κει και πέρα κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει επιπλέον μεθόδους για να βελτιώσει τα αποτελέσματά του.

### 4.4.1 Naïve ή Απλοϊκή Μέθοδος

Η μέθοδος Naïve, γνωστή και ως αφελής ή απλοϊκή μέθοδος, είναι η πλέον απλή μέθοδος πρόβλεψης που δίνει ως πρόβλεψη για την επόμενη χρονική περίοδο την τιμή που είχε το μέγεθος την προηγούμενη ακριβώς περίοδο. Ισχύει δηλαδή:

$$F_t = Y_{t-1}$$

Λόγω της αταξίας που χαρακτηρίζει τη Naïve, συνήθως δεν χρησιμοποιείται ως μέθοδος πρόβλεψης αλλά ως σημείο αναφοράς απόδοσης για τη σύγκριση μεταξύ άλλων περισσότερο πολύπλοκων μεθόδων. Εξαίρεση αποτελούν περιπτώσεις όπου η τυχαιότητα είναι ιδιαίτερα έντονη στη χρονοσειρά, οπότε και δεν υπάρχει κάποιο ξεκάθαρο μοτίβο να ακολουθήσουμε, ή όταν πραγματοποιούμε εξαιρετικά βραχυπρόθεσμες προβλέψεις σε αποεποχικοποιημένες χρονοσειρές.

## 4.4.2 Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing-SES)

Το μοντέλο της απλής εκθετικής εξομάλυνση ή αλλιώς μοντέλο σταθερού επιπέδου, ανήκει στις μεθόδους εξομάλυνσης που προαναφέρθηκαν και χρησιμοποιείται όταν η χρονοσειρά εμφανίζει σταθερότητα γύρω από ένα επίπεδο, δηλαδή δεν υπάρχει τάση, και κατεξοχήν για προβλέψεις μικρού χρονικού ορίζοντα.

Το μοντέλο προβλέπει βάση των παρακάτω σχέσεων, όπου  $e_t$  είναι το σφάλμα της πρόβλεψης για τη χρονική στιγμή  $t$  απ' τη πραγματική τιμή την ίδια χρονική περίοδο και  $S_t$  το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της περιόδου  $t$ .

$$e_t = Y_t - F_t$$

$$S_t = S_{t-1} + a \cdot e_t$$

$$F_{t+1} = S_t$$

Παρατηρούμε ότι για κάθε νέα περίοδο, το επίπεδο αλλάζει σε σχέση με αυτό της προηγούμενης περιόδου κατά ένα συντελεστή ίσο με το γινόμενο του σφάλματος επί το συντελεστή εξομάλυνσης  $a$ . Αυτός ο συντελεστής παίρνει τιμές από 0 έως 1 και καθορίζει το βαθμό στον οποίο επιδρούν οι τελευταίες και οι αρχικές παρατηρήσεις στις προβλέψεις μας. Προφανώς, όταν  $a=0$  το αρχικό μας επίπεδο είναι και η πρόβλεψή μας, ενώ όταν  $a=1$  η SES εκφυλίζεται σε Naive και προβλέπει βάση της τελευταίας μας παρατήρησης.

Σε γενικές γραμμές η επιλογή του συντελεστή εξομάλυνσης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να βρισκόμαστε πάντα κοντά στο επίπεδο της χρονοσειράς και για αυτό θα πρέπει να μελετάμε πρώτον την ύπαρξη θορύβου στη χρονοσειρά και δεύτερον το βαθμό που μεταβάλλεται το επίπεδό της. Αν υπάρχει πολύς θόρυβος επιλέγεται μικρό  $a$  ούτως ώστε να μην επηρεάσει υπερβολικά ο θόρυβος την πρόβλεψή μας, ενώ αν έχουμε μεγάλες αυξομειώσεις στο επίπεδο της χρονοσειράς επιλέγουμε μεγάλο  $a$  προκειμένου το μοντέλο μας να αντιδρά γρήγορα σε αυτές. Η επιλογή του βέλτιστου  $a$  είναι μία δύσκολη υπολογιστικά διαδικασία η οποία μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Η κυριότερη εξ αυτών περιλαμβάνει την αναζήτηση εκείνου του  $a$  που θα ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Εδώ δεν θα αναφερθεί αναλυτικά η συγκεκριμένη διαδικασία, δεδομένου ότι αυτή πραγματοποιείται αυτόματα μέσω συναρτήσεων του προγράμματος Rstudio που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς μας.

Ένα πρόβλημα που καλείται κάποιος να αντιμετωπίσει στην SES είναι η επιλογή ενός αρχικού επιπέδου για τη χρονοσειρά. Αυτή η επιλογή δεν θα πρέπει να γίνεται βιαστικά, αφού εύκολα αντιλαμβανόμαστε πως κακή αρχικοποίηση του επιπέδου μπορεί υπό προϋποθέσεις να εξάγει ανακριβή αποτελέσματα.

Συνήθως το αρχικό επίπεδο ορίζεται ως ο μέσος όρος όλων των παρατηρήσεων, ο μέσος όρος των  $n$  πρώτων παρατηρήσεων, η πρώτη παρατήρηση ή το σταθερό επίπεδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Συνήθως η τελευταία επιλογή είναι και η βέλτιστη και αυτή είναι και η επιλογή που επιλέγεται στην παρούσα εργασία.

### 4.4.3 Εκθετική Εξομάλυνση Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing)

Το μοντέλο της εξομάλυνσης γραμμικής τάσης μοιάζει πολύ με αυτό της SES με τη διαφορά ότι λαμβάνει επιπροσθέτως υπόψη του τη τάση της χρονοσειράς. Πρόκειται δηλαδή για προέκταση του μοντέλου σταθερού επιπέδου και πρακτικά αποδεικνύεται πως δίνει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα από αυτό, δεδομένου ότι ταυτόχρονα με την προσαρμογή του επιπέδου της χρονοσειράς υπάρχει και προσαρμογή στη τάση αυτής. Κανείς θα μπορούσε να πει ότι πλησιάζει τη φιλοσοφία της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, ωστόσο η Holt λόγω του συστήματος επαναπροσδιορισμού της δίνει σταδιακά μεγαλύτερη έμφαση στις πρόσφατες παρατηρήσεις απ' ότι στις αρχικές.

Οι προβλέψεις της συγκεκριμένης μεθόδου γίνονται με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$e_t = Y_t - F_t$$

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + a \cdot e_t$$

$$T_t = T_{t-1} + b \cdot e_t$$

$$F_{t+m} = S_t + m \cdot T_t$$

Όπως και στο μοντέλο σταθερού επιπέδου, αρχικά υπολογίζεται το σφάλμα της πρόβλεψης και στη συνέχεια το νέο επίπεδο της χρονοσειράς, με τη διαφορά ότι τώρα συνυπολογίζεται σε αυτό η τάση της. Το κάθε επίπεδο τάσης είναι ίσο με το ακριβώς προηγούμενο επίπεδο τάσης, διορθωμένο κατά το γινόμενο του σφάλματος με ένα συντελεστή  $b$ , τον συντελεστή εξομάλυνσης τάσης. Όπως και ο συντελεστής εξομάλυνσης  $a$ , έτσι και ο συντελεστής  $b$  παίρνει τιμές από 0 έως 1. Η τελική πρόβλεψη είναι το άθροισμα της τάσης και του επιπέδου την εκάστοτε χρονική στιγμή.

Όπως και πριν, οι συντελεστές εξομάλυνσης υπολογίζονται μέσω ειδικών μεθόδων με στόχο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος των προβλέψεων. Βέβαια, εδώ η διαδικασία είναι περισσότερο πολύπλοκη λόγω της εισαγωγής ενός δεύτερου συντελεστή εξομάλυνσης, αλλά ο στόχος μας παραμένει ο ίδιος. Η επιλογή αρχικού επιπέδου και τάσης για τη μέθοδο εξακολουθεί να αποτελεί ένα πρόβλημα όπως και πριν. Για το επίπεδο της χρονοσειράς ισχύει ότι προαναφέρθηκε στη SES, ενώ για τη τάση επιλέγουμε αρχική τιμή ίση είτε με τη διαφορά της δεύτερης και πρώτης παρατήρησης, είτε με τη διαφορά της  $n$ -οστής παρατήρησης και πρώτης διαιρεμένη με  $n-1$ , είτε με τη σταθερά της κλίσης από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Το Rstudio επιλέγει το τελευταίο που είναι συνήθως και το βέλτιστο.



#### 4.4.4 Εκθετική Εξομάλυνση Μη Γραμμικής Τάσης (Damped)

Το μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης μη γραμμικής τάσης αποτελεί προέκταση του μοντέλου Holt προκειμένου να μπορέσουν να περιγραφούν χρονοσειρές που παρουσιάζουν μη γραμμικές διακυμάνσεις. Αυτό γίνεται μέσω της εισαγωγής μίας νέας παραμέτρου  $\phi$ , γνωστή ως παράμετρος διόρθωσης τάσης. Η αύξηση του εύρους των χρονοσειρών που μπορούμε να επεξεργαστούμε αποτελεσματικά με μία τέτοια μέθοδο γίνεται εύκολα αντιληπτή, ενώ έχει διαπιστωθεί ότι η Damped παράγει πολύ πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους, κυρίως όταν δεν μπορεί να εντοπιστεί εύκολα το μοτίβο που ακολουθεί η χρονοσειρά. Άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου Damped, είναι ότι σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους εκθετικής εξομάλυνσης που αναφέρθηκαν, μπορούν να δώσουν πολύ καλές προβλέψεις και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο.

Οι εξισώσεις στις οποίες βασίζεται το μοντέλο είναι οι παρακάτω:

$$e_t = Y_t - F_t$$

$$S_t = S_{t-1} + \phi \cdot T_{t-1} + a \cdot e_t$$

$$T_t = \phi \cdot T_{t-1} + b \cdot e_t$$

$$F_{t+m} = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i \cdot T_t$$

Βλέπουμε ότι οι εξισώσεις της Damped είναι πανομοιότυπες με αυτές της Holt και γι' αυτό δεν θα γίνει ξανά κάποια επεξήγηση, παρά μόνο στη μοναδική τους διαφοροποίηση που προσφέρει η παράμετρος  $\phi$ . Έτσι, ο συντελεστής  $\phi$  προκαλεί μη γραμμικό υπολογισμό της πρόβλεψης  $F$ , σε αντίθεση με πριν όπου η τάση αυξανόταν γραμμικά σε κάθε περίοδο. Ανάλογα τη τιμή του  $\phi$  μπορούμε να προσεγγίσουμε διαφορετικού μοτίβου χρονοσειρές, αυξανόμενης τάσης, σταθερού επιπέδου και φθίνουσας τάσης. Συγκεκριμένα, για  $\phi < 0$  προκύπτει φθίνουσα τάση και το μέγεθος κατά το οποίο αυξάνει η τιμή των προβλέψεων μικραίνει κάθε χρονική περίοδο, ενώ για  $\phi > 0$  προκύπτει εκθετική τάση και το μέγεθος κατά το οποίο αυξάνει η τιμή των προβλέψεων μεγαλώνει κάθε φορά. Τέλος, για  $\phi = 0$  έχουμε εφαρμογή της μεθόδου SES και για  $\phi = 1$  εφαρμογή του μοντέλου γραμμικής τάσης.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις σχετικά με το συντελεστή  $\phi$  μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο μοντέλο εμφανίζει μία καθολικότητα ως προς τις χρονοσειρές στις οποίες μπορεί να βρει εφαρμογή και εξηγούν το γεγονός ότι πολύ συχνά η Damped εξάγει τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα με άλλες μεθόδους

πρόβλεψης. Το τελευταίο μπορεί για παράδειγμα να συμβεί αν εφαρμοστεί σε σύγκριση με μία μέθοδο SES για πρόβλεψη σε χρονοσειρά ιδιαίτερα σταθερού επιπέδου, όπου ο συντελεστής  $\phi$  σχεδόν θα μηδενιστεί. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια για να συμβεί κάτι τέτοιο είναι να υπολογιστούν όπως και πριν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων  $a$ ,  $b$  και  $\phi$  με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος.

## 4.4.5 Μοντέλο Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (LRL)

Το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται στη ύπαρξη εξάρτησης μεταξύ δύο μεγεθών και μάλιστα γραμμικής. Υποθέτει δηλαδή και υπολογίζει τη σχέση μίας εξαρτημένης και μίας ανεξάρτητης μεταβλητής μέσω μιας ευθείας γραμμής. Για την υλοποίηση λοιπόν του μοντέλου αρκεί να υπολογιστεί η κλίση και το αρχικό επίπεδο της ζητούμενης ευθείας. Αναμενόμενη είναι ωστόσο η ύπαρξη αποκλίσεων μεταξύ της παραγόμενης ευθείας του μοντέλου και των πραγματικών τιμών, καθώς όταν μιλάμε για φυσικά μεγέθη η απόκλιση είναι δεδομένη ακόμα και για τέλεια εξαρτημένα μεγέθη. Έτσι, αν υποθέσουμε ότι η παραγόμενη ευθεία του μοντέλου είναι η:

$$Y = a + bX$$

, όπου  $y$  η εξαρτημένη μεταβλητή,  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή,  $b$  η κλίση της ευθείας και  $a$  το αρχικό επίπεδό της, τότε για τις πραγματικές τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών θα ισχύει ότι:

$$Y = a + bX + e$$

, όπου  $e$  η απόλυση της πραγματικής τιμής των δεδομένων από αυτό της ευθείας. Το  $e$  εκφράζει γεωμετρικά συνεπώς την κάθετη απόσταση που χωρίζει στη γραφική του μοντέλου τις δύο τιμές. Στόχος του μοντέλου, λοιπόν, είναι ο υπολογισμός εκείνων των  $a$  και  $b$  τα οποία θα δώσουν τη βέλτιστη ευθεία, ή αλλιώς το μικρότερο δυνατό  $e$ . Αυτό γίνεται μέσω της γνωστής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων και οι τελικές σχέση υπολογισμού των βέλτιστων παραμέτρων είναι οι εξής:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Αν υπάρχει λοιπόν στενή σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, γίνεται δυνατή η προέκταση της ευθείας του μοντέλου και η χρήση του ως τεχνικής πρόβλεψης. Το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιείται κυρίως για μακροπρόθεσμες προβλέψεις, αφού έχει παρατηρηθεί πως αν η χρονοσειρά έχει συγκεκριμένη τάση, τότε δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε μεγάλο ορίζοντα πρόβλεψης.

## 4.4.6 Μοντέλο Theta

Το μοντέλο Theta, το οποίο αναπτύχθηκε απ' τους Ασημακόπουλο και Νικολόπουλο στη μονάδα προβλέψεων και στρατηγικής του Ε.Μ.Π., είναι μία μονοδιάστατη μέθοδος πρόβλεψης η οποία βασίζεται στη μεταβολή των τοπικών καμπυλοτήτων μίας χρονοσειράς μέσω της παραμέτρου  $\theta$ . Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι, ανάλογα τη τιμή της παραμέτρου  $\theta$ , η μέθοδος μπορεί είτε να προσεγγίσει καλύτερα τις μακροπρόθεσμες συμπεριφορές των παρατηρήσεων, είτε να τονίσει τα βραχυπρόθεσμα χαρακτηριστικά τους. Η καινούργια χρονοσειρά που δημιουργείται διατηρεί τη μέση τιμή και κλίση της αρχικής χρονοσειράς αλλά όχι και τις τοπικές καμπυλότητες και τη διακύμανση.

Στην πιο απλή και προτεινόμενη της μορφή, η μέθοδος αναπτύσσει δύο νέες χρονοσειρές απ' την αρχική, κάθε μία απ' τις οποίες προεκτείνεται μόνη της ή μέσω κάποιας άλλης μεθόδου. Στη συνέχεια αυτές οι χρονοσειρές συνδυάζονται για  $\theta=0$  (ευθεία γραμμή) και  $\theta=2$  (διπλάσιες τοπικές καμπυλότητες) αντίστοιχα, δίνοντας τις τελικές προβλέψεις. Έτσι, εξασφαλίζονται ορθές μακροπρόθεσμες προβλέψεις έχοντας υπόψη τα βραχυπρόθεσμα χαρακτηριστικά που οφείλουν να φέρουν. Πιο συγκεκριμένα η Theta ακολουθεί τη παρακάτω διαδικασία:

- Έλεγχος μέσω μεθόδων αποσύνθεσης για εύρεση εποχιακότητας
- Αποεποχικοποίηση μέσω της κλασικής πολλαπλασιαστικής μεθόδου σε περίπτωση που η παραπάνω ανάλυση έδειξε έντονη εποχιακότητα
- Αποσύνθεση της χρονοσειράς σε δύο γραμμές Theta, μία γραμμικής παλινδρόμησης με  $\theta=0$  και μία με  $\theta=2$
- Προέκταση της πρώτης γραμμής κατά τα κλασικά και της δεύτερης μέσω της απλής εκθετικής εξομάλυνσης
- Συνδυασμός των παραπάνω γραμμών με ίσα βάρη και πρόβλεψη βάση αυτών
- Εποχικοποίηση των προβλέψεων με τους δείκτες εποχιακότητας που υπολογίστηκαν στην αρχική ανάλυση

## 4.5 Επιλογή Μεθόδου Πρόβλεψης

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης είναι ένα κεφάλαιο των προβλέψεων στο οποίο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς είναι και αυτό που θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των εκτιμήσεών μας. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει κανείς να λάβει υποψιών στην επιλογή του.

Αρχικά, ανάλογα τον **ορίζοντα πρόβλεψης** η κάθε μέθοδος εμφανίζει, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πλεονέκτημα ή μειονέκτημα. Για παράδειγμα, η Damped ή μία απλή γραμμική παλινδρόμηση έχει καλύτερα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα από τη SES και τη Naive, που αναφέρονται κυρίως σε βραχυπρόθεσμες προβλέψεις. Άλλο κριτήριο επιλογής μεθόδου είναι η παρατήρηση της **συμπεριφοράς της τάσης** της χρονοσειράς, δηλαδή το αν έχει αύξουσα, φθίνουσα, γραμμική, εκθετική ή και καθόλου τάση. Εδώ πάλι αντίστοιχα προτιμώνται ανάλογα το μοτίβο της τάσης οι αντίστοιχες μέθοδοι απ' αυτές που προαναφέρθηκαν. Άλλο κριτήριο είναι η **αξιοπιστία** της μεθόδου, ή πιο απλά το σφάλμα το οποίο αποδίδει η μέθοδος στις προβλέψεις που κάνει σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα. Η εξέταση της αξιοπιστίας γίνεται συνήθως επιβλέποντας ένα συγκεκριμένο δείκτη σφάλματος (συνήθως το MSE), οπότε και επιλέγεται εκείνη η μέθοδος με το μικρότερο σφάλμα, με την προϋπόθεση βέβαια ότι αυτό είναι επί πρόσθετα σε ικανοποιητικά επίπεδα (μικρότερο του 5 ή 10 τις εκατό). Τέλος, κριτήριο επιλογής μεθόδου αποτελεί το **υπολογιστικό κόστος** των μεθόδων και η **ευκολία** χρήσης αυτών. Δεν μπορεί για παράδειγμα κάποιος εύκολα όταν έχει τεράστιο όγκο δεδομένων που απαιτούν μεγάλη υπολογιστική δύναμη να χρησιμοποιήσει δύστροπες και πολύπλοκες μεθόδους που θα επαυξήσουν τις υπολογιστικές ανάγκες.

Σε αυτό το σημείο, και μιλώντας περί ευκολίας και αξιοπιστίας των μεθόδων, θα αναφερθούν κάποια πράγματα περί της δυνατότητας συνδυασμού μεθόδων πρόβλεψης. Κάτι τέτοιο είναι προφανώς υλοποιήσιμο και αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές, δεδομένου ότι ο κατάλληλος συνδυασμός μεθόδων πρόβλεψης μπορεί να δώσει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα από μεμονωμένες μεθόδους σε ποσοστό έως και 5%. Αυτό βέβαια απαιτεί μελέτη για το ποιες μέθοδοι θα χρησιμοποιηθούν και με τι βάρη θα συνδυαστούν, πράγμα όχι ιδιαίτερα απλό. Στην πράξη, ένας απλός συνδυασμός όλων των μεθόδων με ίσα βάρη ή ένας συνδυασμός όλων των μεθόδων με βάρη αντίστοιχα της ακρίβειας της κάθε μεθόδου είναι αρκετός για την εξαγωγή βελτιωμένων αποτελεσμάτων. Μάλιστα, η παραπάνω απλοϊκή προσέγγιση έχει αποδειχτεί ότι δίνει προβλέψεις ελάχιστα χειρότερες από άλλες πολύ πιο σύνθετες συνδυαστικές μεθόδους.

Στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι ο στόχος είναι κυρίως η ανάδειξη μίας μεθοδολογίας προβλέψεων, δεν θα χρησιμοποιηθούν συνδυασμοί μεθόδων και κριτήριο επιλογής μεθόδου θα είναι αποκλειστικά η ελαχιστοποίηση του σφάλματος της πρόβλεψης μέσω του MSE. Λόγω μάλιστα του μικρού υπολογιστικού κόστους που οι απλοί μέθοδοι απαιτούν για το πλήθος των

δεδομένων που διαθέτουμε, δεν θα μας απασχολήσουν ούτε τα υπόλοιπα κριτήρια στην επιλογή μεθόδου πρόβλεψης.

## 4.6 Στατιστική Ανάλυση και Ακρίβεια Προβλέψεων

### 4.6.1 Σφάλματα στις Προβλέψεις

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, βασικό κριτήριο στην αξιολόγηση και την επιλογή μίας μεθόδου πρόβλεψης είναι η ακρίβεια που αυτή παρέχει στις προβλέψεις της. Αυτή μετράται μέσω διαφόρων τύπων σφαλμάτων που θα αναφερθούν παρακάτω αναλυτικά. Το σφάλμα ορίζεται γενικά ως η διαφορά της πραγματικής τιμής μίας παρατήρησης από την πρόβλεψη την οποία κάναμε για την ίδια χρονική περίοδο, δηλαδή:

$$e_i = Y_i - F_i$$

Η χρήση των σφαλμάτων προς μελέτη και αξιολόγηση μπορεί να γίνει είτε στο in-sample δείγμα, δηλαδή σε παρατηρήσεις που ήδη διαθέτουμε και πάνω στις οποίες εφαρμόζουμε τη μέθοδο, είτε στο out-of sample δείγμα, δηλαδή σε παρατηρήσεις που αρχικά δεν γνωρίζαμε όταν κάναμε τις προβλέψεις και που εκ των υστέρων μάθαμε την τιμή τους. Κατά κύριο λόγο, μία μέθοδος πρόβλεψης κρίνεται για τις out-of sample επιδόσεις της, αφού αυτό είναι και το άγνωστο περιβάλλον στο οποίο μας ενδιαφέρει να συμπεριφέρεται καλά η μέθοδος. Σε γενικές γραμμές πάντως, αν μία μέθοδος ανταποκρίνεται καλά in-sample θα δίνει εξίσου καλά αποτελέσματα και out-of sample.

Οι βασικότεροι τύποι σφαλμάτων είναι οι εξής:

1. Μέσο σφάλμα (mean error)

$$ME = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)$$

2. Μέσο απόλυτο σφάλμα (mean absolute error)

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|$$

3. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error)

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2$$

4. Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root mean squared error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2}$$

5. Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (mean absolute percentage error)

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| \cdot 100 (\%)$$

6. Συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (symmetric mean absolute percentage error)

$$sMAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{\left(\frac{Y_i + F_i}{2}\right)} \right| \cdot 100 (\%) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{2 \cdot (Y_i - F_i)}{Y_i + F_i} \right| \cdot 100 (\%)$$

7. Μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (mean absolute scaled error)

$$MASE = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|}{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n |Y_i - Y_{i-1}|}$$

Από τα προαναφερθέντα σφάλματα, τα τέσσερα πρώτα σφάλματα, (ME, MAE, MSE και RMSE) βασίζονται κατά κύριο λόγο στις διαφορές των τιμών πρόβλεψης από τις τιμές των πραγματικών τιμών. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι το ME παρουσιάζει την προκατάληψη της μεθόδου (αισιόδοξη- απαισιόδοξη) ανάλογα το πρόσημό του, ενώ τα MAE και MSE όχι, με το MSE ωστόσο να δίνει μεγαλύτερη έμφαση στα σφάλματα με την μεγαλύτερη τιμή λόγω του τετραγώνου.

Τα δύο επόμενα σφάλματα (MAPE και sMAPE) εκφράζουν τα σφάλματα σε ποσοστιαία μορφή και είναι εξαιρετικά χρήσιμα καθώς καθίσταται δυνατή η σύγκριση σφαλμάτων από χρονοσειρές διαφορετικού επιπέδου μέσης τιμής.

Τέλος, το MasE είναι ένα σχετικό μέτρο που χρησιμοποιεί το σφάλμα της Naïve ως σημείο αναφοράς ούτως ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση αποδοτικότητας μεταξύ διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης.

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως το μέσο απόλυτο σφάλμα, καθώς μας ενδιαφέρει απλά να εντοπίσουμε τις αστοχίες των προβλέψεων κατά μέτρο και να δούμε πόσο απείχαμε από την αλήθεια. Στην παρούσα φάση μάλιστα δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα η προκατάληψη των μεθόδων που χρησιμοποιούμε, οπότε η επιλογή ενός δείκτη σαν τον ME είναι μάλλον ακατάλληλη.



## 4.6.2 Ο Δείκτης Συσχέτισης

Ένα στατιστικό στοιχείο που θα μας απασχολήσει στο κομμάτι επιλογής των κατάλληλων χρονοσειρών προς πρόβλεψη ενεργειακών καταναλώσεων, είναι η συσχέτιση που εμφανίζουν δύο παράμετροι X και Y. Την απάντηση σε αυτό το πρόβλημα θα μας την παρέχει ο δείκτης συσχέτισης, ο οποίος υπολογίζεται απ' τη παρακάτω σχέση:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^2]} \sqrt{\sum_{i=1}^n [(Y_i - \bar{Y})^2]}}$$

Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης είναι από -1 έως 1, με το (-) να δείχνει αρνητική συσχέτιση και το (+) θετική. Όσο περισσότερο προσεγγίζει η τιμή τη μονάδα (θετική ή αρνητική) τόσο ισχυρότερη σχέση εντοπίζεται μεταξύ των δύο παραμέτρων. Γενικά, τιμές συσχέτισης από 0,9 και πάνω φανερώνουν ιδιαίτερα ισχυρή συσχέτιση, από 0,8 έως 0,9 ισχυρή και από 0,3 και κάτω σχεδόν ανύπαρκτη συσχέτιση.



# Κεφάλαιο 5: Μέθοδος Πρόβλεψης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Δεικτών Ενεργειακής Κατανάλωσης - EPI's.

## 5.1 Η Ιδέα της Μεθόδου

Βασικό ερώτημα της διπλωματικής εργασίας είναι το πώς θα μπορέσει κανείς να προβλέψει την ενεργειακή κατανάλωση σε ένα κτίριο μέσω δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης. Το πώς θα μεταφερθεί δηλαδή το βάρος της πρόβλεψης μίας γενικευμένης μεταβλητής, όπως είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μεγάλου κτιρίου με πολλές διαφορετικές χρήσεις και χαρακτηριστικά, σε κάτι πιο εξειδικευμένο, όπως ένας δείκτης που εξετάζει την ενεργειακή κατανάλωση από τη σκοπιά ενός μεμονωμένου χαρακτηριστικού.

Τα πλεονεκτήματα του να γίνει κάτι τέτοιο είναι αρκετά, αφού ο διαχειριστής του κτιρίου θα μπορεί παρατηρώντας πολύ συγκεκριμένες τιμές δεικτών να αποφαινεται γρήγορα, εύκολα και με ακρίβεια για την ενεργειακή συμπεριφορά ολόκληρου του κτιρίου και να λαμβάνει προβλέψεις για αυτή στο χρονικό ορίζοντα που τον ενδιαφέρει.

Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε τη δυνατότητα κάτι τέτοιου μόνο για την ηλεκτρική κατανάλωση ενός κτιρίου, αφού η εισαγωγή και των υπόλοιπων καταναλώσεων στην έρευνα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α.) θα έφερνε τη μελέτη σε πολύ πιο σύνθετα και πολύπλοκα επίπεδα που ξεπερνούν το εύρος μίας διπλωματικής εργασίας.

Η ιδέα, λοιπόν, της μεθόδου περιλαμβάνει μία top-down προσέγγιση της κατανάλωσης του κτιρίου, σύμφωνα με την οποία η συνολική κατανάλωση διασπάται στις επιμέρους βασικές χρήσεις της, και αφού γίνει πρόβλεψη κατανάλωσης για κάθε μία χρήση ξεχωριστά, οι επιμέρους προβλέψεις κατανάλωσης συναθροίζονται, δίνοντας μία bottom-up πρόβλεψη για τη συνολική κατανάλωση. Η επιλογή αυτού του μοντέλου έγινε γιατί η απ' ευθείας πρόβλεψη της συνολικής κατανάλωσης επηρεάζεται από πολύ περισσότερους παράγοντες απ' ότι οι μεμονωμένες χρήσεις και μάλιστα με διαφορετικά βάρη. Έτσι, το μοντέλο πρόβλεψης θα γινόταν ασκόπως πολύπλοκο και με κίνδυνο να παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις απ' τις πραγματικές του τιμές. Μάλιστα, η απευθείας εξέταση της συνολικής κατανάλωσης θα μας οδηγούσε μάλλον σε κάποια αιτιοκρατική ανάλυση του θέματος, κάτι το οποίο δεν ήταν επιθυμητό δεδομένης της ευκολίας που προσφέρουν οι μέθοδοι χρονοσειράς και της έκτασης που έχουν λάβει στον τομέα των προβλέψεων.

## 5.2 Εντοπισμός Χρήσεων Κτιρίου

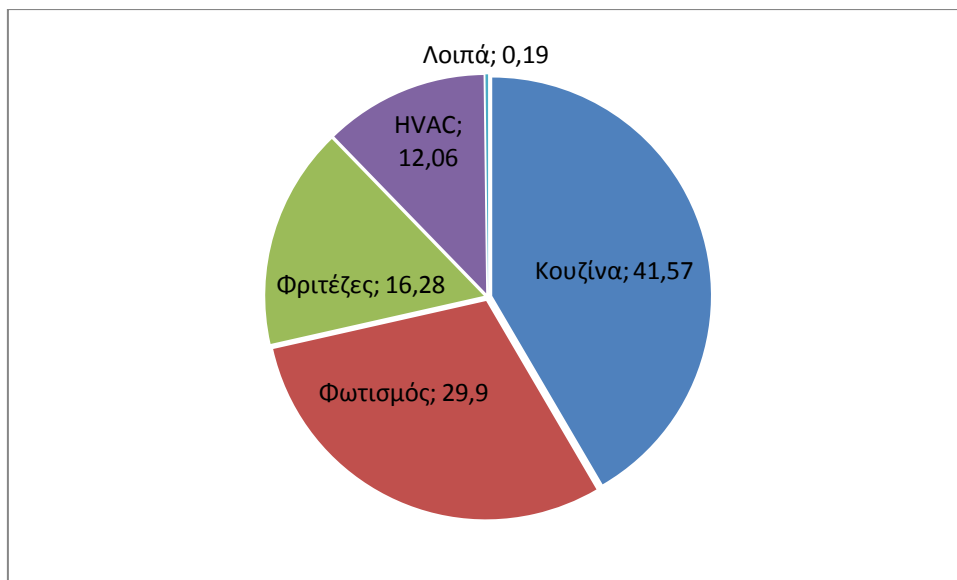
Το να εντοπιστούν οι βασικές χρήσεις σε ένα κτίριο δεν είναι και τόσο δύσκολη διαδικασία. Άλλωστε, και μόνο βιβλιογραφικά είναι δυνατό κάποιος, ανάλογα το τύπο του κτιρίου που μελετά, να βρει ποιες είναι οι πιθανές χρήσεις του και να συμπληρώσει ή να αφαιρέσει από αυτές κάποιες ανάλογα την περίπτωση. Μία τέτοια διαδικασία έχει ήδη γίνει στο κεφάλαιο 3, όπου παρουσιάζονταν οι καταναλώσεις σε πέντε βασικές κατηγορίες κτιρίων τριτογενούς τομέα. Συνοπτικά, αυτές παρουσιάζονται ξανά για λόγους ευκολίας στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία Κτιρίου /Χρήση	Ξενοδοχείο	Supermarket	Νοσοκομείο	Εστιατόριο	Τράπεζα (Γραφείο)
Φωτισμός	•	•	•	•	•
HVAC	•	•	•	•	•
Κουζίνα	•	•	•	•	
Ψυγεία	•	•		•	
Εξοπλισμός Γραφείου	•		•	•	•
Υγιεινή				•	
Εξετάσεις			•		
Θέρμανση Νερού	•	•	•		
Λοιπά	•	•	•	•	•

Το δύσκολο σε αυτή τη διαδικασία είναι ωστόσο να μπορέσει με κάποιον τρόπο να μετρηθεί ή έστω να υπολογιστεί η κατανάλωση ανά χρήση με κάποια αξιοπρεπή ακρίβεια. Αυτό συμβαίνει γιατί για την παρακολούθηση μίας χρήσης δεν απαιτείται απλά η εγκατάσταση ενός συστήματος monitoring, αλλά και ο έλεγχος του ποιες συσκευές είναι τοποθετημένες πάνω στη γραμμή στην οποία μετράμε. Δεν μπορούμε για παράδειγμα να υποστηρίξουμε ότι η κατανάλωση του κλιματισμού σε ένα ξενοδοχείο σύμφωνα με ένα όργανο που έχουμε εγκαταστήσει είναι 700kWh τη μέρα, όταν πάνω στην ίδια γραμμή είναι τοποθετημένο και υπό λειτουργία ένα ψυγείο μερικών εκατοντάδων Watt. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτούνται επιπρόσθετοι υπολογισμοί που θα διαχωρίζουν τις επιμέρους καταναλώσεις και θα μας δίνουν ορθά αποτελέσματα. Στα κτίρια που μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής δεν υπήρχε ευτυχώς κάποιο τέτοιο πρόβλημα και η μελέτη ήταν αρκετά απλοποιημένη.

Όσον αφορά το κομμάτι της κατηγορίας «λοιπά», στο οποίο εντάσσονται καταναλώσεις χωρίς ιδιαίτερα μεγάλη τιμή και χαρακτήρα, αυτό θα πρέπει να αποτελεί όσο το δυνατό μικρότερο κομμάτι της συνολικής χρήσης, αφού όπως θα γίνει κατανοητό στη συνέχεια της παρουσίασης της μεθόδου, κάτι αντίθετο

θα δημιουργήσει προβλήματα στην ακρίβεια των προβλέψεών μας. Έτσι, σαν συμπέρασμα θα έλεγε κανείς πως είναι προτιμότερο να δημιουργηθεί μία επιπλέον, έστω και μικρή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χρήση, παρά να ενταχθεί μία κατανάλωση σε μία γενική κατηγορία με αόριστα χαρακτηριστικά. Ένα παράδειγμα διαχωρισμού κατανάλωσης ανά χρήση φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει το διαχωρισμό της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης σε ένα ταχυφαγείο της Κύπρου.



*Εικόνα 5.2.1: Ο διαχωρισμό της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης σε ένα ταχυφαγείο της Κύπρου.*

Η διάσπαση ανά χρήση έγινε βάση εξαμηνιαίων στοιχείων που δόθηκαν στη μονάδα προβλέψεων και στρατηγικής μέσω online συστήματος monitoring για τους μήνες Οκτώβριο 2012 έως Μάρτιο 2013. Η κατηγορία «λοιπά» του διαγράμματος έχει διαμορφωθεί να είναι σχεδόν αμελητέα, όπως άλλωστε επιθυμούσαμε.

## 5.3 Επιλογή Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης για τη Παρακολούθηση της Κάθε Χρήσης

Έχοντας βρει ποιες είναι οι χρήσεις του κτηρίου το οποίο μελετάμε, μπορούμε να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα το οποίο είναι η εύρεση του EPI που την περιγράφει καλύτερα. Αυτό περιλαμβάνει δύο στάδια: την εύρεση όλων των πιθανών EPI's και την επιλογή του καλύτερου εξ αυτών.

Για την εύρεση των πιθανών EPI's δεν θα αναφέρουμε πολλά σε αυτό το σημείο της εργασίας, δεδομένου ότι στο κεφάλαιο 2 και 3 έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά ευρέως χρησιμοποιούμενα EPI's ανά κατηγορία κτηρίου και η φιλοσοφία με την οποία μπορεί κάποιος να αναζητήσει πιθανά EPI's ή και να κατασκευάσει δικά του ανάλογα τις ανάγκες του, το είδος του κτιρίου που επιβλέπει και τα στοιχεία που μπορεί να έχει στη διάθεσή του. Κλειδί στο συγκεκριμένο σημείο είναι να αναλογιστεί κανείς ποιοι παράγοντες θα μπορούσαν να επηρεάζουν περισσότερο την κατανάλωση μίας χρήσης. Για παράδειγμα, για το φωτισμό πιθανή απάντηση αποτελεί το ωράριο λειτουργίας, η φωτιζόμενη επιφάνεια του κτιρίου και το ποσοστό που καταλαμβάνει ο φωτισμός στο σύνολο της κατανάλωσης.

Το κριτήριο επιλογής του βέλτιστου EPI επιλέχτηκε να είναι ο βαθμός συσχέτισης του παρανομαστή του δείκτη με την ηλεκτρική κατανάλωση της χρήσης, όπως αυτός ορίστηκε στη παράγραφο 4.6.2. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω της αμεσότητας που προσφέρει η συγκεκριμένη μέθοδος και των αξιόπιστων αποτελεσμάτων που πρακτικά αποδίδει. Άλλωστε, αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την επιλογή βέλτιστων δεικτών κατανάλωσης σε κτήρια από αρκετές καταξιωμένες εταιρίες του χώρου, όπως η EnergyStar. Έτσι, ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης με τη μεγαλύτερη συσχέτιση απ' τους διαθέσιμους είναι και ο βέλτιστος.

Προφανώς, η καταγραφή των στοιχείων και η συσχέτισή τους θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή ούτως ώστε να μην οδηγηθούμε σε εικονικές συσχετίσεις και ψευδή αποτελέσματα. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να εξακριβώσει το ωράριο λειτουργίας σε ένα εστιατόριο εξετάζοντας πότε μηδενίζεται η τιμή της έντασης φωτισμού στο χώρο μέσω ενός λουξομέτρου. Άλλη επιλογή είναι η μέτρηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης στα φώτα και ο εντοπισμός του διαστήματος που αυτή ισούται μόνο με την κατανάλωση που έχουν οι πινακίδες του καταστήματος και τα νυχτερινά φώτα. Στην παρούσα εργασία εφαρμόσαμε την πρώτη διαδικασία, επαληθεύοντας την αργότερα με τη δεύτερη.

Βέβαια, όσο τυπικοί και αν είμαστε πάντα θα υπάρχουν σφάλματα στα στοιχεία, δεδομένου ότι τα περισσότερα από αυτά παρέχονται από τους ιδιοκτήτες ή τα στελέχη των επιχειρήσεων που στεγάζονται στο κτήριο, και είναι λογικό να μην υπάρχει τέλεια καταχώρηση και ενημέρωση δεδομένων. Αρκεί να σκεφτεί κάποιος πόσο δύσκολο είναι να γνωρίζει με σιγουριά ένας manager πόσοι εργαζόμενοι εργάστηκαν κάθε μέρα και κάθε ώρα στην επιχείρησή του ή πόση

από τη συνολική επιφάνεια του κτιρίου είναι θερμαινόμενη, φωτιζόμενη κ.τ.λ. Εδώ κανείς καλείται να κάνει συμβιβασμούς και να λειτουργήσει βάση της εμπειρίας και των γνώσεών του.

## 5.4 Πρόβλεψη Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά Χρήση

Μετά την εύρεση του βέλτιστου δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση, έρχεται η στιγμή αξιοποίησής του στην παραγωγή προβλέψεων. Η προσέγγιση που ακολουθείται εδώ παρουσιάζεται παρακάτω.

Αρχικά, επειδή η χρονοσειρά του βέλτιστου δείκτη εμπεριέχει εποχιακότητα, κρίνεται απαραίτητη η αποεποχικοποίησή της. Αυτό εδώ γίνεται μέσω της κλασικής πολλαπλασιαστικής μεθόδου. Ένα ζήτημα το οποίο προκύπτει ωστόσο είναι η περίοδος στην οποία θα αναζητήσει κανείς την εποχιακότητα της χρονοσειράς (μέρα, εβδομάδα, μήνα κ.τ.λ.). Η απάντηση έχει να κάνει με τον τύπο και το μέγεθος των στοιχείων που έχει ο καθένας στη διάθεσή του. Δεν μπορούμε για παράδειγμα να αναζητήσουμε ημερήσια εποχιακότητα όταν διαθέτουμε εβδομαδιαία δεδομένα ή μηνιαία εποχιακότητα όταν διαθέτουμε δεδομένα μόνο για ένα έτος. Στην παρούσα εργασία τα στοιχεία που δόθηκαν ήταν ημερήσια και επιλέχτηκε να αναζητηθεί η εποχιακότητα ανά μέρα εβδομάδας. Άλλη επιλογή ήταν η συνάθροιση των ημερών σε εβδομάδες με στόχο την εβδομαδιαία πρόβλεψη κατανάλωσης. Το σενάριο αυτό δεν εφαρμόστηκε γιατί η ημερήσια πρόβλεψη είναι αναλυτικότερη και χρησιμότερη για έναν manager.

Την αποεποχικοποίηση της χρονοσειράς ακολουθεί ένας διαγωνισμός προβλέψεων μεταξύ των έξι βασικών μεθόδων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4: της Naive, της SES, της Holt, της Damped, της LRL και της Theta. Η κάθε μέθοδος εφαρμόζεται ξεχωριστά και υπολογίζεται το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) της στο in sample δείγμα της χρονοσειράς. Στόχος είναι η ανάδειξη εκείνης της μεθόδου που αποδίδει τη μικρότερη αστοχία, χωρίς να δίνεται έμφαση στην κατεύθυνση της πρόβλεψης. Η αξιολόγηση θα μπορούσε να γίνει και από out-of sample δείγμα, δεδομένου ότι κρατάμε κρυφές απ' τις μεθόδους τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων για μία επιπλέον εβδομάδα ή και μεγαλύτερη χρονική περίοδο, ωστόσο κρίνεται πως αν ο αριθμός των παρατηρήσεων πάνω στις οποίες 'τρέχουν' οι μέθοδοι είναι ικανοποιητικός, η αξιολόγηση μπορεί να γίνει εξίσου καλά και από το in-sample δείγμα.

Έτσι, επιλέγεται η μέθοδος πρόβλεψης με το μικρότερο σφάλμα και χρησιμοποιείται στην παραγωγή προβλέψεων στον ορίζοντα που μας ενδιαφέρει. Στα case-studies που θα ακολουθήσουν, ορίζοντας πρόβλεψης επιλέχτηκε να είναι μία εβδομάδα λόγω της δεδομένης εποχιακότητας των στοιχείων και της πεποίθησης ότι όσο αυξάνει ο ορίζοντας πρόβλεψης, τόσο χειρότερα αντιδρούν οι περισσότερες από τις έξι παραπάνω μεθόδους λόγω του ότι ανήκουν κυρίως στις τεχνικές βραχυπρόθεσμων προβλέψεων.

Επόμενο βήμα της παραγωγής προβλέψεων είναι η εποχικοποίηση των προβλέψεων. Αυτό είναι πολύ απλό, αφού το μόνο που απαιτείται είναι η διαίρεση των προβλέψεων με τους αντίστοιχους ημερήσιους δείκτες εποχιακότητας που υπολογίστηκαν νωρίτερα στην αποεποχικοποίηση της χρονοσειράς. Το δύσκολο είναι η μετατροπή του δείκτη που προβλέφθηκε, και



που εκφράζεται συναρτήσει δύο μεγεθών, σε καθαρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη χρήση.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, επιλέχτηκε να πολλαπλασιάζεται η τιμή του προβλεπόμενου εποχικοποιημένου δείκτη με τον μέσο όρο των παρατηρήσεων του παρανομαστή του. Για παράδειγμα, αν ο δείκτης είναι ηλεκτρική κατανάλωση χρήσης προς ωράριο λειτουργίας (kWh/O.H.), θα πολλαπλασιάσουμε με τον μέσο όρο των ωραρίων λειτουργίας που έχουμε διαθέσιμα. Έτσι, θα προκύψουν οι προβλεπόμενες kWh της χρήσης για την ανάλογη περίοδο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως ενώ η επιλογή μεθόδου πρόβλεψης γίνεται με βάση in-sample δείγμα, για κάθε χρήση πραγματοποιείται στη συνέχεια και out-of sample μελέτη με ορίζοντα πρόβλεψης επτά ημέρες ούτως ώστε να αξιολογηθεί η απόδοση της μεθόδου και στο άγνωστο μέλλον.

## 5.5 Πρόβλεψη Συνολικής Ηλεκτρικής Κατανάλωσης Κτηρίου

Εφαρμόζοντας τη διαδικασία της παραγράφου 5.4 σε κάθε χρήση, είναι πλέον δυνατό να υπολογιστεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ολόκληρου του κτηρίου που μελετάται με μία απλή συνάθροιση των επιμέρους καταναλώσεων. Το μόνο που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα εδώ είναι η ύπαρξη μικροκαταναλώσεων στο κτήριο που να μην έχουν ενταχθεί σε κάποια χρήση και συνεπώς που να μην έχουν συνυπολογιστεί. Αυτές οι καταναλώσεις θα άνηκαν όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 5.2 στις χρήσεις «λοιπά».

Υπό ιδανικές συνθήκες η διαδικασία που εφαρμόσαμε παραπάνω μπορεί να εφαρμοστεί και σε αυτή τη περίπτωση, ωστόσο είναι πολύ πιθανό επειδή η χρήση «λοιπά» εμπεριέχει πολλές υποκατηγορίες καταναλώσεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και παράγοντες εξάρτησης να μην μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από κάποιο δείκτη. Για παράδειγμα, μπορεί από όλους τους διαθέσιμους για τη χρήση δείκτες, ο βέλτιστος να παρουσιάζει συσχέτιση μικρότερη του 0,3 και συνεπώς να φανερώνεται μηδαμινή συσχέτιση με τις καταναλώσεις. Για να μην οδηγηθούμε λοιπόν σε περιττά λάθη προτείνεται η παρακάτω διαδικασία:

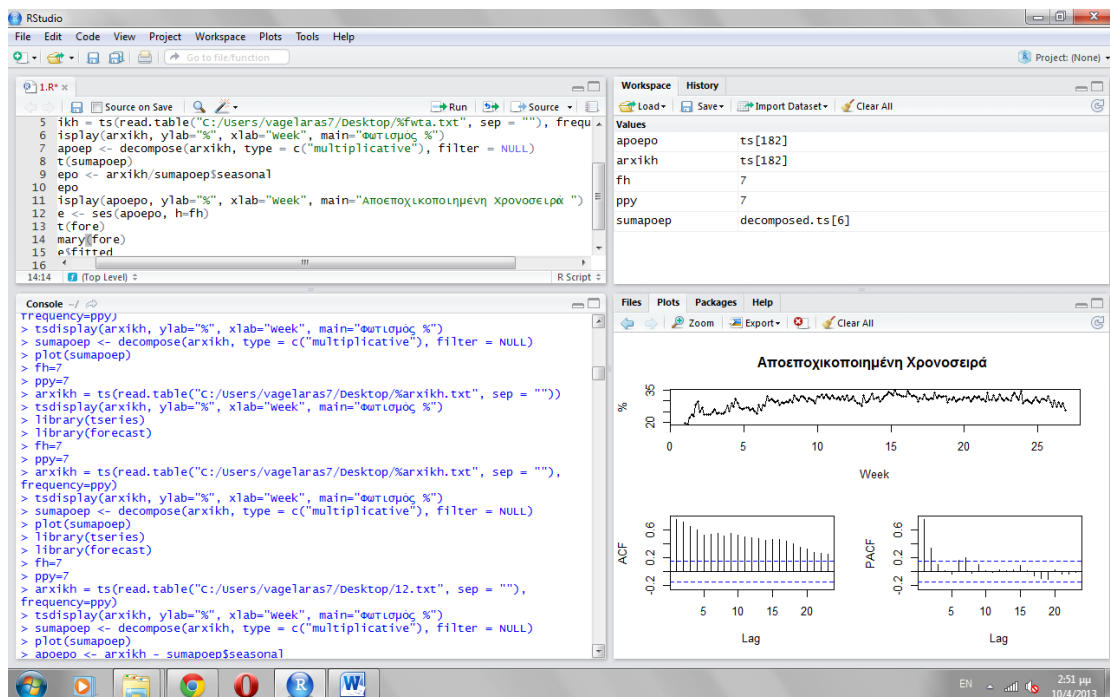
- Παραγωγή χρονοσειράς με τις ηλεκτρικές καταναλώσεις που αφορούν τη χρήση «λοιπά»
- Αποεποχικοποίηση Χρονοσειράς
- Διεξαγωγή του διαγωνισμού τεχνικών προβλέψεων και επιλογή της καλύτερης τεχνικής βάση του μικρότερου MAE
- Πρόβλεψη με τη βέλτιστη μέθοδο σε ορίζοντα 7 ημέρες
- Εποχικοποίηση προβλέψεων
- Συνάθροιση του αποτελέσματός μας με τις υπόλοιπες προβλέψεις

## 5.6 Το RStudio ως Εργαλείο Προβλέψεων

### 5.6.1 Δύο λόγια για το Rstudio

Αν και η εφαρμογή τεχνικών προβλέψεων σε χρονοσειρές δεν περιλαμβάνει εν γένει και τόσο πολύπλοκες αριθμητικές πράξεις, εν τούτοις γίνεται κατανοητό πως όσο αυξάνει ο όγκος των δεδομένων και ο αριθμός εφαρμογών των διαφόρων μοντέλων, τόσο πιο χρονοβόρα γίνεται η διαδικασία μελέτης των χρονοσειρών και η παραγωγή προβλέψεων. Όταν μάλιστα αυτό γίνεται σε πλαίσια μελέτης, όπως μία διπλωματική εργασία που περιλαμβάνει αρκετές δοκιμές και πειραματισμούς, κρίνεται αναγκαία η χρήση ενός εργαλείου με μεγάλη υπολογιστική ισχύ για την εξυπηρέτησή μας.

Τις περισσότερες φορές, σαν εργαλείο προβλέψεων χρησιμοποιούνται προγράμματα γραμμένα σε ποικίλες γλώσσες προγραμματισμού. Αυτό γίνεται διότι το μαθηματικό μοντέλο των περισσότερων τεχνικών προβλέψεων είναι σχετικά απλό και εύκολα υλοποιήσιμο με κώδικα. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής ωστόσο δεν θα πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, αφού ξεφεύγει αρκετά απ' το σκοπό της εργασίας. Έτσι, θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Rstudio, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον τεχνικών προβλέψεων που δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας, απεικόνισης, επεξεργασίας, ανάλυσης και πρόβλεψης χρονοσειρών.



Εικόνα 5.6.1.1: Το περιβάλλον του Rstudio: Ευχάριστο και λειτουργικό

Το Rstudio εμφανίστηκε το 1997 και είναι αποτέλεσμα μίας ομάδας ανθρώπων που είδαν την ανάγκη ύπαρξης ενός δωρεάν εργαλείου στατιστικής ανάλυσης και απεικόνισης, μέσω του οποίου ο καθένας θα μπορούσε εύκολα να εφαρμόζει μεθόδους με αυξημένη ταχύτητα επανάληψης, να μαθαίνει νέες τεχνικές και να τις μοιράζεται με την ευρύτερη κοινότητα ξεπερνώντας φραγμούς που δημιουργούνται λόγω κόστους. Το Rstudio είναι προγραμματισμένο σε R, μία γλώσσα προγραμματισμού για στατιστικούς υπολογισμούς και απεικονίσεις και είναι διαθέσιμο σε αρκετές εκδόσεις ανάλογα τον τύπο του υπολογιστή και το λειτουργικό του. Επίσης το Rstudio περιλαμβάνει αρκετά πακέτα με ενσωματωμένες συναρτήσεις στις βιβλιοθήκες του, ανάλογα τη χρήση που ο καθένας επιθυμεί να κάνει.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήσαμε την έκδοση 0.96.331 με τα πακέτα `tseries`, `forecast` και `fpp` (Forecasting: principles and practice). Αυτά περιλαμβάνουν όλες τις απαιτούμενες τεχνικές εισαγωγής, απεικόνισης και επεξεργασίας χρονοσειρών για την ολοκλήρωση της εργασίας.

## 5.6.2 Παρουσίαση της λειτουργίας του Rstudio

Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας του Rstudio, έτσι όπως χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η παρουσίαση περιλαμβάνει επεξήγηση των εντολών και των αποτελεσμάτων τους, ούτως ώστε τα τελευταία να είναι κατανοητά στα case studies που θα ακολουθήσουν στα επόμενα κεφάλαια.

Πρώτο βήμα στη σωστή λειτουργία του Rstudio είναι η αναφορά των βιβλιοθηκών που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Αυτό γίνεται με απλή εισαγωγή της εντολής **library(x)**, όπου x το όνομα της βιβλιοθήκης. Εδώ το x παίρνει τιμές όπως αναφέρθηκε «**tsseries**» και «**forecast**». Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή της χρονοσειράς που θέλουμε να επεξεργαστούμε. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (εισαγωγή τιμών μία προς μία, αρχείο CSV, αρχείο text κ.α.). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε η εισαγωγή τιμών μέσω αρχείου text, το οποίο γίνεται μέσω της εντολής `read.table()`. Για μείωση των γραμμών του κώδικα μπορεί να εμφωλευτεί όμως ως εξής:

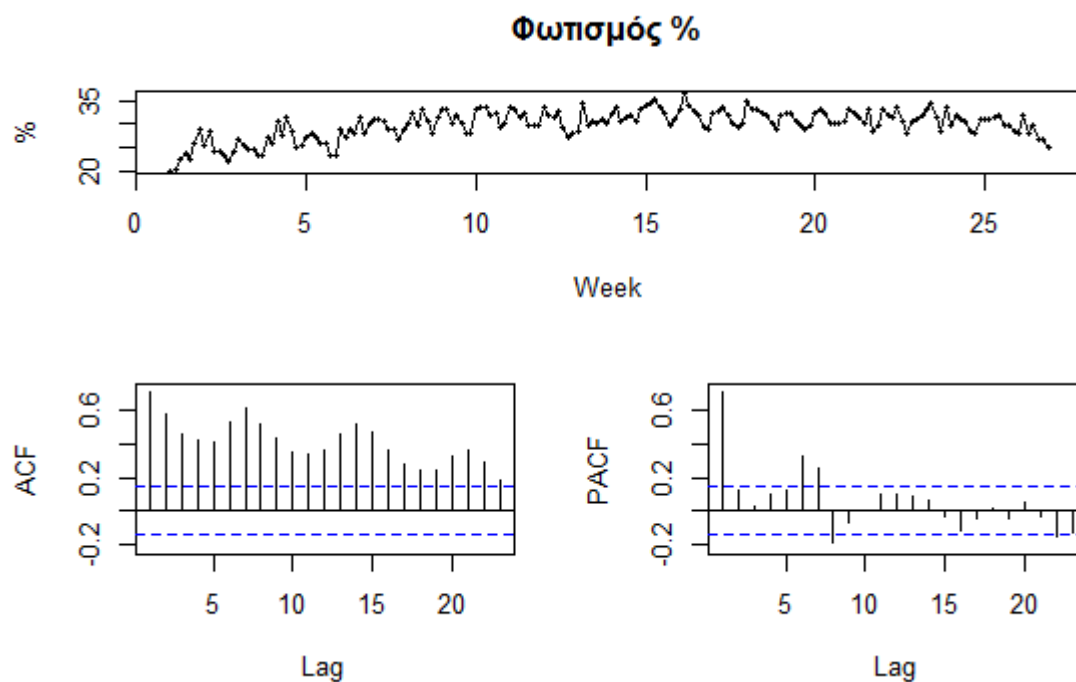
```
time_series = ts(read.table("C:/Users/vagelaras7/Desktop/%arxikh.txt", sep =  
""), frequency=7)
```

Το «time\_series» είναι το όνομα της μεταβλητής στην οποία αποθηκεύεται η χρονοσειρά που εισάγεται και `ts()` είναι η συνάρτηση ανάθεσης τιμών στη μεταβλητή μέσω της οποίας το σύστημα αντιλαμβάνεται ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή (η «Time\_series» δηλαδή) θα είναι χρονοσειρά και όχι κάποιας άλλης μορφής δεδομένο. Η συνάρτηση `read.table()` διαβάζει από το αντίστοιχο μονοπάτι το αρχείο της επιλογής μας (που εδώ είναι το «%arxikh.txt») και η παράμετρος `sep` λαμβάνει κενή τιμή προκειμένου να γίνει αντιληπτό ότι το αρχείο είναι σε μορφή text. Αν το αρχείο ήταν σε μορφή CSV, για παράδειγμα, τότε η παράμετρος `sep` θα έπρεπε να πάρει τιμή «;». Ο επακριβής ορισμός των συναρτήσεων περιγράφεται αναλυτικά στο μενού «help» κάνοντας μία απλή αναζήτηση του ονόματος της συνάρτησης. Η παράμετρος `frequency` αναφέρεται στην περιοδικότητα της εν λόγω χρονοσειράς, η οποία όπως φαίνεται εδώ είναι επτά, λόγω της επιθυμίας μας να μελετήσουμε τα δεδομένα μας σε εβδομαδιαίο επίπεδο και να αναζητήσουμε εποχιακότητα ανά ημέρα εβδομάδας. Αν δεν προσδιοριζόταν εδώ η εποχιακότητα της χρονοσειράς, αφενός δεν θα μπορούσε αργότερα να γίνει αποεποχικοποίησή της μην έχοντας το σύστημα ορισμένη την εποχιακότητά της, και αφετέρου τα δεδομένα θα συσχετιζαν την τιμή τους με έναν απρόσωπο αριθμό παρατήρησης, αντί για τον αριθμό εβδομάδων που είναι επιθυμητό.

Για την απεικόνιση της παραπάνω χρονοσειράς εκτελείται η εντολή:

```
tsdisplay(time_series, ylab="%", xlab="Week", main="Φωτισμός %")
```

Η συνάρτηση `tsdisplay()` δίνει εντολή παρουσίασης της γραφικής παράστασης της χρονοσειράς με τίτλο «`time_series`», όπως αυτή ορίστηκε νωρίτερα, έχοντας όνομα «Φωτισμός %» και μεγέθη στους άξονες x και y «%» και «week» αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα εκτέλεσης των παραπάνω εντολών φαίνεται παρακάτω. Τα δύο επιμέρους διαγράμματα κάτω από τη γραφική της χρονοσειράς παρουσιάζουν την αυτοσυσχέτιση (ή συνδιακύμανση) και την επιμέρους αυτοσυσχέτισή της, κάτι που εμάς στην παρούσα εργασία βέβαια μας είναι περιττό.



Εικόνα 5.6.2.1: Απεικόνιση εισακτέας από αρχείο χρονοσειράς στο Rstudio

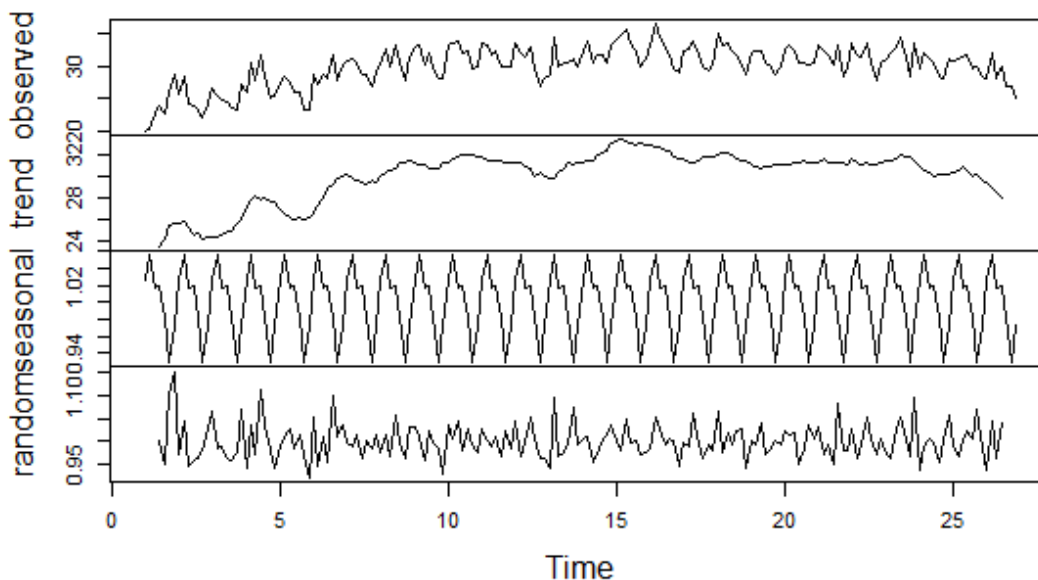
Επόμενη χρήσιμη εντολή είναι αυτή της αποεποχικοποίησης χρονοσειράς. Αυτή έχει την εξής μορφή:

```
sumaroeop <- decompose(time_series, type = c("multiplicative"), filter = NULL)
```

Εδώ, «`sumaroeop`» είναι το όνομα της μεταβλητής στην οποία θα αποθηκευτεί η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά και `decompose()` είναι η συνάρτηση αποεποχικοποίησης. Το «`time_series`» είναι το όνομα της χρονοσειράς που αποεποχικοποιείται και η παράμετρος `type` δηλώνει αν η αποεποχικοποίηση θα γίνει με το πολλαπλασιαστικό ή το προσθετικό μοντέλο. Εδώ επιλέχτηκε το πρώτο. Τέλος, η παράμετρος `filter` ορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα αναζητηθεί η εποχιακότητα, την τεχνική δηλαδή με την οποία θα προσδιοριστούν οι δείκτες εποχιακότητας. Η επιλογή «`NULL`» ισοδυναμεί με χρήση κινητών και κεντρικών κινητών μέσων ωρών, εύρους ανάλογου της εποχιακότητας που έχουμε ορίσει για τη χρονοσειρά.

Τα αποτελέσματα της αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη μέσω μίας απλής εντολής **plot(sumarpoep)**. Αυτά φαίνονται παρακάτω:

### Decomposition of multiplicative time series



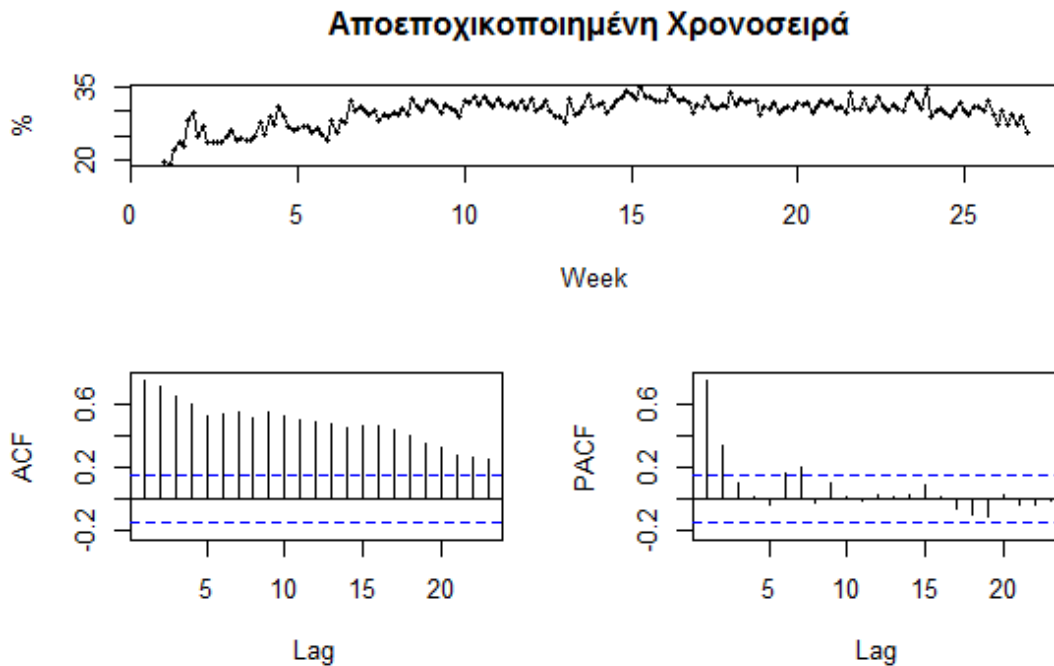
Εικόνα 5.6.2.2: Αποτελέσματα ανάλυσης χρονοσειράς με απλή πολλαπλασιαστική αποεποχικοποίηση με χρήση του προγράμματος Rstudio

Στο πρώτο από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η αρχική χρονοσειρά προτού γίνει αποεποχικοποίησή της, στο δεύτερο η τάση της, στο τρίτο οι δείκτες εποχιακότητάς της και στο τελευταίο η τυχαιότητά της. Έτσι, αν θέλει κάποιος να βρει για παράδειγμα την αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά, αρκεί να διαιρέσει την αρχική του χρονοσειρά με τους δείκτες εποχικότητας που η συνάρτηση εντόπισε μέσω της εντολής

```
arpoepo<- arxikh/sumarpoep$seasonal
```

Επί της ουσίας, η «sumarpoep» που υπολογίσαμε δεν είναι δηλαδή η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά, αλλά ένα σύνολο από τέσσερις επιμέρους χρονοσειρές κάθε μία εκ των οποίων μπορεί να απομονωθεί μέσω του συμβόλου «\$» ακολουθούμενου από το όνομα της επιμέρους χρονοσειράς. Αυτές οι ονομασίες είναι κατά σειρά του προηγούμενου γραφήματος «observed», «trend», «seasonal» και «random».

Για να δει κάποιος τις τιμές της αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς, αρκεί να εκτελέσει το όνομά της «arpoepo» σαν εντολή, ενώ για να παρουσιαστούν σε μορφή γραφήματος ισχύουν τα κλασικά των εντολών *plot()* και *tsdisplay()*. Εδώ, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται η δεύτερη εντολή: *tsdisplay(arpoepo, ylab="%", xlab="Week", main="Αποεποχικοποιημένη Χρονοσειρά ")*, δίνοντας το παρακάτω γράφημα.



*Εικόνα 5.6.2.3: Διάγραμμα αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς, όπως αυτό προέκυψε απ' το Rstudio*

Έχοντας πλέον την αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη, το μόνο που απομένει είναι η παραγωγή προβλέψεων με εφαρμογή κάποιας μεθόδου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει χρήση διαφορετικής συνάρτησης, ανάλογα τη μέθοδο πρόβλεψης που χρησιμοποιείται. Οι συναρτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν εδώ είναι οι παρακάτω:

- `naive(x, h=10, level=c(80,95))`
- `ses(x, h=10, level=c(80,95), alpha=NULL)`
- `holt(x, h=10, damped=FALSE, level=c(80,95), alpha=NULL, beta=NULL)`

Η *naive()* προβλέπει βάση της απλοϊκής μεθόδου, η *ses()* βάση της μεθόδου απλής γραμμικής εξομάλυνσης και η *holt()* βάση του μοντέλου γραμμικής ή μη γραμμικής τάσης, ανάλογα με το αν η παράμετρος *damped* εντός αυτής είναι «FALSE» ή «TRUE». Στη πρώτη περίπτωση εκτελεί πρόβλεψη μέσω του γραμμικού μοντέλου και στη δεύτερη μέσω του μη γραμμικού. Κατά τα άλλα, οι παράμετροι *alpha* και *beta* χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των παραμέτρων εξομάλυνσης των μεθόδων, που αν ορισθούν ως «NULL» υπολογίζονται αυτόματα απ' το πρόγραμμα με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος της μεθόδου. Τέλος, η παράμετρος *level* καθορίζει το διάστημα εμπιστοσύνης της μεθόδου και η παράμετρος *h* τον ορίζοντα πρόβλεψης.

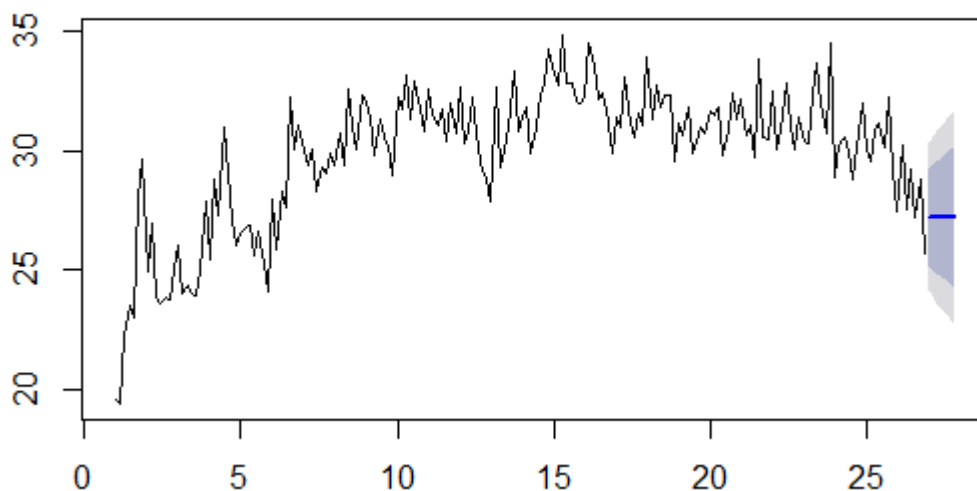


Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου απλής εκθετικής εξομάλυνσης για την αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του παραδείγματός μας. Οι εντολές που εκτελέστηκαν ήταν:

```
fore<- ses(αροερο, h=7, level=c(80,95) )  
plot(fore)  
summary(fore)  
fore$fitted
```

Κατά σειρά, η πρώτη εντολή εκτελεί πρόβλεψη της χρονοσειράς αροερο μέσω της μεθόδου SES για ορίζοντα επτά ημέρες, παράμετρο εξομάλυνσης  $\alpha$  που υπολογίζεται αυτόματα από το σύστημα και διάστημα εμπιστοσύνης (80,95). Η δεύτερη εντολή εμφανίζει το γράφημα των προβλέψεων, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα τα διαστήματα εμπιστοσύνης που επιλέξαμε.

### Forecasts from Simple exponential smoothing



Εικόνα 5.6.2.4: Πρόβλεψη επί της εκατό κατανάλωσης φωτισμού με χρήση απλής γραμμικής παλινδρόμησης μέσω Rstudio

Η τρίτη κατά σειρά εντολή παρουσιάζει τις επτά προβλέψεις της μεθόδου, μαζί με τα in-sample σφάλματά της και τις τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των παραπάνω. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Smoothing parameters:  
alpha = 0.4423

Training set error measures:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0.08027621	1.55647994	1.19870058	0.11001867	4.06184981	0.82009118

Forecasts:

Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
27.00000	27.2296	25.23489	29.22431	24.17896	30.28025
27.14286	27.2296	25.04850	29.41070	23.89390	30.56530
27.28571	27.2296	24.87683	29.58237	23.63135	30.82785
27.42857	27.2296	24.71686	29.74234	23.38670	31.07250
27.57143	27.2296	24.56649	29.89272	23.15672	31.30248
27.71429	27.2296	24.42416	30.03504	22.93905	31.52015
27.85714	27.2296	24.28871	30.17049	22.73190	31.72730

Η τελευταία εντολή εμφανίζει τα αποτελέσματα της μεθόδου SES, πλην των προβλέψεών της, σε μορφή λίστας.

Σύμφωνα με όλα όσα αναφέρθηκαν είναι πλέον δυνατό να εκτελεστούν όλες οι διαδικασίες που απαιτεί η μέθοδος πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης που προτάθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, όπως για παράδειγμα η αναγκαία εποχικοποίηση των προβλέψεων που μόλις έγιναν. Για αυτόν τον σκοπό αρκεί απλά η εύρεση των δεικτών εποχιακότητας της χρονοσειράς, η οποία γίνεται μέσω της εντολής **sumapoep\$seasonal**. Τα αποτελέσματα που αυτό δίνει είναι:

Ημέρα	Δείκτης Εποχιακότητας
Δευτέρα	1.0262188
Τρίτη	1.0554754
Τετάρτη	1.0175133
Πέμπτη	1.0185772
Παρασκευή	0.9813711
Σάββατο	0.9284272
Κυριακή	0.9724169

Έτσι, απλά πολλαπλασιάζοντας τις προβλέψεις με το δείκτη της αντίστοιχης ημέρας, έχουμε τις τελικές μας προβλέψεις. Όλα όσα αναφέρθηκαν παρουσιάζονται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα της γραμμής εντολών του Rstudio:

```

1 library(tseries)
2 library(forecast)
3 fh=7
4 ppy=7
5 arxikh = ts(read.table("C:/users/vagelaras7/desktop/%fwt.txt", sep = ""), frequency=ppy)
6 tsdisplay(arxikh, ylab="%", xlab="week", main="Φωτισμός %")
7 sumapoep <- decompose(arxikh, type = c("multiplicative"), filter = NULL)
8 plot(sumapoep)
9 apoepe <- arxikh/sumapoep$seasonal
10 apoepe
11 tsdisplay(apoepe, ylab="%", xlab="week", main="Αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά ")
12 fore <- ses(apoepe, h=fh, level=c(80,95))
13 plot(fore)
14 summary(fore)
15 fore$fitted
16 sumapoep$seasonal
  
```

Εικόνα 5.6.2.5: Η γραμμή εντολών στο Rstudio με την οποία γίνεται εισαγωγή, απεικόνιση, αποεποχικοποίηση και πρόβλεψη χρονοσειρών

Αναφορά αξίζει να γίνει στον κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή προβλέψεων μέσω των άλλων δύο μεθόδων του διαγωνισμού, αυτών της LRL και της Theta. Οι δύο αυτές τεχνικές δεν βρίσκονται έτοιμες σε μορφή συνάρτησης όπως οι άλλες 4 μέθοδοι και απαιτήθηκαν κάποια επιπλέον βήματα.

Για την LRL, λοιπόν χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω κώδικας:

```
ys = aroero
xs=c(1:182)
results <- lm(formula = ys ~ xs)
a=results$coefficients[1]
b=results$coefficients[2]
a
b
test=a+b*xs
accuracy(test,ys)
orizontas=c(183:189)
forecast=a+b*orizontas
forecast
```

Η πρώτη εντολή θέτει σαν εξαρτημένη μεταβλητή της μεθόδου την αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη, ενώ η δεύτερη καταχωρεί ως ανεξάρτητη μεταβλητή τον αριθμό των παρατηρήσεων της χρονοσειράς, δηλαδή 1 έως και 182. Η συνάρτηση *lm()* χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δύο παραμέτρων της μεθόδου (κλίσης και αρχικού επιπέδου), κάτι το οποίο εξάγεται αμέσως μετά μέσω των εντολών *results\$coefficients[1]* και *results\$coefficients[2]* αντίστοιχα, οι οποίες καταχωρούν τις τιμές των παραμέτρων σε αντίστοιχα σύμβολα. Οι δύο επόμενες εντολές εκτελούνται για την παρουσίαση των τιμών *a* και *b*, ενώ η εντολή *test=a+b\*xs* υπολογίζει τις τιμές του μοντέλου βάση της ευθείας του. Η συνάρτηση *accuracy(test,ys)* που ακολουθεί εμφανίζει επί τις ουσίας το in-sample σφάλμα της μεθόδου, δεχόμενη ως είσοδο τα πραγματικά δεδομένα (*ys*) και τις υπολογισμένες τιμές της μεθόδου (*test*). Για την παραγωγή προβλέψεων με ορίζοντα μία εβδομάδα εκτελούνται οι τρεις τελευταίες εντολές. Η πρώτη καθορίζει τον νέο ορίζοντα που ξεκινάει για αριθμό παρατήρησης ένα παραπάνω από το αρχικό μας δείγμα, και η δεύτερη καταχωρεί στη μεταβλητή *forecast* τις υπολογιζόμενες προβλέψεις βάση της μαθηματικής σχέσης της παλινδρόμησης. Η τελευταία εντολή μας δίνει γραπτώς τις τελικές προβλέψεις της μεθόδου LRL.

Όσον αφορά την Theta, αυτή υπολογίζεται εν συνεχεία της LRL, αφού η μία εκ των καμπυλών της είναι όπως αναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο η καμπύλη της παλινδρόμησης. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

```
thetalinezero=test
thetalineduo=2*ys-thetalinezero
```

```
epektashduo <- ses(thetalineduo, h=7)
thetainsample=0.5*thetalinezero+0.5*epektashduo$fitted
accuracy(thetainsample,ys)
```

Η πρώτη εντολή θέτει ως πρώτη καμπύλη της μεθόδου Theta (TL0) αυτήν της παλινδρόμησης, ενώ η επόμενη υπολογίζει τη δεύτερη καμπύλη (TL2) βάση της θεωρίας της μεθόδου. Η καμπύλη TL2 επεκτείνεται βάση του μοντέλου της απλής γραμμικής εξομάλυνσης, κάνοντας παράλληλα πρόβλεψη με ορίζοντα επτά ημέρες. Τέλος, υπολογίζεται η τελική γραμμή Theta ως το ημίαθροισμα των δύο επιμέρους καμπύλων και υπολογίζεται το in-sample σφάλμα της μεθόδου. Αν, λοιπόν στη συνέχεια ημιαθροίσουμε τις προβλέψεις της LRL με αυτές της SES, θα έχουμε υπολογίσει τις τελικές προβλέψεις της Theta.





# Κεφάλαιο 6: Case-Study σε εστιατόριο τύπου ταχυφαγείου

## 6.1 Περιγραφή εστιατορίου και συλλογή στοιχείων

Το κτίριο που επιλέχτηκε να μελετηθεί σε αυτό το case study ανήκει στη κατηγορία των εστιατορίων και είναι ένα ταχυφαγείο το οποίο λειτουργεί στο δήμο Στρόβολου της Λευκωσίας στην Κύπρο στην οδό Ακροπόλεως. Είναι έκτασης 450 m<sup>2</sup> και απασχολεί συνολικά 85 εργαζόμενους. Η μελέτη του κτιρίου έγινε μέσω στοιχείων που παρείχε ειδικό σύστημα monitoring το οποίο έχει εγκατασταθεί από τις 29-8-2012 και λειτουργεί φυσιολογικά από τα μέσα Σεπτέμβρη του ίδιου έτους.

Η επιλογή μελέτης του συγκεκριμένου κτιρίου έγινε κυρίως λόγω της ορθής εγκατάστασης της οποίας διαθέτει, δηλαδή λόγω του γεγονότος ότι σε κάθε γραμμή του κτιρίου είναι εγκατεστημένες συσκευές που αφορούν μόνο μία συγκεκριμένη χρήση. Έτσι, η διαδικασία μέτρησης των καταναλώσεων ανά χρήση γίνεται απλή και ακριβής. Οι χρήσεις που εντοπίστηκαν στο κτίριο και που παρακολουθούνται είναι η κουζίνα, ο κλιματισμός, τα φώτα και οι φριτέζες. Συγκεκριμένα, για τη χρήση της κουζίνας υπάρχουν δύο γραμμές στο εστιατόριο, ενώ για τις υπόλοιπες χρήσεις από μία γραμμή.

Για τη δημιουργία δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης χρειάστηκε να συλλεχθούν επιπλέον στοιχεία πέρα των καταναλώσεων, της επιφάνειας του κτιρίου και του αριθμού εργαζομένων. Αυτά ήταν το ωράριο λειτουργίας (Operational Hours-O.H.), η εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, ο αριθμός αποδείξεων (Receipts) και οι πωλήσεις (Sales). Τα δεδομένα αυτά δόθηκαν άλλα σε ωριαία και άλλα σε ημερήσια βάση, οπότε για την ομοιογένεια των παρατηρήσεων και για την παραγωγή ημερήσιων προβλέψεων όλα τα δεδομένα μεταφέρθηκαν σε ημερήσια βάση. Επίσης, λόγω έλλειψης στοιχείων για τις πωλήσεις και τις αποδείξεις για μήνες πέρα του Οκτωβρίου, το παρών case-study είναι διάρκειας ενός μηνός, δηλ. από 1-10-2012 έως και 31-10-2012. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

Day	Sales	Receipts	Average inside Temp.	Average out. Temp.	Temp. difference	Op. Hours
1/10/2012	12964	1711	24.10343304	26.3731	2.26966696	20
2/10/2012	7218	1130	22.26101385	26.79483	4.53381615	21.3
3/10/2012	8379	1297	23.21555722	25.19142	1.97586278	21.3
4/10/2012	7442	1176	24.1481607	25.13874	0.9905793	24
5/10/2012	12376	1883	24.40656383	24.16289	0.24367383	21.3
6/10/2012	13454	1798	25.07228502	22.44819	2.62409502	21.5
7/10/2012	11059	1434	25.47525785	21.89069	3.58456785	22
8/10/2012	7449	2326	25.17170366	22.92281	2.24889366	24
9/10/2012	7443	1159	25.68236176	22.76743	2.91493176	21.7
10/10/2012	8069	1274	24.45319894	21.93096	2.52223894	21.3
11/10/2012	8398	1332	23.88816743	22.29143	1.59673743	20.3
12/10/2012	11851	1845	23.90735179	23.86453	0.04282179	21.5
13/10/2012	14007	1854	24.10756644	24.10396	0.00360644	22
14/10/2012	10959	1559	24.9050332	23.55918	1.3458532	21.5
15/10/2012	6420	1014	25.71945819	24.08711	1.63234819	21.3
16/10/2012	7077	1111	25.15538091	25.60753	0.45214909	21
17/10/2012	9387	1398	25.32496492	25.98602	0.66105508	21
18/10/2012	8111	1184	24.2856294	25.96069	1.6750606	21.7
19/10/2012	12744	1954	24.62416059	26.46001	1.83584941	21
20/10/2012	14104	1942	24.45033736	25.83234	1.38200264	21.3
21/10/2012	11697	1631	24.98622102	22.81926	2.16696102	21.5
22/10/2012	6700	1082	24.54339594	21.82624	2.71715594	21
23/10/2012	7038	1083	25.61972202	20.40439	5.21533202	21.5
24/10/2012	7824	1197	24.57932672	19.78732	4.79200672	21.3
25/10/2012	6896	1097	24.73407164	18.57459	6.15948164	20.8
26/10/2012	10912	1653	25.16195259	19.46363	5.69832259	23
27/10/2012	12320	1782	24.94085736	20.85813	4.08272736	22.5
28/10/2012	11833	1638	26.0523725	22.24395	3.8084225	20.5
29/10/2012	7621	1141	25.35760976	22.26292	3.09468976	21.3
30/10/2012	6791	1100	25.5884553	22.91656	2.6718953	21.3
31/10/2012	8740	1371	25.42851657	21.48793	3.94058657	21.3

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται κατά σειρά οι ημερήσιες πωλήσεις, ο ημερήσιος αριθμός αποδείξεων, η μέση ημερήσια εσωτερική θερμοκρασία, η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία, η μέση ημερήσια διαφορά εσωτερικής με εξωτερικής θερμοκρασία (συμπίπτει με τα heating degree days) και το ωράριο λειτουργίας. Ο αριθμός εργαζομένων ανά μέρα είναι 12.



## 6.2 Δημιουργία δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση και αυτοσυσχέτιση

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, για κάθε μία από τις χρήσεις του εστιατορίου συλλέχθηκαν οι ημερήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh και παράχθηκαν με βάση αυτές τα αντίστοιχα EPI's. Αυτά είναι:

- Επί τις εκατό κατανάλωση ενέργειας (λόγος κατανάλωσης χρήσης με τη συνολική κατανάλωση του εστιατορίου)
- Κατανάλωση ανά τετραγωνικό μέτρο (υπολογισμένο στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου)
- Κατανάλωση ανά εργαζόμενο
- Κατανάλωση ανά πώληση
- Κατανάλωση ανά απόδειξη
- Κατανάλωση ανά ώρα λειτουργίας
- Κατανάλωση ανά βαθμό εσωτερικής θερμοκρασίας
- Κατανάλωση ανά βαθμό εξωτερικής θερμοκρασίας
- Κατανάλωση ανά διαφορά βαθμών εσωτερικής με εξωτερικής θερμοκρασίας

Παρακάτω παρουσιάζονται αυτά τα στοιχεία για κάθε μία απ' τις 6 χρήσεις που είναι οι εξής:

- Κουζίνα 1 (kitchen 1)
- Κουζίνα 2 (Kitchen2)
- Φωτισμός (Lights)
- Κλιματισμός (A/C)
- Φριτέζες (Fryers)

### 6.2.1 Κουζίνα 1

Day	kWh Ολική	kWh Κουζίνα 1	% Κατανάλωση	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/employee
1/10/2012	2708.394545	469.7121972	17.34282762	1.043805	39.1426831
2/10/2012	2668.78432	449.613576	16.84713046	0.999141	37.467798
3/10/2012	2469.113206	451.577195	18.28904377	1.003505	37.63143292
4/10/2012	2377.062516	455.353022	19.15612311	1.011896	37.94608517
5/10/2012	2547.699222	450.2272594	17.67191572	1.000505	37.51893828
6/10/2012	2593.209277	443.678474	17.1092429	0.985952	36.97320617
7/10/2012	2469.932056	441.0067082	17.85501375	0.980015	36.75055902
8/10/2012	2222.029654	430.6631325	19.38152048	0.957029	35.88859438

9/10/2012	2095.51339	433.9166095	20.70693566	0.964259	36.15971746
10/10/2012	2311.495014	435.5728237	18.84377085	0.96794	36.29773531
11/10/2012	2322.451876	446.4386487	19.2227298	0.992086	37.20322073
12/10/2012	2500.609595	442.2003078	17.68370036	0.982667	36.85002565
13/10/2012	2583.029624	463.6963776	17.95164768	1.030436	38.6413648
14/10/2012	2338.907528	453.1717038	19.37535787	1.007048	37.76430865
15/10/2012	2094.413181	433.3406722	20.69031442	0.962979	36.11172269
16/10/2012	2245.437514	443.5755414	19.75452617	0.985723	36.96462845
17/10/2012	2328.937973	461.3144247	19.80793091	1.025143	38.44286872
18/10/2012	2216.870558	462.9930558	20.88498375	1.028873	38.58275465
19/10/2012	2363.538708	463.9243985	19.62838167	1.030943	38.66036655
20/10/2012	2525.087581	469.7134385	18.6018672	1.043808	39.14278654
21/10/2012	2417.895318	466.9430678	19.31196377	1.037651	38.91192232
22/10/2012	2145.252541	443.0492299	20.65254423	0.984554	36.92076916
23/10/2012	1880.951777	444.6735599	23.6408804	0.988163	37.05612999
24/10/2012	2049.651542	433.8562513	21.16731759	0.964125	36.15468761
25/10/2012	1931.166988	439.3563843	22.75082306	0.976348	36.61303203
26/10/2012	2004.123321	452.0709331	22.5570417	1.004602	37.67257776
27/10/2012	2222.423026	437.6777282	19.69371821	0.972617	36.47314402
28/10/2012	2321.429513	458.4885577	19.75026832	1.018863	38.20737981
29/10/2012	2208.089945	428.8261848	19.42068464	0.952947	35.7355154
30/10/2012	2099.586876	434.17788	20.67920528	0.96484	36.18149
31/10/2012	2192.947861	452.8803995	20.651672	1.006401	37.74003329
M.O.	2305.033421	448.1835401	19.58326075	0.995963	37.34862834

Day	kWh/receipts	kWh/Sales	kWh/O.H.	kWh/inTemp.
1/10/2012	0.036232042	0.274524955	23.48560986	19.48735669
2/10/2012	0.062290603	0.39788812	21.10861859	20.19735395
3/10/2012	0.053893925	0.348170544	21.20080728	19.45149069
4/10/2012	0.061186915	0.387204951	18.97304258	18.85663375
5/10/2012	0.036379061	0.239101041	21.13743002	18.44697445
6/10/2012	0.03297744	0.246762221	20.63620809	17.69597281
7/10/2012	0.03987763	0.307536059	20.04575946	17.31117741
8/10/2012	0.057814892	0.18515182	17.94429719	17.10901806
9/10/2012	0.058298617	0.374388792	19.99615712	16.89551037
10/10/2012	0.053981017	0.341893896	20.44942834	17.8125089
11/10/2012	0.053160115	0.335164151	21.99205166	18.68869389
12/10/2012	0.037313333	0.239674964	20.56745618	18.49641532
13/10/2012	0.033104618	0.250105921	21.07710807	19.23447474
14/10/2012	0.041351556	0.290681016	21.07775367	18.19598875
15/10/2012	0.067498547	0.427357665	20.3446325	16.8487481

16/10/2012	0.062678471	0.399257913	21.12264483	17.63342575
17/10/2012	0.049143968	0.329981706	21.96735356	18.21579718
18/10/2012	0.057082118	0.391041432	21.33608552	19.06448658
19/10/2012	0.036403358	0.237422927	22.09163803	18.8402117
20/10/2012	0.033303562	0.241870978	22.05227411	19.21091851
21/10/2012	0.0399199	0.2862925	21.71828222	18.68802279
22/10/2012	0.066126751	0.409472486	21.09758237	18.05166779
23/10/2012	0.063181807	0.410594238	20.68249116	17.35668949
24/10/2012	0.055451975	0.362453009	20.36883809	17.6512667
25/10/2012	0.063711773	0.400507187	21.12290309	17.76320497
26/10/2012	0.041428788	0.273485138	19.65525796	17.96644881
27/10/2012	0.03552579	0.245610397	19.45234348	17.54862401
28/10/2012	0.038746603	0.279907544	22.3652955	17.59872571
29/10/2012	0.056269018	0.375833641	20.13268473	16.91114379
30/10/2012	0.063934307	0.394707164	20.38393803	16.96772529
31/10/2012	0.051816979	0.330328519	21.26199059	17.80994177
M.O.	0.049680177	0.323044287	20.86606335	18.12924576

Day	kWh/outTemp	kWh/dTemp
1/10/2012	17.81027627	206.9520355
2/10/2012	16.77986298	99.16890343
3/10/2012	17.92583328	228.5468402
4/10/2012	18.11359766	459.6835629
5/10/2012	18.63300538	1847.663573
6/10/2012	19.76455447	169.0786617
7/10/2012	20.1458569	123.0292539
8/10/2012	18.78753663	191.4999985
9/10/2012	19.0586557	148.8599546
10/10/2012	19.86109243	172.6929264
11/10/2012	20.02736696	279.5942779
12/10/2012	18.52960472	10326.52553
13/10/2012	19.2373526	128574.5438
14/10/2012	19.23546167	336.7170386
15/10/2012	17.9905631	265.4707341
16/10/2012	17.32207446	981.0382266
17/10/2012	17.75240782	697.8456692
18/10/2012	17.83438945	276.4037646
19/10/2012	17.53303943	252.7028612
20/10/2012	18.18315485	339.8788287
21/10/2012	20.46267354	215.4829106

22/10/2012	20.29892597	163.0562396
23/10/2012	21.79303375	85.26275187
24/10/2012	21.92597337	90.53748808
25/10/2012	23.65362489	71.33009075
26/10/2012	23.22644507	79.33403663
27/10/2012	20.98355549	107.2022914
28/10/2012	20.61183188	120.3880498
29/10/2012	19.26190207	138.5683923
30/10/2012	18.94603204	162.4980889
31/10/2012	21.07603662	114.927154
M.O.	19.44405553	4752.467223

Υπολογίζοντας τώρα τη συσχέτιση της κατανάλωσης της κουζίνας 1 με τον παρανομαστή κάθε EPI, καταλήγουμε στα εξής:

Μέτρο EPI	Συσχέτιση
O.H.	-0.194071
% Κατανάλωση	-0.239891
Εσωτερική T	-0.275588
Εξωτερική T	0.530509
Διαφορά T	-0.310188
Sales	<b>0.590446</b>
Receipts	0.340027

Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε πως δεν έχει νόημα η χρήση των δεικτών kWh/m<sup>2</sup> και kWh/employee στη μελέτη, αφού το μέτρο του παρανομαστή τους παραμένει σταθερό και συνεπώς η συσχέτιση που δίνουν ως προς τη κατανάλωση είναι μηδενική. Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ότι ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση της κουζίνας είναι ο kWh/sales, με συσχέτιση κατανάλωσης-πωλήσεων 0.590446. Μπορεί αυτή η τιμή να μην δείχνει ιδιαίτερα ισχυρή συσχέτιση, είναι όμως σημαντικά μεγαλύτερη από κάθε άλλη διαθέσιμου δείκτη και σίγουρα όχι αμελητέα.

## 6.2.2 Κουζίνα 2

Day	kWh Ολική	kWh Κουζίνα 2	% Κατανάλωση	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/employee
1/10/2012	2708.394545	384.5727	14.19928646	0.854606	32.047725
2/10/2012	2668.78432	341.2256	12.78580654	0.758279	28.43546667
3/10/2012	2469.113206	347.1548	14.05989807	0.771455	28.92956667

4/10/2012	2377.062516	328.8951	13.83619899	0.730878	27.407925
5/10/2012	2547.699222	355.0205	13.93494558	0.788934	29.58504167
6/10/2012	2593.209277	399.6249	15.4104377	0.888055	33.302075
7/10/2012	2469.932056	379.7437	15.37466179	0.843875	31.64530833
8/10/2012	2222.029654	369.6087	16.63383291	0.821353	30.800725
9/10/2012	2095.51339	351.2052	16.75986427	0.780456	29.2671
10/10/2012	2311.495014	372.2155	16.1028035	0.827146	31.01795833
11/10/2012	2322.451876	329.8701	14.20352789	0.733045	27.489175
12/10/2012	2500.609595	375.1597	15.00272977	0.833688	31.26330833
13/10/2012	2583.029624	386.91	14.97892229	0.8598	32.2425
14/10/2012	2338.907528	381.0157	16.29032766	0.846702	31.75130833
15/10/2012	2094.413181	349.0238	16.66451506	0.775608	29.08531667
16/10/2012	2245.437514	349.1409	15.54890296	0.775869	29.095075
17/10/2012	2328.937973	363.1826	15.59434404	0.807072	30.26521667
18/10/2012	2216.870558	343.2154	15.48197745	0.762701	28.60128333
19/10/2012	2363.538708	382.7644	16.19454755	0.850588	31.89703333
20/10/2012	2525.087581	414.3073	16.40764079	0.920683	34.52560833
21/10/2012	2417.895318	410.6235	16.98268312	0.912497	34.218625
22/10/2012	2145.252541	359.942	16.7785374	0.799871	29.99516667
23/10/2012	1880.951777	337.865	17.96244881	0.750811	28.15541667
24/10/2012	2049.651542	374.5194	18.27234495	0.832265	31.20995
25/10/2012	1931.166988	348.0503	18.02279669	0.773445	29.00419167
26/10/2012	2004.123321	360.5718	17.99149764	0.801271	30.04765
27/10/2012	2222.423026	400.1823	18.00657639	0.889294	33.348525
28/10/2012	2321.429513	404.6938	17.43295662	0.89932	33.72448333
29/10/2012	2208.089945	354.3728	16.04883899	0.787495	29.53106667
30/10/2012	2099.586876	350.2139	16.6801338	0.778253	29.18449167
31/10/2012	2192.947861	361.3496	16.4778017	0.802999	30.11246667
M.O.	2305.033421	366.6529355	16.00392863	0.814784	30.55441129

Day	kWh/sales	kWh/receipts	kWh/O.H.	kWh/ inTemp.
1/10/2012	0.029664664	0.224764874	19.228635	15.9551
2/10/2012	0.047274259	0.301969558	16.01998122	15.32839
3/10/2012	0.041431531	0.26765983	16.29834742	14.95354
4/10/2012	0.04419445	0.279672704	13.7039625	13.61988
5/10/2012	0.028686207	0.18853983	16.66762911	14.54611
6/10/2012	0.029703055	0.22226079	18.58720465	15.93891
7/10/2012	0.034337978	0.264814296	17.26107727	14.90637
8/10/2012	0.049618566	0.158903138	15.4003625	14.6835
9/10/2012	0.047185973	0.303024331	16.18457143	13.67496
10/10/2012	0.046129074	0.292162873	17.4749061	15.22155

11/10/2012	0.039279602	0.247650225	16.24975862	13.80893
12/10/2012	0.031656375	0.203338591	17.44928837	15.69223
13/10/2012	0.027622617	0.20868932	17.58681818	16.04932
14/10/2012	0.034767378	0.244397498	17.72166047	15.29874
15/10/2012	0.054365078	0.344204931	16.3860939	13.57042
16/10/2012	0.049334591	0.314258236	16.62575714	13.87937
17/10/2012	0.038689954	0.259787268	17.29440952	14.34089
18/10/2012	0.042314807	0.289877872	15.81637788	14.13245
19/10/2012	0.030034871	0.195887615	18.22687619	15.54426
20/10/2012	0.029375163	0.213340525	19.45104695	16.94485
21/10/2012	0.035105027	0.251761803	19.09876744	16.434
22/10/2012	0.053722687	0.332663586	17.14009524	14.66553
23/10/2012	0.048005826	0.311971376	15.71465116	13.18769
24/10/2012	0.047868021	0.312881704	17.58307042	15.23717
25/10/2012	0.050471331	0.317274658	16.7331875	14.07169
26/10/2012	0.033043603	0.21813176	15.67703478	14.33004
27/10/2012	0.03248233	0.224569192	17.78588	16.04525
28/10/2012	0.034200439	0.247065812	19.74116098	15.53386
29/10/2012	0.046499514	0.310580894	16.63722066	13.97501
30/10/2012	0.051570299	0.318376273	16.44196714	13.6864
31/10/2012	0.041344348	0.263566448	16.96476995	14.21041
M.O.	0.040321923	0.262388639	17.06943773	14.82151

Day	kWh/outTem	kWh/dTemp
1/10/2012	14.58201	169.4401
2/10/2012	12.73476	75.26234
3/10/2012	13.78068	175.6978
4/10/2012	13.0832	332.023
5/10/2012	14.6928	1456.95
6/10/2012	17.8021	152.2906
7/10/2012	17.34727	105.9385
8/10/2012	16.12406	164.3513
9/10/2012	15.42577	120.4849
10/10/2012	16.97215	147.5734
11/10/2012	14.79807	206.5901
12/10/2012	15.72039	8760.953
13/10/2012	16.05172	107283.1
14/10/2012	16.17271	283.1035
15/10/2012	14.49007	213.817
16/10/2012	13.63431	772.1809
17/10/2012	13.97608	549.3984

18/10/2012	13.22058	204.8973
19/10/2012	14.46577	208.4944
20/10/2012	16.03832	299.7876
21/10/2012	17.9946	189.4928
22/10/2012	16.49125	132.4701
23/10/2012	16.55845	64.78303
24/10/2012	18.92724	78.15502
25/10/2012	18.73798	56.50643
26/10/2012	18.52541	63.27683
27/10/2012	19.18591	98.01837
28/10/2012	18.19343	106.2628
29/10/2012	15.91762	114.51
30/10/2012	15.28213	131.0732
31/10/2012	16.8164	91.69944
M.O.	15.9272	3961.567

Υπολογίζοντας τώρα τη συσχέτιση της κατανάλωσης της κουζίνας 2 με τον παρανομαστή κάθε EPI, καταλήγουμε στα εξής:

Μέτρο EPI	Συσχέτιση
O.H.	-0.075297
% Κατανάλωση	0.288134
Εσωτερική T	0.195860
Εξωτερική T	-0.017707
Διαφορά T	-0.061962
Sales	<b>0.784185</b>
Receipts	0.659256

Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ότι ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση της κουζίνας 2 είναι πάλι ο kWh/sales, με συσχέτιση κατανάλωσης-πωλήσεων 0.784185. Η τιμή αυτή είναι αρκετά ψηλά και φανερώνει πολύ στενή εξάρτηση των δύο μεταβλητών, πράγμα ιδιαίτερα θεμιτό για την πορεία της μελέτης.

### 6.2.3 Κλιματισμός

Day	kWh Ολική	kWh AC	% Κατανάλωση	kWh/m <sup>2</sup>
1/10/2012	2708.394545	928.7705	34.29228957	2.063934
2/10/2012	2668.78432	1045.847	39.18814242	2.324104
3/10/2012	2469.113206	828.9176	33.57147003	1.842039
4/10/2012	2377.062516	745.5011	31.36228412	1.656669
5/10/2012	2547.699222	815.3309	32.00263567	1.811846

6/10/2012	2593.209277	694.8345	26.79438587	1.544077
7/10/2012	2469.932056	568.656	23.02314343	1.26368
8/10/2012	2222.029654	577.6382	25.9959717	1.28364
9/10/2012	2095.51339	429.9136	20.51590803	0.955364
10/10/2012	2311.495014	650.9925	28.16326646	1.44665
11/10/2012	2322.451876	701.1127	30.18847053	1.558028
12/10/2012	2500.609595	762.557	30.4948442	1.694571
13/10/2012	2583.029624	768.2282	29.74136235	1.707174
14/10/2012	2338.907528	603.3569	25.79652649	1.340793
15/10/2012	2094.413181	488.2635	23.31266364	1.08503
16/10/2012	2245.437514	616.8083	27.4694039	1.370685
17/10/2012	2328.937973	626.331	26.89341696	1.391847
18/10/2012	2216.870558	570.8789	25.75156668	1.26862
19/10/2012	2363.538708	598.1923	25.30918144	1.329316
20/10/2012	2525.087581	656.5678	26.00178326	1.45904
21/10/2012	2417.895318	520.5951	21.53091973	1.156878
22/10/2012	2145.252541	529.0757	24.66263015	1.175724
23/10/2012	1880.951777	258.7899	13.7584548	0.575089
24/10/2012	2049.651542	381.2719	18.60179119	0.847271
25/10/2012	1931.166988	257.4566	13.33165913	0.572126
26/10/2012	2004.123321	296.6316	14.80106523	0.659181
27/10/2012	2222.423026	449.9232	20.24471465	0.999829
28/10/2012	2321.429513	491.0971	21.15494342	1.091327
29/10/2012	2208.089945	551.328	24.9685481	1.225173
30/10/2012	2099.586876	466.7907	22.23250228	1.037313
31/10/2012	2192.947861	474.1788	21.62289438	1.053731
M.O.	2305.033421	592.1237774	25.25093032	1.315831

Day	kWh/employee	kWh/Sales	kWh/Receipts	kWh/O.H.
1/10/2012	77.39754167	0.071642279	0.542823	46.43853
2/10/2012	87.15391667	0.144894292	0.925528	49.1008
3/10/2012	69.07646667	0.098927987	0.639104	38.91632
4/10/2012	62.12509167	0.100174832	0.63393	31.06255
5/10/2012	67.94424167	0.065880002	0.432996	38.27845
6/10/2012	57.902875	0.051645198	0.386449	32.31788
7/10/2012	47.388	0.051420201	0.396552	25.848
8/10/2012	48.13651667	0.077545738	0.24834	24.06826
9/10/2012	35.82613333	0.057760795	0.370935	19.81169
10/10/2012	54.249375	0.080678213	0.510983	30.56303
11/10/2012	58.42605833	0.083485675	0.526361	34.53757
12/10/2012	63.54641667	0.064345372	0.41331	35.46777



13/10/2012	64.01901667	0.05484602	0.414363	34.91946
14/10/2012	50.27974167	0.055055835	0.387015	28.06311
15/10/2012	40.688625	0.076053505	0.481522	22.92317
16/10/2012	51.40069167	0.087156747	0.555183	29.37182
17/10/2012	52.19425	0.066723234	0.448019	29.82529
18/10/2012	47.57324167	0.070383294	0.482161	26.30778
19/10/2012	49.84935833	0.046939132	0.306137	28.48535
20/10/2012	54.71398333	0.046551886	0.338088	30.82478
21/10/2012	43.382925	0.04450672	0.319188	24.21373
22/10/2012	44.08964167	0.078966522	0.488979	25.19408
23/10/2012	21.565825	0.036770375	0.238957	12.03674
24/10/2012	31.77265833	0.048731071	0.318523	17.90009
25/10/2012	21.45471667	0.037334194	0.234692	12.37772
26/10/2012	24.7193	0.027183981	0.17945	12.89703
27/10/2012	37.4936	0.03651974	0.252482	19.99659
28/10/2012	40.92475833	0.041502332	0.299815	23.95596
29/10/2012	45.944	0.072343262	0.483197	25.88394
30/10/2012	38.899225	0.068736666	0.424355	21.91506
31/10/2012	39.5149	0.054253867	0.345863	22.26192
M.O.	49.34364812	0.064482547	0.420171	27.6053

Day	kWh/inTemp.	kWh/outTem	kWh/dTemp
1/10/2012	38.53271	35.21658	409.2100367
2/10/2012	46.9811	39.03167	230.6769762
3/10/2012	35.70526	32.90476	419.5218455
4/10/2012	30.87196	29.65547	752.5910344
5/10/2012	33.40621	33.7431	3345.992879
6/10/2012	27.71325	30.95281	264.7901447
7/10/2012	22.32189	25.97707	158.6400436
8/10/2012	22.94792	25.19928	256.8543859
9/10/2012	16.73964	18.88283	147.4866774
10/10/2012	26.62198	29.68372	258.1010426
11/10/2012	29.34979	31.45212	439.0907903
12/10/2012	31.89634	31.95357	17807.68623
13/10/2012	31.86668	31.87145	213015.6609
14/10/2012	24.2263	25.61027	448.3081067
15/10/2012	18.98421	20.27074	299.117249
16/10/2012	24.51993	24.08699	1364.170168
17/10/2012	24.73176	24.10261	947.4717296
18/10/2012	23.50686	21.99013	340.8108936
19/10/2012	24.2929	22.60741	325.8395251

20/10/2012	26.85312	25.41651	475.0843312
21/10/2012	20.83529	22.81385	240.2420234
22/10/2012	21.55674	24.24035	194.7167228
23/10/2012	10.1012	12.68305	49.62098271
24/10/2012	15.51189	19.2685	79.56414135
25/10/2012	10.40899	13.86069	41.79841991
26/10/2012	11.78889	15.2403	52.05595073
27/10/2012	18.0396	21.57064	110.2016276
28/10/2012	18.85038	22.07778	128.9502675
29/10/2012	21.74211	24.76441	178.1529144
30/10/2012	18.24224	20.36914	174.7039639
31/10/2012	18.64752	22.06722	120.3320347
M.O.	24.12241	25.14726	7841.207871

Υπολογίζοντας τώρα τη συσχέτιση της κατανάλωσης του κλιματιστικού με τον παρανομαστή κάθε EPI, καταλήγουμε στα εξής:

Μέτρο EPI	Συσχέτιση
O.H.	-0.122511
% Κατανάλωση	<b>0.983528</b>
Εσωτερική T	-0.731535
Εξωτερική T	0.757322
Διαφορά T	-0.581858
Sales	0.291117
Receipts	0.246396

Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ότι ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση του κλιματιστικού είναι το ποσοστό που καλύπτει η χρήση στο σύνολο της κατανάλωσης, με συσχέτιση 0.983528. Η τιμή αυτή είναι εντυπωσιακά υψηλή, πλησιάζοντας σχεδόν τη μονάδα. Είναι αξιοπρόσεκτο επίσης το γεγονός ότι το συγκεκριμένο EPI φαίνεται να έχει μεγαλύτερη σχέση με τη κατανάλωση της χρήσης απ' ό,τι η εξωτερική θερμοκρασία, που κυριαρχεί σαν παράγοντας κατανάλωσης στα κλιματιστικά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων.

## 6.2.4 Φριτέζες

Day	kWh Ολική	kWh Fryers	% Κατανάλωση	kWh/m <sup>2</sup>
1/10/2012	2708.394545	390.7864	14.4287102	0.868414222
2/10/2012	2668.78432	282.7285	10.59390592	0.628285556

3/10/2012	2469.113206	278.6081	11.28373131	0.619129111
4/10/2012	2377.062516	280.8139	11.813484	0.624030889
5/10/2012	2547.699222	348.1715	13.66611478	0.773714444
6/10/2012	2593.209277	385.7145	14.87402129	0.857143333
7/10/2012	2469.932056	363.9969	14.73712198	0.808882
8/10/2012	2222.029654	277.9074	12.50691679	0.617572
9/10/2012	2095.51339	282.5465	13.48340227	0.627881111
10/10/2012	2311.495014	286.934	12.41335146	0.637631111
11/10/2012	2322.451876	286.5539	12.33842143	0.636786444
12/10/2012	2500.609595	331.2868	13.24824158	0.736192889
13/10/2012	2583.029624	386.0492	14.94559708	0.857887111
14/10/2012	2338.907528	338.7541	14.4834328	0.752786889
15/10/2012	2094.413181	264.1992	12.61447371	0.587109333
16/10/2012	2245.437514	265.7246	11.83397883	0.590499111
17/10/2012	2328.937973	297.4471	12.77179141	0.660993556
18/10/2012	2216.870558	290.4938	13.10377816	0.645541778
19/10/2012	2363.538708	364.4854	15.42117329	0.809967556
20/10/2012	2525.087581	394.4011	15.61930378	0.876446889
21/10/2012	2417.895318	364.3715	15.06977979	0.809714444
22/10/2012	2145.252541	262.5199	12.23724923	0.583377556
23/10/2012	1880.951777	263.7544	14.02239033	0.586120889
24/10/2012	2049.651542	281.2578	13.72222518	0.625017333
25/10/2012	1931.166988	271.9543	14.08238136	0.604342889
26/10/2012	2004.123321	318.9258	15.9134818	0.708724
27/10/2012	2222.423026	380.5363	17.12258627	0.845636222
28/10/2012	2321.429513	384.603	16.56750712	0.854673333
29/10/2012	2208.089945	268.8468	12.17553663	0.597437333
30/10/2012	2099.586876	259.9982	12.38330278	0.577773778
31/10/2012	2192.947861	302.5346	13.79579539	0.672299111
M.O.	2305.033421	314.7388871	13.65397381	0.699419749

Day	kWh/employee	kWh/sales	kWh/Receipts	kWh/O.H.
1/10/2012	32.56553333	0.030143968	0.228396493	19.53932
2/10/2012	23.56070833	0.039169922	0.250202212	13.2736385
3/10/2012	23.21734167	0.033250758	0.214809638	13.08019249
4/10/2012	23.40115833	0.03773366	0.23878733	11.70057917
5/10/2012	29.01429167	0.028132797	0.184902549	16.34607981
6/10/2012	32.142875	0.028669132	0.214524194	17.9402093
7/10/2012	30.333075	0.032914088	0.253833264	16.54531364
8/10/2012	23.15895	0.037308014	0.119478676	11.579475
9/10/2012	23.54554167	0.037961373	0.243784728	13.02057604

10/10/2012	23.91116667	0.035560045	0.22522292	13.47107981
11/10/2012	23.87949167	0.034121684	0.215130556	14.11595567
12/10/2012	27.60723333	0.027954333	0.179559241	15.40868837
13/10/2012	32.17076667	0.027561162	0.208225027	17.54769091
14/10/2012	28.22950833	0.030911041	0.217289352	15.75600465
15/10/2012	22.0166	0.041152523	0.260551479	12.40371831
16/10/2012	22.14371667	0.037547633	0.239176058	12.65355238
17/10/2012	24.78725833	0.031687131	0.212766166	14.16414762
18/10/2012	24.20781667	0.035814795	0.245349493	13.38681106
19/10/2012	30.37378333	0.028600549	0.186532958	17.35644762
20/10/2012	32.86675833	0.027963776	0.203090165	18.51648357
21/10/2012	30.36429167	0.031150851	0.22340374	16.94751163
22/10/2012	21.87665833	0.039182075	0.242624677	12.50094762
23/10/2012	21.97953333	0.03747576	0.243540536	12.26764651
24/10/2012	23.43815	0.035948083	0.234968922	13.20459155
25/10/2012	22.66285833	0.039436528	0.247907293	13.07472596
26/10/2012	26.57715	0.029227071	0.192937568	13.86633913
27/10/2012	31.71135833	0.030887687	0.213544501	16.91272444
28/10/2012	32.05025	0.032502578	0.234800366	18.76112195
29/10/2012	22.4039	0.035277103	0.235623839	12.62191549
30/10/2012	21.66651667	0.038285702	0.236362	12.20648826
31/10/2012	25.21121667	0.034614943	0.220667104	14.20350235
M.O.	26.22824059	0.033811186	0.221548163	14.65720899

Day	kWh/inTemp.	kWh/outTem	kWh/dTemp
1/10/2012	16.2128938	14.8176134	172.17786
2/10/2012	12.70061202	10.55160641	62.35993932
3/10/2012	12.00092237	11.05964253	141.0057939
4/10/2012	11.62879043	11.17056384	283.4845226
5/10/2012	14.26548622	14.40934839	1428.8424
6/10/2012	15.38409841	17.18243208	146.9895324
7/10/2012	14.28825185	16.62793178	101.5455461
8/10/2012	11.04046845	12.12361835	123.5751627
9/10/2012	11.00157776	12.41011831	96.93074256
10/10/2012	11.73400669	13.08351299	113.7616248
11/10/2012	11.99564181	12.85489087	179.4621299
12/10/2012	13.85710985	13.88197463	7736.407096
13/10/2012	16.01361137	16.01600733	107044.3984
14/10/2012	13.6018329	14.37885784	251.7021173
15/10/2012	10.27234703	10.96848896	161.8522333
16/10/2012	10.5633304	10.37681494	587.6924357

17/10/2012	11.74521272	11.44642773	449.9581185
18/10/2012	11.96155122	11.18975651	173.42286
19/10/2012	14.80194213	13.77495322	198.5377439
20/10/2012	16.13070176	15.26772642	285.383753
21/10/2012	14.5828975	15.96771762	168.1486176
22/10/2012	10.69615226	12.02771985	96.61569148
23/10/2012	10.29497509	12.92635555	50.57288759
24/10/2012	11.44286022	14.21404212	58.69311469
25/10/2012	10.99512866	14.64120069	44.1521407
26/10/2012	12.67492254	16.38573072	55.96836524
27/10/2012	15.25754686	18.24402763	93.20639525
28/10/2012	14.7626862	17.29022948	100.9874823
29/10/2012	10.60221379	12.07599003	86.87358697
30/10/2012	10.16076183	11.34542881	97.30852852
31/10/2012	11.89745376	14.07928079	76.77400169
M.O.	12.72799961	13.63838741	3892.541638

Υπολογίζοντας τώρα τη συσχέτιση της κατανάλωσης στις φριτέζες με τον παρανομαστή κάθε EPI, καταλήγουμε στα εξής:

Μέτρο EPI	Συσχέτιση
O.H.	-0.084893
% Κατανάλωση	0.784334
Εσωτερική T	-0.004798
Εξωτερική T	0.165077
Διαφορά T	-0.180026
Sales	<b>0.967809</b>
Receipts	0.726348

Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ότι ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση στις φριτέζες είναι ο kWh/Sales, με συσχέτιση 0.967809. Και αυτή η τιμή είναι ιδιαίτερα υψηλή, πλησιάζοντας αρκετά τη μονάδα. Συγκρίνοντας μάλιστα τα αποτελέσματα με αυτά στις κουζίνες 1 και 2 μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι οι καταναλώσεις που αφορούν την παρασκευή γευμάτων στα εστιατόρια είναι στενότατα συνδεδεμένες με τις πωλήσεις του καταστήματος.

## 6.2.5 Φωτισμός

Day	kWh Ολική	kWh Φωτισμός	% Κατανάλωση	kWh/m <sup>2</sup>
1/10/2012	2708.394545	543.5777792	20.07011055	1.20795062
2/10/2012	2668.78432	545.9550222	20.45706797	1.213233383

3/10/2012	2469.113206	558.616603	22.62417947	1.241370229
4/10/2012	2377.062516	569.9148715	23.97559457	1.266477492
5/10/2012	2547.699222	575.9863457	22.60809835	1.279969657
6/10/2012	2593.209277	676.061761	26.0704667	1.502359469
7/10/2012	2469.932056	711.9344143	28.82404852	1.582076476
8/10/2012	2222.029654	567.8640796	25.55609816	1.261920177
9/10/2012	2095.51339	596.7008249	28.47516163	1.326001833
10/10/2012	2311.495014	561.7423274	24.30212153	1.248316283
11/10/2012	2322.451876	557.5744831	24.0080102	1.239054407
12/10/2012	2500.609595	584.3147363	23.36689172	1.298477192
13/10/2012	2583.029624	570.628554	22.09144443	1.268063453
14/10/2012	2338.907528	568.837383	24.32064441	1.264083073
15/10/2012	2094.413181	558.8779473	26.68422604	1.241950994
16/10/2012	2245.437514	570.1144708	25.38990585	1.266921046
17/10/2012	2328.937973	576.2201351	24.74175533	1.280489189
18/10/2012	2216.870558	542.9058487	24.48974058	1.206457442
19/10/2012	2363.538708	554.6663279	23.46762192	1.23259184
20/10/2012	2525.087581	585.9164402	23.20380666	1.302036534
21/10/2012	2417.895318	655.9880286	27.13053885	1.457751175
22/10/2012	2145.252541	559.8289402	26.09617887	1.244064312
23/10/2012	1880.951777	572.2947865	30.42580855	1.271766192
24/10/2012	2049.651542	569.4407648	27.78232071	1.265423922
25/10/2012	1931.166988	610.2553479	31.60034072	1.356122995
26/10/2012	2004.123321	570.8579443	28.48417253	1.26857321
27/10/2012	2222.423026	559.9723589	25.19647935	1.24438302
28/10/2012	2321.429513	587.5256247	25.30878587	1.305612499
29/10/2012	2208.089945	601.367226	27.23472508	1.336371613
30/10/2012	2099.586876	592.8071322	28.23446551	1.317349183
31/10/2012	2192.947861	600.3271851	27.37535149	1.334060411
M.O.	2305.033421	582.5508289	25.47084394	1.294557397

Day	kWh/employee	kWh/sales	kWh/Receipts	kWh/O.H.
1/10/2012	45.29814827	0.04193	0.317696	27.17889
2/10/2012	45.49625185	0.075638	0.483146	25.63169
3/10/2012	46.55138358	0.066669	0.430699	26.22613
4/10/2012	47.49290596	0.076581	0.484621	23.74645
5/10/2012	47.99886214	0.046541	0.305888	27.04161
6/10/2012	56.33848008	0.05025	0.376008	31.44473
7/10/2012	59.32786786	0.064376	0.496468	32.36066
8/10/2012	47.32200663	0.076234	0.244138	23.661
9/10/2012	49.72506874	0.080169	0.514841	27.49773

10/10/2012	46.81186062	0.069617	0.440928	26.37288
11/10/2012	46.46454026	0.066394	0.418599	27.46672
12/10/2012	48.69289469	0.049305	0.316702	27.17743
13/10/2012	47.5523795	0.040739	0.307782	25.93766
14/10/2012	47.40311525	0.051906	0.364873	26.45755
15/10/2012	46.57316228	0.087053	0.551162	26.2384
16/10/2012	47.50953924	0.080559	0.513154	27.14831
17/10/2012	48.01834459	0.061385	0.412175	27.43905
18/10/2012	45.24215406	0.066935	0.458535	25.0187
19/10/2012	46.22219399	0.043524	0.283862	26.41268
20/10/2012	48.82637002	0.041543	0.301708	27.50781
21/10/2012	54.66566905	0.056082	0.4022	30.51107
22/10/2012	46.65241169	0.083557	0.517402	26.65852
23/10/2012	47.69123221	0.081315	0.528435	26.61836
24/10/2012	47.45339707	0.072781	0.475723	26.73431
25/10/2012	50.85461233	0.088494	0.556295	29.3392
26/10/2012	47.57149536	0.052315	0.345347	24.81991
27/10/2012	46.66436324	0.045452	0.314238	24.88766
28/10/2012	48.96046872	0.049651	0.358685	28.65979
29/10/2012	50.1139355	0.078909	0.527053	28.2332
30/10/2012	49.40059435	0.087293	0.538916	27.83132
31/10/2012	50.02726543	0.068687	0.437875	28.18437
M.O.	48.54590241	0.064577	0.420166	27.11109

Day	kWh/inTemp.	kWh/outTem	kWh/dTemp
1/10/2012	22.55188	20.61107	239.4967
2/10/2012	24.52516	20.37539	120.4184
3/10/2012	24.06217	22.17488	282.7203
4/10/2012	23.60076	22.67078	575.3349
5/10/2012	23.59965	23.83764	2363.76
6/10/2012	26.96451	30.11654	257.6362
7/10/2012	27.94611	32.52225	198.6109
8/10/2012	22.55962	24.77288	252.5082
9/10/2012	23.23388	26.20853	204.7049
10/10/2012	22.97214	25.61412	222.7157
11/10/2012	23.34103	25.01295	349.1961
12/10/2012	24.4408	24.48465	13645.27
13/10/2012	23.6701	23.67364	158224.9
14/10/2012	22.84026	24.14504	422.6593
15/10/2012	21.72977	23.20237	342.3767
16/10/2012	22.66372	22.26355	1260.899

17/10/2012	22.75305	22.17424	871.6674
18/10/2012	22.35502	20.91261	324.1112
19/10/2012	22.52529	20.96244	302.1306
20/10/2012	23.96353	22.68151	423.9619
21/10/2012	26.25399	28.74712	302.7226
22/10/2012	22.80976	25.64935	206.0349
23/10/2012	22.33806	28.04763	109.7331
24/10/2012	23.16747	28.77806	118.8314
25/10/2012	24.67266	32.85431	99.07576
26/10/2012	22.68735	29.32947	100.18
27/10/2012	22.45201	26.84672	137.1564
28/10/2012	22.55171	26.41283	154.2701
29/10/2012	23.71545	27.01206	194.3223
30/10/2012	23.16698	25.86807	221.8677
31/10/2012	23.60842	27.93788	152.3446
M.O.	23.53943	25.35163	5892.955

Υπολογίζοντας τώρα τη συσχέτιση της κατανάλωσης του φωτισμού με τον παρανομαστή κάθε EPI, καταλήγουμε στα εξής:

Μέτρο EPI	Συσχέτιση
O.H.	0.059694
% Κατανάλωση	<b>0.480626</b>
Εσωτερική T	0.398195
Εξωτερική T	-0.327560
Διαφορά T	0.159774
Sales	0.238288
Receipts	0.083437

Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ότι ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση του κλιματιστικού είναι το ποσοστό που καλύπτει η χρήση στο σύνολο της κατανάλωσης, με συσχέτιση 0.480626. Η τιμή αυτή είναι αρκετά χαμηλή και δύσκολα μπορούμε να πούμε ότι δείχνει κάποια σχέση μεταξύ του δείκτη και της κατανάλωσης. Πάντως έχει αρκετά μεγαλύτερη τιμή απ' τους υπόλοιπους δείκτες. Οι μικρές συσχετίσεις που εμφανίζουν οι δείκτες με τις καταναλώσεις έχουν μάλλον να κάνουν με το γεγονός ότι ο φωτισμός λειτουργεί σχεδόν πανομοιότυπα και με την ίδια ένταση από μέρα σε μέρα, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζει εξάρτηση ούτε καν απ' το ωράριο λειτουργίας, αφού και αυτό παραμένει σχεδόν σταθερό.

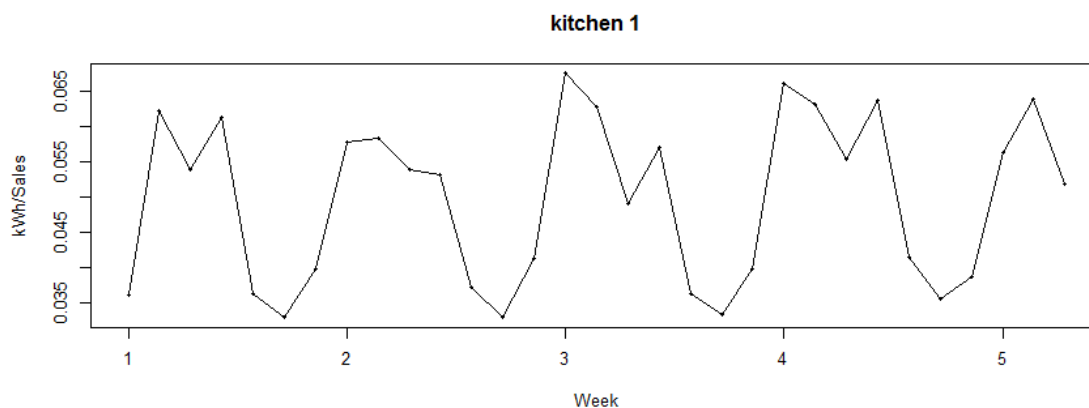


## 6.3 Πρόβλεψη ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση

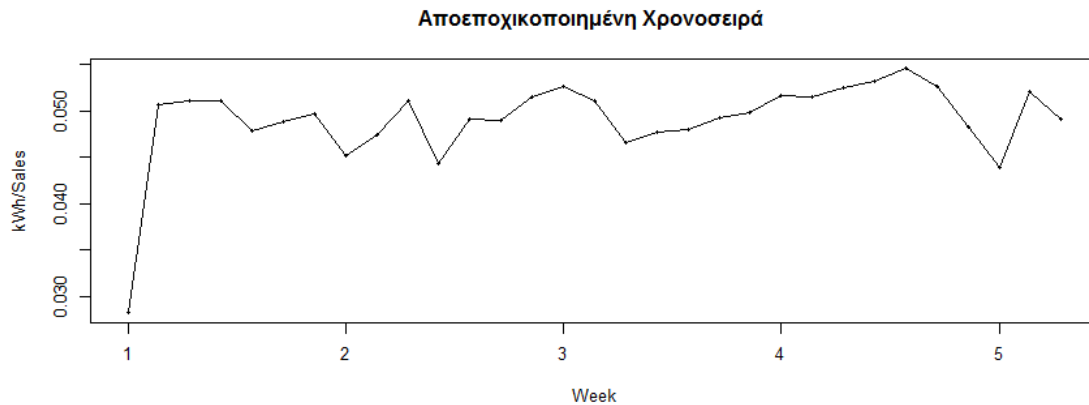
Σε αυτό το σημείο, γνωρίζοντας πλέον για κάθε χρήση ποιος δείκτης είναι ο πλέον αντιπροσωπευτικός, μπορούμε να προχωρήσουμε στη διεξαγωγή του διαγωνισμού προβλέψεων και την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου βάση του μικρότερου in-sample σφάλματος MAE, όπως αυτό έχει ορισθεί στη μεθοδολογία. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση του μοντέλου πρόβλεψης με ένα out-of sample δείγμα έκτασης επτά ημερών. Οι προβλέψεις και οι απεικονίσεις των χρονοσειρών θα πραγματοποιηθούν όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα με τη βοήθεια του Rstudio.

### 6.3.1 Κουζίνα 1

Για τη κουζίνα 1 το βέλτιστο EPI βρέθηκε στη παράγραφο 6.2.1 να είναι το ηλικό ηλεκτρικής κατανάλωσης με τις πωλήσεις (kWh/Sales). Έτσι, λαμβάνουμε απ' τον αντίστοιχο πίνακα την χρονοσειρά kWh/Sales και την αποεποχικοποιούμε για να τρέξουν τα μοντέλα προβλέψεων πάνω στην αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά. Στην εικόνα 6.3.1.1 φαίνεται η αρχική χρονοσειρά ενώ στην εικόνα 6.3.1.2 η αποεποχικοποιημένη.



Εικόνα 6.3.1.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 1

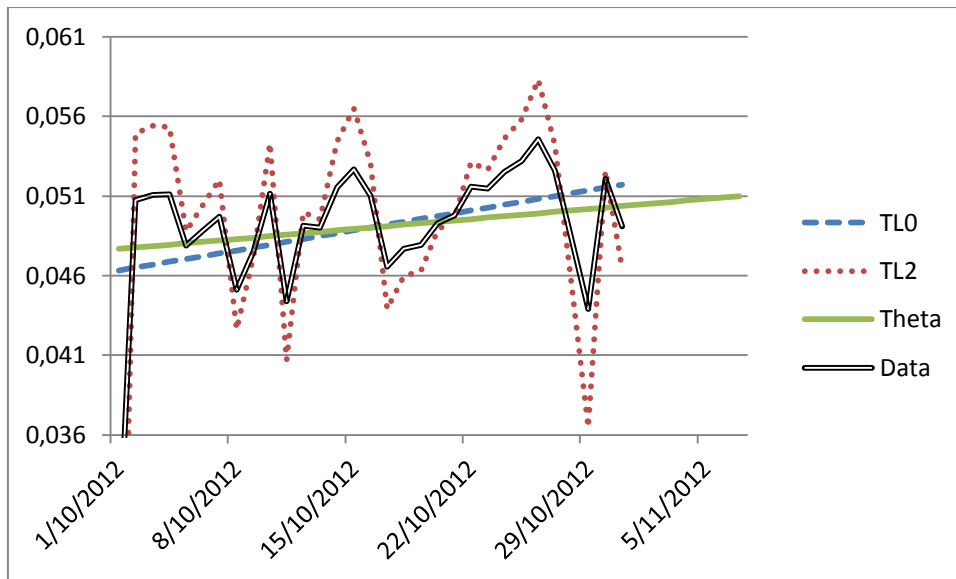


Εικόνα 6.3.1.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 1

Τρέχοντας τα έξι διαφορετικά μοντέλα προβλέψεων στο Rstudioπροέκυψε ο παρακάτω πίνακας σφαλμάτων:

<b>Naive</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	MASE
0.000672215	0.005021201	<b>2.90E-03</b>	1.132450058	5.914250798	0.968046198
<b>Ses</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	MASE
2.56E-06	4.55E-03	<b>2.77E-03</b>	-1.28E+00	6.59E+00	9.23E-01
<b>Holt</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	MASE
1.39E-05	4.81E-03	<b>3.08E-03</b>	-6.59E-01	6.71E+00	1.03E+00
<b>Damped</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	MASE
6.79E-06	4.22E-03	<b>2.87E-03</b>	-1.08E+00	6.68E+00	9.57E-01
<b>Theta</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	
7.16E-07	4.33E-03	<b>2.75E-03</b>	-1.20E+00	6.51E+00	
<b>LRL</b>					
ME	RMSE	<b>MAE</b>	MPE	MAPE	
-2.84E-17	4.26E-03	<b>2.84E-03</b>	-1.12E+00	6.65E+00	

Επικεντρώνοντας τη προσοχή μας στο MAE επιλέγουμε εν τέλει τη μέθοδο Theta που εμφανίζει και το μικρότερο in-sample σφάλμα. Στην εικόνα 6.3.1.3 φαίνεται γραφικά η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά kWh/Sales και η πρόβλεψη για ορίζοντα επτά ημέρες.



Εικόνα 6.3.1.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 1 και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου Theta

Έχοντας διαθέσιμες τις επτά προβλέψεις για τη χρονοσειρά του δείκτη, τους δείκτες εποχιακότητας της κάθε μέρας της βδομάδας από τη διαδικασία αποεποχικοποίησης και τις μέσες εβδομαδιαίες πωλήσεις (οι οποίες υπολογίστηκαν ίσες με 9589.77), εύκολα υπολογίζεται μέσω δύο διαδοχικών πολλαπλασιασμών η κατανάλωση της κουζίνας 1 σε kWh. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.

Day	Data kWh K1	Forecast kWh/Sales	Δ.Ε.	Εποχικοποιημένα δεδομένα kWh/Sales	Forecast σε kWh
1/11/2012	459.2939588	0.05045368	1.1973455	0.060410	579.322869
2/11/2012	461.1831554	0.05054342	0.7593826	0.038382	368.072735
3/11/2012	476.1334234	0.05063317	0.6755555	0.034206	328.023147
4/11/2012	460.3787153	0.05072291	0.8022659	0.040693	390.239185
5/11/2012	453.8522061	0.05081266	1.2816189	0.065122	624.509677
6/11/2012	456.8338446	0.0509024	1.2280855	0.062512	599.480753
7/11/2012	432.5857712	0.05099215	1.0557461	0.053835	516.263175

Γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων τις μέρες αυτές στην κουζίνα 1 υπολογίζεται το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το μέσο ποσοστιαίο και το μέσο απόλυτα ποσοστιαίο σφάλμα.

Day	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	-120.02891	120.0289102	14406.93929	
2/11/2012	93.110421	93.11042077	8669.550456	
3/11/2012	148.110277	148.1102766	21936.65404	
4/11/2012	70.139531	70.13953068	4919.553763	
5/11/2012	-170.65747	170.6574708	29123.97233	
6/11/2012	-142.64691	142.6469085	20348.14051	
7/11/2012	-83.677404	83.67740384	7001.907913	
M.O.	-29.378638	118.3387031	15200.95976	123.2921723

Day	ME%	MAE%
1/11/2012	-26.133353	26.1333527
2/11/2012	20.189467	20.18946695
3/11/2012	31.106885	31.10688503
4/11/2012	15.235181	15.23518103
5/11/2012	-37.601992	37.60199212
6/11/2012	-31.225118	31.22511833
7/11/2012	-19.34354	19.3435405
M.O.	-6.8246387	25.83364809

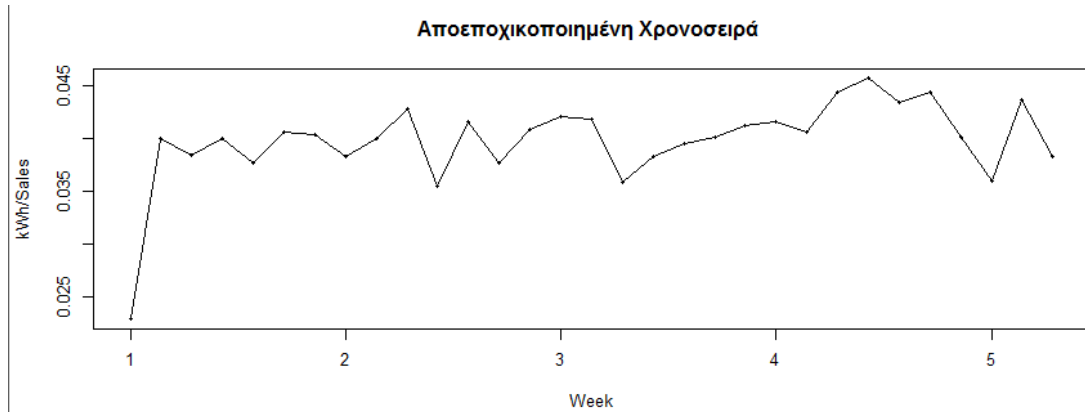
Τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος ήταν σχετικά αισιόδοξη, εμφανίζοντας αποκλίσεις στη τιμή κατά 26%.

## 6.3.2 Κουζίνα 2

Για τη κουζίνα 2 το βέλτιστο ΕΡΙβρέθηκε στη παράγραφο 6.2.2 να είναι και πάλι το ηλίκο ηλεκτρικής κατανάλωσης με τις πωλήσεις (kWh/Sales). Έτσι, λαμβάνουμε απ' τον αντίστοιχο πίνακα την χρονοσειρά kWh/Sales και την αποεποχικοποιούμε κατά τα γνωστά. Στην εικόνα 6.3.2.1 φαίνεται η αρχική χρονοσειρά ενώ στην εικόνα 6.3.2.2 η αποεποχικοποιημένη.



Εικόνα 6.3.2.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2

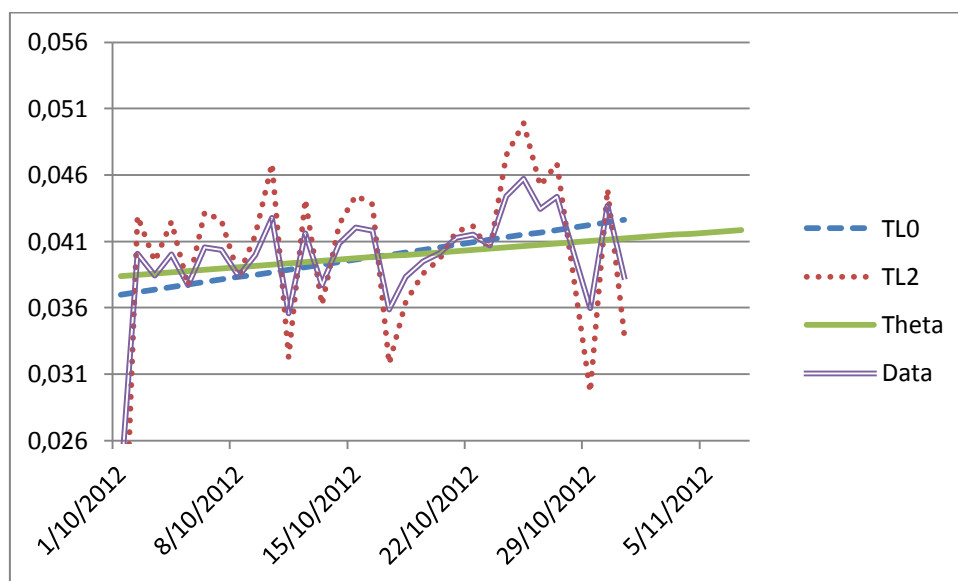


Εικόνα 6.3.2.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2

Τρέχοντας τα έξι διαφορετικά μοντέλα προβλέψεων στο Rstudioπροέκυψε ο παρακάτω πίνακας μέσων απολύτων σφαλμάτων, σύμφωνα με τον οποίο το καταλληλότερο μοντέλο πρόβλεψης είναι αυτό της Theta:

<b>SES</b>	3.06E-03
<b>Damped</b>	2.57E-03
<b>Holt</b>	2.83E-03
<b>LRL</b>	2.52E-03
<b>Theta</b>	<b>2.46E-03</b>
<b>Naive</b>	3.10E-03

Στην εικόνα 6.3.2.3 φαίνεται γραφικά η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά kWh/Sales και η πρόβλεψη για ορίζοντα επτά ημέρες.



Εικόνα 6.3.2.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για την κουζίνα 2 και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου Theta

Έχοντας διαθέσιμες τις επτά προβλέψεις για τη χρονοσειρά του δείκτη, τους δείκτες εποχιακότητας της κάθε μέρας της βδομάδας από τη διαδικασία αποεποχικοποίησης και τις μέσες εβδομαδιαίες πωλήσεις, εύκολα υπολογίζεται μέσω δύο διαδοχικών πολλαπλασιασμών η κατανάλωση της κουζίνας 2 σε kWh. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.

Day	Data kWh K2	Forecast kWh/Sales	Δ.Ε.	Εποχικοποιημένα δεδομένα kWh/Sales	Forecast σε kWh
1/11/2012	365.1648	0.04130795	1.1043364	0.045618	437.465046
2/11/2012	398.3741	0.04140153	0.7608542	0.031501	302.082914
3/11/2012	421.4757	0.04149511	0.7321865	0.030382	291.358048
4/11/2012	407.1943	0.0415887	0.8509455	0.035390	339.379355
5/11/2012	367.3546	0.04168228	1.2931971	0.053903	516.921469
6/11/2012	375.6763	0.04177586	1.1801965	0.049304	472.811578
7/11/2012	367.379	0.04186945	1.0782838	0.045147	432.950919

Γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων τις μέρες αυτές στην κουζίνα 2 υπολογίζεται το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το μέσο ποσοστιαίο και το μέσο απόλυτα ποσοστιαίο σφάλμα.

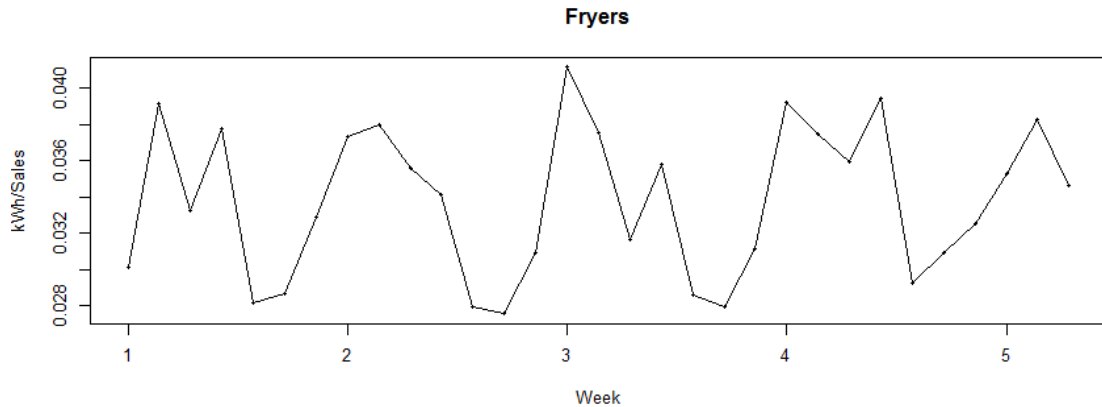
Day	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	-72.300246	72.30024636	5227.325623	
2/11/2012	96.291186	96.2911861	9271.99252	
3/11/2012	130.117652	130.1176522	16930.60342	
4/11/2012	67.814945	67.81494487	4598.866748	
5/11/2012	-149.56687	149.566869	22370.2483	
6/11/2012	-97.135278	97.13527775	9435.262183	
7/11/2012	-65.571919	65.57191894	4299.676554	
M.O.	-12.907218	96.97115646	10304.85362	101.5128249

Day	ME%	MAE%
1/11/2012	-19.799347	19.79934713
2/11/2012	24.1710458	24.17104578
3/11/2012	30.8719227	30.87192268
4/11/2012	16.654198	16.65419798
5/11/2012	-40.714576	40.71457632
6/11/2012	-25.85611	25.8561101
7/11/2012	-17.848576	17.84857571
M.O.	-4.6459204	25.1308251

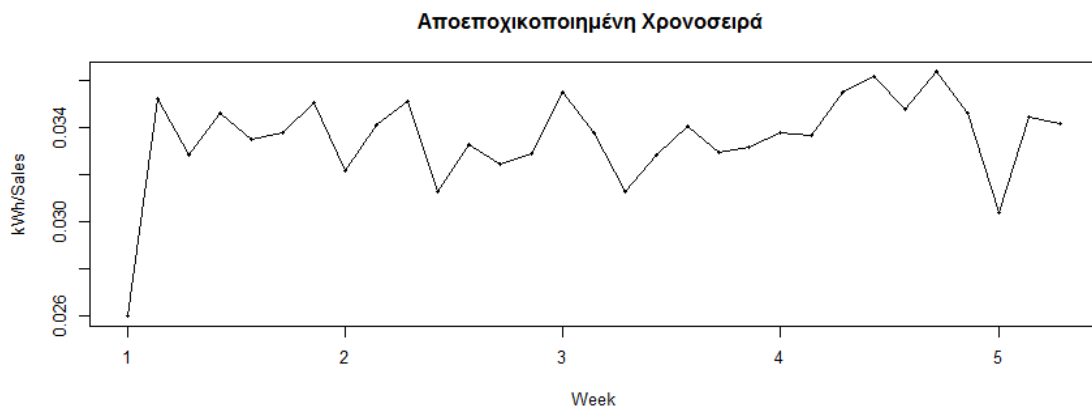
Τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν και πάλι μία μικρή αισιοδοξία της μεθόδου, εμφανίζοντας ταυτόχρονα αποκλίσεις στη τιμή περίπου 25%.

### 6.3.3 Φριτέζες

Για τις φριτέζες το βέλτιστο ΕΡΙβρέθηκε στη παράγραφο 6.2.4 να είναι και πάλι το ηλικό ηλεκτρικής κατανάλωσης με τις πωλήσεις (kWh/Sales). Έτσι, λαμβάνουμε απ' τον αντίστοιχο πίνακα την χρονοσειρά kWh/Sales και την αποεποχικοποιούμε κατά τα γνωστά. Στην εικόνα 6.3.3.1 φαίνεται η αρχική χρονοσειρά ενώ στην εικόνα 6.3.3.2 η αποεποχικοποιημένη.



Εικόνα 6.3.3.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες

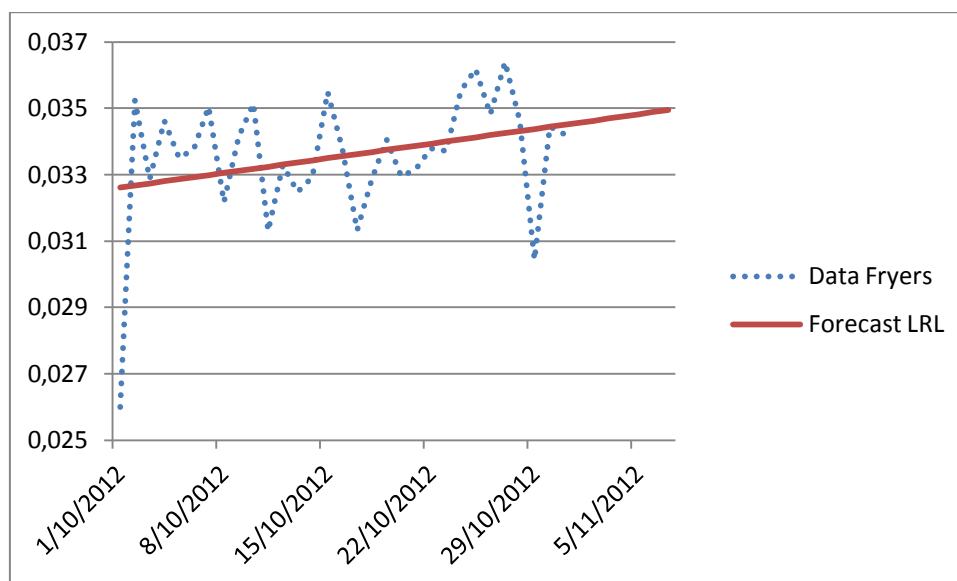


Εικόνα 6.3.3.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες

Τρέχοντας τα έξι διαφορετικά μοντέλα προβλέψεων στο Rstudioπροέκυψε ο παρακάτω πίνακας μέσωσν απολύτων σφαλμάτων, σύμφωνα με τον οποίο το καταλληλότερο μοντέλο πρόβλεψης είναι αυτό της LRL:

<b>SES</b>	1.35333E-03
<b>Holt</b>	1.51098E-03
<b>Damped</b>	1.35907E-03
<b>LRL</b>	<b>1.30278E-03</b>
<b>Theta</b>	1.30332E-03
<b>Naive</b>	1.81164E-03

Στην εικόνα 6.3.3.3 φαίνεται γραφικά η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά kWh/Sales και η πρόβλεψη για ορίζοντα επτά ημέρες.



Εικόνα 6.3.3.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη kWh/Sales για τις φριτέζες και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου LRL

Έχοντας διαθέσιμες τις επτά προβλέψεις για τη χρονοσειρά του δείκτη, τους δείκτες εποχιακότητας της κάθε μέρας της βδομάδας από τη διαδικασία αποεποχικοποίησης και τις μέσες εβδομαδιαίες πωλήσεις, εύκολα υπολογίζεται μέσω δύο διαδοχικών πολλαπλασιασμών η κατανάλωση στις φριτέζες σε kWh. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.

Day	Data kWh Φριτέζες	Forecast kWh/Sales	Δ.Ε.	Εποχικοποιημένα δεδομένα kWh/Sales	Forecast σε kWh
1/11/2012	291.5829	0.03456807	1.0898569	0.037674	361.287547
2/11/2012	358.5487	0.03463122	0.8396778	0.029079	278.861683
3/11/2012	387.9415	0.03469436	0.8486896	0.029445	282.368432
4/11/2012	367.0962	0.03475751	0.9390106	0.032638	312.987889
5/11/2012	270.298	0.03482066	1.1593871	0.040371	387.145168
6/11/2012	263.9103	0.03488381	1.1116463	0.038778	371.876659
7/11/2012	282.8216	0.03494696	1.0117317	0.035357	339.065140

Γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων τις μέρες αυτές υπολογίζεται το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το μέσο ποσοστιαίο και το μέσο απόλυτα ποσοστιαίο σφάλμα.



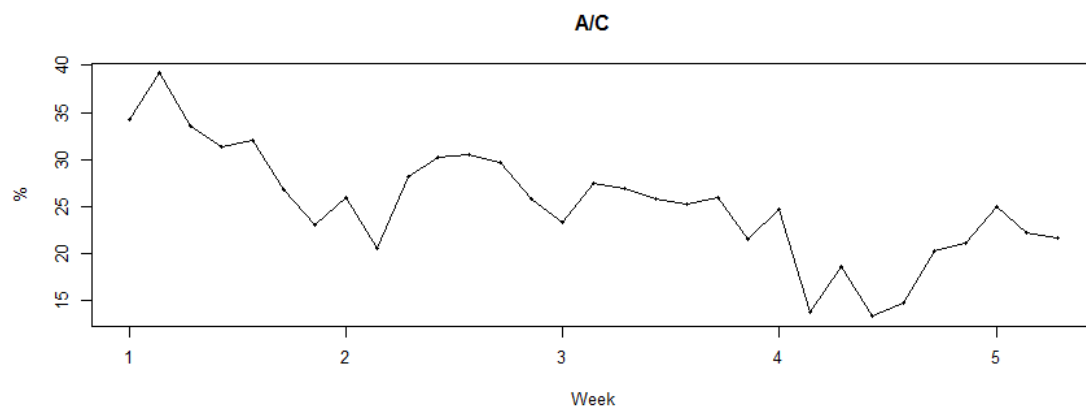
Day	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	-69.704647	69.70464668	4858.737769	
2/11/2012	79.687017	79.68701733	6350.020731	
3/11/2012	105.573068	105.5730681	11145.67271	
4/11/2012	54.108311	54.10831142	2927.709364	
5/11/2012	-116.84717	116.8471684	13653.26076	
6/11/2012	-107.96636	107.9663588	11656.73464	
7/11/2012	-56.243540	56.24354032	3163.335828	
M.O.	-15.913331	84.30430159	7679.353116	87.63191836

Day	ME%	MAE%
1/11/2012	-23.905602	23.90560169
2/11/2012	22.2248797	22.22487973
3/11/2012	27.2136567	27.21365673
4/11/2012	14.7395455	14.7395455
5/11/2012	-43.229017	43.22901701
6/11/2012	-40.910248	40.91024823
7/11/2012	-19.886579	19.88657879
M.O.	-9.1076234	27.44421824

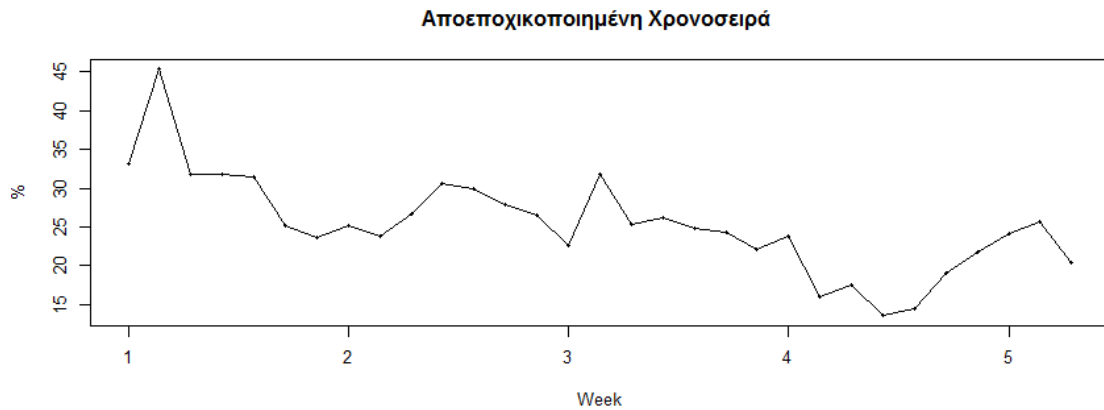
Τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν όπως και πριν μία μικρή αισιοδοξία της μεθόδου, εμφανίζοντας ταυτόχρονα αποκλίσεις στη τιμή περίπου 27%.

### 6.3.4 Κλιματισμός

Για τον κλιματισμό το βέλτιστο ΕΡΙβρέθηκε στην παράγραφο 6.2.3 να είναι η επί τις εκατό κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της χρήσης ως προς τη συνολική (% κατανάλωση). Έτσι, λαμβάνουμε απ' τον αντίστοιχο πίνακα την χρονοσειρά με την ένδειξη «%» και την αποεποχικοποιούμε κατά τα γνωστά. Στην εικόνα 6.3.4.1 φαίνεται η αρχική χρονοσειρά ενώ στην εικόνα 6.3.4.2 η αποεποχικοποιημένη.



Εικόνα 6.3.4.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό

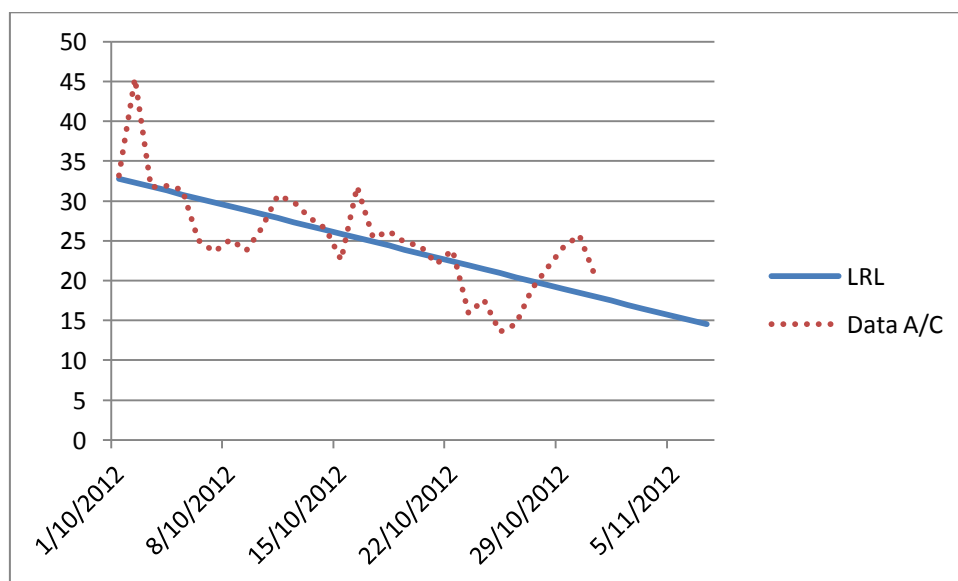


Εικόνα 6.3.4.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό

Τρέχοντας τα έξι διαφορετικά μοντέλα προβλέψεων στο Rstudio προέκυψε ο παρακάτω πίνακας μέσωσ απολύτων σφαλμάτων, σύμφωνα με τον οποίο το καταλληλότερο μοντέλο πρόβλεψης είναι αυτό της LRL:

<b>SES</b>	3.548359
<b>Holt</b>	3.418786
<b>Damped</b>	3.322389
<b>LRL</b>	<b>3.263604</b>
<b>Theta</b>	3.459968
<b>Naive</b>	3.407072

Στην εικόνα 6.3.4.3 φαίνεται γραφικά η επί τις εκατό αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά και η πρόβλεψη για ορίζοντα επτά ημέρες.



Εικόνα 6.3.4.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για τον κλιματισμό και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου LRL

Έχοντας διαθέσιμες τις επτά προβλέψεις για τη χρονοσειρά του δείκτη, τους δείκτες εποχιακότητας της κάθε μέρας της βδομάδας από τη διαδικασία αποεποχικοποίησης και τις μέσες εβδομαδιαίες συνολικές καταναλώσεις του εστιατορίου (οι οποίες υπολογίστηκαν ίσες με 2305.0334 kWh), εύκολα υπολογίζεται μέσω δύο διαδοχικών πολλαπλασιασμών η κατανάλωση του κλιματισμού σε kWh. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.

Day	Data kWh A/C	Forecast % κατανάλωση	Δ.Ε.	Εποχικοποιημένα δεδομένα% κατανάλωση	Forecast σε kWh
1/11/2012	549.0902	17.47572	0.9836669	17.190287	396.241864
2/11/2012	456.4993	16.98227	1.0196754	17.316403	399.148872
3/11/2012	670.0748	16.48883	1.0679157	17.608680	405.885965
4/11/2012	695.409	15.99538	0.9745428	15.588182	359.312811
5/11/2012	443.986	15.50193	1.0324813	16.005453	368.931034
6/11/2012	528.6671	15.00849	0.8638279	12.964752	298.841873
7/11/2012	416.8951	14.51504	1.05789	15.355316	353.945155

Γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων τις μέρες αυτές υπολογίζεται το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το μέσο ποσοστιαίο και το μέσο απόλυτα ποσοστιαίο σφάλμα.

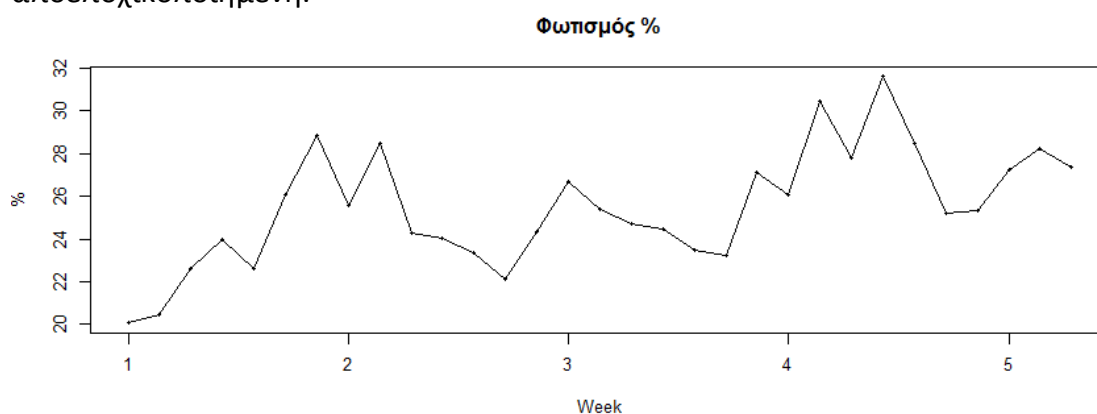
Day	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	152.848336	152.8483358	23362.61375	
2/11/2012	57.350428	57.35042821	3289.071615	
3/11/2012	264.188835	264.1888348	69795.74041	
4/11/2012	336.096189	336.0961889	112960.6482	
5/11/2012	75.054966	75.05496624	5633.247958	
6/11/2012	229.825227	229.825227	52819.63496	
7/11/2012	62.949945	62.94994523	3962.695605	
M.O.	168.330561	168.3305609	38831.95036	197.058241

Day	ME%	MAE%
1/11/2012	27.8366534	27.83665339
2/11/2012	12.5630923	12.56309226
3/11/2012	39.4267677	39.42676769
4/11/2012	48.3307218	48.33072177
5/11/2012	16.9048047	16.90480471
6/11/2012	43.4725798	43.47257981
7/11/2012	15.0997086	15.09970859
M.O.	29.0906183	29.09061832

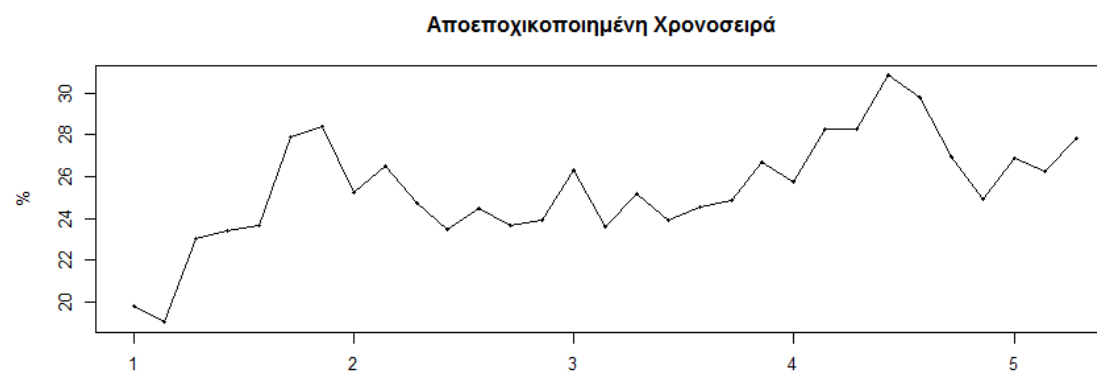
Τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν σε αντίθεση με τις τρεις προηγούμενες χρήσεις αρκετή απαισιοδοξία στη μέθοδο, εμφανίζοντας ταυτόχρονα ισχυρές αποκλίσεις στη τιμή της τάξεως του 29%.

## 6.3.5 Φωτισμός

Για το φωτισμό το βέλτιστο ΕΡΙβρέθηκε στην παράγραφο 6.2.5 να είναι η επί τις εκατό κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της χρήσης ως προς τη συνολική (% κατανάλωση). Έτσι, λαμβάνουμε απ' τον αντίστοιχο πίνακα την χρονοσειρά με την ένδειξη «%» και την αποεποχικοποιούμε κατά τα γνωστά. Στην εικόνα 6.3.5.1 φαίνεται η αρχική χρονοσειρά ενώ στην εικόνα 6.3.5.2 η αποεποχικοποιημένη.



Εικόνα 6.3.5.1: Αρχική χρονοσειρά του αντιπροσωπευτικού δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό



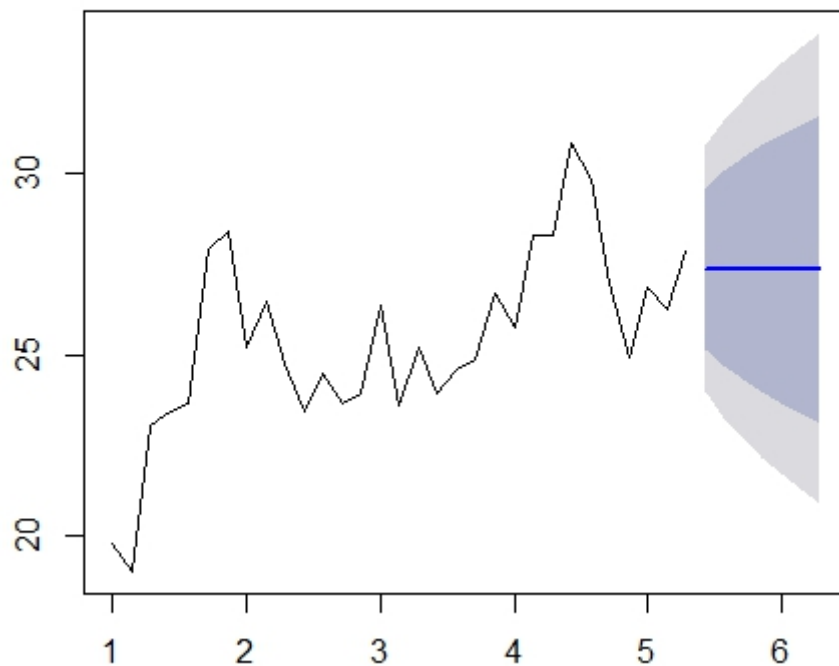
Εικόνα 6.3.5.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό

Τρέχοντας τα έξι διαφορετικά μοντέλα προβλέψεων στο Rstudio προέκυψε ο παρακάτω πίνακας μέσωσ απολύτων σφαλμάτων, σύμφωνα με τον οποίο το καταλληλότερο μοντέλο πρόβλεψης είναι αυτό της damped:

<b>SES</b>	1.463577
<b>Holt</b>	1.427836
<b><i>Damped</i></b>	<b>1.35994</b>
<b>LRL</b>	1.541584
<b>Theta</b>	1.439153
<b>Naive</b>	1.506445

Στην εικόνα 6.3.5.3 φαίνεται γραφικά η επί τις εκατό αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά και η πρόβλεψη για ορίζοντα επτά ημέρες.

### Forecasts from Damped Holt's method



Εικόνα 6.3.5.3: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά του δείκτη % κατανάλωση για το φωτισμό και η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου *damped*

Έχοντας διαθέσιμες τις επτά προβλέψεις για τη χρονοσειρά του δείκτη, τους δείκτες εποχιακότητας της κάθε μέρας της βδομάδας από τη διαδικασία αποεποχικοποίησης και τις μέσες εβδομαδιαίες συνολικές καταναλώσεις του εστιατορίου, εύκολα υπολογίζεται μέσω δύο διαδοχικών πολλαπλασιασμών η κατανάλωση του φωτισμού σε kWh. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.

Day	Data kWh Lights	Forecast % κατανάλωση	Δ.Ε.	Εποχικοποιημένα δεδομένα% κατανάλωση	Forecast σε kWh
1/11/2012	587.6713918	27.36403	1.024192	28.02601	646.0089
2/11/2012	592.8290598	27.36613	0.955168	26.13926	602.5187
3/11/2012	597.9113645	27.3678	0.933967	25.56061	589.1806

4/11/2012	591.2430579	27.36914	1.015759	27.80045	640.8097
5/11/2012	620.7571018	27.37022	1.013254	27.733	639.2548
6/11/2012	612.3424968	27.37108	1.075134	29.42757	678.3153
7/11/2012	607.1221109	27.37176	0.982527	26.89348	619.9037

Γνωρίζοντας τις πραγματικές τιμές καταναλώσεων τις μέρες αυτές υπολογίζεται το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το μέσο ποσοστιαίο και το μέσο απόλυτα ποσοστιαίο σφάλμα.

Day	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	-58.337492	58.33749175	3403.262943	
2/11/2012	-9.689611	9.689610756	93.8885566	
3/11/2012	8.730804	8.730804171	76.22694147	
4/11/2012	-49.566606	49.56660639	2456.848469	
5/11/2012	-18.497715	18.49771523	342.1654689	
6/11/2012	-65.972769	65.97276926	4352.406284	
7/11/2012	-12.781638	12.78163825	163.3702763	
M.O.	-29.445004	31.9395194	1555.452706	39.43922801

Day	ME%	MAE%
1/11/2012	-9.9268899	9.92688985
2/11/2012	-1.6344696	1.634469599
3/11/2012	1.46021713	1.460217131
4/11/2012	-8.3834568	8.383456809
5/11/2012	-2.9798637	2.979863651
6/11/2012	-10.773835	10.77383484
7/11/2012	-2.1052829	2.105282944
M.O.	-4.9062258	5.323430689

Τα στατιστικά αποτελέσματα για το φωτισμό είναι εξαιρετικά καλά, δείχνοντας μία ελάχιστη αισιοδοξία της μεθόδου της τάξεως του 5% και εμφανίζοντας αποκλίσεις στη τιμή των προβλέψεων περίπου 5.3%.

## 6.4 Παραγωγή προβλέψεων για τη συνολική κατανάλωση του κτιρίου

Έχοντας διαθέσιμες τις εβδομαδιαίες προβλέψεις κάθε χρήσης του εστιατορίου, είναι πλέον πολύ εύκολο να υπολογιστούν και οι αντίστοιχες ημερήσιες συνολικές καταναλώσεις με μία απλή συνάθροιση των επιμέρους καταναλώσεων. Τα στοιχεία φαίνονται καταχωρημένα στον παρακάτω πίνακα:

Day	Kwh Συνολική ή Κατά/ση	forecast kitchen1	forecast kitchen2	forecasts/ c	forecast fryers	forecast lights	forecast Συνολική Κατά/ση
1/11/2012	2252.739	579.322	437.465	396.2419	361.2875	646.0089	2420.326
2/11/2012	2272.101	368.072	302.0829	399.1489	278.8617	602.5187	1950.685
3/11/2012	2550.088	328.023	291.358	405.886	282.3684	589.1806	1896.816
4/11/2012	2523.604	390.2391	339.3794	359.3128	312.9879	640.8097	2042.729
5/11/2012	2163.014	624.509	516.9215	368.931	387.1452	639.2548	2536.762
6/11/2012	2244.768	599.480	472.8116	298.8419	371.8767	678.3153	2421.326
7/11/2012	2110.074	516.263	432.9509	353.9452	339.0651	619.9037	2262.128

Συγκρίνοντας λοιπόν τα πραγματικά δεδομένα των καταναλώσεων (δεύτερη στήλη) με τις προβλέψεις (τελευταία στήλη) για τον ορίζοντα των επτά ημερών καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

Σφάλμα	ME	MAE	MSE	RMSE
1/11/2012	-167.587	167.5872	28085.47	
2/11/2012	321.4164	321.4164	103308.5	
3/11/2012	653.2718	653.2718	426764.1	
4/11/2012	480.8748	480.8748	231240.6	
5/11/2012	-373.748	373.7478	139687.4	
6/11/2012	-176.558	176.5584	31172.87	
7/11/2012	-152.054	152.0537	23120.34	
M.O.	83.65941	332.2157	140482.7	374.8103

Σφάλμα	ME%	MAE%
1/11/2012	-7.43926	7.439264
2/11/2012	14.14622	14.14622
3/11/2012	25.61762	25.61762
4/11/2012	19.05508	19.05508
5/11/2012	-17.279	17.27902
6/11/2012	-7.86533	7.86533
7/11/2012	-7.20608	7.206084
M.O.	2.71846	14.08695

Όπως φαίνεται απ' τη στατιστική αυτή μελέτη, η μέθοδος εμφανίζει μία μικρή απαισιοδοξία της τάξεως του 2.7%, ενώ κατά απόλυτη τιμή οι προβλέψεις αποκλίνουν των πραγματικών τιμών κατά 14%. Η μεθοδολογία θα μπορούσε λοιπόν κανείς να πει πως ανταποκρίθηκε σχετικά καλά στο συγκεκριμένο παράδειγμα, εμφανίζοντας μεγάλη αμεροληψία ως προς την προκατάληψη και απόλυτο σφάλμα που, αν και δεν είναι μηδενικό, δεν μπορεί να θεωρηθεί και υπερβολικό.

Αξίζει να σημειώσει κανείς ότι ενώ για την κουζίνα και τις φριτέζες είχαμε αποκλίσεις κοντά στο 25% κατά απόλυτη τιμή, οι τελικές προβλέψεις είναι βελτιωμένες περίπου κατά δέκα ποσοστιαίες μονάδες. Αυτό έχει να κάνει κυρίως με το γεγονός ότι ο φωτισμός, στον οποίο η μέθοδος εμφάνισε εξαιρετικά αποτελέσματα, αποτελεί περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης, οπότε και επηρέασε σημαντικά τις τελικές προβλέψεις περιορίζοντας την απόκλισή τους.

Επίσης, κάποιος μπορεί να προσέξει ότι για όλες τις καταναλώσεις που αφορούν την παρασκευή φαγητού (κουζίνα 1&2, φριτέζες), εκτός απ' το ότι μελετήθηκαν από το ίδιο EPI, εμφανίζουν παρόμοια μέσα απόλυτα σφάλματα (από 25 έως 27 τις εκατό) και μέσα σφάλματα (από -4 έως -9 τις εκατό). Αυτό έχει να κάνει μάλλον με το γεγονός ότι και οι τρεις χρονοσειρές διαθέτουν πανομοιότυπη εποχιακότητα και διακυμάνσεις, γεγονός που οδηγεί στην εξέτασή τους υπό κοινή μέθοδο πρόβλεψης (μοντέλο Theta) και παραγωγή παραπλήσιων αστοχιών.







# Κεφάλαιο 7: Case-Study σε γραφεία τύπου τραπεζής

## 7.1 Περιγραφή του προβλήματος και δομή της μελέτης

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα εφαρμοστεί η μέθοδος πρόβλεψης που δημιουργήθηκε στο κεφάλαιο 5 για μία ομάδα πέντε υποκαταστημάτων τραπεζών που βρίσκονται στο νομό Αττικής. Συγκεκριμένα, αυτά εντοπίζονται στις περιοχές Αττική, Γλυφάδα, κέντρο Αθηνών, Παλλήνη και Χολαργό.

Στόχος είναι να δοκιμασθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου κάτω από ένα ελαφρώς διαφοροποιημένο πρίσμα από αυτό του κεφαλαίου 6. Έτσι, σε αντίθεση με πριν που εξετάστηκε το ταχυφαγείο ως μία μοναδική οντότητα, σε αυτό το case-study θα μελετηθούν κτήρια του ίδιου τύπου ψάχνοντας συσχετίσεις μεταξύ τους για την επιλογή των πιο αντιπροσωπευτικών EPI's ανά χρήση. Αντί να εξετάσουμε δηλαδή τη συσχέτιση των καταναλώσεων κάθε καταστήματος με τους διάφορους παράγοντες από τους οποίους μπορεί να επηρεάζονται ξεχωριστά, θα εντοπίσουμε τη συσχέτιση που παρουσιάζουν ως σύνολο. Αυτό θα μας δώσει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε στη μελέτη μας κάποιους ενεργειακούς δείκτες, όπως η κατανάλωση ανά τετραγωνικό μέτρο ή εργαζόμενο, που προηγουμένως δεν μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε λόγω της μηδαμινής συσχέτισης την οποία δίνανε, ενώ παράλληλα θα γίνει δυνατή η σύγκριση της αποδοτικότητας κτιρίων του ίδιου τύπου.

Για τα παραπάνω υποκαταστήματα δόθηκαν μετρήσεις για τις καταναλώσεις που αφορούν το φωτισμό, τον κλιματισμό και τις συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες σε συστήματα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας-σταθεροποιητές (UPS). Στην τελευταία χρήση συμπεριλαμβάνονται ηλεκτρονικές συσκευές όπως το σύστημα ασφαλείας της τράπεζας, οι κάμερες, τα χρηματοκιβώτια και ο server του υποκαταστήματος. Αυτές θα είναι και οι χρήσεις οι οποίες θα θεωρήσουμε στην παρούσα μελέτη. Ακόμα δόθηκε η ωφέλιμη έκτασή τους, ο αριθμός των εργαζομένων που απασχολούν και υπολογίστηκε η επί τις εκατό κατανάλωση κάθε χρήσης. Με αυτά τα στοιχεία παράχθηκαν τρεις δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης ( $kWh/m^2$ ,  $kWh/employee$ , % κατανάλωση) ως προς τους οποίους θα μελετηθεί η κάθε χρήση ξεχωριστά και το σύνολο των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Τα στοιχεία εκτείνονται από τις 17-1-2013 έως και τις 24-3-2013 (δύο μήνες), με την τελευταία εβδομάδα να χρησιμοποιείται όπως και το προηγούμενο case-study ως μέρος της out-of sample αξιολόγησης της μεθόδου.

## 7.2 Εύρεση βέλτιστου ενεργειακού δείκτη κατανάλωσης ανά χρήση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για κάθε μία από τις τρεις χρήσεις των κτηρίων υπολογίστηκε η συσχέτιση που εμφανίζει η κατανάλωσή τους στα πέντε καταστήματα ως προς τον αριθμό εργαζομένων, την ωφέλιμη έκταση του καταστήματος και την επί της εκατό κατανάλωση.

Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε ο μέσος αριθμός εργαζομένων, τετραγωνικών μέτρων και επί της εκατό κατανάλωσης. Παρακάτω φαίνονται αυτά τα στοιχεία.

Κατάστημα	m2	εργαζόμενοι
Αττική	450	7
Γλυφάδα	416	11
Κέντρο	433	8
Παλλήνη	217	8
Χολαργός	408	6
M.O.	384.8	8

Κατάστημα/% ανά Χρήση	A/C	Φώτα	UPS
Αττική	44.92316	53.22993	1.846907
Γλυφάδα	21.7392	39.10747	39.15333
Κέντρο	16.79245	46.87499	36.33226
Παλλήνη	19.82702	57.43116	22.74181
Χολαργός	37.98864	41.3154	15.87583
M.O.	28.25409	47.59179	23.19003

Με βάση αυτά υπολογίζονται κατά τα γνωστά οι ανάλογες συσχετίσεις ανά χρήση οι οποίες είναι οι εξής:

### 1.Κλιματισμός

EPI	$\sigma$
kWh/m2	0.353271
kWh/employee	-0.68893
%	<b>0.973744</b>

### 2.Φωτισμός

EPI	$\sigma$
kWh/m2	-0.29476
<b>kWh/employee</b>	<b>-0.85004</b>
%	0.245925

### 3.UPS

<b>EPI</b>	<b>σ</b>
kWh/m <sup>2</sup>	-0.07453
kWh/employee	0.609161
<b>%</b>	<b>0.965522</b>

Συμπερασματικά, οι δείκτες συσχέτισης λένε ότι για τον κλιματισμό και τις συσκευές UPS αντιπροσωπευτικότερος δείκτης είναι η επί τις εκατό κατανάλωση, ενώ για το φωτισμό η κατανάλωση ανά εργαζόμενο.

Οι αναλυτικές καταναλώσεις που χρησιμοποιούνται ως στοιχεία στο case-study ανά χρήση παρουσιάζονται συγκεντρωμένες ανά χρήση στους παρακάτω πίνακες:

<b>Ημερήσια συνολική κατανάλωση σε kWh ανά υποκατάστημα</b>						
H/M	Day	Αττική	Γλυφάδα	Κέντρο	Παλλήνη	Χολαργός
17/1/2013	Πέμπτη	206.2001953	163.8999023	135	174	236.9003906
18/1/2013	Παρασκευή	215.5	160.9995117	133.7001953	176.5996094	241.5996094
19/1/2013	Σάββατο	73.09960938	73.30078125	71.79980469	81	88.60058594
20/1/2013	Κυριακή	73.10058594	73.19921875	72	83	88.20019531
21/1/2013	Δευτέρα	216.7001953	157.3007813	149	187.7998047	236.2998047
22/1/2013	Τρίτη	213.5	161.7998047	140.2998047	165.9003906	244.7001953
23/1/2013	Τετάρτη	190.3994141	169.5996094	127.0996094	160.5	240.5996094
24/1/2013	Πέμπτη	185.1005859	155.1005859	142	157.7998047	220.7001953
25/1/2013	Παρασκευή	211.5996094	162.5	125.3007813	172.5	222.0996094
26/1/2013	Σάββατο	79.90039063	73.09960938	71.19921875	86.40039063	90.60058594
27/1/2013	Κυριακή	79.39941406	72.79980469	70.90039063	85	87.89941406
28/1/2013	Δευτέρα	231.6005859	171.9003906	164.9003906	181.3994141	232
29/1/2013	Τρίτη	240.2998047	178.5996094	176.7998047	193.2998047	220.9003906
30/1/2013	Τετάρτη	241.8994141	173.1005859	151.5996094	193.8007813	244.0996094
31/1/2013	Πέμπτη	230	166.3994141	135.7998047	183	230.2998047
1/2/2013	Παρασκευή	215.3007813	163.9003906	135.4003906	184.1992188	255.3007813
2/2/2013	Σάββατο	80.79980469	74.79980469	77.70019531	99.70019531	159.1992188
3/2/2013	Κυριακή	80.59960938	75.40039063	77.59960938	98.79980469	158.2001953
4/2/2013	Δευτέρα	213.5	151.5	136.7001953	179.8007813	265.6005859
5/2/2013	Τρίτη	189.2001953	142.3994141	126.2998047	174.8994141	261.1992188
6/2/2013	Τετάρτη	190.9003906	148	138	155.2998047	254.2001953
7/2/2013	Πέμπτη	178.2998047	150.2001953	125.6005859	155.4003906	262.4003906
8/2/2013	Παρασκευή	202.2998047	145.5996094	152.5996094	141	276.7998047
9/2/2013	Σάββατο	77.29980469	70.30078125	150.2998047	87	164.0996094
10/2/2013	Κυριακή	76.79980469	70.19921875	149.1005859	86.59960938	159.6005859
11/2/2013	Δευτέρα	228.1005859	166.2001953	158.5996094	158	282.5
12/2/2013	Τρίτη	218.3994141	157.5	130.7001953	178.5996094	262.2998047
13/2/2013	Τετάρτη	215.6005859	183	154.7001953	186.1015625	274
14/2/2013	Πέμπτη	226.5	161.7998047	141	177.5	278.5996094
15/2/2013	Παρασκευή	205.5	158.8007813	140.0996094	205.7988281	275.8007813

16/2/2013	Σάββατο	82.80078125	72.59960938	73.40039063	91.59960938	162.5
17/2/2013	Κυριακή	78.19921875	77	76.79980469	97.5	187.4003906
18/2/2013	Δευτέρα	235.3007813	178.2998047	148.3994141	209.8007813	297.1992188
19/2/2013	Τρίτη	233.0996094	171.9003906	168	202.1992188	268.2011719
20/2/2013	Τετάρτη	227.5996094	162.5996094	142.7001953	199.5996094	271.4003906
21/2/2013	Πέμπτη	215.7001953	164.5	171	193	269.6992188
22/2/2013	Παρασκευή	202.2998047	143.7001953	148.5	180.2011719	246.0996094
23/2/2013	Σάββατο	68.40039063	118.2998047	107.7998047	88.3984375	156.2011719
24/2/2013	Κυριακή	68	119.2998047	93.60058594	89	157.7988281
25/2/2013	Δευτέρα	186.3007813	174.6005859	153.2998047	161.1015625	245.0996094
26/2/2013	Τρίτη	161	153.7001953	152.0996094	159	248.8007813
27/2/2013	Τετάρτη	190.2988281	150.1992188	157.3007813	158.5996094	271.1992188
28/2/2013	Πέμπτη	184.2011719	161.2001953	144.3994141	174.5	265
1/3/2013	Παρασκευή	196.5996094	156.2998047	156.2998047	181.4003906	297.9003906
2/3/2013	Σάββατο	65.29882813	73.80078125	71.30078125	84.8984375	162.7011719
3/3/2013	Κυριακή	64.70117188	73	70.79980469	83.90039063	158
4/3/2013	Δευτέρα	203.6992188	170.3994141	154.2998047	162.4003906	270
5/3/2013	Τρίτη	189.5	158	149.5	161.6992188	258.2988281
6/3/2013	Τετάρτη	188.5996094	162.2998047	163.1992188	161.2011719	274
7/3/2013	Πέμπτη	190.5	162.4003906	170.1015625	148.2988281	258.3007813
8/3/2013	Παρασκευή	181.7011719	161.5	151.0996094	161.7011719	261.5996094
9/3/2013	Σάββατο	71.69921875	92	90	86.29882813	164.8007813
10/3/2013	Κυριακή	71.90039063	92.09960938	90.19921875	87.40039063	162.8984375
11/3/2013	Δευτέρα	177	158.7001953	160.5	150.5	208.5
12/3/2013	Τρίτη	174.4003906	155.7998047	152.0996094	143.2011719	174.6015625
13/3/2013	Τετάρτη	174.4003906	153.1005859	158.8007813	147	203.8984375
14/3/2013	Πέμπτη	173.3984375	156.7001953	151.6992188	140.2988281	188.3007813
15/3/2013	Παρασκευή	185.4003906	160.2998047	151.9003906	143.8007813	192.5
16/3/2013	Σάββατο	70.90039063	76.79980469	70.90039063	83.29882813	87.40039063
17/3/2013	Κυριακή	69	76.20019531	70.5	80	85.90039063
18/3/2013	Δευτέρα	177	158.7001953	160.5	150.5	208.5
19/3/2013	Τρίτη	219.5	163.8007813	148.8007813	156.5	207.0996094
20/3/2013	Τετάρτη	187.7011719	154.5	151.2988281	143	193.2011719
21/3/2013	Πέμπτη	171.2988281	153.4003906	146.2011719	145.0996094	192.1992188
22/3/2013	Παρασκευή	170.2011719	154.1992188	150.6992188	138.5996094	191.5996094
23/3/2013	Σάββατο	71.8984375	77	75.80078125	87.59960938	86.30078125
24/3/2013	Κυριακή	71	77.59960938	75.69921875	87.70117188	86.29882813

Ημερήσια κατανάλωση κλιματισμού σε kWhανά υποκατάστημα						
Η/Μ	Day	Αττική	Γλυφάδα	Κέντρο	Παλλήνη	Χολαργός
17/1/2013	Πέμπτη	122.2998047	40.59997559	10.90014648	49.09985	92.199951
18/1/2013	Παρασκευή	130.9003906	40.70007324	10.69995117	54.5	98.800049
19/1/2013	Σάββατο	19.09960938	7.099975586	10	8.100098	7.1999512

20/1/2013	Κυριακή	19.10009766	7.599975586	10	9.899902	6.5998535
21/1/2013	Δευτέρα	130.1000977	34.30004883	30.39990234	60.30005	87.100098
22/1/2013	Τρίτη	126.7998047	42.69995117	10.40014648	39.90015	91.899902
23/1/2013	Τετάρτη	103.5	43.40002441	10.5	31.59985	88.300049
24/1/2013	Πέμπτη	97.70019531	29.5	24.09985352	29	68.800049
25/1/2013	Παρασκευή	123.8999023	40.79992676	10.70019531	40.69995	76.5
26/1/2013	Σάββατο	19.39990234	7.199951172	10.09985352	8.300049	7.2001953
27/1/2013	Κυριακή	19.10009766	6.900146484	10	7.199951	4.699707
28/1/2013	Δευτέρα	142.8999023	47.30004883	26.80004883	48.5	75.399902
29/1/2013	Τρίτη	152.6000977	53	32.5	66.90015	67.700195
30/1/2013	Τετάρτη	151.1000977	45.39990234	24.19995117	62.3999	90.299805
31/1/2013	Πέμπτη	139.7998047	39.80004883	10.30004883	53.69995	80.200195
1/2/2013	Παρασκευή	127.800293	40.5	18.69995117	52.5	103.8999
2/2/2013	Σάββατο	19.39990234	7.699951172	10.30004883	11.30005	78.600098
3/2/2013	Κυριακή	19.29980469	8.199951172	10.39990234	10.30005	77.5
4/2/2013	Δευτέρα	123.300293	30.40014648	22	45.80005	110.1001
5/2/2013	Τρίτη	99.19970703	26.69995117	17	45.30005	104.8999
6/2/2013	Τετάρτη	105.7001953	30.80004883	31.70019531	28.5	104
7/2/2013	Πέμπτη	93.20019531	34.89990234	21.5	27.7998	117.7998
8/2/2013	Παρασκευή	118.199707	28	11.39990234	15.80005	129.6001
9/2/2013	Σάββατο	19.5	7.399902344	10.39990234	9.699951	84.899902
10/2/2013	Κυριακή	19.10009766	7.5	10.20019531	9.5	80.300293
11/2/2013	Δευτέρα	144.1000977	46.10009766	11.19995117	34.2002	136.1001
12/2/2013	Τρίτη	131.5	36.10009766	12.59985352	48.8999	118
13/2/2013	Τετάρτη	130.199707	54.09985352	26.80004883	52.3999	115.09961
14/2/2013	Πέμπτη	141.9003906	45.90014648	10.40014648	47.8999	133.6001
15/2/2013	Παρασκευή	118.5996094	42.39990234	10.09985352	73.2002	136.1001
16/2/2013	Σάββατο	19.10058594	7	10	9.100098	84.100098
17/2/2013	Κυριακή	20.80078125	6.800048828	10.10009766	8.699707	104.2998
18/2/2013	Δευτέρα	147.5	56.69995117	18.5	74.6001	154.80029
19/2/2013	Τρίτη	140.6992188	53.5	39	64.5	127
20/2/2013	Τετάρτη	132.6005859	39.60009766	36	58.8999	131.69971
21/2/2013	Πέμπτη	122	42.09985352	45.69995117	62.6001	132.1001
22/2/2013	Παρασκευή	108.2998047	44.80004883	42	49.7998	109
23/2/2013	Σάββατο	8.900390625	52.19995117	45.30004883	10.2002	79.100098
24/2/2013	Κυριακή	8.799804688	55.70019531	31.19995117	10.7002	80.299805
25/2/2013	Δευτέρα	95.09960938	55.29980469	48.30004883	31	100.3999
26/2/2013	Τρίτη	70.70019531	36.20019531	38.09985352	31.69971	107.1001
27/2/2013	Τετάρτη	96.79980469	32.19995117	40.40014648	31.5	122.3999
28/2/2013	Πέμπτη	92.70019531	37.30004883	21	44	107.90039
1/3/2013	Παρασκευή	106	41.19995117	37.29980469	46.8999	124.09961
2/3/2013	Σάββατο	9.299804688	10.59985352	9.800048828	9.200195	84.300293
3/3/2013	Κυριακή	8.700195313	9.800048828	9.699951172	8.600098	79.5
4/3/2013	Δευτέρα	114.7001953	50.90014648	32.40014648	35.19971	119
5/3/2013	Τρίτη	100.5	39.69995117	32.5	34	109.3999

6/3/2013	Τετάρτη	101.5	42.80004883	28.39990234	36.90039	118.3999
7/3/2013	Πέμπτη	101.2001953	44.39990234	28.30004883	23.3999	103.30029
8/3/2013	Παρασκευή	91.09960938	38.80004883	27.69995117	33.19971	97.5
9/3/2013	Σάββατο	10.29980469	11.59985352	10.40014648	12	74.200195
10/3/2013	Κυριακή	10.29980469	12.30004883	10.69995117	13	72.699219
11/3/2013	Δευτέρα	84.30078125	33	43.5	19.6001	50
12/3/2013	Τρίτη	80.79980469	28.60009766	39.09985352	18.3999	26.200195
13/3/2013	Τετάρτη	79.29980469	29.19995117	39.5	16.40039	39.5
14/3/2013	Πέμπτη	78.90039063	24.30004883	32.30004883	14.69971	26.900391
15/3/2013	Παρασκευή	92.39941406	33.5	35.80004883	12.6001	35.299805
16/3/2013	Σάββατο	10.79980469	9.599853516	10.10009766	9.299805	9.0996094
17/3/2013	Κυριακή	9.30078125	9.200195313	10	8.100098	8
18/3/2013	Δευτέρα	84.30078125	33	43.5	19.6001	50
19/3/2013	Τρίτη	128.4003906	38.59985352	38.60009766	31.7998	55.399414
20/3/2013	Τετάρτη	94.89941406	27.5	33.89990234	16.3999	40.900391
21/3/2013	Πέμπτη	79.10058594	25	29.30004883	14.80029	33.599609
22/3/2013	Παρασκευή	77.29980469	31.5	35.30004883	14.3999	36.400391
23/3/2013	Σάββατο	11.40039063	10.5	10.19995117	11.1001	9.2998047
24/3/2013	Κυριακή	10	10.80004883	10.30004883	10.7998	8.9003906

<b>Ημερήσια κατανάλωση συσκευών συνδεδεμένων σε UPS σε kWh ανά υποκατάστημα</b>						
Η/Μ	Day	Αττική	Γλυφάδα	Μακρυγιάννη	Παλλήνη	Χολαργός
17/1/2013	Πέμπτη	2.5	52.5	48.39990234	27.39990234	32.30004883
18/1/2013	Παρασκευή	2.399993896	52.39990234	46.90014648	27.39990234	32
19/1/2013	Σάββατο	2.5	39.20019531	33	22.10009766	25.69995117
20/1/2013	Κυριακή	2.400009155	38.89990234	32.89990234	22.10009766	25.59997559
21/1/2013	Δευτέρα	2.399993896	51.30004883	39.69995117	28	32.80004883
22/1/2013	Τρίτη	2.5	52	48.19995117	27.69995117	33.5
23/1/2013	Τετάρτη	2.5	53	48.40014648	31.59985352	33.69995117
24/1/2013	Πέμπτη	2.399993896	52.89990234	49.19995117	31.80004883	33.80004883
25/1/2013	Παρασκευή	2.5	52.19995117	48.20019531	31.10009766	33.60009766
26/1/2013	Σάββατο	2.400009155	39.10009766	32.19970703	27.5	26.89990234
27/1/2013	Κυριακή	2.399993896	39.19995117	32.20019531	27.59985352	26.89990234
28/1/2013	Δευτέρα	2.5	52.80004883	50.69970703	31.20019531	33.90014648
29/1/2013	Τρίτη	2.400009155	53.89990234	59.30029297	30.59985352	33.69995117
30/1/2013	Τετάρτη	2.5	54.90014648	47.79980469	31	33.10009766
31/1/2013	Πέμπτη	2.399993896	53.80004883	50.30029297	31.19995117	33
1/2/2013	Παρασκευή	2.5	54	51.89990234	30.70019531	33
2/2/2013	Σάββατο	2.5	40.79980469	36.69970703	28.09985352	25.79980469
3/2/2013	Κυριακή	2.399993896	40.90014648	36.5	28.19995117	25.80004883
4/2/2013	Δευτέρα	2.400009155	53.19995117	48.90039063	31.70019531	34.10009766
5/2/2013	Τρίτη	2.399993896	51.80004883	44.69970703	32.09985352	35.5
6/2/2013	Τετάρτη	2.5	52.09985352	40.10009766	33.10009766	34.89990234
7/2/2013	Πέμπτη	2.400009155	50.80004883	40.20019531	33	34.10009766
8/2/2013	Παρασκευή	2.399993896	50.40014648	47.59960938	31.89990234	33.09985352



9/2/2013	Σάββατο	2.399993896	39	34.90039063	29.30004883	26.90014648
10/2/2013	Κυριακή	2.5	39	35.09960938	29.19995117	26.80004883
11/2/2013	Δευτέρα	2.300003052	50.89990234	49.40039063	32	33.39990234
12/2/2013	Τρίτη	2.5	55.10009766	53.09960938	32.19995117	34.60009766
13/2/2013	Τετάρτη	2.400009155	57.89990234	58.90039063	32.70019531	35.39990234
14/2/2013	Πέμπτη	2.5	53.39990234	58.19970703	32.5	32.80004883
15/2/2013	Παρασκευή	2.399993896	52.80029297	58.80029297	33.19995117	32.89990234
16/2/2013	Σάββατο	2.5	41.69970703	34.09960938	30.59985352	25.80004883
17/2/2013	Κυριακή	2.600006104	43.69970703	35.5	31.69995117	27
18/2/2013	Δευτέρα	2.399993896	54.20019531	48.5	33.39990234	32.60009766
19/2/2013	Τρίτη	2.5	53	46.39990234	33.69995117	32.60009766
20/2/2013	Τετάρτη	2.400009155	56.19970703	42.70019531	34.5	32.09985352
21/2/2013	Πέμπτη	2.399993896	56.20019531	54.20019531	34.40014648	32.40014648
22/2/2013	Παρασκευή	2.5	41.5	38.89990234	34.09985352	31.69995117
23/2/2013	Σάββατο	2.5	41.60009766	34.19970703	30.90014648	25.80004883
24/2/2013	Κυριακή	2.5	39.10009766	34.20019531	30.80004883	25.69995117
25/2/2013	Δευτέρα	2.400009155	52.29980469	41.29980469	34.19995117	33.19995117
26/2/2013	Τρίτη	2.399993896	51.79980469	48.60009766	34.5	32.89990234
27/2/2013	Τετάρτη	2.5	51.90039063	48.80029297	34.30004883	33.20019531
28/2/2013	Πέμπτη	2.399993896	53.19970703	47.19970703	34.39990234	33.69995117
1/3/2013	Παρασκευή	2.5	50.80029297	49.80029297	33.70019531	33.19995117
2/3/2013	Σάββατο	2.400009155	38.69970703	34.09960938	28.39990234	25.80004883
3/3/2013	Κυριακή	2.5	38.60009766	34	28.29980469	25.89990234
4/3/2013	Δευτέρα	2.399993896	52.10009766	47.80029297	32.39990234	32.90014648
5/3/2013	Τρίτη	2.500015259	50.10009766	50.10009766	32	33
6/3/2013	Τετάρτη	2.399993896	52.19970703	51.19970703	30.80029297	33.09985352
7/3/2013	Πέμπτη	2.5	51.60009766	59.70019531	31.39990234	32.90014648
8/3/2013	Παρασκευή	2.5	57.20019531	53.5	31.89990234	34.69995117
9/3/2013	Σάββατο	2.399993896	56.69970703	46.60009766	26.89990234	33.5
10/3/2013	Κυριακή	2.5	56.20019531	46.29980469	26.80029297	33.5
11/3/2013	Δευτέρα	2.399993896	60.10009766	50.20019531	31.19970703	35.80004883
12/3/2013	Τρίτη	2.5	59.89990234	48.79980469	31.60009766	34.39990234
13/3/2013	Τετάρτη	2.399993896	61.79980469	54.60009766	31.39990234	36.39990234
14/3/2013	Πέμπτη	2.400024414	58.20019531	50.10009766	31.10009766	35.70019531
15/3/2013	Παρασκευή	2.299987793	55.19970703	47.5	31.5	33.09985352
16/3/2013	Σάββατο	2.399993896	41.90039063	33.5	26.70019531	25.69995117
17/3/2013	Κυριακή	2.300018311	41.89990234	33.59960938	26.60009766	25.70019531
18/3/2013	Δευτέρα	2.399993896	60.10009766	50.20019531	31.19970703	35.80004883
19/3/2013	Τρίτη	2.399993896	53.89990234	39.70019531	31.80029297	33.40014648
20/3/2013	Τετάρτη	2.299987793	54.89990234	48.5	32.79980469	33
21/3/2013	Πέμπτη	2.400024414	55.20019531	45.60009766	33.20019531	33
22/3/2013	Παρασκευή	2.399993896	53.20019531	46.60009766	32.5	32.79980469
23/3/2013	Σάββατο	2.299987793	41.59960938	33.39990234	29	25.70019531
24/3/2013	Κυριακή	2.399993896	41.40039063	33.39990234	28.79980469	25.59985352

Ημερήσια κατανάλωση φωτισμού σε kWhανά υποκατάστημα						
H/M	Day	Αττική	Γλυφάδα	Μακρυγιάννη	Παλλήνη	Χολαργός
17/1/2013	Πέμπτη	81.40039063	70.79992676	75.69995117	97.50024414	112.4003906
18/1/2013	Παρασκευή	82.19961548	67.89953613	76.10009766	94.69970703	110.7995605
19/1/2013	Σάββατο	51.5	27.00061035	28.79980469	50.79980469	55.70068359
20/1/2013	Κυριακή	51.60047913	26.69934082	29.10009766	51	56.00036621
21/1/2013	Δευτέρα	84.20010376	71.70068359	78.90014648	99.49975586	116.3996582
22/1/2013	Τρίτη	84.20019531	67.09985352	81.69970703	98.30029297	119.300293
23/1/2013	Τετάρτη	84.39941406	73.19958496	68.19946289	97.30029297	118.5996094
24/1/2013	Πέμπτη	85.00039673	72.70068359	68.70019531	96.99975586	118.1000977
25/1/2013	Παρασκευή	85.19970703	69.50012207	66.40039063	100.6999512	111.9995117
26/1/2013	Σάββατο	58.10047913	26.79956055	28.8996582	50.6003418	56.50048828
27/1/2013	Κυριακή	57.89932251	26.69970703	28.70019531	50.20019531	56.29980469
28/1/2013	Δευτέρα	86.20068359	71.80029297	87.40063477	101.6992188	122.6999512
29/1/2013	Τρίτη	85.29969788	71.69970703	84.99951172	95.79980469	119.5002441
30/1/2013	Τετάρτη	88.29931641	72.80053711	79.59985352	100.4008789	120.699707
31/1/2013	Πέμπτη	87.80020142	72.79931641	75.19946289	98.10009766	117.0996094
1/2/2013	Παρασκευή	85.00048828	69.40039063	64.80053711	100.9990234	118.4008789
2/2/2013	Σάββατο	58.89990234	26.30004883	30.70043945	60.30029297	54.79931641
3/2/2013	Κυριακή	58.89981079	26.30029297	30.69970703	60.29980469	54.90014648
4/2/2013	Δευτέρα	87.79969788	67.89990234	65.79980469	102.3005371	121.4003906
5/2/2013	Τρίτη	87.60049438	63.89941406	64.60009766	97.49951172	120.7993164
6/2/2013	Τετάρτη	82.70019531	65.10009766	66.19970703	93.69970703	115.300293
7/2/2013	Πέμπτη	82.69960022	64.50024414	63.90039063	94.60058594	110.5004883
8/2/2013	Παρασκευή	81.70010376	67.19946289	93.60009766	93.30004883	114.0998535
9/2/2013	Σάββατο	55.39981079	23.90087891	104.9995117	48	52.29956055
10/2/2013	Κυριακή	55.19970703	23.69921875	103.8007813	47.8996582	52.50024414
11/2/2013	Δευτέρα	81.70048523	69.20019531	97.99926758	91.79980469	113
12/2/2013	Τρίτη	84.39941406	66.29980469	65.00073242	97.49975586	109.699707
13/2/2013	Τετάρτη	83.00086975	71.00024414	68.99975586	101.0014648	123.5004883
14/2/2013	Πέμπτη	82.09960938	62.49975586	72.40014648	97.10009766	112.1994629
15/2/2013	Παρασκευή	84.50039673	63.60058594	71.19946289	99.39868164	106.8007813
16/2/2013	Σάββατο	61.20019531	23.89990234	29.30078125	51.8996582	52.59985352
17/2/2013	Κυριακή	54.7984314	26.50024414	31.19970703	57.1003418	56.10058594
18/2/2013	Δευτέρα	85.40078735	67.3996582	81.39941406	101.8007813	109.7988281
19/2/2013	Τρίτη	89.90039063	65.40039063	82.60009766	103.9992676	108.6010742
20/2/2013	Τετάρτη	92.59901428	66.79980469	64	106.199707	107.6008301
21/2/2013	Πέμπτη	91.30020142	66.19995117	71.09985352	95.99975586	105.1989746
22/2/2013	Παρασκευή	91.5	57.40014648	67.60009766	96.30151367	105.3996582
23/2/2013	Σάββατο	57	24.49975586	28.30004883	47.2980957	51.30102539
24/2/2013	Κυριακή	56.70019531	24.49951172	28.20043945	47.49975586	51.79907227
25/2/2013	Δευτέρα	88.80116272	67.00097656	63.69995117	95.90161133	111.4997559
26/2/2013	Τρίτη	87.89981079	65.70019531	65.3996582	92.80029297	108.8007813
27/2/2013	Τετάρτη	90.99902344	66.09887695	68.1003418	92.79956055	115.5991211

28/2/2013	Πέμπτη	89.10098267	70.70043945	76.19970703	96.10009766	123.3996582
1/3/2013	Παρασκευή	88.09960938	64.29956055	69.19970703	100.800293	140.6008301
2/3/2013	Σάββατο	53.59901428	24.5012207	27.40112305	47.29833984	52.60083008
3/3/2013	Κυριακή	53.50097656	24.59985352	27.09985352	47.00048828	52.60009766
4/3/2013	Δευτέρα	86.59902954	67.39916992	74.09936523	94.80078125	118.0998535
5/3/2013	Τρίτη	86.49998474	68.19995117	66.89990234	95.69921875	115.8989258
6/3/2013	Τετάρτη	84.69961548	67.30004883	83.59960938	93.50048828	122.5002441
7/3/2013	Πέμπτη	86.79980469	66.40039063	82.10131836	93.49902344	122.1003418
8/3/2013	Παρασκευή	88.1015625	65.49975586	69.8996582	96.6015625	129.3996582
9/3/2013	Σάββατο	58.99942017	23.70043945	32.99975586	47.39892578	57.10058594
10/3/2013	Κυριακή	59.10058594	23.59936523	33.19946289	47.60009766	56.69921875
11/3/2013	Δευτέρα	90.29922485	65.60009766	66.79980469	99.70019531	122.6999512
12/3/2013	Τρίτη	91.10058594	67.29980469	64.19995117	93.20117188	114.0014648
13/3/2013	Τετάρτη	92.70059204	62.10083008	64.70068359	99.19970703	127.9985352
14/3/2013	Πέμπτη	92.09802246	74.19995117	69.29907227	94.49902344	125.7001953
15/3/2013	Παρασκευή	90.70098877	71.60009766	68.6003418	99.70068359	124.1003418
16/3/2013	Σάββατο	57.70059204	25.29956055	27.30029297	47.29882813	52.60083008
17/3/2013	Κυριακή	57.39920044	25.10009766	26.90039063	45.29980469	52.20019531
18/3/2013	Δευτέρα	90.29922485	65.60009766	66.79980469	99.70019531	122.6999512
19/3/2013	Τρίτη	88.69961548	71.30102539	70.50048828	92.89990234	118.3000488
20/3/2013	Τετάρτη	90.50177002	72.10009766	68.89892578	93.80029297	119.3007813
21/3/2013	Πέμπτη	89.79821777	73.20019531	71.30102539	97.09912109	125.5996094
22/3/2013	Παρασκευή	90.50137329	69.49902344	68.79907227	91.69970703	122.3994141
23/3/2013	Σάββατο	58.19805908	24.90039063	32.20092773	47.49951172	51.30078125
24/3/2013	Κυριακή	58.6000061	25.39916992	31.99926758	48.1015625	51.79858398

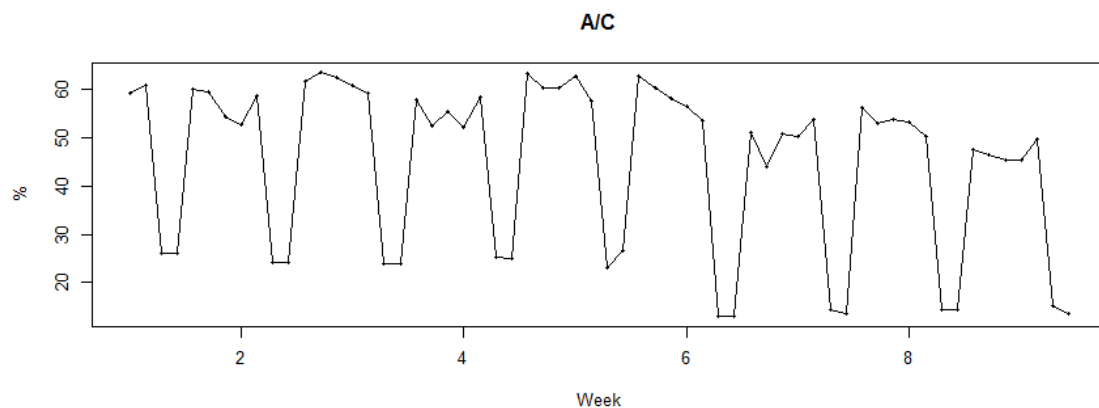
## 7.3 Παραγωγή προβλέψεων ανά χρήση

Σε αυτήν την παράγραφο θα παραχθούν προβλέψεις για τις ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά χρήση και κατάσταση, όπως αυτό έχει ορισθεί από τη μεθοδολογία του κεφαλαίου 5 και με τη βοήθεια των δεικτών που ξεχώρισαν στην προηγούμενη παράγραφο. Η διαδικασία θα παρουσιαστεί αναλυτικά για το κατάσταση της Αττικής και για τα υπόλοιπα καταστήματα θα υπάρξει μία πιο συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

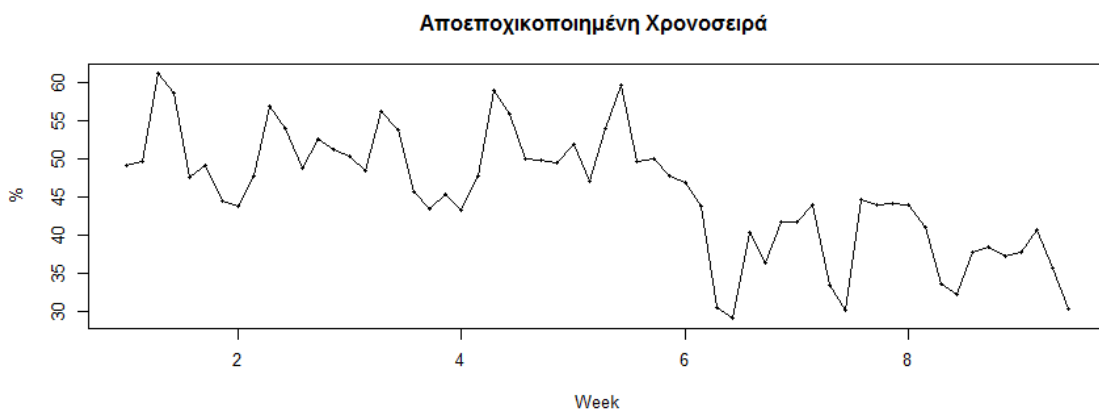
### 7.3.1 Υποκατάστημα Αττικής

#### 7.3.1.1 Κλιματισμός

Για τη μελέτη της κατανάλωσης στον κλιματισμό χρησιμοποιήθηκε η επί τις εκατό κατανάλωση της χρήσης. Έτσι, αφού υπολογίστηκε σε ημερήσια βάση, τα δεδομένα αποποινικοποιήθηκαν βάση της κλασικής πολλαπλασιαστικής μεθόδου και προχώρησαν στη διαδικασία του διαγωνισμού των μεθόδων πρόβλεψης με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του μέσου απολύτου σφάλματος. Η αρχική χρονοσειρά φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.1.1 ενώ η αποεποχικοποιημένη στην 7.3.1.1.2.



Εικόνα 7.3.1.1.1: Η χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής

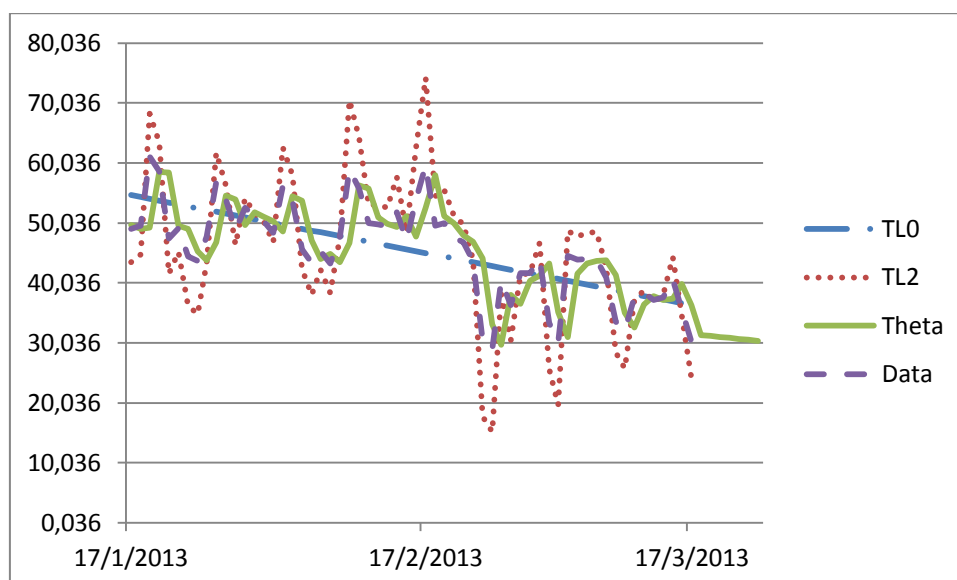


Εικόνα 7.3.1.1.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής

Βάση του διαγωνισμού, η μέθοδος με το μικρότερο MAE βρέθηκε να είναι η Theta, όπως μαρτυρεί και ο παρακάτω πίνακας:

Μέθοδος	MAE
Naïve	4.135293
Ses	4.13766
Holt	4.127786
Damped	4.153868
LRL	4.51573
<b>Theta</b>	<b>4.109543</b>

Μία γραφική απεικόνιση της μεθόδου και των προβλέψεων αυτής φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.1.3.



Εικόνα 7.3.1.1.3: Πρόβλεψη της επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση του κλιματισμού στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου Theta

Βάση των προβλέψεων της μεθόδου, και γνωρίζοντας τους δείκτες εποχιακότητας της χρονοσειράς και τη μέση κατανάλωση στο σύνολο της εγκατάστασης (ίση με 161.6940kWh), υπολογίζεται η κατανάλωση της χρήσης με δύο απλούς πολλαπλασιασμούς για κάθε ημέρα. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της out-of sample ανάλυσης της μεθόδου για ορίζοντα επτά ημερών.

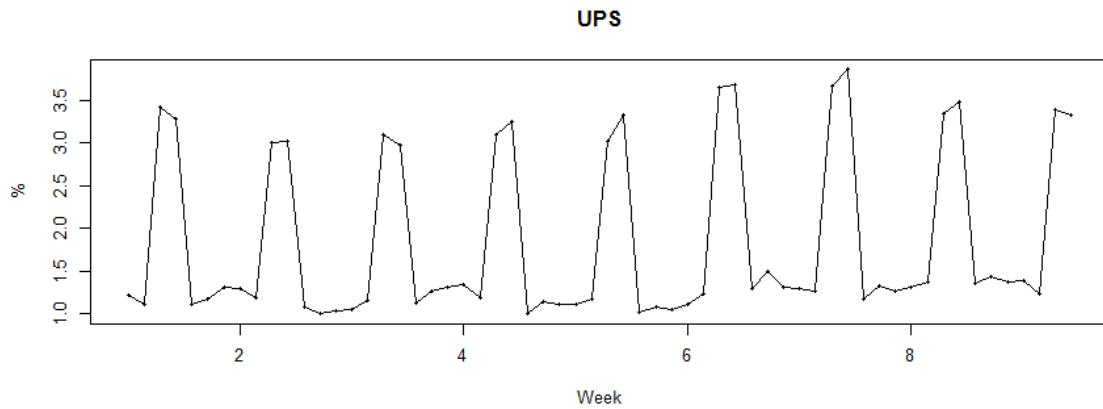
Day	kWh a/c	Forecast	Δ.Ε.	Αποεποχικοποιημένες τιμές	Forecast σε kWh
18/3/2013	84.30078125	31.33679	1.2640861	39.612401	64.050887
19/3/2013	128.4003906	31.18119	1.2078917	37.663501	60.899632
20/3/2013	94.89941406	31.025595	1.221323	37.892273	61.269543
21/3/2013	79.10058594	30.869995	1.2080816	37.293473	60.301319
22/3/2013	77.29980469	30.7144	1.2254806	37.639901	60.861473
23/3/2013	11.40039063	30.5588	0.4273509	13.059331	21.116158
24/3/2013	10	30.403205	0.4457862	13.553329	21.914924

Day	ME	MAE	MSE	RMSE
18/3/2013	20.249894	20.24989429	410.0582186	
19/3/2013	67.500759	67.50075871	4556.352426	
20/3/2013	33.629871	33.62987121	1130.968238	
21/3/2013	18.799267	18.79926663	353.4124259	
22/3/2013	16.438331	16.43833136	270.2187379	
23/3/2013	-9.715767	9.715767434	94.39613684	
24/3/2013	-11.91492	11.91492421	141.9654189	
SUM	19.283919	25.46411626	993.9102289	31.52634183

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	24.0210043	24.0210043
19/3/2013	52.5705244	52.57052442
20/3/2013	35.4373855	35.43738551
21/3/2013	23.7662799	23.76627987
22/3/2013	21.2656829	21.26568292
23/3/2013	-85.22311	85.22310992
24/3/2013	-119.14924	119.1492421
SUM %	-6.7587821	51.63331843

### 7.3.1.2 Συσκευές συνδεδεμένες σε UPS

Για τη μελέτη της κατανάλωσης των συνδεδεμένων σε UPS συσκευών χρησιμοποιήθηκε και πάλι η επί τις εκατό κατανάλωση της χρήσης. Έτσι, αφού υπολογίστηκε σε ημερήσια βάση, τα δεδομένα αποεποχικοποιήθηκαν βάση της κλασικής πολλαπλασιαστικής μεθόδου και προχώρησαν στη διαδικασία του διαγωνισμού των μεθόδων πρόβλεψης με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του μέσου απολύτου σφάλματος. Η αρχική χρονοσειρά φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.2.1 ενώ η αποεποχικοποιημένη στην 7.3.1.2.2.



Εικόνα 7.3.1.2.1: Η χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση των συνδεδεμένων σε UPS συσκευών στο υποκατάστημα Αττικής



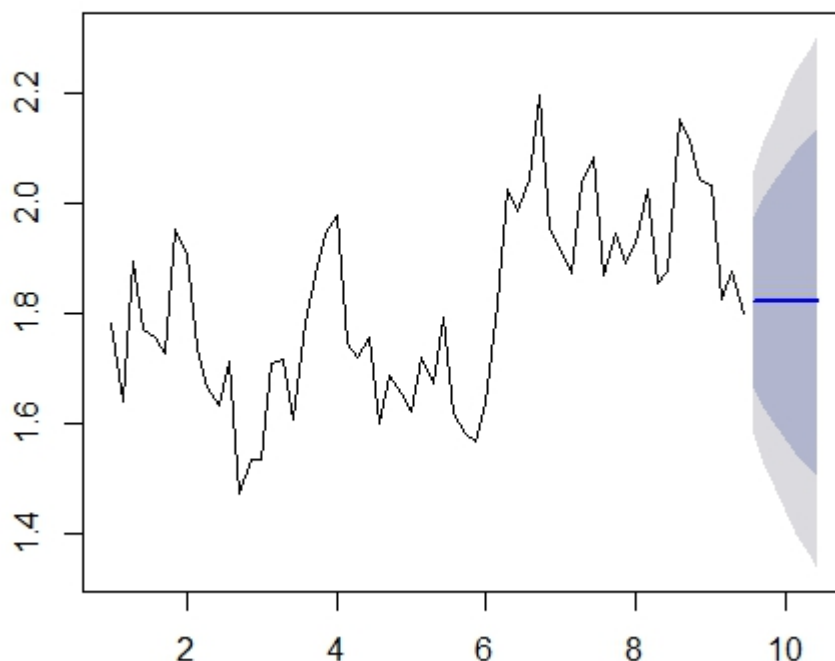
Εικόνα 7.3.1.2.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά με την επί τις εκατό κατανάλωση της χρήση των συνδεδεμένων σε UPS συσκευών στο υποκατάστημα Αττικής

Βάση του διαγωνισμού, η μέθοδος με το μικρότερο MAE βρέθηκε να είναι η Damped, όπως μαρτυρεί και ο παρακάτω πίνακας:

Μέθοδος	MAE
Naïve	0.0984518
Ses	0.0970607
Holt	0.0983598
<b>Damped</b>	<b>0.0970558</b>
LRL	0.1186871
Theta	0.0972619

Μία γραφική απεικόνιση της μεθόδου και των προβλέψεων αυτής φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.2.3.

### Forecasts from Damped Holt's method



Εικόνα 7.3.1.3: Πρόβλεψη της επί τις εκατό κατανάλωση της χρήσης των συνδεδεμένων σε UPS συσκευών στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου Damped

Βάση των προβλέψεων της μεθόδου, και γνωρίζοντας τους δείκτες εποχιακότητας της χρονοσειράς και τη μέση κατανάλωση στο σύνολο της εγκατάστασης υπολογίζεται η κατανάλωση της χρήσης. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της out-of sample ανάλυσης της μεθόδου για οριζόντια επτά ημερών.

Day	kWh ups	Forecast	Δ.Ε.	Εποχικο/μένες τιμές	Forecast In kWh
18/3/2013	2.39999389	1.819914	0.630429	1.147327	1.855159
19/3/2013	2.39999389	1.819898	0.6785306	1.234856	1.996689
20/3/2013	2.29998779	1.819885	0.6730339	1.224844	1.980500
21/3/2013	2.40002441	1.819875	0.6808738	1.239105	2.003559
22/3/2013	2.39999389	1.819866	0.6793815	1.236383	1.999158
23/3/2013	2.29998779	1.819859	1.8042217	3.283429	5.309109
24/3/2013	2.3999938	1.81985	1.853529	3.373151	5.454184

Day	ME	MAE	MSE	RMSE
18/3/2013	0.544835	0.54483534	0.296845548	
19/3/2013	0.403305	0.403304687	0.162654671	
20/3/2013	0.319488	0.319487686	0.102072381	

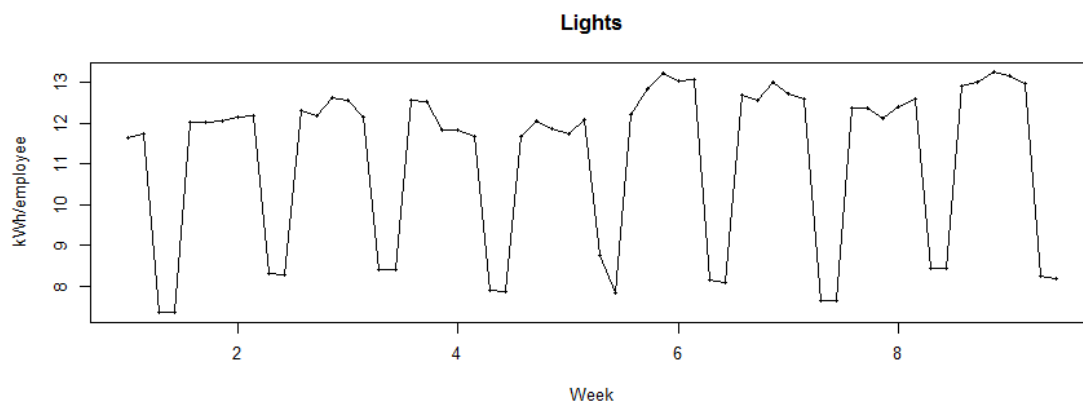


21/3/2013	0.396465	0.396465271	0.157184711	
22/3/2013	0.400836	0.400835925	0.160669439	
23/3/2013	-3.00912	3.009121036	9.054809407	
24/3/2013	-3.05419	3.054190248	9.328078069	
SUM	-0.57119	1.16117717	2.751759175	1.658842722

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	22.7015303	22.70153025
19/3/2013	16.8044047	16.80440471
20/3/2013	13.8908427	13.89084267
21/3/2013	16.5192182	16.51921823
22/3/2013	16.7015394	16.70153936
23/3/2013	-130.83204	130.8320438
24/3/2013	-127.25825	127.2582506
SUM %	-24.496108	49.24397566

### 7.3.1.3 Φωτισμός

Για τη μελέτη της κατανάλωσης στον φωτισμό χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της κατανάλωσης προς τον αριθμό εργαζομένων. Έτσι, αφού υπολογίστηκε σε ημερήσια βάση, τα δεδομένα αποεποχικοποιήθηκαν βάση της κλασικής πολλαπλασιαστικής μεθόδου και προχώρησαν στη διαδικασία του διαγωνισμού των μεθόδων πρόβλεψης με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του μέσου απόλυτου σφάλματος. Η αρχική χρονοσειρά φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.3.1 ενώ η αποεποχικοποιημένη στην 7.3.1.3.2.



Εικόνα 7.3.1.3.1: Η χρονοσειρά kWh/εργαζόμενο της χρήση του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής

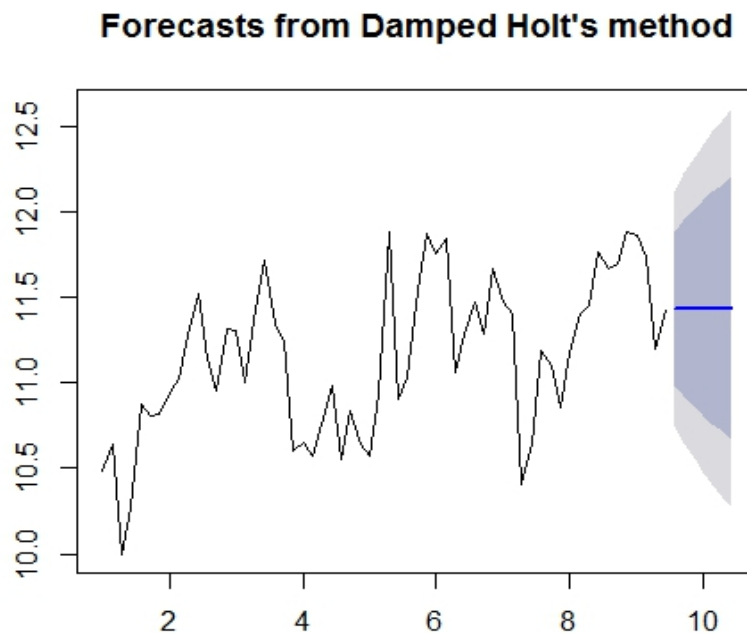


Εικόνα 7.3.1.3.2: Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά kWh/εργαζόμενο της χρήση του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής

Βάση του διαγωνισμού, η μέθοδος με το μικρότερο MAE βρέθηκε να είναι η Damped, όπως μαρτυρεί και ο παρακάτω πίνακας:

Μέθοδος	MAE
Naïve	0.27930280
Ses	0.26827940
Holt	0.266377781
<b>Damped</b>	<b>0.265158767</b>
LRL	0.3173500
Theta	0.26740060

Μία γραφική απεικόνιση της μεθόδου και των προβλέψεων αυτής φαίνεται στην εικόνα 7.3.1.3.3.



Εικόνα 7.3.1.3.3: Πρόβλεψη της χρονοσειράς kWh/εργαζόμενο της χρήσης του φωτισμού στο υποκατάστημα Αττικής μέσω του μοντέλου *Damped*

Βάση των προβλέψεων της μεθόδου, και γνωρίζοντας τους δείκτες εποχιακότητας της χρονοσειράς και τον αριθμό των εργαζομένων (ίσο με επτά) υπολογίζεται εύκολα η κατανάλωση της χρήσης. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της out-of sample ανάλυσης της μεθόδου για ορίζοντα επτά ημερών.

Day	kWh Lights	Forecast	Δ.Ε.	Εποχι/μένες τιμές	Forecast In kWh
18/3/2013	90.29922485	11.43584	1.10562	12.643692	88.505846
19/3/2013	88.69961548	11.436	1.11289	12.726996	89.088974
20/3/2013	90.50177002	11.43615	1.11461	12.746791	89.227538
21/3/2013	89.79821777	11.43628	1.10925	12.685651	88.799559
22/3/2013	90.50137329	11.43639	1.10388	12.624377	88.370639
23/3/2013	58.19805908	11.4365	0.73587	8.415785	58.910497
24/3/2013	58.6000061	11.43659	0.71789	8.210230	57.471607

Day	ME	MAE	MSE	RMSE
18/3/2013	1.793379	1.793378913	3.216207926	
19/3/2013	-0.38935	0.389358739	0.151600228	
20/3/2013	1.274232	1.274232219	1.623667748	
21/3/2013	0.998659	0.998658843	0.997319485	
22/3/2013	2.130734	2.130734059	4.54002763	
23/3/2013	-0.71243	0.712437742	0.507567536	
24/3/2013	1.128399	1.128398859	1.273283986	
M.O.	0.889087	1.203885625	1.758524934	1.326093863

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	1.98604021	1.986040208
19/3/2013	-0.4389633	0.438963277
20/3/2013	1.40796386	1.407963865
21/3/2013	1.11211432	1.112114325
22/3/2013	2.35436655	2.354366549
23/3/2013	-1.2241607	1.224160656
24/3/2013	1.92559512	1.925595122
M.O. %	1.01756516	1.492743429

## 7.3.2 Υποκατάστημα Γλυφάδας

Εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία για το υποκατάστημα της Γλυφάδας, καταλήγουμε σε αντίστοιχες προβλέψεις για τις εκεί χρήσεις. Έτσι, για τον κλιματισμό προβλέπεται κατανάλωση μέσω της μεθόδου SES με μέσο σφάλμα  $-11.932337\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $23.72917813\%$ . Για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε UPS προκύπτουν προβλέψεις μέσω του μοντέλου Holt με μέσο σφάλμα  $-18.507602\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $31.44930954\%$ , ενώ για τον φωτισμό προβλέψεις με αντίστοιχα σφάλματα  $-21.021093\%$  και  $27.10026826\%$  μέσω του μοντέλου Theta. Και για τις τρεις δηλαδή χρήσεις τα μοντέλα εμφανίζονται αρκετά αισιόδοξα, με αποκλίσεις κοντά στο  $27\%$  κατά απόλυτη τιμή.

## 7.3.3 Υποκατάστημα κέντρου Αθήνας

Σε αντίστοιχες προβλέψεις προχωρούμε και για τις χρήσεις στο υποκατάστημα που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας. Εκεί, για τον κλιματισμό προβλέπεται κατανάλωση μέσω της μεθόδου Naive με μέσο σφάλμα  $5.47344576\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $52.13404636\%$ . Για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε UPS προκύπτουν προβλέψεις μέσω του μοντέλου Theta με μέσο σφάλμα  $-27.917344\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $31.39239518\%$ , ενώ για τον φωτισμό προβλέψεις με μέσο και απόλυτο μέσο σφάλμα  $20.8058652\%$  μέσω του μοντέλου Naive. Έτσι, αν και στο σύνολο των χρήσεων δεν υπάρχει προκατάληψη προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, οι αποκλίσεις κατά απόλυτη τιμή είναι σημαντικές.

## 7.3.4 Υποκατάστημα Παλλήνης

Με την ίδια λογική, για το υποκατάστημα της Παλλήνης προβλέπεται για τον κλιματισμό κατανάλωση μέσω της μεθόδου SES με μέσο σφάλμα  $-46.259635\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $48.20936596\%$ , ενώ για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε UPS προκύπτουν προβλέψεις μέσω του μοντέλου Damped με μέσο σφάλμα  $-10.052162\%$  και μέσο απόλυτο σφάλμα  $27.81545145\%$ . Για τον φωτισμό προκύπτουν προβλέψεις μέσω του μοντέλου Theta με μέσο και μέσο απόλυτο σφάλμα  $6.45588134\%$ . Έτσι, αν εξαιρέσει κανείς τις προβλέψεις που σχετίζονται με το φωτισμό, θα λέγαμε ότι τόσο ως προς μέτρο όσο και ως προς κατεύθυνση η μεθοδολογία δεν απέδωσε ιδιαίτερα καλά σε αυτή την περίπτωση.

## 7.3.5 Υποκατάστημα Χολαργού

Για το υποκατάστημα του Χολαργού τώρα, για τον κλιματισμό προβλέπεται κατανάλωση μέσω της μεθόδου Naive με μέσο σφάλμα  $-1.2472065\%$  και μέσο

απόλυτο σφάλμα 71.23514435%. Για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε UPS προκύπτουν προβλέψεις μέσω του μοντέλου SES με μέσο σφάλμα -62.09558% και μέσο απόλυτο σφάλμα 62.09557966%, ενώ για τον φωτισμό προβλέψεις με αντίστοιχα σφάλματα 1.04766796% και 4.313568419% μέσω του μοντέλου SES. Οι προβλέψεις για τον φωτισμό φαίνεται να είναι ιδιαίτερα καλές, με τις προβλέψεις στις υπόλοιπες χρήσεις να υστερούν κυρίως λόγω του μεγάλου ΜΑΕ που εμφανίζουν.

## 7.4 Παραγωγή προβλέψεων για το σύνολο της κατανάλωσης των καταστημάτων

Συναθροίζοντας τις επιμέρους καταναλώσεις μπορούμε εύκολα να προβλέψουμε τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε κατάσταση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά σε δύο πίνακες: Ο πρώτος παρουσιάζει τις προβλέψεις ανά χρήση που συνθέτουν εν τέλει τη συνολική τελική πρόβλεψη για το υποκατάστημα, και ο δεύτερος τα μέσα ποσοστιαία και μέσα απόλυτα ποσοστιαία σφάλματα ανά μέρα.

### 7.4.1 Υποκατάστημα Αττικής

Day	kWh Σύνολο	forecast UPS	forecast a/c	forecast lights	forecast Σύνολο
18/3/2013	177	1.855159	64.05089	88.50585	154.4119
19/3/2013	219.5	1.996689	60.89963	89.08897	151.9853
20/3/2013	187.7012	1.9805	61.26954	89.22754	152.4776
21/3/2013	171.2988	2.003559	60.30132	88.79956	151.1044
22/3/2013	170.2012	1.999158	60.86147	88.37064	151.2313
23/3/2013	71.89844	5.309109	21.11616	58.9105	85.33576
24/3/2013	71	5.454184	21.91492	57.47161	84.84072

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	12.76164	12.76164
19/3/2013	30.75841	30.75841
20/3/2013	18.76578	18.76578
21/3/2013	11.78898	11.78898
22/3/2013	11.14558	11.14558
23/3/2013	-18.6893	18.68932
24/3/2013	-19.494	19.49397
M.O. %	6.719587	17.6291

### 7.4.2 Υποκατάστημα Γλυφάδας

Day	kWh Σύνολο	forecast UPS	forecast a/c	forecast lights	forecast Σύνολο
18/3/2013	158.7002	46.06292	30.65624	69.07855	145.7977
19/3/2013	163.8008	48.02324	28.83137	67.4033	144.2579
20/3/2013	154.5	48.56677	28.48258	68.48478	145.5341

21/3/2013	153.4004	48.41547	27.37491	69.16079	144.9512
22/3/2013	154.1992	47.57898	28.70293	65.8309	142.1128
23/3/2013	77	76.01606	16.68531	24.99874	117.7001
24/3/2013	77.59961	75.42362	16.50625	25.47001	117.3999

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	8.130098	8.130098
19/3/2013	11.93088	11.93088
20/3/2013	5.803154	5.803154
21/3/2013	5.50795	5.50795
22/3/2013	7.838175	7.838175
23/3/2013	-52.8573	52.85728
24/3/2013	-51.2893	51.28927
M.O. %	-9.27661	20.47954

### 7.4.3 Υποκατάστημα κέντρου Αθήνας

Day	kWh Σύνολο	forecast UPS	forecast a/c	forecast lights	forecast Σύνολο
18/3/2013	160.5	44.77611	23.06291	56.08335	123.9224
19/3/2013	148.8008	49.06719	21.59318	53.12324	123.7836
20/3/2013	151.2988	47.84149	24.43797	51.64261	123.9221
21/3/2013	146.2012	50.51414	19.36548	53.52318	123.4028
22/3/2013	150.6992	50.43396	18.08511	51.81006	120.3291
23/3/2013	75.80078	60.1404	18.83635	27.58246	106.5592
24/3/2013	75.69922	61.76464	18.40013	26.90039	107.0652

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	22.7898	22.7898
19/3/2013	16.81252	16.81252
20/3/2013	18.09449	18.09449
21/3/2013	15.59383	15.59383
22/3/2013	20.15279	20.15279
23/3/2013	-40.578	40.57798
24/3/2013	-41.435	41.43496
M.O. %	1.632928	25.0652

## 7.4.4 Υποκατάστημα Παλλήνης

Day	kWh Σύνολο	forecast UPS	forecast a/c	forecast lights	forecast Σύνολο
18/3/2013	150.5	27.7321	28.5634	89.05421	145.3497
19/3/2013	156.5	27.84921	29.62977	87.46974	144.9487
20/3/2013	143	28.69017	27.05	88.51483	144.255
21/3/2013	145.0996	29.25118	26.22333	86.67416	142.1487
22/3/2013	138.5996	27.8822	28.24374	88.63048	144.7564
23/3/2013	87.59961	48.23743	13.56605	45.38847	107.1919
24/3/2013	87.70117	47.86547	13.43878	45.9344	107.2386

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	3.422114	3.422114
19/3/2013	7.381009	7.381009
20/3/2013	-0.87762	0.877624
21/3/2013	2.033733	2.033733
22/3/2013	-4.44216	4.442157
23/3/2013	-22.3658	22.36578
24/3/2013	-22.2773	22.27733
M.O. %	-5.30372	8.971392

## 7.4.5 Υποκατάστημα Χολαργού

Day	kWh Σύνολο	forecast UPS	forecast a/c	forecast lights	forecast Σύνολο
18/3/2013	208.5	42.91596	21.9541	117.0274	181.8975
19/3/2013	207.0996	45.34926	20.69747	114.4249	180.4716
20/3/2013	193.2012	43.21018	21.66494	118.8208	183.696
21/3/2013	192.1992	44.07385	20.64022	116.6481	181.3622
22/3/2013	191.5996	42.71719	21.61222	118.3159	182.6453
23/3/2013	86.30078	61.08593	21.66004	54.15193	136.8979
24/3/2013	86.29883	63.12841	19.65025	54.84068	137.6193

Day	ME%	MAE%
18/3/2013	12.759	12.759
19/3/2013	12.85759	12.85759
20/3/2013	4.919853	4.919853
21/3/2013	5.638437	5.638437
22/3/2013	4.673436	4.673436
23/3/2013	-58.6288	58.62882
24/3/2013	-59.4684	59.46838
M.O. %	-11.0356	22.7065



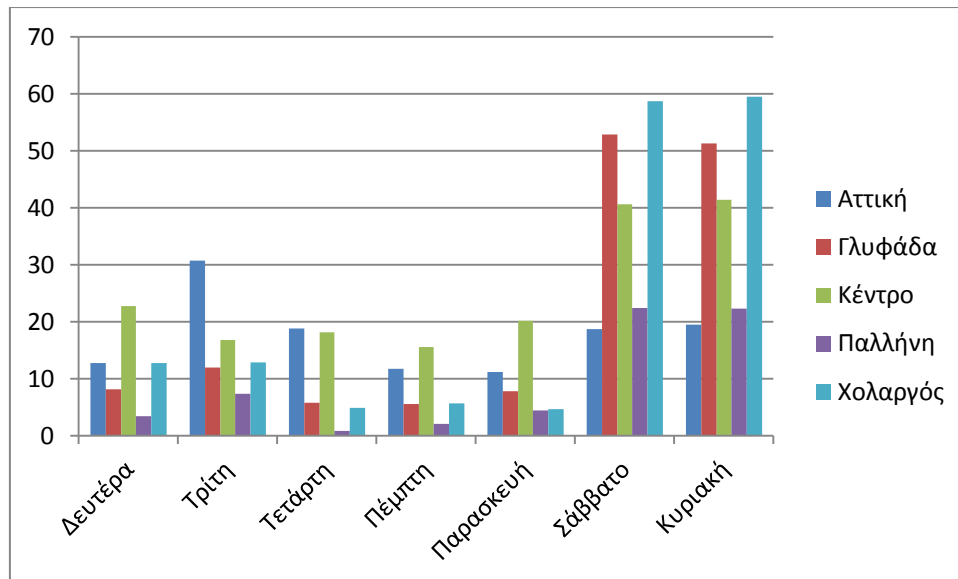
## 7.5 Παρατηρήσεις επί του πειράματος

Βλέποντας κανείς τα τελικά αποτελέσματα των προβλέψεων, μπορεί να καταλήξει σε κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις.

Πρώτον, η μέθοδος που ακολουθήθηκε δίνει αρκετά αντικειμενικές προβλέψεις απ' τη σκοπιά της προκατάληψης, αφού το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα κυμαίνεται από 1,6 έως 11 τις εκατό, με τη μέση τιμή για τα πέντε καταστήματα να είναι στο -3,45%. Αντίθετα, η απόκλιση κατά απόλυτη τιμή από τις πραγματικές καταναλώσεις κυμαίνεται από 9 έως 25 τις εκατό, με μέσο ποσοστιαίο απόλυτο σφάλμα κοντά στο 19%. Δηλαδή, αν και οι προβλέψεις της μεθόδου περιστρέφονται συμμετρικά γύρω από το κέντρο βάρους των πραγματικών τιμών, η τιμή τους αποκλίνει κατά ένα σημαντικό ποσοστό απ' την αλήθεια.

Η δεύτερη παρατήρηση είναι ότι τα μεγαλύτερα σφάλματα των προβλέψεων εντοπίζονται κατά κύριο λόγο το Σαββατοκύριακο. Εκεί, οι αποκλίσεις είναι κατά γενική ορολογία από 2,4 έως 4,8 φορές μεγαλύτερες από τις καθημερινές, κάτι που παρουσιάζεται στον παρακάτω συνοπτικό πίνακα στον οποίο φαίνονται τα μέσα και μέσα απόλυτα ποσοστιαία σφάλματα ανά μέρα στο σύνολο των καταστημάτων.

Μέρα	Μ.Ο. ΜΕ%	Μ.Ο. ΜΑΕ%
Δευτέρα	11,97253	11,9725297
Τρίτη	15,94808	15,9480807
Τετάρτη	9,341132	9,69218138
Πέμπτη	8,112587	8,11258749
Παρασκευή	7,873564	9,65042694
Σάββατο	-38,6238	38,6238357
Κυριακή	-38,7928	38,7927806



Εικόνα 7.5.1: Τα μέσα ποσοστιαία απόλυτα σφάλματα στα πέντε υποκαταστήματα ανά ημέρα.

Εξετάζοντας το λόγο που συμβαίνει αυτό μπορούμε να πούμε το εξής:

Τα σαββατοκύριακα η τράπεζα παραμένει κλειστή. Συνεπώς η κατανάλωση για τα φώτα και τον κλιματισμό είναι σχεδόν μηδενική (λειτουργούν μόνο τα φώτα της πινακίδας). Οι μόνες καταναλώσεις που παραμένουν σταθερές είναι αυτές που αφορούν τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στα UPS των καταστημάτων και που λειτουργούν 24 ώρες το εικοσιτετράωρο. Έτσι, λοιπόν, είναι λογικό το σαββατοκύριακο η κατανάλωση που αφορά το UPS να εμφανίζει πολύ μεγάλο ποσοστό επί των συνολικών καταναλώσεων του καταστήματος, και λαμβάνοντας σαν δεδομένο ότι η μέθοδος επέλεξε την επί τις εκατό κατανάλωση για τη πρόβλεψη της κατανάλωσης των UPS, είναι προφανές πως οι εκεί καταναλώσεις θα προκύψουν εξαιρετικά μεγαλύτερες. Ο ισχυρισμός αυτός ενισχύεται απ' το γεγονός ότι στην Αττική, όπου η κατανάλωση των UPS είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις, το σαββατοκύριακο δεν υπάρχουν τόσο τρανταχτά σφάλματα. Συνεπώς, σε αυτό το σημείο θα μπορούσε κανείς να προτείνει εκ των υστέρων να χρησιμοποιηθεί κάποιος άλλος δείκτης για τη πρόβλεψη της εν λόγω χρήσης ή να αμελούνται οι υπόλοιπες χρήσεις και να προβλέπεται η κατανάλωση μόνο για τα UPS.

Από ενεργειακής απόψεως τώρα, εξάγονται και κάποια επιπλέον συμπεράσματα παρακάτω, βάση των πινάκων που ακολουθούν.

	<b>kWh AC</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>kWh/empl</b>
Αττική	84,378	0,188	12,054
Γλυφάδα	32,032	0,077	2,912
Κέντρο	22,323	0,052	2,790
Παλλήνη	32,033	0,148	4,004
Χολαργός	86,517	0,212	14,419
Μέσο		0,13515	7,2360094
	<b>kWh Φώτα</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>kWh/empl</b>
Αττική	77,668	0,173	11,095
Γλυφάδα	54,980	0,132	4,998
Κέντρο	62,242	0,144	7,780
Παλλήνη	83,302	0,384	10,413
Χολαργός	98,115	0,240	16,353
Μέσο		0,215	10,128
	<b>kWh UPS</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>kWh/empl</b>
Αττική	2,442	0,005	0,349
Γλυφάδα	49,997	0,120	4,545
Κέντρο	45,140	0,104	5,642
Παλλήνη	30,707	0,142	3,838
Χολαργός	31,560	0,077	5,260
Μέσο		0,090	3,927
	<b>kWh Σύνολο</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>kWh/empl</b>
Αττική	164,488	0,366	23,498
Γλυφάδα	137,008	0,329	12,455
Κέντρο	129,705	0,300	16,213
Παλλήνη	146,042	0,673	18,255
Χολαργός	216,192	0,530	36,032
Μέσο		0,43946	21,290783

Η κατανάλωση στον κλιματισμό κυμαίνεται από 0.052 έως 0.21 kWh/m<sup>2</sup> και από 2.8 έως 14.4 kWh/εργαζόμενο, με αντίστοιχες μέσες τιμές 0.135 kWh/m<sup>2</sup> και 7.236 kWh/εργαζόμενο.

Στον φωτισμό οι καταναλώσεις κυμαίνονται από 0.13 έως 0.38 kWh/m<sup>2</sup> και από 5 έως 16 kWh/εργαζόμενο, με αντίστοιχες μέσες τιμές 0.215 kWh/m<sup>2</sup> και 10.128 kWh/εργαζόμενο.

Στις συσκευές που είναι συνδεδεμένες με UPS, οι καταναλώσεις κυμαίνονται από 0.005 έως 0.14 kWh/m<sup>2</sup> και από 0.35 έως 5.6 kWh/εργαζόμενο, με αντίστοιχες μέσες τιμές 0.09 kWh/m<sup>2</sup> και 3.927 kWh/εργαζόμενο.

Τέλος, στο σύνολο της εγκατάστασης οι καταναλώσεις κυμαίνονται από 0.3 έως 0.67 kWh/m<sup>2</sup> και από 12.5 έως 36 kWh/εργαζόμενο, με αντίστοιχες μέσες τιμές 0.439 kWh/m<sup>2</sup> και 21.291 kWh/εργαζόμενο.

Όπως καταλαβαίνει λοιπόν κανείς, υπάρχουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις στον τρόπο λειτουργίας από κατάσταση σε κατάσταση, με την ορθότερη λειτουργία

ως προς το πρώτο δείκτη ( $\text{kWh/m}^2$ ) να την εμφανίζει το κατάστημα του κέντρου και ως προς το δεύτερο δείκτη ( $\text{kWh/εργαζόμενο}$ ) το κατάστημα της Γλυφάδας. Αντίστοιχα, τις χειρότερες επιδόσεις εμφανίζει το κατάστημα της Παλλήνης ως προς το πρώτο δείκτη και το κατάστημα του Χολαργού ως προς το δεύτερο. Αξίζει κανείς να σημειώσει πως αν και το κατάστημα της Αττικής έχει το μεγαλύτερο αριθμό εργαζομένων, τη μεγαλύτερη ωφέλιμη επιφάνεια και όχι τη μεγαλύτερη κατανάλωση, εν τούτοις δεν εμφανίζεται με κανένα τρόπο να λειτουργεί καλύτερα από τα υπόλοιπα καταστήματα.

Με βάση αυτά τα στοιχεία ο ενεργειακός επιθεωρητής μπορεί να ερευνήσει την απόδοση του κάθε καταστήματος ανά χρήση ως προς το δείκτη που την περιγράφει καλύτερα και να συνεισφέρει στην αύξηση της ενεργειακής του εξοικονόμησης.





# Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα και προεκτάσεις

## 8.1 Συνοπτικά αποτελέσματα της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται μία βιβλιογραφική επισκόπηση ενεργειακών δεικτών που χρησιμοποιούνται ευρέως από οργανισμούς, εταιρείες και ερευνητές για τη περιγραφή και παρακολούθηση ενεργειακών καταναλώσεων σε βασικές κατηγορίες κτηρίων, με στόχο την παρουσίαση διαθέσιμων δεικτών και την ανάδειξη των λόγων που αυτοί χρησιμοποιούνται, όπως και των πλεονεκτημάτων που ο καθένας εξ αυτών προσφέρει. Στο δεύτερο μέρος αναπτύσσεται και εφαρμόζεται μία μεθοδολογία παραγωγής βραχυπρόθεσμων προβλέψεων ενεργειακών καταναλώσεων μέσω των παραπάνω δεικτών, με σκοπό την πρόβλεψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης κτηρίων ανά χρήση και συνολικά.

Βασικό σημείο της μελέτης είναι η επιλογή ως μέσου πρόβλεψης εκείνου του δείκτη που περιγράφει καλύτερα την κατανάλωση κάθε χρήσης, αφού το σύνολο των επιμέρους προβλέψεων για τις χρήσεις παράγει την τελική πρόβλεψη για την ηλεκτρική κατανάλωση του κτιρίου. Αυτό γίνεται όπως είδαμε με τη χρήση του δείκτη συσχέτισης, επιλογή που από τα αποτελέσματα της εργασίας φαίνεται να μας δικαιώνει. Συγκεκριμένα, έχοντας ως κριτήριο το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα και το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα, η πρώτη μελέτη που έγινε για εστιατόριο τύπου ταχυφαγείου έδωσε ME ίσο 2.71% και MAE ίσο με 14% για το σύνολο του κτηρίου, ενώ η δεύτερη μελέτη για τα γραφεία τύπου τραπεζών έσωσε ME ίσο με -3.45% και MAE ίσο με 19%. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στη δεύτερη περίπτωση υπήρχαν και αρκετά υποκαταστήματα με εξαιρετικές προβλέψεις των οποίων το MAE δεν ξεπερνούσε το 10%.

Θέλοντας κάποιος να κάνει μία γενική αποτίμηση της μεθόδου, θα μπορούσε να πει ότι δεδομένης των διαθέσιμων στοιχείων και του βάθους μελέτης που μία διπλωματική εργασία μπορεί να έχει, η μέθοδος βρέθηκε να έχει εξαιρετική αντικειμενικότητα ως προς τη προκατάληψη των προβλέψεων, αφού και στα δύο case-studies κανένα κατάστημα δεν εμφάνισε ME μεγαλύτερο του 11%, με τη μέθοδο να εμφανίζει μέσο σφάλμα κοντά στο 6% στο σύνολό της. Ακόμα, αν και το MAE στο δεύτερο case-study φαντάζει σχετικά υψηλό, όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 7.5, αυτό αιτιολογείται από τη διαφοροποίηση της λειτουργίας των τραπεζών κατά το σαββατοκύριακο και την ανικανότητα του δείκτη της ποσοστιαίας κατανάλωσης να την περιγράψει. Γίνεται φανερό πως αν υπήρχαν περισσότερα στοιχεία για την παραγωγή πιο αντιπροσωπευτικών δεικτών ανά χρήση, τα αποτελέσματα της μεθόδου θα ήταν σίγουρα πιο ακριβή.

Σημαντικό βήμα λοιπόν στην εφαρμογή μία τέτοιας μεθόδου για τη παραγωγή ορθών προβλέψεων, είναι όχι μόνο η σωστή εφαρμογή της, αλλά και η ύπαρξη πληθώρας στοιχείων στα χέρια του μελετητή για την εύρεση των πιο αντιπροσωπευτικών δεικτών και την αξιοποίησή τους. Το ποια στοιχεία θα είναι αυτά που θα ζητήσει να του δοθούν απ' το διαχειριστή της επιχείρησης έχει να κάνει προφανώς με το τύπο της χρήσης, τις ιδιαιτερότητες του κτηρίου και των εγκαταστάσεών του, το είδος της επιχείρησης που αυτό στεγάζει κ.α.. Σύμμαχος του σε αυτή την έρευνα είναι πάντα οι διαθέσιμοι σε βιβλιογραφία δείκτες αν και όπως φάνηκε και παραπάνω ο πειραματισμός και η εμπειρία του είναι εκείνα που θα του υποδείξουν το βέλτιστο δρόμο στην επιλογή των καταλληλότερων δεικτών.



## 8.2 Μελλοντικές προεκτάσεις

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η χρήση δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης ως μέσο παρακολούθησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης κτηρίων μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Εκτός απ' την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της εγκατάστασης, η οποία γίνεται πολύ επιτακτική ανάγκη όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη αυστηρά καθορισμένη βάση σύγκρισης, οι δείκτες μπορούν να λειτουργήσουν και σαν ένα εργαλείο θέσπισης ορθών ορίων της λειτουργίας της, δηλαδή μπορούν να οριστούν οριακές τιμές μέσα στις οποίες θεωρείται από τους εκάστοτε υπεύθυνους ότι λειτουργούν σωστά τα επιμέρους μέρη της εγκατάστασης. Έτσι, γίνεται δυνατόν για παράδειγμα να υπάρξουν συστήματα που ειδοποιούν όταν κάποιο σημείο της εγκατάστασης ξεφεύγει απ' τη συνήθη χρήση της ή όταν προβλέπεται πως κάτι τέτοιο θα συμβεί στο άμεσο μέλλον και να αναζητούνται τα αίτια ενός τέτοιου φαινομένου εγκαίρως, προτού τα αποτελέσματά του γίνουν εμφανή και ζημιογόνα.

Επίσης, γνωρίζοντας τους παράγοντες απ' τους οποίους εξαρτάται η κατανάλωση κάθε χρήσης μέσα στο κτήριο (και οι οποίοι αντιστοιχούν στους δείκτες με την υψηλότερη τιμή συσχέτισης), ο ενεργειακός διαχειριστής μπορεί πλέον ευκολότερα να βρει μεθόδους βελτίωσης της λειτουργίας του κτηρίου και να αναπτύξει μοντέλα και σενάρια για την αποδοτικότερη εφαρμογή τους.

Από οικονομικής απόψεως, η πρόβλεψη ενεργειακών καταναλώσεων μπορεί να αποτελέσει και ένα βασικό εργαλείο στα χέρια του manager της κάθε επιχείρησης, διευκολύνοντας τον να προβλέπει τις οικονομικές υποχρεώσεις του ως προς τις εταιρείες παροχής ενέργειας και να σχεδιάζει αποτελεσματικότερα το οικονομικό και ενεργειακό πλάνο της επιχείρησής του.

Ως προς τις μελλοντικές επέκταση της μεθόδου που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούμε να αναφέρουμε αρκετά πράγματα. Αρχικά, η μέθοδος μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να λαμβάνει υπόψη και άλλες καταναλώσεις πέρα των ηλεκτρικών, όπως φυσικό αέριο, μαζούτ, πετρέλαιο κ.α.. Αυτό θα ολοκληρώσει το μοντέλο πρόβλεψης καταναλώσεων κτηρίων του τριτογενούς τομέα που μελετήθηκε εδώ, ενώ παράλληλα θα ανοίξει ο δρόμος για τη μελέτη κτηρίων του πρωτογενούς και δευτερογενούς τομέα στους οποίους οι παραπάνω πρόσθετες πηγές ενέργειας είναι κυρίαρχες.

Αρκετό ενδιαφέρον θα μπορούσε να έχει και ο έλεγχος της αποδοτικότητας του μοντέλου σε περίπτωση που οι προβλέψεις των καταναλώσεων γινόντουσαν συνδυάζοντας περισσότερους δείκτες με ανάλογα βάρη (π.χ. τους δύο πιο αντιπροσωπευτικούς) καθώς κάτι τέτοιο είναι πολύ πιθανό να δώσει αλληλοσυμπλήρωση σε τρωτά τους σημεία και να αποδώσει ακριβέστερες προβλέψεις. Η εισαγωγή περισσότερων τεχνικών προβλέψεων στο διαγωνισμό ή και ο συνδυασμός τους είναι ένα επιπλέον κομμάτι που μπορεί να μελετηθεί.

Τέλος, βασική επέκταση στο να φανεί η συγκεκριμένη μεθοδολογία πρακτικά χρήσιμη θα ήταν η δημιουργία μία ηλεκτρονικής εφαρμογής η οποία θα λάμβανε πραγματικά στοιχεία από το σύστημα monitoring της επιχείρησης και που θα εκτελούσε τη μέθοδο για τη παραγωγή προβλέψεων, παρέχοντας παράλληλα επιλογές για ειδοποίηση του διαχειριστή σε περίπτωση εμφάνισης σφαλμάτων λειτουργίας στο παρόν ή στο μέλλον μέσω των προβλέψεων που αυτό πραγματοποιεί.





# Βιβλιογραφία

- Aranda, A.; Ferreira, G.; Mainar-Toledo, M.; Scarpellini, S. & Sastresa, E. L. (2012). "Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector", *Energy and Buildings*, Vol. 49, pp. 380 – 387.
- Armstrong, J. S. (2001). "Evaluating forecasting methods", In: J. S. Armstrong (Ed.), *Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishing, pp. 443 – 472.
- Armstrong, J. S. (2001). "Combining forecasts", In: J. S. Armstrong (Ed.), *Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishing, pp. 417 – 439.
- Arteconi, A., Brandoni, C. & Polonara, F. (2009). "Distributed generation and trigeneration: Energy saving opportunities in Italian supermarket sector", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 1735 – 1743.
- Asia Pacific Energy Center (2010). "Energy Efficiency Indicators: A Study Of Energy Efficiency Indicators for Industry In Apec Economies", Asia Pacific Energy Research Centre, Institute of Energy Economics, Japan.
- Assimakopoulos, V. and Mentzas, G. (1994). "An architecture for intelligence assistance in the forecasting process", *Proceedings of the International Symposium on Forecasting*, June.
- Assimakopoulos, V. (1995). "A Successive Filtering Technique for identifying long-term trends", *Journal of Forecasting*, Vol. 14, pp. 35-43.
- Assimakopoulos, V. and Nikolopoulos, N. (2000). "The theta model: a decomposition approach to forecasting", *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, No. 4, pp. 521-530.
- Bohdanowicz, P. & Martinac, I. (2007). "Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels: Case study of Hilton International and Scandic in Europe", *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 82 – 95.
- Burdova, E.K. & Vilcekova, S. (2012). "Energy performance indicators developing", *Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 1175 - 1180.
- Clemen, R.T. (1989). "Combining forecasts: A review and annotated biography (with discussion)", *International Journal of Forecasting*, Vol. 5, pp. 559-583.
- Commonwealth of Australia (2002). "Energy efficiency opportunities in the hotel industry sector", AusInfo, Australian Government department of Resources, Energy and Tourism website.
- Crown & Enact (2000). "Energy use in offices", *Energy consumption guide No.19*, The Government's Energy Efficiency Best Practice program, energyefficiency UK website.
- De Gooijer, J. G. and Hyndman, R. J. (2006). "25 years of time series forecasting", *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 443-473.
- Deng, S.-M. & Burnett, J. (2000). "A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong", *Energy and Buildings*, Vol. 31, pp. 7 – 12.

- Deng, S. (2003). "Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong", *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 775 – 784.
- DTEE Energy Efficiency Program For Business (2012). "Opportunities For Restaurants", DTE Energy website .
- E Source Companies LLC (2009). "Managing Energy Costs in Restaurants", Madison Gas and Electric Company website.
- E Source Companies LLC (2002). "Managing Energy Costs in Restaurants", nationalgrid website.
- Energy Efficiency commitment, American society for healthcare engineering – American Hospital Association (2003). "Healthcare Energy Guidebook: Results of the Healthcare Energy Project", Recourses, ashe website.
- Energy StarTeam & Environmental Protection Agency (2008). "Building Upgrade Manual", Energy Star website.
- Energy Star team & Environmental Protection Agency (2007). "Building Upgrade Manual", United States Office of Air and Radiation 2007 Edition, Energy Star website.
- Energy Star Team &Environmental Protection Agency (2010). "Energy Star Guide for Restaurants: Putting Energy into Profit".
- Energy Star Team & Environmental Protection Agency (2012). "Portfolio Manager: Energy Use in Hotels and DataTrends", Energy Star website.
- Energy Star Team & Environmental Protection Agency (2012). "Portfolio Manager: Energy Use in Retail Stores and DataTrends", Energy Star website.
- Entrop, A., Brouwers, H. & Reinders, A. (2010). "Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate  
*Energy and Buildings*", Vol. 42, pp. 618 – 629.
- Gardner, E.S. (1985) "Exponential Smoothing: The State of the Art" *Journal of Forecasting*, Vol. 4, pp. 1-28.
- Gardner, Jr. E. S., Jr., & McKenzie, E. (1985). "Forecasting trends in time series. *Management Science*", 31, 1237-1246.
- Gardner, E.S. (2006). "Exponential Smoothing: The State of the Art – Part II", *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 637-666.
- Gonzalves, P., Gaspar, A.R. & da Silva, M.G. (2012). "Energy and energy-based indicators for the energy performance assessment of a hotel building", *Energy and Buildings*, Vol. 52, pp. 181 – 188.
- Goodwin, P. and Lawton, R. (1999). "On the asymmetry of the symmetric MAPE", *International Journal of Forecasting*, Vol. 15, pp. 405-408.
- Hirst, E. (1982). "Analysis of hospital energy audits", *Energy Policy*, Vol. 10, pp. 225 – 232.
- Holt, C. C. (1957). "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages", Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology, Reprinted with discussion in 2004, *International Journal of Forecasting*, 20, 5-13.
- Hooven, M. (2011). "EPA Updates Energy Star Tool to Support Greater Energy Efficiency in Hospitals", Energy Star website.

- Hyndman, R.J. and Koehler, A.B. (2006). "Another look at measures of forecast accuracy", *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 679-688.
- Kaplan, S., Sadler, B., Little, K., Franz, C. & OrriS, P. (2012). "Can Sustainable Hospitals Help Bend the Health Care Cost Curve?", Issue Brief, The Commonwealth Fund.
- Kapoor, R., Kumar, S. (2011). "Energy Efficiency in hospitals: Best Practice Guide", USAID ECO-III Project, International Resources Group.
- Life-Environment team (2007). "Guidelines for energy efficiency in hospitals", EMAS and information technology in hospitals, LIFE04 ENV/GR/000114, EPTA Ltd.
- Nikolopoulos, K. and Assimakopoulos, V. (2003) "Theta Intelligent Forecasting Information System", *Industrial Management and Data Systems*, Vol.103, No.9, pp.711-726
- Nikolopoulos, K., Assimakopoulos, V., Bougioukos, N. and Petropoulos F. (2008) "Advances in Theta model", Working Paper No. 0023, University of Peloponnese, Department of Economics.
- Nikolopoulos K., Syntetos A., Boylan J., Petropoulos F., and Assimakopoulos V. (2011) "An Aggregate - Disaggregate Intermittent Demand Approach (ADIDA) to Forecasting: An Empirical Proposition and Analysis", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 62, pp. 544-554.
- Nilsson, J., Bjuggren, C. & Frostell, B. (1998). "Greening of a campus restaurant at Stockholm University: sustainable development audits by means of the SDR methodology", *Journal of Environmental Management*, Vol. 52, pp. 307 – 315.
- Norford, L., Socolow, R., Hsieh, E. & Spadaro, G. (1994). "Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a 'low-energy' office building: insights from a reconciliation based on the DOE-2 model", *Energy and Buildings*, Vol. 21 pp., 121 – 131.
- Patlitzianas, K.D., Doukas, H., Kagiannas, A.G. & Psarras, J. (2008). "Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations", *Renewable Energy*, Vol. 33, pp. 966 – 973.
- Priyadarsini, R.; Xuchao, W. & Eang, L. S. (2009). "A study on energy performance of hotel buildings in Singapore", *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 1319 – 1324.
- Reed, C., Hand, J. (2011). "ASHE's Energy Survey: How It Will Change ENERGY STAR's Health Care Rating System", U.S. Environmental Protection Agency.
- Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H. & Hossain, M. (2010). "An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital", *Energy*, Vol. 35, pp. 4780 – 4785.
- Santamouris, M., Dascalaki, E., Balaras, C., Argiriou, A. & Gaglia, A. (1994). "Energy performance and energy conservation in health care buildings in Hellas", *Energy Conversion and Management*, Vol. 35, pp. 293 – 305.
- Sustainable FoodService (2012). "Energy Conservation: Practices and Policies", Sustainable FoodService website.
- 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*, Vol. 43, pp. 770 – 778.

- Tashman L. J. (2000). “Out-of-sample tests of forecasting accuracy: an analysis and review”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, No. 4, pp. 437-450.
- The Group on the State of the Environment, Organization for economic co-operation and development (1993). “Environment monographs N° 83”, OECD Core set of indicators for environmental performance reviews.
- The Illinois Smart Energy Design Assistance Center (2011). “Energy smart tips for restaurants”, University of Illinois website.
- Yang, Y., Li, B. & Yao, R. (2010). “A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings”, *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 7687 – 7697.
- Yang Y., Tai H., Shi T. (2012). “Weighting indicators of building energy efficiency assessment taking account of experts’ priority”, *Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Vol. 19, pp. 803–808.
- Yokum, J. T. and Armstrong, J. S. (1995). “Beyond accuracy: Comparison of criteria used to select forecasting methods”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 11, pp. 591-597.
- U.S. Environmental Protection Agency (2006). “Energy Star Best Practices to Improve Energy Performance, Acute Care & Children’s Hospitals Low-Cost O&M”, energy star website.
- Verisae European Office Verisae (2011). “10 Ways to Slash Energy Costs & Reduce Budget Uncertainty - A Special Report for Large North American Grocery Retailers”, *Energy Management Insights: 2011*, environmentalleader website.
- Wang, J. C. (2012). “A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan  
*Energy and Buildings*”, Vol. 49, pp. 268 – 275.
- Wright, D.J., Capon, G., Page, R., Quiroga, J., Taseen, A.A. and Tomasini, F. (1986). “Evaluation of forecasting methods for decision support”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–153.
- Zhou, P., Ang, B. & Poh, K. (2007). “A mathematical programming approach to constructing composite indicators”, *Ecological Economics*, Vol. 62, pp. 291 – 297.

## **Βιβλία - Διπλωματικές Εργασίες**

Πετρόπουλος Φ., Ασημακόπουλος Β., (2011). *Επιχειρησιακές Προβλέψεις, εκδόσεις συμμετρία, Αθήνα.*

Σκιαδά Φ. & Ράπτης Α., (2012). *ForeDroid: Ανάπτυξη Εφαρμογής Προβλέψεων Χρονοσειρών για Φορητές Συσκευές.*

Ψαρράς, Ι. (2010). *Σημειώσεις: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, εκδόσεις Ε.Μ.Π.*



Isaacs N., Crocker N.(1996). Commercial Building Energy Survey: Hotels, Centre for Building Performance Research.

Makridakis, S., Hogarth R. and Gaba A. (2010). Dance with Chance: Making Luck Work for You, Oneworld Publications.