



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ , ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αλγόριθμοι Συσταδοποίησης Ενεργειακών Καταναλώσεων
μέσω Διαδικτύου, για παροχή Ηλεκτρονικών Ενεργειακών
Υπηρεσιών από ESCOs**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δέσποινα, Ι. Κουκουλά

Υπεύθυνος Καθηγητής : Βασίλειος Λούμος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Επιβλέπων: Βασίλειος Νικολόπουλος
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ , ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αλγόριθμοι Συσταδοποίησης Ενεργειακών Καταναλώσεων
μέσω Διαδικτύου, για παροχή Ηλεκτρονικών Ενεργειακών
Υπηρεσιών από ESCOs**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δέσποινα, Ι. Κουκουλά

Υπεύθυνος Καθηγητής : Βασίλειος Λούμος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Επιβλέπων: Βασίλειος Νικολόπουλος
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ^η Οκτωβρίου 2008.

.....
Βασίλειος Λούμος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ελευθέριος Καγιάφας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008

.....
Δέσποινα Ι. Κουκουλά

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

Copyright © Δέσποινα Ι. Κουκουλά, 2008

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία προτείνει την υλοποίηση αλγορίθμου συσταδοποίησης ενεργειακών καταναλώσεων σύμφωνα με κριτήρια που βασίζονται σε ενεργειακούς δείκτες. Η εφαρμογή γίνεται σε δεδομένα από ένα Σχολικό Συγκρότημα. Η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με το ενεργειακό προφίλ προτείνεται ωστόσο γενικότερα ως σχέδιο δράσης για τις Εταιρίες Ενεργειακών Υπηρεσιών, η συμβολή των οποίων στη λήψη μέτρων για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση της Ενέργειας κρίνεται σημαντική. Περιγράφονται κάποιες μέθοδοι συσταδοποίησης δεδομένων και επιλέγεται ο κατάλληλος αλγόριθμος, έτσι ώστε εφαρμόζοντάς τον σε ενεργειακά δεδομένα να εξάγονται συμπεράσματα για τα ενεργειακά προφίλ. Τονίζεται επίσης η σημασία του Διαδικτύου τόσο για τη διαθεσιμότητα όλων των απαραίτητων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όσο και για την παροχή των υπηρεσιών των ESCO ηλεκτρονικά. Ως παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας σχετικά με την εξοικονόμηση Ενέργειας, αναφέρεται η πρόταση για εγκατάσταση μίας μικρής μονάδας Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) στον εν λόγω Σχολικό Συγκρότημα, αφού πρώτα παρατεθούν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τέτοιων συστημάτων αλλά κι η διαδικασία επιλογής του βέλτιστου συστήματος ΣΗΘ.

Λέξεις Κλειδιά

Εταιρία Ενεργειακών Υπηρεσιών, Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας, Ενεργειακό Προφίλ, Εξόρυξη Γνώσης, Αλγόριθμος Συσταδοποίησης, Κλάση, Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Abstract

The present Diploma Thesis introduces the implementation of a specific clustering algorithm appropriate for energy consumptions. The clustering procedure is based on criteria according to energy efficiency indicators. The algorithm is implemented to real-time data acquired from a School Department. Real-time clustering according to energy profile is also proposed as a general plan of action for the Energy Services Companies, the contribution of which to the use of practices for more efficient use of Energy is crucial. Furthermore, some clustering methods are described, so that the appropriate algorithm is chosen. The algorithm should be applied to energy data in order to certain conclusions relevant to the energy profiles can be extracted. The Internet is of great importance for the Energy Sector because of the need for availability of every type real-time energy data to be processed. As an instance of such a service (energy efficiency improvement), the proposal of installation of a Combined Heat and Power Unit in the examined School Department. First are mentioned certain special characteristics of those systems (Combined Heat and Power-CHP) and the selection procedure of the optimal CHP System.

Keywords

Energy Services Company (ESCO), Energy Efficiency Indicator, Energy Profile, Knowledge Extraction, Data Mining, Clustering Algorithm, Cluster, Combined Heat and Power Production

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	11
1.2 Διαδικασία Πραγματοποίησης Διπλωματικής Εργασίας.....	12
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	12
2. ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ – ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
2.1 Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Δράσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας	15
2.2 Ορισμός ESCO & Φάσμα Δραστηριοτήτων.....	16
2.3 Μοντέλα Χρηματοδότησης Ενεργειακών Επενδύσεων.....	20
2.3.1 Shared Shavings	21
2.3.2 Guaranteed Shavings	21
2.4 Μείωση Κόστους – Πρόβλεψη Φορτίου: Οι δύο όψεις του νομίσματος.....	22
2.5 Ενεργειακοί Δείκτες & Key Performance Indicators.....	24
2.6 Παροχή Ηλεκτρονικών Ενεργειακών Υπηρεσιών.....	26
3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΣΥΣΤΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	29
3.1 Εξόρυξη Δεδομένων (Data Mining)	31
3.2 Συσταδοποίηση (Clustering) και εφαρμογές	33
3.3 Εποπτική Παρουσίαση Αλγορίθμων.....	35
3.3.1 K-means.....	36
3.3.2 Ασαφής c-means.....	37
3.3.3 Ιεραρχική Συσταδοποίηση.....	37
3.3.4 Συσταδοποίηση με συνδυασμό γκαουσιανών	38
3.3.5 Αυτοδιοργανούμενοι χάρτες (Self-organized Maps).....	38
3.4 Επιλογή Αλγορίθμου	39
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	41
4.1 Γενική Περιγραφή Αλγορίθμου.....	43
4.2 Διάγραμμα Ροής	45
4.3 Αναλυτική Περιγραφή Αλγορίθμου	46
4.3.1 Υπολογισμός Δεικτών	46
4.3.2 Σχεδιασμός Δομής για την Απόδοση των Cluster	47
4.3.3 Δημιουργία Συνόλου Συναρτήσεων	48
4.3.4 Διάγραμμα Ροής με τις Συναρτήσεις.....	50

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ & ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	53
5.1 Προεπεξεργασία Δεδομένων πριν την εφαρμογή του Αλγορίθμου	55
5.2 Εφαρμογή Αλγορίθμου & Αποτελέσματα	59
5.2.1 Κτίριο 01	59
5.2.2 Κτίριο 02	67
5.2.3 Κτίριο 03	73
5.2.4 Πισίνα	79
5.3 Συνολική Εφαρμογή & Αποτελέσματα για τα τρία Κτίρια	86
5.3.1 Εφαρμογή για κατώφλι 0,008	87
5.3.2 Εφαρμογή για κατώφλι 0,01	91
5.3.3 Εφαρμογή για κατώφλι 0,02	94
6. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	97
6.1 Περιγραφή & Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων	99
6.2 Τεχνικές Συμπαραγωγής	102
6.3 Βέλτιστος Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων Συμπαραγωγής	104
6.3.1 Διαδικασία Επιλογής Συστήματος	105
6.4 Ανάλυση Δεδομένων για την εφαρμογή ΣΗΘ στο σχολικό συγκρότημα	106
6.4.1 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις	106
6.4.2 Παροχή Φυσικού Αερίου	107
6.4.3 Συσχετισμός Ηλεκτρικού και Θερμικού Φορτίου	109
6.5 Πρόταση Εγκατάστασης Μονάδας ΣΗΘ	111
6.6 Συμπέρασμα Κεφαλαίου	112
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	113
7.1 Συμπεράσματα	115
7.2 Προοπτικές & Μελλοντικές Τάσεις	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.	Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας.....	11
1.2.	Διαδικασία Πραγματοποίησης Διπλωματικής Εργασίας.....	11
1.3.	Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	12

1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται η δράση των Εταιριών Ενεργειακών Υπηρεσιών και προτείνεται η εφαρμογή αλγορίθμου συσταδοποίησης ενεργειακών καταναλώσεων -με βάση επιλεγμένους ενεργειακούς δείκτες- με σκοπό την ενσωμάτωση του σε ένα ευρύτερο πληροφοριακό σύστημα διαρκούς παρακολούθησης-μέτρησης-καταγραφής ενεργειακών δεδομένων, έτσι ώστε να παρέχονται Ηλεκτρονικές Ενεργειακές Υπηρεσίες.

1.2 Διαδικασία Πραγματοποίησης Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία που ακολουθώντας τις παρακάτω φάσεις:

1^η Φάση:

Βιβλιογραφική Μελέτη Πηγών σχετικά με

- ✓ τις δράσεις των Εταιριών Ενεργειακών Υπηρεσιών, τις υπάρχουσες ανάγκες αλλά και τις μελλοντικές τάσεις
- ✓ την εξόρυξη γνώσης από βάσεις δεδομένων και τους αλγορίθμους συσταδοποίησης και αυτόματης κατάταξης

2^η Φάση:

Επαφή με τα δεδομένα ενεργειακών καταναλώσεων, αρχική επεξεργασία, επιλογή κατάλληλων ενεργειακών δεικτών

3^η Φάση:

Σχεδιασμός και υλοποίηση αλγορίθμου συσταδοποίησης σε C, εφαρμογή στα κατάλληλα προεπεξεργασμένα δεδομένα

4^η Φάση:

Οπτικοποίηση της πληροφορίας που εμπεριέχεται στα αποτελέσματα από την εφαρμογή του αλγορίθμου. Χρήση Matlab για κατασκευή κατάλληλων γραφημάτων και γραφικών παραστάσεων. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

5^η Φάση:

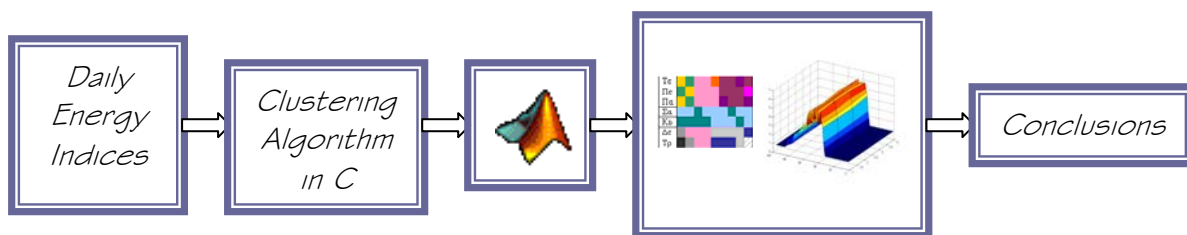
Εξαγωγή Συμπερασμάτων και Προοπτικές, Πρόταση για Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την περίληψη και επτά κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων είναι το εξής:

- Αρχικά παρουσιάζεται η περίληψη της εργασίας στην ελληνική και την αγγλική γλώσσα, όπου περιέχονται τα βασικά σημεία της εργασίας.
- Το Κεφάλαιο 1 περιλαμβάνει την εισαγωγή, το στόχο, τις φάσεις και τη δομή της εργασίας.
- Στο Κεφάλαιο 2 ορίζονται οι ESCOs, περιγράφεται το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο, αναλύονται τα χρηματοδοτικά μοντέλα ενεργειακών επενδύσεων. Παράλληλα, αναφέρεται η χρησιμότητα των ενεργειακών δεικτών κατά την ενεργειακή διαχείριση.
- Στο Κεφάλαιο 3 διερευνάται ο τομέας της εξόρυξης γνώσης από βάσεις δεδομένων και αφού διευκρινιστεί ότι η συσταδοποίηση είναι μόνο ένα κομμάτι -χρήσιμο- αυτού του τομέα, παρουσιάζονται εποπτικά αλγόριθμοι συσταδοποίησης .
- Στο Κεφάλαιο 4 δίνεται η περιγραφή του αλγορίθμου που επιλέχθηκε, συνοδευόμενη από κατάλληλα χωρία κώδικα από την υλοποίηση αλλά και από το αντίστοιχο διάγραμμα ροής.
- Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται η μεθοδολογία εφαρμογής του αλγορίθμου, παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.
- Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η τεχνολογία της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας και γίνεται μία αρχική εκτίμηση για εφαρμογή της.
- Τέλος στο Κεφάλαιο 7 περιέχονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Όσα από τα παραπάνω αφορούν τα δεδομένα συνοψίζονται στο διάγραμμα ροής πληροφοριών που ακολουθεί.



Το διάγραμμα σχηματοποιεί όσα θα περιγραφούν παρακάτω, δηλαδή πώς από τα πρωτογενή δεδομένα καταλήγουμε σε συμπεράσματα. Από τις ενεργειακές μετρήσεις υπολογίζονται οι δείκτες , με τη βοήθεια των οποίων προχωράμε στην εφαρμογή του αλγορίθμου συσταδοποίησης. Στη συνέχεια τα εξαγόμενα οπτικοποιούνται με τη βοήθεια του Matlab και προκύπτουν τα συμπεράσματα.

*ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ &
ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*

2. ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ - ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1.	Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Δράσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	15
2.2.	Ορισμός ESCO & Φάσμα Δραστηριοτήτων.....	16
2.3.	Μοντέλα Χρηματοδότησης Ενεργειακών Επενδύσεων.....	20
	2.3.1. Shared Savings.....	21
	2.3.2. Guaranteed Savings.....	21
2.4.	Μείωση Κόστους - Πρόβλεψη Φορτίου : Οι δύο όψεις του νομίσματος.....	22
2.5.	Ενεργειακοί Δείκτες & Key Performance Indicators.....	24
2.6.	Παροχή Ηλεκτρονικών Ενεργειακών Υπηρεσιών.....	26

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μία περιγραφή της κατάστασης στον ενεργειακό τομέα γενικά και αφού δοθεί ένας σχετικός ορισμός των Εταιριών Ενεργειακών Υπηρεσιών, αναλύεται πώς αυτές δραστηριοποιούνται. Επιπλέον αναφέρονται οι τρόποι χρηματοδότησης ενεργειακών επενδύσεων και σχολιάζονται οι δυνατότητες που παρέχει η συλλογή και επεξεργασία ενεργειακών δεδομένων σε θέματα όπως η μείωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας, η πρόβλεψη ζήτησης φορτίου αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας. Αναφορά γίνεται και στο σχεδιασμό των κατάλληλων ήδη γνωστών δεικτών αποδοτικότητας και των πιο πρόσφατα ανεπτυγμένων ενεργειακών δεικτών, έτσι ώστε να τεθούν κάποια κριτήρια για σύγκριση και επιβεβαίωση της προόδου. Τέλος αναφέρονται οι αρχές που διέπουν την Παροχή Ηλεκτρονικών Υπηρεσιών, εφόσον όλα τα παραπάνω εφαρμόζονται μέσω διαδικτύου.

2.1 Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Δράσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας

Μια μέθοδος χρηματοδότησης επενδύσεων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια περιλαμβάνει τη χρηματοδότησή τους από εξειδικευμένες Εταιρίες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών (Energy Service Companies). Η λειτουργία τέτοιων εταιρειών δεν έχει βρει αξιόλογες εφαρμογές ακόμη στην Ελλάδα όπως σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, αν και η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί την εξοικονόμηση ενέργειας με διάφορους τρόπους [1].

Οι εταιρείες αυτές χρηματοδοτούν τις επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας και λαμβάνουν σαν ανταμοιβή για ορισμένα χρόνια τμήμα του οφέλους που προκύπτει από τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης λόγω της πραγματοποίησης των επενδύσεων αυτών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2006/32/EC προάγει τη δημιουργία ESCOs στις χώρες μέλη. Κάποιες από τις παραγράφους της εν λόγω Ευρωπαϊκής Οδηγίας αναφέρονται αποκλειστικά στο θέμα αυτό και μάλιστα διευκρινίζουν όρους που χρησιμοποιούνται συχνά στην παρούσα εργασία [2]:

- ο «**Εταιρία Ενεργειακών Υπηρεσιών**» (*Energy Service Company*) : ένα φυσικό ή νομικό πρόσωπο που παρέχει ενεργειακές υπηρεσίες ή/και άλλα βελτιωτικά μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας στις εγκαταστάσεις του χρήστη, και αποδέχεται ως ένα βαθμό το οικονομικό ρίσκο της διαδικασίας. Η πληρωμή για τις παρεχόμενες υπηρεσίες βασίζεται (εξ ολοκλήρου ή μερικώς) στην επιτυχή εξοικονόμηση ενέργειας και στην εκπλήρωση των συμφωνημένων υποσχέσεων απόδοσης.

- ο «**σύμβαση ενεργειακής απόδοσης**» : μία συμφωνία μεταξύ του δικαιούχου και του παροχέα (κανονικά μία ESCO) για λήψη μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Οι επενδύσεις για τα μέτρα πληρώνονται από το ποσοστό της συμφωνημένης επιτυγχανόμενης ενεργειακής εξοικονόμησης

- ο «**χρηματοδότηση τρίτου -μέρους**»: ένας διακανονισμός που περιλαμβάνει και τρίτο μέρος – επιπλέον του παροχέα ενέργειας και του δικαιούχου των μέτρων βελτίωσης ενεργειακής αποτελεσματικότητας- ο οποίος παρέχει το κεφάλαιο για τα μέτρα και χρεώνει το δικαιούχο με ένα ποσό ίσο προς τα οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας

που επιτυγχάνεται ως αποτέλεσμα των μέτρων βελτίωσης. Το τρίτο μέρος μπορεί να είναι μία ESCO , χωρίς αυτό να είναι και απαραίτητο.

ο Η χρηματοδότηση τρίτου-μέρους είναι μία καινοτόμος πρακτική και θα πρέπει να παρακινήθει. Σε αυτού του είδους τους διακανονισμούς ο δικαιούχος αποφεύγει το επενδυτικό κόστος χρησιμοποιώντας την οικονομική αξία των ενεργειακών εξοικονομήσεων ,οι οποίες απορρέουν από την επένδυση του τρίτου- μέρους και αποπληρώνουν το επενδυτικό κόστος και τους τόκους δανεισμού.

Επιπλέον αναφέρεται ότι :

Τα κράτη μέλη οφείλουν να εγγυηθούν ότι οι ακόλουθες πληροφορίες θα πρέπει να είναι διαθέσιμες στον τελικό καταναλωτή ενέργειας με σαφές και κατανοητό τρόπο από τους διανομείς ή από τους διαχειριστές του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, και να φτάνουν σε αυτόν με τον λογαριασμό ή με τα συναπτόμενα συμβόλαια και τις αποδείξεις.

Συγκεκριμένα οι πληροφορίες που πρέπει να παρέχονται στους καταναλωτές θα αφορούν:

- τις τρέχουσες πραγματικές τιμές και την κατανάλωση ενέργειας
- συγκρίσεις της τρέχουσας κατανάλωσης ενέργειας με την περσινή υπό τη μορφή γραφημάτων
- αν είναι δυνατό συγκρίσεις με έναν πρότυπο καταναλωτή-ορόσημο της ίδιας κατηγορίας

Για να παρασχεθούν οι παραπάνω υπηρεσίες όπως θα δούμε παρακάτω είναι αναγκαία η διαμεσολάβηση των ESCOs , αλλά κυρίως η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων και εφαρμογών για επεξεργασία των δεδομένων και των μετρήσεων των ενεργειακών καταναλώσεων [3] [4].

2.2 Ορισμός ESCO & Φάσμα Δραστηριοτήτων

Οι ESCOs είναι εταιρίες που σαν στόχο έχουν να βοηθήσουν τους χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και φυσικού αερίου να μειώσουν το συνολικό κόστος χρήσης της ενέργειας. Αυτές οι εταιρείες υπάρχουν εδώ και τουλάχιστον 50-75 χρόνια αν και αρχικά δεν υπήρχε η συγκεκριμένη ονομασία. Βέβαια οι λειτουργίες που επιτελούσαν ήταν όμοιες με αυτές που εξυπηρετεί μία σύγχρονη ESCO.

Ο στόχος μίας ESCO είναι διπλός , καθώς προσπαθεί :

- ✓ να βελτιώσει την απόδοση της ενεργειακής διαχείρισης με σκοπό να επιτύχει ικανά οικονομικά αποτελέσματα,
- ✓ και παράλληλα να λάβει υπόψη της την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι εταιρείες αυτές αναλαμβάνουν δράση όπου υπάρχει σπατάλη ενέργειας είτε λόγω άγνοιας είτε λόγω έλλειψης πόρων για συντηρήσεις. Πάντως είναι πολύ δύσκολο να παραδεχτεί κανείς ότι τελικά όσο μεγαλύτερες οι τρέχουσες ενεργειακές απώλειες τόσο μεγαλύτερο το περιθώριο κέρδους των εταιριών αυτών. Βέβαια αυτό είναι λογικό, αφού έτσι η ESCO θα έχει μικρότερη περίοδο αποπληρωμής για το έργο , χαμηλότερο κόστος επένδυσης αλλά και ρίσκο. Βέβαια μία ESCO δεν είναι ούτε φιλανθρωπική οργάνωση ούτε μη κερδοσκοπικός οργανισμός για την προστασία του πλανήτη, αλλά μία επιχείρηση που αναλύει σε βάθος τα ενεργειακά δεδομένα και προσδιορίζει τη βέλτιστη λύση για εξοικονόμηση ενέργειας προκειμένου να κερδίσει τόσο ο πελάτης όσο και η ίδια η εταιρεία από την επένδυση [5].

Οι εταιρείες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών είναι εξειδικευμένες εταιρείες σε ενεργειακά θέματα με κατάλληλη τεχνογνωσία και εμπειρία. Μια τέτοια εταιρεία επενδύει για λογαριασμό του πελάτη-συνεργάτη στο χώρο του σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και είναι ταυτόχρονα υπεύθυνη για τη λειτουργία τους και βεβαίως με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι ενεργειακές δαπάνες του πελάτη.

Η αμοιβή της εταιρείας προκύπτει ακριβώς από την επιτυγχανόμενη μείωση των δαπανών ενέργειας του πελάτη. Για ένα προσυμφωνημένο χρόνο, π.χ. ορισμένα έτη, ο πελάτης πληρώνει στην εταιρεία ένα ποσό που σχετίζεται με την επιτυγχανόμενη μείωση των δαπανών του σε ενέργεια. Έτσι και η εταιρεία παροχής ενεργειακών υπηρεσιών έχει όφελος από τις επενδύσεις που πραγματοποίησε.

Η εταιρεία παροχής ενεργειακών υπηρεσιών δεν είναι απαραίτητο να έχει μεγάλη κεφαλαιουχική υποδομή αλλά μπορεί να χρησιμοποιεί τραπεζικό δανεισμό. Ταυτόχρονα ο πελάτης δε χρειάζεται να επενδύσει κεφάλαια για την εξοικονόμηση ενέργειας που είτε δεν έχει είτε θέλει να τα χρησιμοποιήσει αλλού πιο επωφελώς.

Με τον τρόπο αυτό εάν κάποιος φορέας (πελάτης) για οιοδήποτε λόγο δεν μπορεί να πραγματοποιήσει για λογαριασμό του επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ. λόγω έλλειψης κεφαλαίων, λόγω έλλειψης τεχνογνωσίας κ.α.) αναθέτει στην εταιρεία παροχής ενεργειακών υπηρεσιών το έργο αυτό, η οποία και το υλοποιεί για λογαριασμό του.

Οι ESCOs προσαρμόζουν τις υπηρεσίες τους σε πελάτες που ενδιαφέρονται για συνολική μείωση του ενεργειακού κόστους και επωμίζονται το ρίσκο από τις επενδύσεις σε ενεργειακά project. Οι εταιρείες αυτές μπορεί να δημιουργηθούν από έναν οργανισμό (επιχείρηση) σε συνεργασία με προμηθευτές ενέργειας ή ενεργειακού εξοπλισμού και κατασκευαστές [6]. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρίες αυτές συνάπτουν ένα μακροπρόθεσμο συμβόλαιο με τον πελάτη σύμφωνα με το οποίο η αποπληρωμή των έργων γίνεται από το όφελος από την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ή του κόστους για την αγορά της. Στα πλαίσια των project αυτών γίνεται ένα διαρκές monitoring των καταναλώσεων των πελατών των ESCOs έτσι ώστε να γνωρίζουν το επόμενο βήμα προς τη μείωση του κόστους της απαιτούμενης ενέργειας.

Οι ESCOs γενικά θα πρέπει να ορίζουν ένα υποστηρικτικό πλαίσιο για την παρακίνηση project που αφορούν καταναλωμένα ενεργειακά συστήματα καθώς και μέτρα για αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση της ενέργειας σε οικιακό, κοινοτικό και βιομηχανικό επίπεδο.

Σε αυτή την ιδέα όμως θα μπορούσε να βασιστεί και ένα καθολικό σχέδιο για τη μείωση του συνολικού κόστους της ενέργειας στο σύνολο των πελατών ,οικιακών και επιχειρησιακών, ανά την επικράτεια. Συγκεκριμένα αν σε κάθε χρήστη ενέργειας εγκατασταθεί ο κατάλληλος μετρητικός εξοπλισμός εφοδιασμένος και με ένα μόντεμ/ρούτερ , έτσι ώστε τα μετρούμενα δεδομένα να συλλέγονται και να αποστέλλονται

σε πραγματικό χρόνο σε μία βάση, τότε μετά από κατάλληλη επεξεργασία, ενδεχομένως και σύγκριση με κάποια έτοιμα προ-επεξεργασμένα δεδομένα, οι ESCOs θα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν ως ενδιάμεσος κρίκος μεταξύ των απλών χρηστών και των εταιρειών παροχής ενέργειας.

Ας δούμε σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις ποια είναι η λειτουργία μίας ESCO:

- **Συμβουλές σε χρήστες για τη μείωση του κόστους:** σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή η ESCO γνωρίζει ποιες είναι οι ενεργειακές ανάγκες των χρηστών και αφού εξάγει κάποια χαρακτηριστικά των ενεργειακών τους προφίλ (π.χ. peaks, μέση ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια), τους προτείνει από πού συμφέρει να προμηθευτούν την απαιτούμενη ενέργεια, ή προχωρώντας ένα ακόμη βήμα, αξιολογώντας και χώρο-χρονικά δεδομένα τους προτείνει τρόπους (π.χ. εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού του ήλιου ή του ανέμου) για να πετύχουν μείωση του κόστους για την αγορά ενέργειας.
- **Παροχή πληροφοριών σε παρόχους ενέργειας:** η ESCO έχει κάθε δεδομένη στιγμή πληροφορίες για το ενεργειακό προφίλ των χρηστών σε κάθε δεδομένη περιοχή. Με αυτό τον τρόπο είναι σε θέση να προτείνει σε έναν πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας μία συμφέρουσα επένδυση για εγκατάσταση μίας εντοπισμένης μονάδας παραγωγής ενέργειας στην κατάλληλη περιοχή, ή προχωρώντας ένα βήμα ακόμα να προτείνει έναν κατάλογο «καλού πελατολογίου» για τη δεδομένη επιχείρηση.

Βέβαια το real-time monitoring δίνει και άλλες δυνατότητες όσον αφορά τη σωστή Διαχείριση Ενέργειας. Από τις μετρήσεις τις καταναλισκόμενης ενέργειας μπορούμε να εντοπίσουμε πληροφορίες που να βοηθήσουν για την πρόβλεψη σχετικά με την παραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τις ενεργειακές ανάγκες των χρηστών. Για παράδειγμα ο εντοπισμός ετεροχρονισμένων peak στην κατανάλωση διαφόρων χρηστών, και υπέρθεσή τους οδηγεί σε αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση της ενέργειας αφού είμαστε σε θέση να προβλέψουμε πότε η ζητούμενη ενέργεια θα είναι πάνω από τη μέση καταναλισκόμενη ενέργεια και τότε να καλύπτεται η ζήτηση αυτή από καταναλωμένη παραγωγή.

Μια ESCO συλλέγει ενεργειακά δεδομένα μέσω mail από όλους του πελάτες της σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι ενεργειακές μετρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν VA και cos ή ό,τι άλλο έχει καθοριστεί ή ενδεχομένως μπορεί να ζητηθεί on-line εκείνη τη στιγμή ως επιπλέον μέτρηση. Στη συνέχεια ο πελάτης μπορεί να ενημερώνεται είτε μέσω ενός εύχρηστου portal είτε ακόμη και μέσω SMS στο κινητό του τηλέφωνο για την κατανάλωση ενέργειας στο χώρο και να του προτείνεται ένα κατάλληλο πακέτο για την εξοικονόμηση της ενέργειας ή/και συμβουλές για την ορθότερη διαχείρισή της. Βέβαια αν και η παροχή τέτοιων ενεργειακών υπηρεσιών σε μεμονωμένους οικιακούς πελάτες στη δεδομένη χρονική στιγμή φαντάζει εξωπραγματική, η εφαρμογή τους σε μεγάλους επιχειρησιακούς πελάτες ή σε δημόσια κτίρια αποδεικνύεται επιβεβλημένη ανάγκη. Τέτοιοι μεγάλοι «πελάτες» αφενός ενδιαφέρονται για τη μείωση τους κόστους από την αγορά ενέργειας, κι επιπλέον το κέρδος για την προστασία του περιβάλλοντος θα είναι μεγάλο, αφού καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας και σπαταλούν ακόμη περισσότερα. Στην ουσία η ESCO θα παίξει το ρόλο του ενδιάμεσου μεταξύ των παρόχων ενέργειας σε μία απελευθερωμένη αγορά και των πελατών αυτών.

Καταρχήν ας δούμε γιατί οι βιομηχανίες , τα ξενοδοχεία και τα δημόσια κτίρια έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών σε σχέση με την εξοικονόμηση και τη διαχείριση ενέργειας [7]. Μια βιομηχανική μονάδα ακολουθεί γνωστή και προδιαγεγραμμένη παραγωγική διαδικασία, με στάδια κατά τα οποία καταναλώνεται συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας και τα οποία συμβαίνουν συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Περίπου το ίδιο συμβαίνει σε ένα ξενοδοχείο, σε ένα σχολείο, ή σε ένα νοσοκομείο : μόνο που αντί για παραγωγική διαδικασία, έχουμε άτομα με συγκεκριμένες συνήθειες και συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις που κινούνται στο χώρο. Οπότε μία ESCO μπορεί για δεδομένες κατηγορίες πελατών να έχει έτοιμα pattern για σύγκριση των real time ενεργειακών δεδομένων που λαμβάνει από αυτούς , κι έτσι χωρίς μεγάλο υπολογιστικό κόστος για real time επεξεργασία των δεδομένων, αλλά και χωρίς καθυστέρηση, να οδηγείται σε συμπεράσματα και να ενημερώνει τον εκάστοτε πελάτη όσον αφορά τις ενεργειακές του απαιτήσεις , αλλά και για τυχόν αποκλίσεις από τις φυσιολογικές και επιθυμητές τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας [8].

Σε γενικές γραμμές δηλαδή οι ESCOs έχουν ως στόχο την καθολική μείωση του κόστους της ενέργειας που χρειάζεται ένας πελάτης για να καλύψει τις ανάγκες του, είτε μειώνοντας το ποσό της χρησιμοποιούμενης ενέργειας (επένδυση σε κατάλληλες υποδομές), είτε μειώνοντας το κόστος για την αγορά/παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας (αγορά από διάφορους παρόχους –χρηματιστήριο-, κατανεμημένη παραγωγή από ΑΠΕ), αλλά και παρέχοντας τα εγγύα ότι κάποιες κρίσιμες διεργασίες (σε νοσοκομεία ή σε βιομηχανικές μονάδες) θα τροφοδοτούνται πάντα από αξιόπιστες πηγές στη χαμηλότερη τιμή. Όλα αυτά από την πλευρά του πελάτη- καταναλωτή βέβαια, γιατί όπως περιγράφηκε και παραπάνω μία ESCO θα μπορούσε να παρέχει και υπηρεσίες με βάση τα real time ενεργειακά δεδομένα σε πελάτες-παραγωγούς, έτσι ώστε αυτοί να πραγματοποιήσουν συμφέρουσες επενδύσεις σε ΑΠΕ , σε περιοχές με καλούς «πελάτες-καταναλωτές», έτσι ώστε να μην χάνουν λόγω απωλειών από τη μεταφορά ενέργειας ή την αποθήκευσή της σε συσσωρευτές.

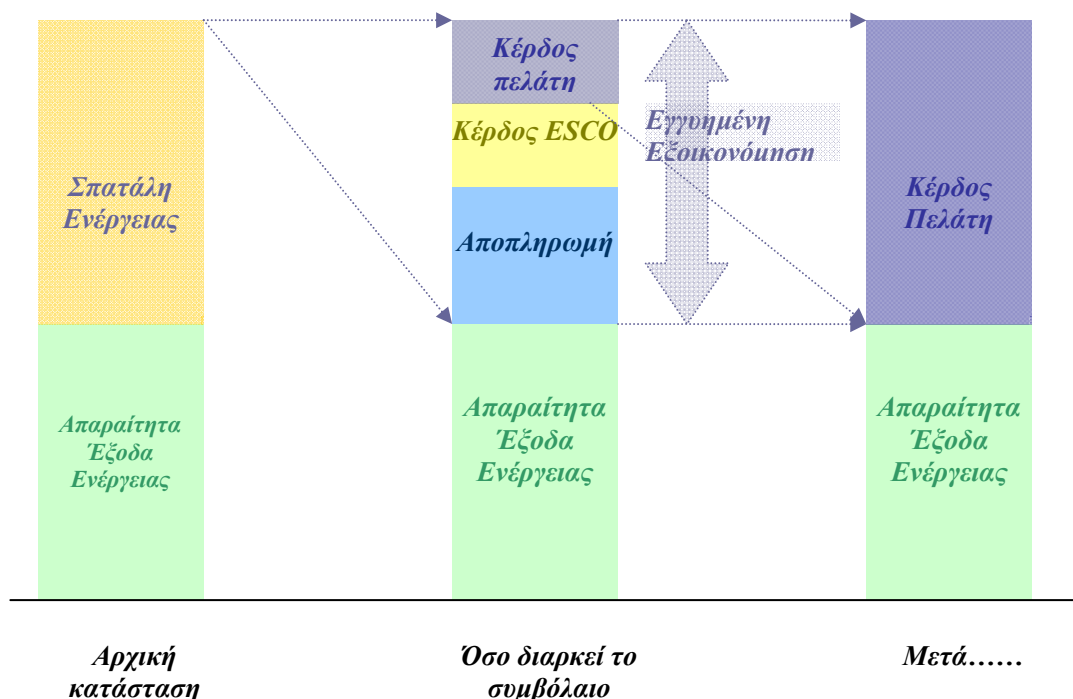
Όπως είναι ήδη φανερό δεν μπορεί να υπάρξει ένας σαφής ορισμός για το τι είναι μια Εταιρία Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών κι αυτό γιατί ο όρος Ενεργειακές Υπηρεσίες μπορεί να περικλείει αρκετούς διαφορετικούς τομείς. Θα αρκεστούμε λοιπόν στο να συνοψίσουμε ποιες μπορεί να είναι οι παρεχόμενες Ενεργειακές Υπηρεσίες :

- Ανάλυση και Έλεγχος ενεργειακών Δεδομένων
- Διαχείριση Ενέργειας
- Σχεδιασμός και Εφαρμογή Μελετών
- Συντήρηση και Έλεγχος Λειτουργίας
- Διαχείριση εγκαταστάσεων
- Προμήθεια Ενέργειας ή/και Εξοπλισμού

Εκτός βέβαια από το ευρύ πεδίο δραστηριοτήτων μία ESCO διαθέτει κι ένα ευρύ φάσμα πελατών, καθώς το πελατολόγιό της μπορεί να ποικίλει από βιομηχανίες ευαισθητοποιημένες σε ενεργειακά θέματα μέχρι οικιακούς χρήστες που επιθυμούν να μειώσουν το λογαριασμό τους.

2.3 Μοντέλα Χρηματοδότησης Ενεργειακών Επενδύσεων

Σε κάθε περίπτωση πελάτη πάντως η λογική με την οποία αποδίδει το business μιας ESCO είναι όμοιο με ότι έχει ήδη περιγραφεί και συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2-1: Τρόπος Λειτουργίας μιας ESCO

Όμως σε κάθε περίπτωση απαιτούνται έργα υποδομής έτσι ώστε να μειωθούν οι σπατάλες ενέργειας, αλλά και για να έχουμε το διαρκές monitoring της ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο οι περισσότεροι πελάτες δεν είναι διατεθειμένοι να επωμιστούν το κόστος αυτών των έργων ,αναμένοντας στη συνέχεια να τους επιστραφεί το κεφάλαιο που επένδυσαν με τη μορφή εξοικονόμησης ενέργειας ή χαμηλότερου κόστους για την αγορά της ενέργειας.

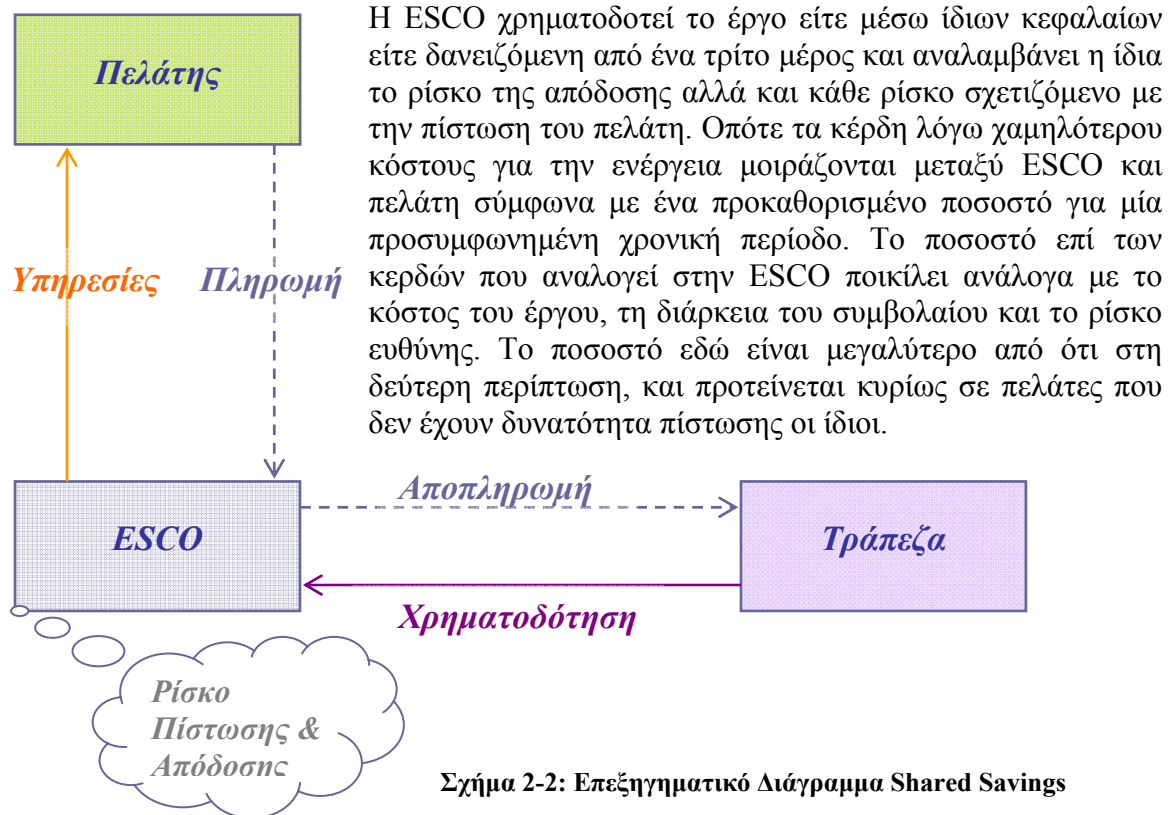
Ακόμη όμως και κάποιοι μεγάλοι βιομηχανικοί πελάτες που ενδεχομένως να έχουν τη διάθεση να επενδύσουν κεφάλαια με την ελπίδα να αποκομίσουν κέρδος στο μέλλον, το πιθανότερο είναι να ακολουθήσουν κάποιον άλλο τρόπο χρηματοδότησης [9], όπως αυτοί θα περιγραφούν παρακάτω.

Καταρχήν τα project αυτά είναι αυτό-χρηματοδοτούμενα ,αφού το κεφάλαιο επένδυσης αποπληρώνεται από την ίδια την εξοικονόμηση ενέργειας και προσφέρουν μία χρηματοδοτική λύση σε πελάτες που έχουν φτάσει στο μέγιστο πιστωτικό τους όριο. Έτσι οι ESCOs διαφέρουν από τις απλές συμβουλευτικές εταιρείες που ενδεχομένως να δραστηριοποιούνται στο χώρο της αποδοτικότερης διαχείρισης της ενέργειας, οι οποίες χρεώνουν τις συμβουλευτικές τους υπηρεσίες άπαξ και από εκεί κι έπειτα δεν αναλαμβάνουν την ευθύνη για αποτυχία των μέτρων που προτείνουν. Αντίθετα για τη δημιουργία μίας ESCO απαιτείται συνεργασία με χρηματοδοτικούς οργανισμούς (τράπεζες, το κράτος, μη κερδοσκοπικές οργανώσεις), έτσι ώστε να βρεθεί η απαραίτητη χρηματοδότηση με τη μορφή δανείου, την αποπληρωμή του οποίου εγγυάται η ESCO μέσω των χαμηλότερων δαπανών για την ενέργεια.

Ας δούμε όμως τι είναι αυτό που τελικά κάνει τις ESCO να διαφέρουν από τις συμβουλευτικές εταιρείες: Λειτουργούν υπό καθεστώς ενός συμβολαίου ενεργειακής απόδοσης (Energy Performance Contract –EPC), το οποίο μπορεί να οριστεί ως μία μορφή δημιουργικής αυτό-χρηματοδότησης το οποίο δίνει περιθώριο για αναβαθμίσεις ενεργειακής απόδοσης μέσα από τη μείωση του κόστους. Τα εχέγγυα για την αποτελεσματικότητα των μέτρων παρέχονται από την ESCO ως ποσοστό επί των αρχικών εξόδων για την αγορά ενέργειας [10]. Στη συνέχεια τα κέρδη μοιράζονται μεταξύ Εταιρείας και πελάτη για όσο καιρό διαρκεί το συμβόλαιο.

Παρακάτω περιγράφονται δύο διαφορετικοί μηχανισμοί που έχουν να κάνουν με τη χρηματοδότηση αλλά και το ποιος αναλαμβάνει το ρίσκο σε περίπτωση αποτυχίας.

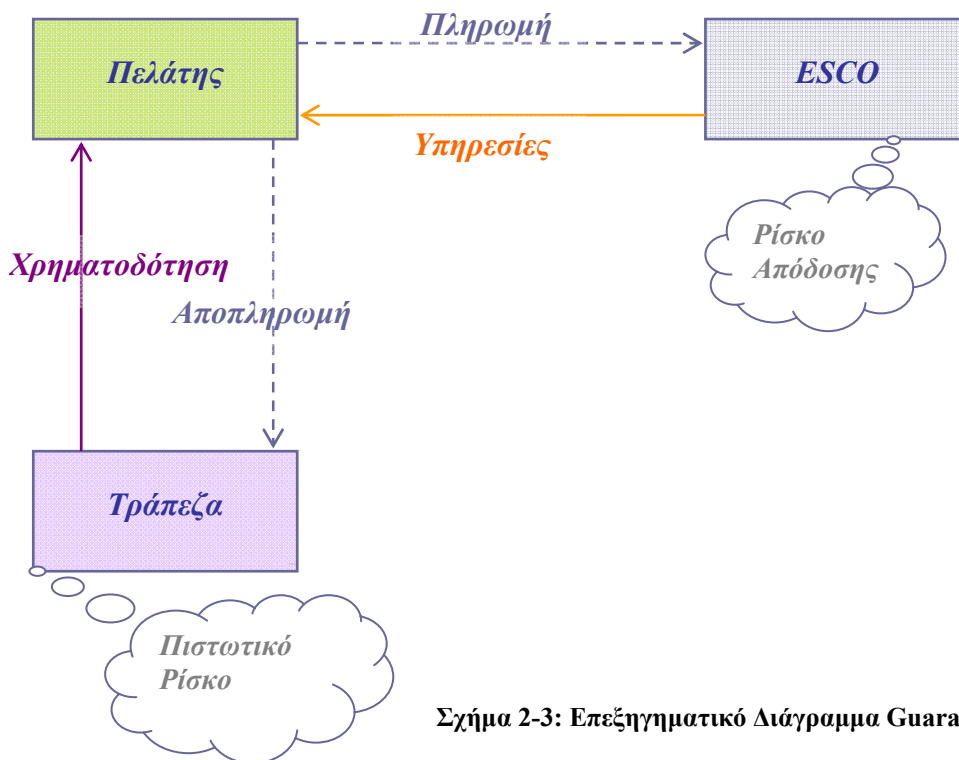
- **Shared Savings:**



Σχήμα 2-2: Επεξηγηματικό Διάγραμμα Shared Savings

- **Guaranteed Savings:**

Σε αυτή την περίπτωση ο πελάτης χρηματοδοτεί το σχεδιασμό και την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού δανειζόμενος ο ίδιος από το τρίτο μέρος, που μπορεί να είναι μία τράπεζα, ή δανειζόμενος (με leasing) τον εξοπλισμό. Η ESCO δεν έχει κάποιο δεσμευτικό συμβόλαιο με την τράπεζα, αλλά αναλαμβάνει το ρίσκο απόδοσης του έργου και εγγυάται για τα οφέλη από την εξοικονόμηση. Αν τα κέρδη δεν είναι όσο ήταν συμφωνημένο, η ESCO καλύπτει τη διαφορά, ενώ αν υπερβαίνουν την ελάχιστη προβλεπόμενη τιμή, τότε ο πελάτης συμφωνεί να τα μοιράζεται με την ESCO. Ο πελάτης πρέπει να είναι πρόθυμος να αναλάβει την οφειλή βασιζόμενος στην εγγύηση ότι η εξοικονόμηση θα υπερβαίνει τη δόση του δανείου. Το πλεονέκτημα με τα Guaranteed Savings είναι ότι το τρίτο μέρος εκτιμά και χρησιμοποιεί το πιστωτικό όριο του πελάτη, και το πιστωτικό ρίσκο το επωμίζεται ο ίδιος.



Σχήμα 2-3: Επεξηγηματικό Διάγραμμα Guaranteed Savings

2.4 Μείωση Κόστους - Πρόβλεψη Φορτίου : Οι δύο όψεις του νομίσματος

Ο βέλτιστος σχεδιασμός και διαχείριση της ροής ενέργειας στη βιομηχανία βοηθά στη μείωση της τιμής του ηλεκτρισμού και κατά συνέπεια του συνολικού κόστους παραγωγής. Αυτές οι δύο ενέργειες εμπλέκονται στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, μειώνοντας τις σπατάλες κι επιλέγοντας τις πιο κατάλληλες τεχνολογικές λύσεις ,και ελαχιστοποιώντας την τιμή αγοράς του ηλεκτρισμού μέσω διαπραγματεύσεων για το πιο συμφέρον συμβόλαιο παροχής ενέργειας.

Η τελευταία εναλλακτική είναι σαφώς κάτι πολύ καινούριο και ασυνήθιστο για τους απλούς χρήστες στον ελλαδικό χώρο. Επιπλέον μόνο οι καταναλωτές με ικανή ετήσια κατανάλωση θα μπορούσαν να διαπραγματεύονται τιμές και συμβόλαια παροχής με τους παρόχους απευθείας.

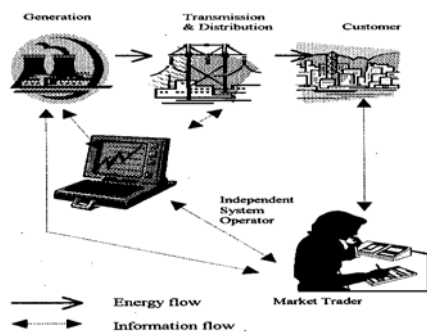
Οι προμηθευτές από την άλλη πλευρά στοχεύουν στην πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με κάποια προγραμματισμένη καμπύλη φορτίου, κι έτσι ζητούν από τους πελάτες τους να τους τροφοδοτούν με τα κατάλληλα δεδομένα εκ των προτέρων, τουλάχιστον με ορίζοντα μίας εβδομάδας. Ως ανταπόδοση για αυτή την πρόβλεψη φορτίου , ο πελάτης λαμβάνει εκπτώτική τιμή αγοράς για τον ηλεκτρισμό που του παρέχεται, εφόσον βρίσκεται εντός των συμφωνημένων ορίων.

Αυτές οι νέες προοπτικές στην αγορά ενέργειας καθιστούν σαφές ότι υπάρχει όλο και μεγαλύτερη ανάγκη για ανάπτυξη μεθόδων που θα προβλέπουν αξιόπιστα, γρήγορα και οικονομικά το φορτίο ενός δεδομένου καταναλωτή ,αλλά και μεθόδων που θα χωρίζουν το πελατολόγιο σε κλάσεις με διαφορετικές ανάγκες και χαρακτηριστικά όσον αφορά την κατανάλωση [11].

Αυτές οι δύο κατηγορίες μεθόδων επεξεργασίας ενεργειακών δεδομένων αποτελούν εντελώς διαφορετικά κεφάλαια και συναντιούνται μόνο σε δύο σημεία: έχουν κοινό στόχο και ενδεχομένως να χρησιμοποιούν παρόμοιες μεταβλητές.

Αυτό που σίγουρα έχουν κοινό είναι ότι χρειάζονται μία πληθώρα δεδομένων προς επεξεργασία, έτσι ώστε αφενός να δοκιμαστούν κι αφετέρου να εξελιχθούν/βελτιωθούν. Το πρόβλημα ωστόσο είναι ότι ο υπάρχων εγκατεστημένος μετρητικός εξοπλισμός ή τα υπάρχοντα δεδομένα δεν επαρκούν. Απαιτείται λοιπόν εγκατάσταση εξοπλισμού και οι χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι συνήθως διατεθειμένοι να ξοδέψουν επιπλέον χρήματα για όργανα, ενώ θα προτιμούσαν να ξοδέψουν χρήματα για υπηρεσίες.

Ας δούμε τώρα κάποιες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα πρόβλεψης φορτίου ή τα μοντέλα κατάταξης των πελατών σε κατηγορίες. Αυτοί οι δείκτες σίγουρα περιλαμβάνουν την ενεργό και την άεργο ισχύ που ζητά ο πελάτης και οι καταγραφές συνήθως λαμβάνονται με συχνότητα μίας ώρας, ακόμη κι αν τελικά τα μοντέλα θα αφορούν ημερήσιους ή εβδομαδιαίους δείκτες. Τα δεδομένα σίγουρα κανονικοποιούνται ως προς τη μέγιστη τιμή (ή κάποια τιμή αναφοράς), ώστε να μην έχουμε να κάνουμε με μεγάλα νούμερα και αποστέλλονται σε κάποιο server για περαιτέρω real-time επεξεργασία. Επειδή ο όγκος των πληροφοριών που καταγράφονται και αποστέλλονται είναι αρκετά μεγάλος οι υπάρχοντες αλγόριθμοι στα πρώτα στάδια τους προτείνουν μία διαλογή των δεδομένων που θα μεταφέρουν χρήσιμη πληροφορία και θα αποτελέσουν μεταβλητή του συστήματος μας. Αυτό πραγματοποιείται με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, αλλά η τελική επιλογή έχει να κάνει και με την εμπειρία του χειριστή του συστήματος.



Σχήμα 2-4:

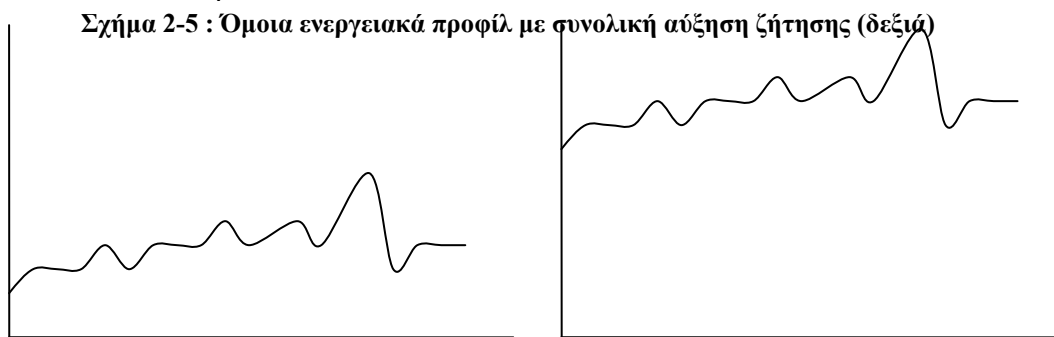
Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται ένα σύγχρονο πληροφοριακό σύστημα στον ενεργειακό τομέα, κι επίσης δείχνει τις συνδέσεις και τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των φορέων σε μία απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.

Βέβαια με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας εκτός από τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και οι εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας θα αναζητήσουν τρόπους για να πραγματοποιήσουν συμφέρουσες επενδύσεις. Προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσε να τους βοηθήσει μία καταγραφή και μελέτη των συνηθειών των χρηστών ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να μπορέσουν να υποστηρίξουν κατάλληλα τις υποδομές διανομής με μελλοντικές επεκτάσεις, αλλά και ενδεχομένως και την καθιέρωση διαφορετικών ζωνών διατίμησης της μεταφερόμενης ενέργειας ανάλογα με το πραγματικό κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Εκτός των άλλων έχει ήδη αναφερθεί το ενδεχόμενο σχεδιασμού και εγκατάστασης κατανεμημένων μονάδων παραγωγής έτσι ώστε να καλύπτονται αποτελεσματικά αιχμές στη ζήτηση, οι οποίες έχουν προβλεφθεί σωστά από την εμβάθυνση στο ενεργειακό προφίλ των πελατών μίας δεδομένης περιφέρειας.

2.5 Ενεργειακοί Δείκτες – KPIs

Όλη η μελέτη του ενεργειακού προφίλ των πελατών βασίζεται στην καμπύλη διάρκειας φορτίου η οποία χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια για τη μελέτη των ενεργειακών καταναλώσεων. Από μία δεδομένη καμπύλη φορτίου όμως μπορούν να προκύψουν πολλές διαφορετικές πληροφορίες ανάλογα με τους δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν, δηλαδή ανάλογα με την οπτική από την οποία παρατηρούμε την καμπύλη. Είναι φανερό λοιπόν ότι είναι επιβεβλημένη η θέσπιση ορισμένων συγκεκριμένων δεικτών, που θα προκύπτουν από την καμπύλη φορτίου και θα αποτελούν αναφορά προς σύγκριση, έτσι ώστε η εκτίμηση για το ενεργειακό προφίλ κάθε πελάτη να γίνεται όσο το δυνατόν πιο αντικειμενικά. Το βέβαιο είναι ότι δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση με τιμές που προκύπτουν απευθείας από την καμπύλη, αλλά με τιμές που έχουν κανονικοποιηθεί ως προς τη μέγιστη τιμή, έτσι ώστε να έχουμε μία απόλυτη σύγκριση της συμπεριφοράς και όχι απλώς αν έχουμε συνολικά αύξηση της ζήτησης χωρίς όμως να αλλάζει πραγματικά η συμπεριφορά-προφίλ του καταναλωτή.



Οι δείκτες σχεδιάζονται έτσι ώστε να περιγράφουν τις κύριες ενεργειακές τάσεις. Με συνεχή παρακολούθηση των δεικτών μπορεί να γίνει αντιληπτή η τρέχουσα κατάσταση αλλά και να σχεδιαστεί το μέλλον. Σε αρκετές περιπτώσεις οι δείκτες συνδυάζουν ενεργειακά, οικονομικά και δημογραφικά δεδομένα για να απεικονίσουν ενεργειακή πυκνότητα. Για παράδειγμα οι δείκτες για τον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα πρέπει να απεικονίζουν την ενεργειακή κατανάλωση και να τη σχετίζουν με διαφορετικό οικονομικό παράγοντα για καθένα από τους παραπάνω τομείς. Διαφορετικού ύφους δείκτες σχεδιάζονται για να δείχνουν τις ενεργειακές τάσεις τμηματοποιώντας την ενεργειακή κατανάλωση και τις τιμές ανάλογα με το είδος της καταναλισκόμενης ενέργειας αλλά και το είδος του τελικού καταναλωτή.

Σύμφωνα με τους *Malkina and Pykh* ένας αποτελεσματικός ενεργειακός δείκτης (effective energy indicator) θα πρέπει να περιλαμβάνει τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να αντικατοπτρίζει το θεωρούμενο πρόβλημα σύμφωνα με τα απαραίτητα κριτήρια. Ο προορισμός του είναι να δείχνει πόσο καλά ανταποκρίνεται το μελετώμενο σύστημα και φυσικά ανάλογα με το σύστημα διαφοροποιούνται και οι δείκτες [12].

Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης εξαρτώνται από την επεξεργασία πληροφοριών έτσι ώστε να τεθούν οι στόχοι, να ρυθμιστεί η απόδοση και να μεταφερθούν τα αποτελέσματα. Η οπτική γωνία της διαχείρισης ενέργειας αλλά και τα διάφορα πρωτόκολλα μέτρησης και επικύρωσης (όπως το IPMVP [13]) τονίζουν τη σημασία που έχουν τα πληροφοριακά συστήματα έτσι ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα. Η αύξηση της αποδοχής των ενεργειακών πληροφοριακών συστημάτων παγκοσμίως οδήγησε σε τέτοιο όγκο ενεργειακών μετρήσεων και πληροφοριών ώστε οι διαχειριστές των συστημάτων αυτών να μην μπορούν πλέον να εξάγουν σαφή συμπεράσματα και να είναι αδύνατο να

επεξεργαστούν τις υπάρχουσες πληροφορίες και δεδομένα ως έχουν. Ακριβώς το ίδιο πρόβλημα έχει ήδη αντιμετωπιστεί στο χώρο των επιχειρηματικών πληροφοριακών συστημάτων, με αποτέλεσμα να εφευρεθούν και να χρησιμοποιηθούν δείκτες απόδοσης – Key Performance Indicators (KPIs)-, οι οποίοι περιγράφουν πιο συμπυκνωμένα όγκους δεδομένων και δίνουν στην πληροφορία πιο επεξεργάσιμη μορφή. Αυτοί οι δείκτες παρέχουν τόσο μέτρα για τον καθορισμό της επιτυχίας ενός σχεδίου δράσης όσο και τα κατάλληλα όπλα για τους διαχειριστές έτσι ώστε να παρακολουθούν την απόδοση και να κάνουν προσαρμογές ώστε τελικά να υπάρχει επιτυχία. Ακριβώς το ίδιο σκεπτικό ακολουθούμε και στην διαχείριση ενέργειας, όπου οι KPIs σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρέχουν ενεργειακή πληροφόρηση [14].

Μετά το σχεδιασμό των δεικτών αυτών είναι πιο ξεκάθαρο ποια είναι τα απαραίτητα δεδομένα και πόσο συχνά πρέπει να συλλέγονται για να σχηματίζονται οι δείκτες.

Οι δείκτες αποτελούν ένα μεθοδολογικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων καθώς ποσοτικοποιούν και απλοποιούν φαινόμενα με στόχο την καλύτερη κατανόηση μίας «πολύπλοκης πραγματικότητας».

Η κύρια μορφή των δεικτών είναι οι κανονικοποιήσεις της ενεργειακής χρήσης ως προς κάποια δραστηριότητα ή άλλο μέτρο, ονομαζόμενες ως «εντάσεις». Οι «εντάσεις» προσφέρουν το πλεονέκτημα της σύγκρισης μεταξύ παρόμοιων δραστηριοτήτων όπως π.χ. την ενεργειακή αποδοτικότητα των διαφορετικών περιοχών μιας βιομηχανίας, ενώ επιπλέον δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης των σχετικών πληροφοριών στην πάροδο του χρόνου.

Επομένως, η χρήση δεικτών ενεργειακής έντασης, αλλά και των παράγωγων τους, των δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας (energy efficiency indicators), μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη και τη χρήση μεθοδολογιών για τον έλεγχο και την παρακολούθηση έργων και επενδύσεων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον τριτογενή κτιριακό τομέα.

Ο υπολογισμός των συγκεκριμένων δεικτών, είτε σε φυσικές είτε σε νομισματικές μονάδες, ποικίλει ανάλογα με τη φύση της ανάλυσης που πραγματοποιείται κάθε φορά. Γενικά οι δείκτες που υπολογίζονται σε νομισματικές μονάδες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε μακροοικονομικό επίπεδο του συνολικού εξεταζόμενου τομέα, ενώ οι δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας με φυσικές μονάδες είναι πιο κατάλληλοι για λεπτομερείς αυτοτελείς αναλύσεις. Οι δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας μπορούν να προκύψουν με πολλές διαφορετικές διατυπώσεις και αντίστοιχες μαθηματικές αποτυπώσεις, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιείται για την απάντηση σε συγκεκριμένες ή γενικές ερωτήσεις σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Οι δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας μπορούν να δημιουργηθούν από μια συνάθροιση στατιστικών στοιχείων σε διεθνές ή εθνικό επίπεδο μέχρι από άμεσα ενεργειακά δεδομένα από ανεξάρτητες καταναλωτές. Επίσης, ο καθορισμός του κατάλληλου επιπέδου λεπτομέρειας για την κατασκευή δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας χρειάζεται να αντανakλά τους στόχους της συγκεκριμένης ανάλυσης.

Οι δείκτες ενεργειακής έντασης μπορούν να θεωρηθούν ως παράγωγα αρχικών δεδομένων ενεργειακών καταναλώσεων και βιομηχανικής παραγωγής. Η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων είναι καταλυτική για ικανοποιητικές εκτιμήσεις ενεργειακής απόδοσης. Η βασική μεθοδολογία για τη δημιουργία δεικτών ενεργειακής έντασης σε διαφορετικά επίπεδα συσσώρευσης και περιορισμών δεδομένων διακρίνει δύο κατηγορίες τέτοιων δεικτών. Οι περιγραφικοί δείκτες αναλύουν την κατάσταση της ενεργειακής έντασης και την εξέλιξη αυτής, ενώ οι επεξηγηματικοί δείκτες αναλύουν τους κινητήριους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή ένταση και την εξέλιξή της [15].

2.6 Παροχή Ηλεκτρονικών Ενεργειακών Υπηρεσιών μέσω Διαδικτύου

Το διαδίκτυο έχει παρεισφρήσει εδώ και μία δεκαετία σε όλους σχεδόν τους τομείς της παγκόσμιας επιχειρηματικότητας, διαμορφώνοντας ένα κλίμα παγκόσμιου ανταγωνισμού που σε διαφορετική περίπτωση δε θα ήταν εφικτό. Εξίσου άμεσα και δραματικά μπορεί να επηρεαστεί και ο τομέας των ενεργειακών υπηρεσιών από την παροχή ηλεκτρονικών ενεργειακών υπηρεσιών.

Οι αρχές των ηλεκτρονικών υπηρεσιών

Οι ηλεκτρονικές υπηρεσίες μπορεί να περιλαμβάνουν οποιοδήποτε κομμάτι των ενεργειακών υπηρεσιών και των υπηρεσιών ενεργειακής αποδοτικότητας, το οποίο να μπορεί να επωφεληθεί από το Διαδίκτυο. Σε γενικές γραμμές, η παροχή ηλεκτρονικών υπηρεσιών ξεπερνά κατά πολύ το ηλεκτρονικό εμπόριο και επεκτείνεται σε τέσσερις επιπλέον τομείς:

- ο Διαφήμιση και Προώθηση
- ο Διαχείριση Πελατειακών Σχέσεων
- ο Αύξηση Εσόδων
- ο Βελτίωση επιχειρηματικών διαδικασιών και μείωση κόστους

Οι υπηρεσίες ενεργειακής αποδοτικότητας μπορούν να εφαρμόζονται και στους τέσσερις παραπάνω τομείς, όπως έχει ήδη περιγραφεί νωρίτερα. Το ηλεκτρονικό εμπόριο είναι μόνο η μία συνιστώσα του ηλεκτρονικού επιχειρείν. Στον ενεργειακό τομέα βέβαια η πλήρης επανάσταση για την καθιέρωση της παροχής ενεργειακών ηλεκτρονικών υπηρεσιών συμπεριλαμβάνει την ενσωμάτωση όλων των ειδών των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και όλων των ειδών των καταναλωτών/παροχέων/παραγωγών ενέργειας, από απλούς οικιακούς πελάτες μέχρι προμηθευτές.

Σύμφωνα με τον *Gort* η διαδικασία ξεκινά με τη δημιουργία μίας διαδικτυακής οντότητας με σκοπό να δημιουργηθεί μία χαμηλού κόστους πλατφόρμα. Στο επόμενο βήμα η παροχή ηλεκτρονικών υπηρεσιών εφαρμόζεται σε ήδη υπάρχουσες επιχειρηματικές δραστηριότητες. Για παράδειγμα οι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιούν την πλατφόρμα για να αλληλεπιδρούν με την εταιρία, παρακολουθώντας το λογαριασμό τους στο διαδίκτυο ή δεχόμενοι συμβουλές πώς μπορούν από μόνοι τους να μειώσουν τη σπατάλη ενέργειας. Μία εξέλιξη των παραπάνω περιλαμβάνει και οικονομικές συναλλαγές μέσω διαδικτύου, όπως η πληρωμή λογαριασμών. Τελικά οι επιχειρήσεις θα πρέπει να διαφοροποιήσουν εντελώς την επιχειρηματική τους δραστηριότητα έτσι ώστε να πλαισιώσουν ακόμη καλύτερα το υφιστάμενο διαδικτυακό σύστημα [16].

Σύμφωνα με τους *Seybold* και *Marshak* [17] οι κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχή προσέλκυση πελατών μέσω της τεχνολογίας περιλαμβάνουν :

- ο στοχοθέτηση των κατάλληλων πελατών
- ο πλήρη γνώση της συνολικής εμπειρίας των πελατών
- ο συνεχείς επιχειρησιακές διεργασίες που κάνουν εντύπωση στον πελάτη
- ο ανατροφοδότηση πληροφοριών από/προς τους πελάτες
- ο βοήθεια των πελατών να κάνουν τη δουλειά τους
- ο παροχή προσωπικών εξειδικευμένων υπηρεσιών

Η παροχή ηλεκτρονικών υπηρεσιών μπορεί να περιλαμβάνει όλη την κατακόρυφη κατανομή των επιχειρήσεων, δηλαδή από εμπόριο χονδρικής μέχρι παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, όπως είναι εξάλλου η ενεργειακή αποδοτικότητα. Συνεπώς το πελατολόγιο μπορεί να περιλαμβάνει εταιρίες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής

ενέργειας, εταιρίες εμπορίου υλικών και εξαρτημάτων αλλά και απλούς καταναλωτές ενέργειας και εταιρίες κοινής ωφελείας, όπως σχολεία και υπηρεσίες.

Σε κάθε περίπτωση για να σχεδιαστεί μία τέτοια πλατφόρμα για υποστήριξη ηλεκτρονικών ενεργειακών υπηρεσιών θα πρέπει να επιλεγθούν κατάλληλα τόσο οι υπηρεσίες που θα υποστηρίζονται με δυνατότητα μελλοντικής επέκτασής τους όσο και το φάσμα του πελατολογίου. Ωστόσο για να ληφθεί μία τέτοια απόφαση, η οποία συνεχώς θα πρέπει να επανεξετάζεται, απαιτείται η συλλογή κι η επεξεργασία ενεργειακών δεδομένων. Βέβαια για να μην υπάρξει κατακλυσμός από δεδομένα θα πρέπει να εξάγονται συμπεράσματα από αυτά. Όσο περισσότερα δεδομένα συλλέγονται και αναλύονται τόσο μεγαλύτερο βάθος έχουν οι αποφάσεις που παίρνουμε, αλλά όσο λιγότερος χρόνος ξοδεύεται στην επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων, τόσο περισσότερος χρόνος είναι διαθέσιμος για τη λήψη καίριων αποφάσεων. Οι τεχνικές εξόρυξης δεδομένων μπορούν να συνδράμουν στην επεξεργασία δεδομένων, ώστε να παραχθούν χρήσιμοι συσχετισμοί. Η εξόρυξη δεδομένων, όπως θα περιγραφεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιεί υπολογιστικούς αλγορίθμους για να εντοπίζει χρήσιμα μοτίβα ανάμεσα σε ένα πλήθος από δεδομένα. Η εξόρυξη δεδομένων περιλαμβάνει τέσσερις επιμέρους τεχνικές: την ανάλυση αγοράς, τις τεχνικές κατάταξης, τις τεχνικές συσταδοποίησης και την πρόβλεψη [18].

Οι τεχνικές συσταδοποίησης προσπαθούν να κατακερματίσουν το μελετώμενο σύστημα σε ομάδες με παρόμοια μοτίβα συμπεριφοράς. Συνεπώς συσταδοποίηση, αλλά και η εξόρυξη γνώσης γενικά, αναδεικνύοντας συγκεκριμένες ομοιότητες, προσφέρουν βαθύτερη κατανόηση των πελατών, βοηθούν στη δημιουργία πιο εξατομικευμένων προϊόντων και υπηρεσιών, θέτουν πιο ρεαλιστικούς και εξειδικευμένους στόχους.

3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΣΥΣΤΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1.	Εξόρυξη Δεδομένων (Data Mining).....	31
3.2.	Συσταδοποίηση (Clustering) και εφαρμογές	33
3.3.	Εποπτική Παρουσίαση Αλγορίθμων	35
3.3.1.	K-means.....	36
3.3.2.	Ασαφής c-means.....	37
3.3.3.	Ιεραρχική Συσταδοποίηση.....	37
3.3.4.	Συσταδοποίηση με συνδυασμό γκαουσιανών.....	38
3.3.5.	Αυτοδιοργανούμενοι Χάρτες (Self-organized Maps).....	38
3.4.	Επιλογή Αλγορίθμου.....	39

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναλύονται οι τεχνικές συσταδοποίησης δεδομένων, . Αρχικά περιγράφονται τα διάφορα στάδια που ακολουθεί η εξόρυξη γνώσης από σύνολα δεδομένων, αφού η συσταδοποίηση είναι μία μόνο από τις τεχνικές της εξόρυξης δεδομένων. Αναφέρονται κάποιες δυνατότητες εφαρμογής τέτοιων τεχνικών σε ενεργειακά δεδομένα κι αφού παρουσιαστούν εποπτικά κάποιοι βασικοί αλγόριθμοι συσταδοποίησης, εξηγείται πώς και γιατί επιλέχθηκε ο δεδομένος αλγόριθμος για την εφαρμογή μας.

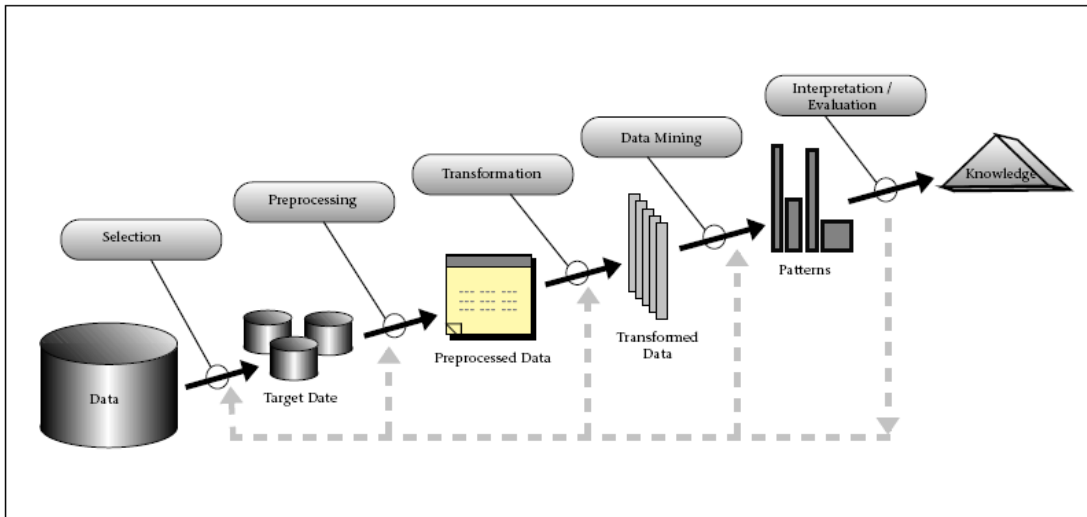
3.1 Εξόρυξη Δεδομένων (Data mining)

Η εξόρυξη δεδομένων (data mining) που αναφέρεται επίσης και ως εξόρυξη γνώσης (knowledge discovery) σε βάσεις δεδομένων, σημαίνει μία διαδικασία μη τετριμμένης εξαγωγής των υπονοούμενων, προηγούμενων άγνωστων, ενδεχομένως χρήσιμων και πλήρως κατανοητών πληροφοριών (όπως κανόνες γνώσης, περιορισμούς, κανονικότητες) από βάσεις δεδομένων [19].

Με την ανάκτηση γνώσης από βάσεις δεδομένων, μπορούν να προκύψουν ενδιαφέρουσες περιοδικότητες, ή υψηλού επιπέδου πληροφορία από τα σχετικά σύνολα δεδομένων δίνοντας την ευκαιρία για παραπέρα εξέταση τους από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ας έρθουμε όμως στην εφαρμογή των αποτελεσμάτων της εξόρυξης δεδομένων: Η αποκτηθείσα γνώση μπορεί να εφαρμοσθεί στη διαχείριση πληροφορίας, στην επεξεργασία ερωτημάτων (query) για άντληση πληροφοριών, στη λήψη αποφάσεων, σε διαδικασίες ελέγχου και σε πληθώρα εφαρμογών. Επιπλέον η χρησιμότητα των τεχνικών εξόρυξης δεδομένων είναι εμφανής σε πολλές ανερχόμενες εφαρμογές που σχετίζονται με υπηρεσίες παροχής πληροφοριών, όπως υπηρεσίες μέσω διαδικτύου, όπου απαιτείται βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών έτσι ώστε να βελτιστοποιηθούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο. Μία από αυτές τις «ανερχόμενες εφαρμογές» είναι και η παροχή ενεργειακών υπηρεσιών μέσω διαδικτύου κατόπιν επεξεργασίας και εξόρυξης γνώσης από real-time ενεργειακές μετρήσεις. Βέβαια τα ενεργειακά δεδομένα είναι πολύ γενικός όρος και ενδεχομένως να περιλαμβάνουν πολλά διαφορετικά μετρήσιμα μεγέθη, η επεξεργασία των οποίων θα πρέπει να μπορεί να διαφοροποιείται προσαρμοζόμενη στις εκάστοτε ανάγκες. Εξάλλου σύμφωνα με τους *Ming-Syan Chen, Jiawei Han, Philip S. Yu*, η εξόρυξη γνώσης οφείλει να είναι διαδραστική (interactive) διαδικασία με πολλαπλά αφαιρετικά επίπεδα. Εφόσον είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί πάντα ποια ακριβώς θα μπορούσαν να είναι τα εξαγόμενα συμπεράσματα από μία βάση δεδομένων, κάθε υψηλού επιπέδου προσπάθεια για εξόρυξη δεδομένων από μία βάση θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως δοκιμή που ενδεχομένως να περικλείει σημαντική γνώση για βαθύτερη μελέτη των δεδομένων. Η αλληλεπίδραση στην εξόρυξη δεδομένων επιτρέπει στο μελετητή να διαφοροποιεί δυναμικά την εστίαση στα δεδομένα, σταδιακά να εμβαθύνει σε αυτά αλλά και αποστασιοποιημένος να παρατηρεί τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των τεχνικών εξόρυξης από διαφορετικές οπτικές γωνίες [20].

Η εξόρυξη δεδομένων αποτελεί ένα στάδιο στη διαδικασία απόκτησης γνώσης (KDD), η οποία αποτελείται από εφαρμογή της ανάλυσης δεδομένων και την εφεύρεση αλγορίθμων,

οι οποίοι έπειτα από τους υπαρκτούς περιορισμούς στην υπολογιστική αποτελεσματικότητα, παράγουν έναν συγκεκριμένο αριθμό από μοτίβα (patterns) ή μοντέλα για τα δεδομένα. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι ο χώρος των προτύπων είναι συχνά άπειρος, και ότι η απαρίθμηση των προτύπων περιλαμβάνει κάποιου είδους αναζήτηση σε αυτό τον χώρο. Δηλαδή εντελώς πρακτικά, τα υπολογιστικά όρια θέτουν σοβαρούς περιορισμούς στον εύρος του υποχώρου που προκύπτει από έναν αλγόριθμο εξόρυξης δεδομένων [19].



Σχήμα 3-1 : Διαδικασία Εξόρυξης Γνώσης από Δεδομένα [21]

Μέθοδοι Εξόρυξης Δεδομένων:

- Η *κατηγοριοποίηση (classification)* είναι μία διαδικασία μάθησης η οποία χαρτογραφεί (κατατάσσει) τα δεδομένα σε μία από τις προκαθορισμένες κατηγορίες σύμφωνα με τους *Weiss και Kulikowski [1991]*. Στην επιβλεπόμενη κατηγοριοποίηση, από ένα σύνολο δεδομένων στην είσοδο, προκύπτει ένα προκαθορισμένο σύνολο από διακριτές κατηγορίες. Η συνάρτηση μεταφοράς από το ένα σύνολο στο άλλο μοντελοποιείται από κάποια μαθηματική συνάρτηση, με παραμέτρους, οι οποίες προσαρμόζονται κατάλληλα. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών βελτιστοποιούνται μέσω ενός επαγωγικού αλγορίθμου μάθησης, ο στόχος του οποίου είναι να ελαχιστοποιήσει μία εμπειρική συνάρτηση ρίσκου ανάλογα με ένα προκαθορισμένο σύνολο παραδειγμάτων δεδομένων εισόδου – εξόδου. [22]
- Η *συσταδοποίηση (Clustering)* είναι μία συνηθισμένη μέθοδος περιγραφικής διαδικασίας κατά την οποία κάποιος προσπαθεί να προσδιορίσει ένα καθορισμένο σύνολο από κατηγορίες ή κλάσεις ή συστάδες έτσι ώστε να περιγράφονται τα δεδομένα (Jain and Dubes 1988; Titterington, Smith, and Makov 1985). Ο στόχος της συσταδοποίησης είναι περισσότερο να διαχωρίσει ένα συγκεκριμένο σύνολο από δεδομένα σε ένα σύνολο από σαφώς διαχωρισμένες κλάσεις, με φυσική σημασία, παρά να παράγει έναν ακριβή χαρακτηρισμό των δειγμάτων, ο οποίος να έχει προκύψει από την ίδια κατανομή πυκνότητας πιθανότητας [23]. Οι συστάδες μπορεί να είναι αμοιβαία αποκλειόμενες ή να αποτελούν επικαλυπτόμενες κλάσεις. Τα συνηθέστερα παραδείγματα εφαρμογής της συσταδοποίησης για εξόρυξη γνώσης περιλαμβάνουν την εύρεση ομογενών πληθυσμών από πελάτες σε βάσεις δεδομένων με αντικείμενο το μάρκετινγκ (Cheeseman and Stutz 1996).

- Η περίληψη (*Summarization*) περιλαμβάνει μεθόδους για εύρεση συμπαγούς περιγραφής υποσυνόλων των δεδομένων.

3.2 Τι είναι clustering και εφαρμογές

Η συσταδοποίηση περιλαμβάνει το διαχωρισμό ενός συνόλου δεδομένων σε μη επικαλυπτόμενες ομάδες ή κλάσεις, με μέλη τα οποία να σχετίζονται πολύ περισσότερο μεταξύ τους απ' ό,τι με μέλη άλλων κλάσεων. Ο όρος «σχετίζονται» όταν αναφέρεται σε συσταδοποιημένα δεδομένα, συνήθως σημαίνει «βρίσκονται πιο κοντά σύμφωνα με κάποιο μέτρο ομοιότητας». Όταν ένα σύνολο δεδομένων είναι συσταδοποιημένο, κάθε μέλος αποδίδεται σε μία κλάση και κάθε κλάση προσδιορίζεται από ένα χαρακτηριστικό σημείο αναφοράς, συνήθως κάποιον μέσο όρο των μελών της κλάσης.

Όπως τονίζεται από τους *Backer and Jain* η ανάλυση κλάσεων διαχωρίζει μία ομάδα αντικειμένων σε ένα πλήθος από περισσότερο ή λιγότερο ομογενείς υπό-ομάδες βασιζόμενη σε ένα αντικειμενικά επιλεγμένο μέτρο ομοιότητας (αντικειμενικά επιλεγμένο σημαίνει ότι τελικά παράγονται κλάσεις που παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον), έτσι ώστε η ομοιότητα μεταξύ των αντικειμένων στην ίδια κλάση να είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι με αντικείμενα άλλων κλάσεων [24].

Κάποιες από τις πιο οικείες εφαρμογές συσταδοποίησης είναι η κατηγοριοποίηση φυτών ή ζώων σε διακριτές ομάδες ή είδη. Είναι φανερό ότι ο κύριος στόχος της συσταδοποίησης δεδομένων είναι η μείωση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας ενός συνόλου. Η μείωση όγκου δεδομένων είναι συνδεδεμένη με την αντικατάσταση των συντεταγμένων κάθε μέλους μίας κλάσης με τις συντεταγμένες του σημείου αναφοράς της κλάσης αυτής. Τα συσταδοποιημένα δεδομένα λοιπόν καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο αποθήκευσης και φυσικά μπορούν να χειριστούν ταχύτερα και αποτελεσματικότερα για εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα. Η αξία κάθε επιμέρους αλγορίθμου συσταδοποίησης θα εξαρτηθεί από το πόσο πιστά αναπαριστούν τα σημεία αναφοράς τα αρχικά δεδομένα, αλλά και από το πόσο ταχύς είναι ο αλγόριθμος. Ένα κλασικό παράδειγμα συσταδοποίησης είναι ενοποίηση ενός συνόλου από βαθμολογίες μαθητών εκφρασμένες σε ποσοστά (%), σε πέντε κατηγορίες, μία για κάθε βαθμό A, B, C, D. Οι αρχικές βαθμολογίες είναι τα δεδομένα και το σημείο αναφοράς για κάθε κλάση είναι ο μέσος όρος βαθμολογιών των μελών της κλάσης. Τα πέντε γράμματα μπορούν να θεωρηθούν ως συμβολική αντικατάσταση του εκάστοτε αριθμητικού σημείου αναφοράς. Οι βαθμολογίες μπορούν να θεωρηθούν ως μονοδιάστατα δεδομένα. Πολυδιάστατα δεδομένα μπορεί να περιγράφονται από ένα πλήθος μετρήσιμων συνιστωσών. Κάθε ξεχωριστό χαρακτηριστικό ή μέτρηση αποτελεί μία διάσταση, μία συνιστώσα. Η ενοποίηση μεγάλων, πολυδιάστατων συνόλων δεδομένων είναι ο κύριος σκοπός του τομέα της ανάλυσης κλάσεων. Θα περιγραφούν διαφορετικές μέθοδοι (αλγόριθμοι) συσταδοποίησης. Σε όλες τις μεθόδους ο επιθυμητός αριθμός κλάσεων προσδιορίζεται από το αρχικό στάδιο, ενώ το σημείο αναφοράς κάθε κλάσης είναι συνήθως το κεντροειδές της κλάσης. Στην περίπτωση των μονοδιάστατων δεδομένων το κεντροειδές είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των τιμών των μελών που ανήκουν σε μία κλάση, ενώ για τα πολυδιάστατα σύνολα δεδομένων το κεντροειδές θα είναι της ίδιας διάστασης με τα αρχικά δεδομένα και κάθε συνιστώσα θα είναι ο μέσος όρος των αντίστοιχων συνιστωσών όλων των μελών της κλάσης.

Ίσως ο πιο απλός (εύκολα αντιληπτός) αυτοματοποιημένος τρόπος είναι να συνδυάζονται τα δεδομένα ανά ζεύγος μέχρι να φτάσουμε στον επιθυμητό αριθμό κλάσεων, μία μέθοδος που είναι συνυφασμένη με πολλά εμπειρικά στατιστικά πακέτα. Υπάρχουν όμως δύο τεράστια μειονεκτήματα σε αυτή τη μέθοδο με κύριο και απαγορευτικό το γεγονός ότι ο

αλγόριθμος είναι αναποτελεσματικός για ανάλυση μεγάλων βάσεων δεδομένων λόγω της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Κάθε βήμα της διαδικασίας απαιτεί υπολογισμό των αποστάσεων μεταξύ δύο οποιωνδήποτε πιθανών ζευγών δεδομένων και στη συνέχεια σύγκριση όλων των αποστάσεων μεταξύ τους. Η δεύτερη δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι παρόλο που ο αλγόριθμος παράγει τον επιθυμητό αριθμό κλάσεων, τα κεντροειδή τους ενδεχομένως να μην είναι πάντα αντιπροσωπευτικά των επιμέρους μελών της κλάσης.

Από τη μία μπορεί η συσταδοποίηση να αποτελεί μία βολική μέθοδο οργάνωσης ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων έτσι ώστε να είναι πιο εύκολα κατανοητό και να παρέχει πιο αποτελεσματική πληροφόρηση. Για παράδειγμα σε μία έρευνα αγοράς οι διαφορετικές ομάδες καταναλωτών μπορεί να παρέχουν πολύ ακριβή πληροφόρηση και περιγραφή των προτιμήσεων των καταναλωτών δείχνοντας έτσι το κατάλληλο προϊόν για τον κατάλληλο τύπο πελάτη [25]. Κάτι παρόμοιο επιχειρούμε να συμπεράνουμε και με την εφαρμογή του αλγορίθμου συσταδοποίησης στα δεδομένα με τις ενεργειακές καταναλώσεις, έτσι ώστε να προκύψουν ομοιότητες και διαφορές στις ενεργειακές συμπεριφορές.

Σε πολλές εφαρμογές ωστόσο η συσταδοποίηση ενδεχομένως να επιτελεί και κάποιον απώτερο σκοπό εκτός από την αντιπροσωπευτική απεικόνιση του συνόλου δεδομένων. Στον τομέα της διαχείρισης ενέργειας που μας ενδιαφέρει, η κατηγοριοποίηση πελατών αλλά και κτιρίων ή ακόμα και ωρών μέσα στην ημέρα όσον αφορά την ενεργειακή τους κατανάλωση, οδηγεί σε μοντέλα για την πρόβλεψη φορτίου και αν πάμε ακόμη πιο μακριά σε προγραμματισμό των φορτίων, ενδεχομένως μετακίνηση (ολίσθηση) κάποιων αιχμών ζήτησης έτσι ώστε να αποφευχθεί πιθανή υπερφόρτωση δικτύου ή και να προβλεφθεί η μελέτη και εγκατάσταση επιπλέον μονάδων παραγωγής στο μέλλον.

Είναι λοιπόν σαφές ότι σχεδόν σε κάθε περίπτωση υπάρχει μία πληθώρα επιλογών για το ως προς τι θα γίνει η κατηγοριοποίηση ακόμη και σε ένα συγκεκριμένο σύνολο μετρήσεων. Οι διαφορετικοί τρόποι συσταδοποίησης θα δώσουν και διαφορετικά αποτελέσματα, δηλαδή διαφορετικά μέλη θα ανήκουν τώρα στην ίδια κλάση, αλλά στα αποτελέσματα των αλγορίθμων αυτών δεν υπάρχει σωστό και λάθος· το μόνο που κρίνει μία δεδομένη κατηγοριοποίηση είναι η χρησιμότητα και η αποτελεσματικότητά της.

Ας δούμε όμως τι είναι εκείνο που χαρακτηρίζει μία μέθοδο συσταδοποίησης ως αποτελεσματική και αντιπροσωπευτική. Ας θεωρήσουμε μία μοναδική κλάση με μέλη γύρω από το κεντροειδές ή το μέσο της. Εφόσον τα δεδομένα-μέλη είναι πυκνά κατανομημένα γύρω από το κεντροειδές τότε αυτό θα είναι αντιπροσωπευτικό όλων των μελών της κλάσης αυτής. Το κλασικό μέτρο της διασποράς μίας ομάδας δεδομένων γύρω από το μέσο τους είναι η απόκλιση, το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων από το κέντρο. Αν τα δεδομένα είναι πυκνά κατανομημένα γύρω από το κέντρο η απόκλιση θα είναι μικρή. Μία γενίκευση του παραπάνω στην οποία το κεντροειδές μπορεί να αντικατασταθεί από ένα άλλο σημείο αναφοράς για να εκτιμηθεί η γενική ποιότητα της συσταδοποίησης, χρησιμοποιείται ένα μέτρο σφάλματος, το οποίο αποτελεί άθροισμα όλων των αποκλίσεων.

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \|x_{ij} - z_i\|^2,$$

όπου το x_{ij} είναι το j -στο μέλος της i -στης κλάσης και z_i είναι το σημείο αναφοράς της κλάσης αυτής, το n_i αποτελεί το πλήθος των μελών της κλάσης, ενώ το $\|x_{ij} - z_i\|$ σημαίνει την απόσταση μεταξύ του x_{ij} και του κέντρου z_i . Έτσι το μέτρο E δείχνει τη συνολική διασπορά των μελών κάθε κλάσης γύρω από το κέντρο της και πάντα ο στόχος μίας μεθόδου συσταδοποίησης θα είναι η ελαχιστοποίηση αυτού του σφάλματος.

Σύμφωνα με τους *Everitt, Landau & Leese* η ανάλυση κλάσεων είναι απαραίτητη για να προκύπτουν ομάδες μεταξύ των μελών ενός συνόλου δεδομένων, ενώ οι μέθοδοι συσταδοποίησης δε θα πρέπει να συγχέονται με τους όρους διάκριση ή κατάταξη (ή με τον όρο επιβλεπόμενη μάθηση από την τεχνητή νοημοσύνη), όπου οι ομάδες είναι εκ των προτέρων γνωστές και απλώς επιδιώκουμε να βρούμε έναν τρόπο να επινοήσουμε κανόνες για να εκχωρήσουμε νέα μέλη στις υπάρχουσες ομάδες. Όπως είδαμε και παραπάνω ο όρος κατάταξη (classification) και συσταδοποίηση (clustering) αποτελούν διαφορετικές μεθόδους εξόρυξης δεδομένων.

Τι είναι όμως μία κλάση? : Οι όροι κλάση, ομάδα ή συστάδα (class, group, cluster) χρησιμοποιούνται συνήθως με τον ίδιο ακριβώς τρόπο χωρίς να υπάρχει κάποιος επίσημος ορισμός για να τους διαχωρίζει. Στην πραγματικότητα ένας επίσημος ορισμός θα ήταν όχι μόνο δύσκολο να προκύψει αλλά πιθανότατα θα οδηγούσε και σε λάθος συμπεράσματα. Ο *Bonner (1964)* πρότεινε ως απόλυτο κριτήριο για την αξιολόγηση της σημασίας των όρων αυτών την κρίση του εκτιμητή-παρατηρητή. Το μόνο που χρειάζεται για να δώσει αξία και σημασία στο περιεχόμενο του όρου «κλάση» (“cluster”) είναι η χρησιμότητά του για τον παρατηρητή [26].

Οι *Cormack (1971)* [27] και *Gordon (1999)* [28] κάνουν μια προσπάθεια δώσουν ένα ορισμό για το είναι ένα **cluster** σύμφωνα με τους όρους της εσωτερικής συνοχής (ομοιογένεια, homogeneity) και εξωτερική απομόνωση (διαχωρισμός, separation). Τέτοιου είδους ιδιότητες μπορούν να απεικονιστούν σε απλά διδιάστατα διαγράμματα και από την παρατήρησή τους να προκύψει ο ορισμός του όρου cluster. Προσπαθώντας όμως να δοθούν πιο επίσημοι ορισμοί που να καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι σχεδόν αδύνατο να υπάρξουν μαθηματικά ακριβείς ορισμοί για την ομοιογένεια και την απομόνωση που με τη μορφή αριθμητικών δεικτών να οδηγούν σε συγκεκριμένα κριτήρια για το διαχωρισμό σε συστάδες. Ένα καλό κριτήριο για τη διαδικασία αναγνώρισης κλάσεων θα περιλάμβανε σίγουρα μία αποτίμηση των σχετικών αποστάσεων μεταξύ των μελών κάθε κλάσης.

3.3 Εποπτικά αλγόριθμοι-Σύντομη Παρουσίαση

Οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- ο Αποκλειόμενες κλάσεις : τα δεδομένα ομαδοποιούνται έτσι ώστε αν ένα μέλος ανήκει σε μία κλάση να μην μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα και σε μία άλλη.
- ο Επικαλυπτόμενες κλάσεις : χρησιμοποιούνται ασαφή σύνολα για να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα, έτσι ώστε κάθε μέλος ενδεχομένως να ανήκει σε δύο ή περισσότερες κλάσεις. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια τα δεδομένα συσχετίζονται και μία κατάλληλη τιμή μέλους.
- ο Ιεραρχική Συσταδοποίηση : βασίζονται στη συνένωση των δύο κοντινότερων συστάδων. Η αρχική συνθήκη χωρίζει τα μέλη σε συστάδες, το καθένα να αποτελεί μία κλάση μόνο του κι έπειτα από μερικές επαναλήψεις προσεγγίζονται οι επιθυμητές συστάδες με συνένωση από τις προηγούμενες.

- ο Πιθανοτική Συσταδοποίηση : όπως δείχνει και το όνομα της κατηγορίας, οι αλγόριθμοι αυτοί προσεγγίζουν πιθανοτικά τη συσταδοποίηση δεδομένων.

Παρακάτω θα περιγραφούν σύντομα κάποιοι από τους πιο ευρέως διαδεδομένους αλγόριθμους συσταδοποίησης. Ας δούμε ποιοι είναι αυτοί οι αλγόριθμοι και σε ποια από τις παραπάνω κατηγορίες ανήκουν:

- ο **K-means**, ανήκει στους αλγόριθμους που παράγουν μη επικαλυπτόμενες συστάδες
- ο **Ασαφής c-means**, ανήκει σε εκείνους τους αλγόριθμους που δημιουργούν επικαλυπτόμενες κλάσεις
- ο **Ιεραρχική Συσταδοποίηση**
- ο **Συνδυασμός Γκαουσιανών**, που ανήκει στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν πιθανότητες.

3.3.1 K-Means

Ο αλγόριθμος *k-means* είναι ο πιο ευρεία διαδεδομένος αλγόριθμος συσταδοποίησης, και το όνομά του προέρχεται από το σημείο αναφοράς που επιλέγεται ως κέντρο κάθε κλάσης, ως σταθμισμένος μέσος των μελών που ανήκουν στην κλάση. Προτάθηκε από το *MacQueen* [29] το 1967, ενώ ο αριθμός των συστάδων θεωρείται γνωστός εκ των προτέρων. Ο αλγόριθμος ξεκινά με ανάθεση των κέντρων των κλάσεων επιλέγοντας από το αρχικό δείγμα. Η βασική ιδέα είναι ο καθορισμός k κεντροειδών, ένα για κάθε κλάση. Η τοποθέτηση των κεντροειδών πρέπει να γίνει κατάλληλα και με προσοχή γιατί κάθε αλλαγή στην αρχική τους θέση οδηγεί και σε διαφορετικό αποτέλεσμα συσταδοποίησης. Στο επόμενο στάδιο κάθε στοιχείο του συνόλου δεδομένων συσχετίζεται με μία κλάση έτσι ώστε να απέχει το λιγότερο δυνατό από το κεντροειδές της. Αφού ανατεθούν όλα τα δεδομένα κάποια κλάση, γίνεται υπολογισμός των νέων θέσεων των k κεντροειδών. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο που έχει τεθεί με συνηθέστερο κριτήριο την απαίτηση να μην υπάρχουν πια μετακινήσεις μελών μεταξύ κλάσεων [30]. Τελικά ο πραγματικός στόχος του αλγορίθμου είναι η ελαχιστοποίηση της

εξής αντικειμενικής συνάρτησης : $J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2$, με $\|x_i^{(j)} - c_j\|^2$ το συνήθως

επιλεγμένο μέτρο απόστασης μεταξύ του στοιχείου $x_i^{(j)}$ και του κέντρου της κλάσης c_j , οπότε η συνάρτηση είναι ένας δείκτης της απόστασης όλων των n μελών μίας δεδομένης κλάσης j κι αυτό αθροισμένο για όλες τις k κλάσεις. Ο αλγόριθμος έχει το πλεονέκτημα ότι έχει σαφή γεωμετρική και στατιστική ερμηνεία, αλλά και το μειονέκτημα ότι μπορεί να αντιμετωπίσει μόνο αριθμητικά δεδομένα και ότι είναι ευαίσθητο σε εξωτερικούς παράγοντες.

Συνοπτικά ο αλγόριθμος απαρτίζεται από τα ακόλουθα στάδια:

1. Τοποθέτηση των k το πλήθος σημείων στο χώρο που αναπαριστά τα δεδομένα που θα συσταδοποιηθούν.
2. Ανάθεση όλων των δεδομένων στην κλάση με το πιο κοντινό κεντροειδές.
3. Υπολογισμός των νέων k κεντροειδών μετά την τοποθέτηση όλων των στοιχείων σε συστάδες.

4. Επανάληψη των προηγούμενων δύο βημάτων μέχρι να μην αλλάζουν πλέον θέση τα κεντροειδή. Η όλη διαδικασία παράγει μία ομαδοποίηση για την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

3.3.2 Ασαφής C-means

Πρόκειται για μία μέθοδο συσταδοποίησης που επιτρέπει σε ένα στοιχείο να ανήκει σε περισσότερες συστάδες. Αναπτύχθηκε από τον *Dunn* [31] το 1973 και βελτιώθηκε από τον *Bezdek* [32] το 1981 και συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές αναγνώρισης. Στόχος του αλγορίθμου είναι η ελαχιστοποίηση της παρακάτω αντικειμενικής συνάρτησης :

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2, 1 \leq m < \infty$$

με το m να είναι ένας οποιοσδήποτε πραγματικός αριθμός μεγαλύτερος από 1, το u_{ij} να είναι το κατά πόσο είναι μέλος το στοιχείο x_i της συστάδας j και c_j να είναι το κέντρο της κλάσης. Η ασαφής συσταδοποίηση πραγματοποιείται επαναληπτικά προσπαθώντας να βελτιστοποιηθεί η παραπάνω συνάρτηση, ενώ σε κάθε επανάληψη ανανεώνονται η

κατάσταση μέλους και τα κέντρα των κλάσεων: $u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$ και $c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m}$

αντίστοιχα. Η επαναληπτική διαδικασία σταματά όταν καλύπτεται ένα κριτήριο σφάλματος $0 < \varepsilon < 1$, δηλαδή όταν $\max_{ij} \{|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^k|\} < \varepsilon$, με k τον αριθμό επανάληψης. Ο αλγόριθμος αυτός συγκλίνει σε ένα τοπικό ελάχιστο ή σε ένα σημείο καμπής της συνάρτησης J_m .

3.3.3 Ιεραρχική Συσταδοποίηση

Ακολουθούν εν συντομία τα βήματα της διαδικασίας ιεραρχικής συσταδοποίησης όπως αυτή ορίστηκε από τον *S.C. Johnson* [33] το 1967. Θεωρούμε ότι το σύνολο δεδομένων μας αποτελείται από N στοιχεία και ότι διαθέτουμε έναν πίνακα αποστάσεων ή μέτρων ομοιότητας $N \times N$.

1. Κατά την εκκίνηση κάθε στοιχείο αποδίδεται σε μία συστάδα, δηλαδή αρχικά θα προκύψουν N το πλήθος συστάδες. Ο πίνακας αποστάσεων παραμένει αμετάβλητος.
2. Εύρεση του πλησιέστερου ζεύγους κλάσεων (δηλαδή τις δύο πιο όμοιες κλάσεις) και συγχώνευση τους, με αποτέλεσμα να έχουμε μία κλάση λιγότερη.
3. Υπολογισμός των αποστάσεων (ή μέτρων ομοιότητας) μεταξύ της νέας κλάσης και των υπολοίπων προϋπαρχουσών συστάδων. Ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού του νέου πίνακα αποστάσεων η συσταδοποίηση διαφοροποιείται σε απλής, πλήρους ή μέσης διασύνδεσης. Η διαφοροποίηση έχει να κάνει με το ποια εκλαμβάνεται ως απόσταση μεταξύ δύο κλάσεων. Έτσι για τον παραπάνω διαχωρισμό ως απόσταση δύο κλάσεων θεωρείται η ελάχιστη απόσταση (ή μέγιστη ομοιότητα), η μέγιστη απόσταση ή η μέση απόσταση μεταξύ δύο οποιωνδήποτε μελών των εν λόγω κλάσεων αντίστοιχα. Μία παραλλαγή του αλγορίθμου μέσης διασύνδεσης είναι η

μέθοδος που προτάθηκε από τον *R.D'Andrade* [34] , που χρησιμοποιεί τη διάμεσο αντί για τη μέση τιμή.

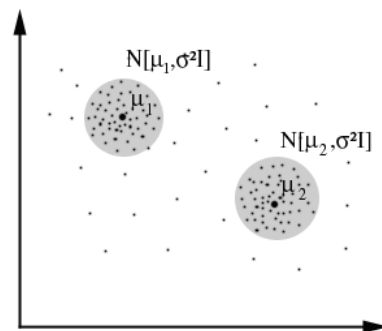
4. Τα τελευταία δύο βήματα εκτελούνται επαναληπτικά έως ότου όλα τα στοιχεία να περιέλθουν σε μία μοναδική συστάδα διάστασης N .

Προφανώς δεν υπάρχει κάποιο νόημα στη δημιουργία μίας συστάδας με όλα τα στοιχεία μας ως μέλη, αλλά αφού τελειώσει η επαναληπτική διαδικασία και έχουμε το ιεραρχικό δέντρο κατάταξης μπορούμε εφόσον απαιτούνται k συστάδες για τα δεδομένα να αποκόψουμε τις διασυνδέσεις που έχουν τάξη μεγαλύτερη από $(k-1)$.

Το είδος του ιεραρχικού αλγορίθμου που περιγράφηκε αποτελεί έναν συσσωρευτικό αλγόριθμο, καθώς συγχωνεύει συστάδες επαναληπτικά. Ωστόσο υπάρχουν και οι διαιρετικοί ιεραρχικοί αλγόριθμοι, που πραγματοποιούν την ακριβώς αντίστροφη διεργασία ξεκινώντας από μία συστάδα με όλα τα δεδομένα ως μέλη και προχωρώντας διαχωρίζοντας τις συστάδες σε περισσότερες. Βέβαια δεν υπάρχουν αρκετοί τέτοιου είδους αλγόριθμοι.

3.3.4 Συσταδοποίηση με συνδυασμό Γκαουσιανών

Σε αυτή την κατηγορία αλγορίθμων το πρόβλημα της συσταδοποίησης προσεγγίζεται με μοντέλα συστάδων, τα οποία προσπαθούμε να προσεγγίσουμε όσο καλύτερα γίνεται με το διαχωρισμό των δεδομένων σε συστάδες. Στην πράξη κάθε κλάση αναπαρίσταται από μία παραμετρική κατανομή, όπως Gauss ή Poisson. Συνεπώς ολόκληρο το σύνολο δεδομένων μοντελοποιείται από μία μίξη των παραπάνω κατανομών. Μία μεμονωμένη κατανομή που χρησιμοποιείται για να χαρακτηριστεί μία κλάση συχνά αναφέρεται ως συνιστώσα κατανομή. Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος συσταδοποίησης του είδους βασίζεται στη μάθηση ενός συνδυασμού κατανομών Gauss. Οι συστάδες θεωρούνται ως κατανομές Gauss με κέντρο το βαρύκεντρο, όπως φαίνεται στο σχήμα, όπου ο γκρι κύκλος αναπαριστά την πρώτη διακύμανση της κατανομής. Ο αλγόριθμος έχει την εξής λογική: επιλέγει τη συνιστώσα κατανομή τυχαία με πιθανότητα $P(\omega_i)$ και παίρνει ως δείγμα ένα σημείο $N(\mu_i, \sigma^2 I)$.



Επειδή στόχος του αλγορίθμου είναι η μεγιστοποίηση της συνάρτησης πιθανότητας, υπολογισμός αρκετά δύσκολος για να γίνει απευθείας, χρησιμοποιείται ένας απλοποιημένος αλγόριθμος που προτάθηκε το 1977 από τους *Dempster, Laird και Rubin* [35].

3.3.5 Kohonen Self-Organized Maps (SOM) [36]

Τα δίκτυα Kohonen αποτελούν ένα είδος νευρωνικού δικτύου που πραγματοποιεί συσταδοποίηση στα εισαγόμενα δεδομένα. Οι βασικές μονάδες είναι νευρόνια οργανωμένα συνήθως σε δύο επίπεδα : το επίπεδο εισόδου και το επίπεδο εξόδου, που συχνά αναφέρεται και ως χάρτης εξόδου. Όλα τα νευρόνια εισόδου είναι συνδεδεμένα με όλα τα νευρόνια εξόδου με διαφορετικά βάρη. Τα δεδομένα εισόδου εισάγονται στο αρχικό επίπεδο και δρομολογούνται προς την έξοδο μέσω των νευρώνων , τα οποία

αποκρίνονται ανάλογα με τα βάρη στις συνδέσεις. Η πιο ισχυρή απόκριση είναι και ο «νικητής». Αρχικά όλα τα βάρη αποδίδονται τυχαία και κατά την πορεία της διαδικασίας εκπαιδεύονται ανάλογα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από κάθε διαφορετική είσοδο δεδομένων. Έτσι το νευρώνιο που υπερισχύει κάθε φορά διαμορφώνει έτσι τα βάρη που το συνδέουν με το προηγούμενο επίπεδο ώστε την επόμενη φορά που θα υπάρξει παρόμοιο δεδομένο στην είσοδο, να είναι σίγουρο το δεδομένο νευρώνιο που θα υπερισχύσει. Επίσης τα κοντινά νευρώνια προσαρμόζουν κι αυτά τα βάρη τους έτσι ώστε να αντιδράσουν πιο θετικά την επόμενη φορά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές για όλα τα δεδομένα ώσπου οι αλλαγές που παρατηρούνται στα βάρη να είναι πολύ μικρές. Το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αλγορίθμου συσταδοποίησης είναι ότι από τη στιγμή που θα τελειώσει η όλη διαδικασία της εκπαίδευσης του δικτύου, αυτό θα είναι ένας χάρτης που θα απεικονίζει το N-διάστατο χώρο των δεδομένων σε έναν δισδιάστατο χώρο.

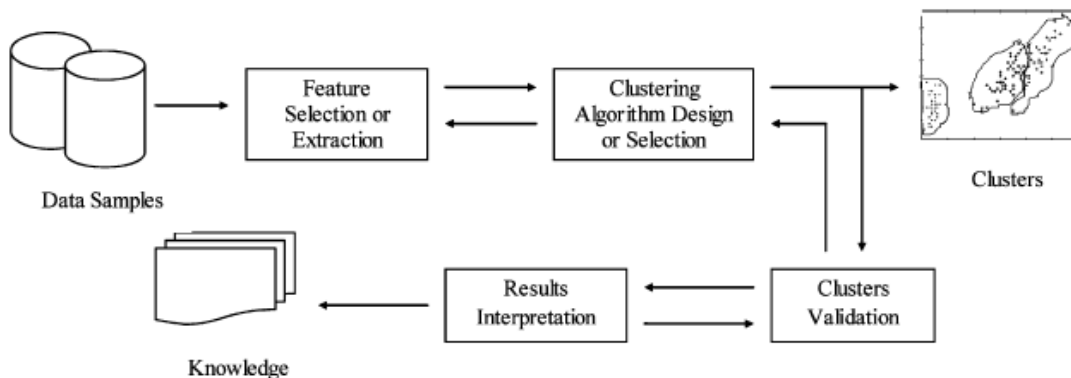
3.4 Επιλογή Αλγορίθμου

Για να επιλεγεί ο βέλτιστος αλγόριθμος συσταδοποίησης θα πρέπει να τεθούν κάποια κριτήρια όπως περιγράφηκε ήδη και στη συνέχεια θα πρέπει να βρεθούν όλες οι πιθανές διαμερίσεις και αφού υπολογιστούν και συγκριθούν τα αντικειμενικά κριτήρια που έχουν τεθεί (όπως για παράδειγμα η συνολική διασπορά που περιγράφηκε ωρίτερα), να επιλεγεί εκείνος ο διαχωρισμός σε συστάδες που βελτιστοποιεί το κριτήριο. Ωστόσο κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο αφού η υπολογιστική πολυπλοκότητα ακόμη και για μεσαίου μεγέθους βάσεις δεδομένων είναι τεράστια. Συγκεκριμένα οι διαφορετικοί τρόποι για να

διαμερίσει κανείς n αντικείμενα σε k κατηγορίες είναι $N(n, k) = \frac{1}{k!} \sum_{i=1}^k (-1)^{k-i} \binom{k}{i} i^n$.

[37] Ας πούμε για να χωρίσουμε 100 μέλη σε 5 κατηγορίες, υπάρχουν $6,6 \cdot 10^{67}$ διαφορετικοί τρόποι, για καθέναν από τους οποίους θα πρέπει να υπολογίζουμε και να συγκρίνουμε το κριτήριο που έχουμε θέσει.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η αλληλουχία των βημάτων που ακολουθούνται κατά την επιλογή ή τη δημιουργία του καταλλήλου αλγορίθμου συσταδοποίησης ανάλογα με το εκάστοτε πρόβλημα :



Σχήμα 3-2: Βήματα Επιλογής Αλγορίθμου Συσταδοποίησης[38]

Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για να λυθεί το πρόβλημα της συσταδοποίησης ενεργειακών καταναλώσεων βασίζεται στις ίδιες αρχές με τον K-means, αλλά πρόκειται για μία παραλλαγή που προτείνεται από τους *G.Chicco, R.Napoli, P.Postolache, M.Scutariu & C.Toader* στην οποία διαφοροποιείται η αρχική τοποθέτηση των κεντροειδών αλλά και η εκτίμηση του αρχικού πλήθους των κλάσεων [39]. Η αναλυτική περιγραφή και η υλοποίηση για το δεδομένο πρόβλημα αναλυτικά περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο. Πάντως ο αλγόριθμος επιλέχθηκε λόγω της χαμηλής πολυπλοκότητας που τον χαρακτηρίζει, οπότε όταν αργότερα η υλοποίηση που προτάθηκε θα ενσωματωθεί σε ένα ευρύτερο πληροφοριακό σύστημα με ενεργειακές μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, η συσταδοποίηση τους να μπορεί να γίνεται σε μηδενικό χρόνο. Εξάλλου επιθυμούμε οι συστάδες να είναι μη επικαλυπτόμενες, χαρακτηριστικό του K-means και το μέτρο που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η Ευκλείδεια απόσταση.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

4.1.	Γενική Περιγραφή Αλγορίθμου.....	43
4.2.	Διάγραμμα Ροής.....	45
4.3.	Αναλυτική Περιγραφή Αλγορίθμου.....	46
4.3.1.	Υπολογισμός Δεικτών.....	46
4.3.2.	Σχεδιασμός Δομής για την Απόδοση των Cluster.....	47
4.3.3.	Δημιουργία Συνόλου Συναρτήσεων.....	48
4.3.4	Διάγραμμα Ροής με τις Συναρτήσεις.....	50

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την πλήρη και αναλυτική περιγραφή του αλγορίθμου, όπως ακριβώς υλοποιήθηκε για εφαρμογή στα δεδομένα του Σχολικού Συγκροτήματος. Παρατίθενται δύο διαγράμματα ροής του αλγορίθμου, το ένα με λόγια και το άλλο με ενσωματωμένες κατάλληλες συναρτήσεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για τη δεδομένη υλοποίηση και περιγράφονται επίσης στο κεφάλαιο. Συμπεριλαμβάνει επίσης ένα πίνακα με τους δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν για τη συσταδοποίηση και εξηγείται με ποιο τρόπο ακριβώς αυτοί υπολογίζονται για τα δεδομένα που διαθέτουμε.

4.1 Γενική Περιγραφή Αλγορίθμου

Παρακάτω θα περιγραφεί μία κατάλληλη μέθοδος αυτόματης κατάταξης των ενεργειακών καταναλωτών σε ομάδες με επαρκώς όμοια ενεργειακή συμπεριφορά. Τελικά η καμπύλη φορτίου ενός μέσου πελάτη για κάθε ομάδα (κέντρο βάρους), θα αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά το σύνολο των πελατών που μετά την κατάταξη ανήκουν στη δεδομένη ομάδα, αποδίδοντας τους ένα ενεργειακό προφίλ.

Η αυτόματη διαδικασία κατάταξης των ενεργειακών καταναλωτών χρησιμοποιεί μία παραλλαγή της Ευκλείδειας απόστασης, η οποία περιλαμβάνει διαφορετικά βάρη για κάθε μεταβλητή ανάλογα με τη σημασία της. Η διαδικασία κατάταξης ακολουθεί διαφορετικά επαναληπτικά στάδια, τον αριθμό των οποίων ορίζουμε από την αρχή έτσι ώστε να αρκούν ώστε να προκύψουν οι διαφορετικές ομάδες. Στο πρώτο στάδιο της επανάληψης θέτουμε το πλήθος των κλάσεων καθώς και το πλήθος των καταναλωτών που θα ανήκουν σε κάθε κλάση, χρησιμοποιώντας μία απόσταση ως κατώφλι: όσο η Ευκλείδεια απόσταση παραμένει μικρότερη από αυτό το κατώφλι τότε ο καταναλωτής που εξετάζουμε ανήκει στη δεδομένη κλάση και το μόνο που χρειάζεται είναι να ανανεώσουμε το κέντρο βάρους της κλάσης, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά του νέου μέλους της ομάδας. Σε διαφορετική περίπτωση ο υπό εξέταση πελάτης ορίζει νέα κλάση με κέντρο τον ίδιο. Έπειτα κάθε ανακύκλωση υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση για κάθε καταναλωτή και κάθε κλάση που έχει δημιουργηθεί ελέγχοντας ταυτόχρονα αν πρέπει όντως να μείνει στην κλάση που ήδη ανήκει ή αν πρέπει να μετακινηθεί σε κάποια άλλη κλάση εξετάζοντας τότε η απόσταση αυτή ελαχιστοποιείται. Ακολουθώς ανανεώνονται τα χαρακτηριστικά κάθε κλάσης (κέντρο, πλήθος μελών). Καθώς μετακινούνται τα μέλη αλλά και τα κεντροειδή των κλάσεων υπολογίζουμε κάποιο μέτρο που υποδηλώνει την ενέργεια του συστήματος.

Το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτεί να προβλέψουμε εκ των προτέρων το πλήθος των απαιτούμενων κλάσεων, αλλά αυτό υπολογίζεται αυτόματα έχοντας επιλέξει κατάλληλα το κατώφλι που υποδηλώνει το εύρος της κλάσης.

Σε κάθε περίπτωση για να γίνει οποιαδήποτε σύγκριση χρειαζόμαστε αξιόπιστους δείκτες που να περιγράφουν ένα πλαίσιο αναφοράς για την ενεργειακή κατανάλωση και απόδοση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Αυτοί οι δείκτες, εφόσον έχουν επιλεγεί σωστά, μας βοηθούν να ξεχωρίσουμε τις πραγματικές πληροφορίες από έναν τεράστιο όγκο ανεπεξέργαστων δεδομένων και στη συνέχεια να καθορίσουμε τους στόχους του συστήματος και να ελέγξουμε αν αυτοί έχουν επιτευχθεί. Αυτού του είδους οι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως και σε άλλους τομείς εκτός των ενεργειακών project και είναι γνωστοί ως KPIs (Key Performance Indicators). Όπως έχει ήδη περιγραφεί ένα σύγχρονο σύστημα ενεργειακής καταγραφής και διαρκούς παρακολούθησης περιλαμβάνει εξειδικευμένες μετρητικές συσκευές εγκαταστημένες στο χώρο του καταναλωτή, ένα δίκτυο διασύνδεσης για αποστολή των δεδομένων που συλλέγονται και κάποιον server που αναλαμβάνει την αρχειοθέτηση σε βάση δεδομένων αλλά και την real-time επεξεργασία. Τα ίδια ακριβώς στοιχεία συναποτελούν ένα οποιοδήποτε πληροφοριακό σύστημα και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο η χρήση των ενεργειακών KPIs θεωρείται επιβεβλημένη κατ' αναλογία με τα ήδη χρησιμοποιούμενα KPIs.

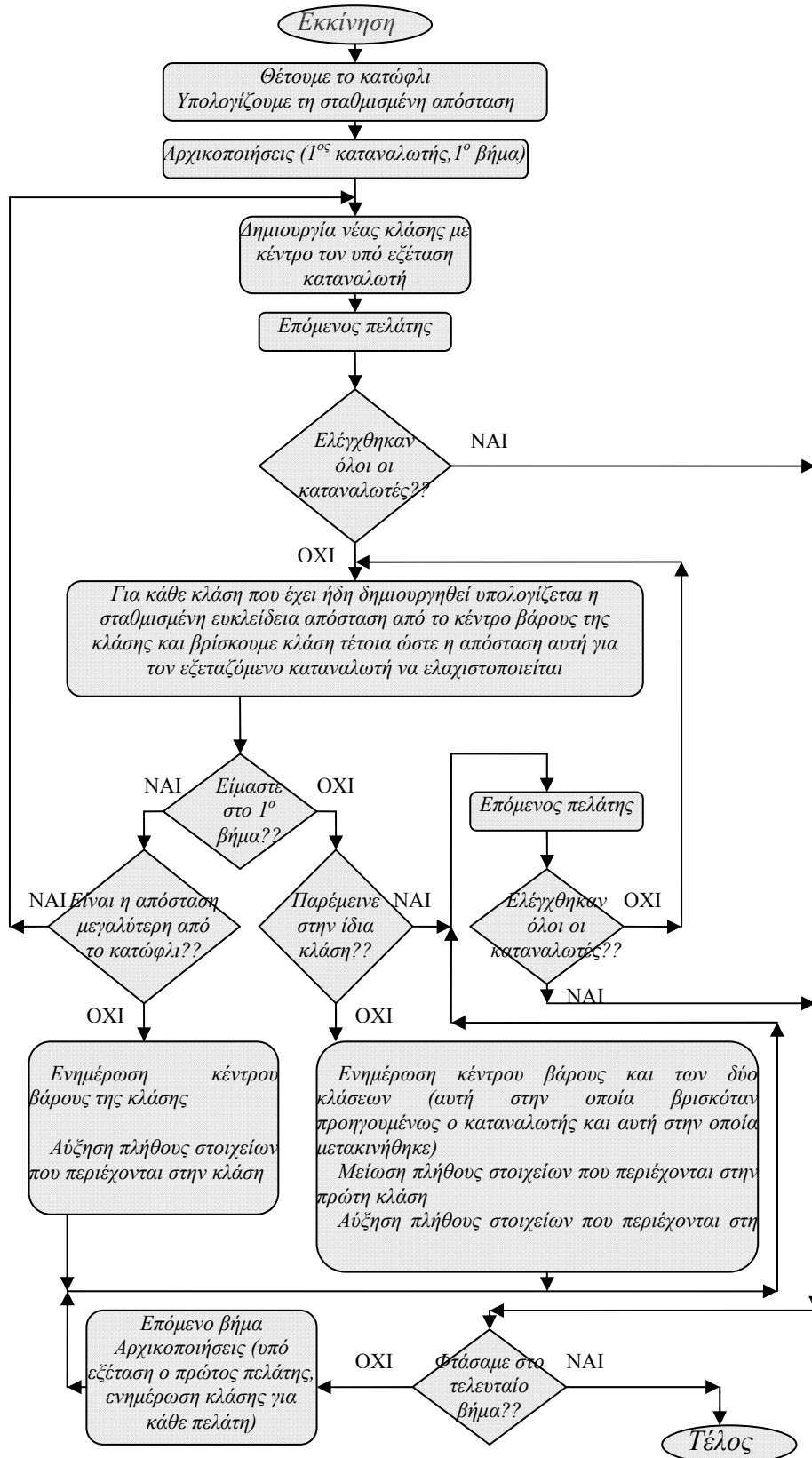
Για μια πρώτη προσέγγιση όσον αφορά το πλαίσιο κατάταξης των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας σε κατηγορίες με διακριτό ενεργειακό προφίλ θα μπορούσαμε να επιλέξουμε κάποιους από τους παρακάτω δείκτες :

- ✓ Ημερήσια συνολική κατανάλωση σε Wh
 - ✓ Ημερήσια κατανάλωση κατά τις πρωινές ώρες
 - ✓ Ημερήσια κατανάλωση κατά τις ώρες αιχμής
 - ✓ Ημερήσια κατανάλωση κατά τις νυκτερινές ώρες

 - ✓ Ημερήσια ζήτηση ενεργού ισχύος
 - ✓ Ημερήσια ζήτηση/παροχή αέργου ισχύος (ή αλλιώς το $\cos\phi$)
- Όλα τα παραπάνω σε μηνιαία βάση εκτός από ημερήσια κι επιπλέον
- ✓ Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση χώρων ή νερού

4.2 Διάγραμμα Ροής

Ακολουθεί διάγραμμα ροής του αλγορίθμου:



4.3 Αναλυτική Περιγραφή Αλγορίθμου

Το πρόγραμμα δέχεται τα δεδομένα σε μορφή txt (τα οποία αρχεία προέρχονται από tab separated xml μορφή κατευθείαν από το μετρητικό εξοπλισμό). Τα εν λόγω δεδομένα αποτελούν τις μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά 15λεπτο για μια περίοδο περίπου δύο μηνών. Εφόσον ο αλγόριθμος συσταδοποίησης θα χρησιμοποιηθεί για να ομαδοποιήσει ημέρες, στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα αυτά υπολογίζονται κάποιοι δείκτες που σηματοδοτούν τη διαφορετικότητα της καμπύλης διάρκειας φορτίου για κάθε ξεχωριστή ημέρα. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιώντας τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές κάθε ημέρας προκύπτουν σε κανονικοποιημένη μορφή, έτσι ώστε η σύγκριση των καμπυλών να είναι απόλυτη και να μην έχει να κάνει με ποσοτικά μεγέθη. Από τον αλγόριθμο θα προκύψουν καμπύλες με παρόμοια μορφή (δηλαδή ημέρες με παρόμοιες ενεργειακές ανάγκες), και τα αποτελέσματα αφού εξαχθούν πάλι σε μορφή txt, θα οπτικοποιηθούν με τη βοήθεια διαγραμμάτων μέσω Matlab.

4.3.1 Υπολογισμός δεικτών :

Κάθε ημέρα (24 ώρες) περιλαμβάνει 96 τέταρτα και κάθε εβδομάδα 672 τέταρτα της ώρας. Οπότε για τον υπολογισμό των ημερήσιων δεικτών επεξεργάζονται ταυτόχρονα 96 τιμές. Μεταξύ αυτών βρίσκουμε το μέγιστο και το ελάχιστο και με βάση το εάν πρόκειται για καθημερινή ημέρα ή για Σαββατοκύριακο τα αποτελέσματα αποθηκεύονται κατάλληλα. Για την αποθήκευση των δεικτών χρησιμοποιούνται πίνακες. Συγκεκριμένα για τους ημερήσιους δείκτες δημιουργήθηκε ο διδιάστατος πίνακας `daily_ind` με τη μία διάσταση να είναι 5 (όσοι και οι διαφορετικοί ημερήσιοι δείκτες) και την άλλη διάσταση με τόσα στοιχεία όσες είναι και οι ημέρες για τις οποίες έχουμε δεδομένα. Ο συνολικός αριθμός ημερών προκύπτει ως το αποτέλεσμα της διαίρεσης του πλήθους των δεδομένων προς 96, όσα και τα τέταρτα κάθε 24ώρου.

- 1^{ος} ημερήσιος δείκτης κατανάλωσης ενέργειας: Αφορά τόσο τις καθημερινές όσο και τα Σαββατοκύριακα. Για κάθε ημέρα της εβδομάδας, δηλαδή ανά 96 μετρήσεις, υπολογίζεται η μέγιστη τιμή με την οποία διαιρούμε τον μέσο όρο των εκάστοτε 96 τιμών που αποτελούν τη συγκεκριμένη μέρα. Το αποτέλεσμα τοποθετείται στη θέση (AA ημέρας,0) του πίνακα. Ο αύξων αριθμός ημέρας προκύπτει ως η ακέραια διαίρεση της πρώτης τιμής της 96δας με το 96.
- 2^{ος} ημερήσιος δείκτης κατανάλωσης ενέργειας: Όμοια με τον προηγούμενο δείκτη υπολογίζεται για όλες τις ημέρες της εβδομάδας, μόνο που τώρα χρειαζόμαστε την ελάχιστη τιμή μεταξύ των 96 μετρήσεων κάθε ημέρας. Αυτή η ελάχιστη τιμή διαιρούμενη με το μέσο όρο των 96 μετρήσεων δίνει το δεύτερο δείκτη, ο οποίος για κάθε ημέρα τοποθετείται στη θέση (AA ημέρας,1) του πίνακα.
- 3^{ος} ημερήσιος δείκτης κατανάλωσης ενέργειας: Σχετίζεται με την επίδραση της νυχτερινής κατανάλωσης (από 22.00 μέχρι 6.00) στη συνολική κατανάλωση και συγκεκριμένα τις καθημερινές. Για κάθε ομάδα 96 μετρήσεων υπολογίζεται ο μέσος όρος νύχτας ως εξής: αθροίζονται οι μετρήσεις που αντιστοιχούν στις πρώτες $6 \times 4 = 24$ μετρήσεις τις 96δας και στις τελευταίες $2 \times 4 = 8$ μετρήσεις τις 96δας. Ο δείκτης αποθηκεύεται στη θέση (AA ημέρας,2) μόνο εφόσον πρόκειται για καθημερινή, δηλαδή αν η ακέραια διαίρεση του αύξοντος αριθμού ημέρας με το 7 είναι μικρότερη από 5.
- 4^{ος} ημερήσιος δείκτης κατανάλωσης ενέργειας: Όμοιος με τον προηγούμενο δείκτη μόνο που αφορά τα Σαββατοκύριακα κι όχι τις καθημερινές, οπότε ο δείκτης

αποθηκεύεται στη θέση (AA ημέρας,3) του πίνακα εφόσον (AAημέρας mod 7) είναι 5 ή 6.

- 5^{ος} ημερήσιος δείκτης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας : Αφορά τις καθημερινές μόνο που αντικατοπτρίζει την επίδραση των μεσημεριανών ωρών (12 με 14) στη συνολική κατανάλωση. Ο δείκτης αποθηκεύεται στη θέση (AA ημέρας,4) μόνο εφόσον πρόκειται για καθημερινή, δηλαδή αν η ακέραια διαίρεση του αύξοντος αριθμού ημέρας με το 7 είναι μικρότερη από 5.

Ακολουθεί ο πίνακας που συνοψίζει όσα περιγράφηκαν παραπάνω για τον υπολογισμό των πέντε ημερήσιων δεικτών:

Παράμετρος που λαμβάνεται υπ όψη	Υπολογίζεται για	Ορισμός
Pav/Pmax	Όλες τις ημέρες	$\frac{P_{av,day}}{P_{max,day}}$
Pmin/Pav	Όλες τις ημέρες	$\frac{P_{min,day}}{P_{av,day}}$
Επίδραση νύχτας (από 23.00 μέχρι 6.00)	Τις καθημερινές	$\frac{1}{3} \cdot \frac{P_{av,night}}{P_{av,day}}$
Επίδραση νύχτας	Τα Σαββατοκύριακα	$\frac{1}{3} \cdot \frac{P_{av,night}}{P_{max,day}}$
Επίδραση μεσημεριού (από 12.00 μέχρι 14.00)	Τις καθημερινές	$\frac{1}{8} \cdot \frac{P_{av,midday}}{P_{max,day}}$

Πίνακας 4-1 : Ημερήσιοι Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς

4.3.2 Σχεδιασμός δομής για την περιγραφή των cluster:

Στόχος του αλγορίθμου ,όπως περιγράφηκε και παραπάνω, είναι ο διαχωρισμός των διαφορετικών ημερών σε κατηγορίες ανάλογα με κάποιους δείκτες, ο υπολογισμός των οποίων περιγράφηκε λεπτομερώς παραπάνω. Ας δούμε όμως ποια στοιχεία είναι απαραίτητα για τον καθορισμό κάθε κατηγορίας δεδομένων. Καταρχήν απαιτείται να γνωρίζουμε το κέντρο κάθε κλάσης , το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο από ένα αντιπροσωπευτικό υπόθεμα , το οποίο χαρακτηρίζει τόσο την ίδια την κλάση όσο και κάθε μέλος της. Στην προκειμένη περίπτωση τα υπό κατηγοριοποίηση υποθέματα είναι ημέρες , οπότε και το κέντρο θα είναι μία ημέρα με υποθετικά αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς η δομή cluster_center περιλαμβάνει έναν πίνακα με 5 στοιχεία, όπου θα αποθηκεύονται οι κατάλληλοι ημερήσιοι δείκτες από τον πίνακα daily_ind ανάλογα με τα μέλη που προστίθενται στην κατηγορία. Επίσης η δομή cluster_center περιλαμβάνει δύο ακεραίους τον i, που κρατά τον αριθμό των επαναλήψεων και τον k , που κρατά τον αύξοντα αριθμό της κλάσης καθώς δημιουργούνται νέες κλάσεις.

Στη συνέχεια και πριν δημιουργηθεί η τελική δομή cluster , δημιουργείται η δομή cluster_members για να περιγράψει τα μέλη μίας κλάσης. Κάθε μέλος έχει ένα πεδίο prev_cl τύπου cluster_center, το οποίο κρατά το κέντρο της προηγούμενης κλάσης στην οποία ανήκε το μέλος , σε περίπτωση αλλαγής. Ένα πεδίο valid τύπου int καθορίζει αν το τρέχον μέλος ανήκει πράγματι στην κατηγορία αυτή κι ένα πεδίο dist τύπου float το οποίο κρατάει την απόσταση του μέλους από το κέντρο της κλάσης.

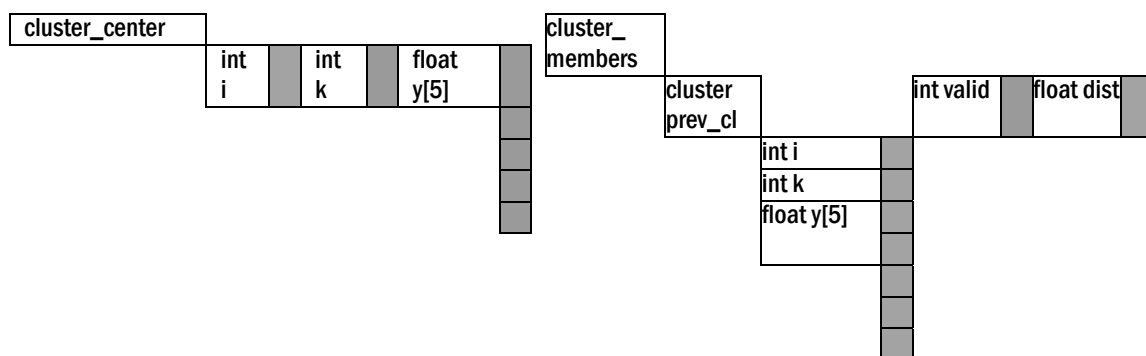
Τέλος η δομή cluster αποτελείται από τρία πεδία, το πρώτο πεδίο είναι τύπου int και κρατά το πλήθος των μελών της συγκεκριμένης κλάσης, το επόμενο είναι τύπου cluster_center και το άλλο τύπου cluster_members. Το τρίτο πεδίο μάλιστα είναι ένας πίνακας (cm) τόσων θέσεων όσες είναι και τα υπό εξέταση μέλη. Στην περίπτωση του πρώτου κτιρίου για παράδειγμα είναι 62 ημέρες που προσπαθούμε να χωρίσουμε σε κλάσεις, οπότε τόσες είναι και οι θέσεις του πίνακα. Οπότε λοιπόν δεδομένης της μορφής της δομής cluster, για κάθε κλάση προσδιορίζουμε το κέντρο της (συμπεριλαμβανομένων των συντεταγμένων του κέντρου, αλλά και του αριθμού της επανάληψης), και επίσης ποια είναι τελικά τα μέλη της. Κάθε θέση του πίνακα cm αντιστοιχεί σε μία ημέρα με τη σειρά. Αυτό που διαφοροποιεί τα στοιχεία του πίνακα έτσι ώστε να είναι μέλη ή όχι της δεδομένης κλάσης είναι το πεδίο valid κάθε στοιχείου του πίνακα. Εφόσον είναι στην τιμή 1, τότε η συγκεκριμένη ημέρα που περιγράφεται από την αντίστοιχη θέση πίνακα είναι μέλος της δεδομένης κλάσης.

Παρατίθενται οι σχετικοί ορισμοί σε μορφή κώδικα C#, καθώς και το αντίστοιχο σχήμα:

```
typedef struct cluster_center {
    int i; // number of cycles
    int k; // number of cluster
    float y[5]; // characteristics of cluster center
} cluster_center ;

typedef struct cluster_members {
    cluster_center prev_cl; //previous cluster of the member
    int valid;
    float dist; //distance from center
} cluster_members ;

typedef struct cluster {
    int n; // number of cluster members
    cluster_center cc;
    cluster_members cm[62];
} cluster;
```



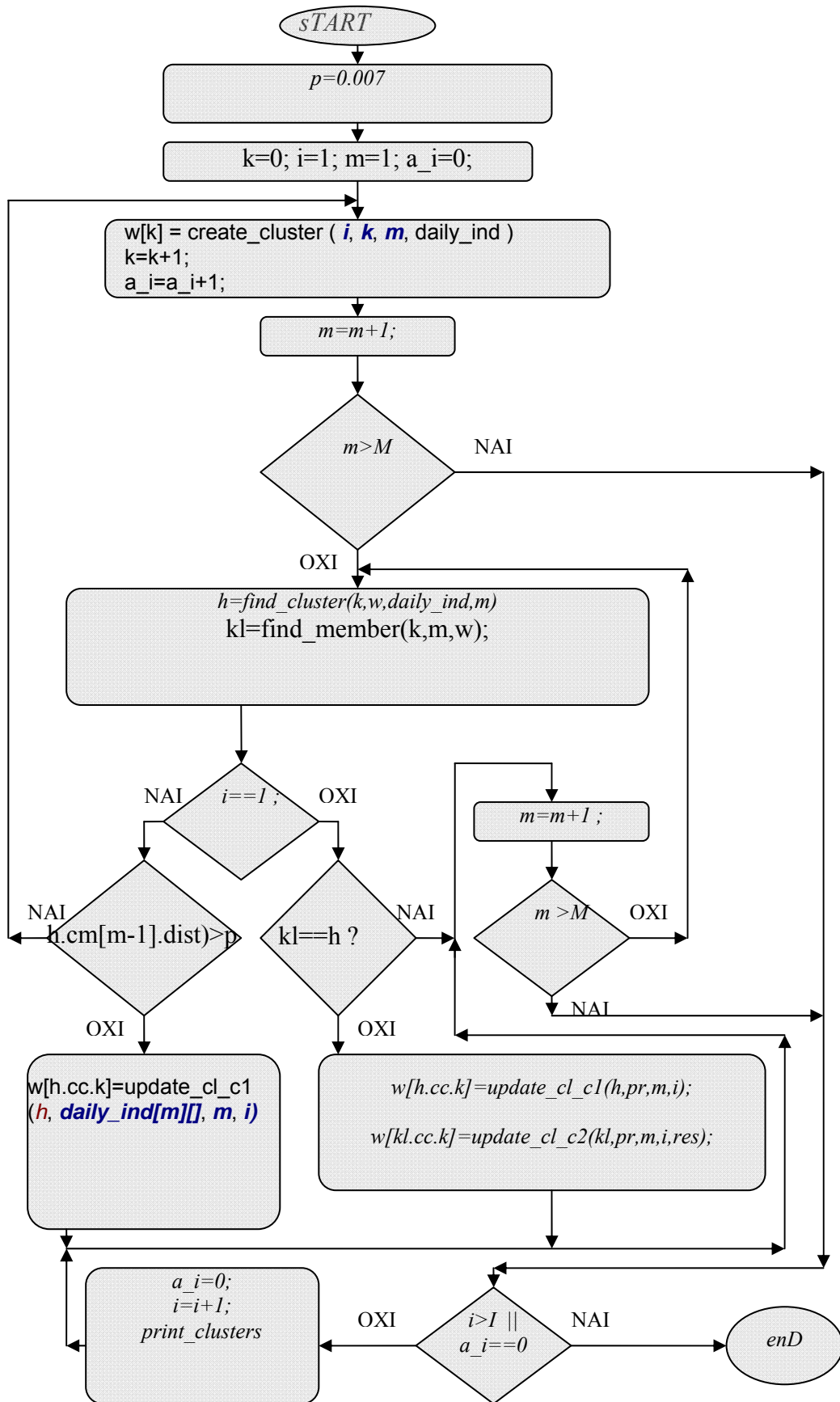
Σχήμα 4-1 : Σχηματική Απεικόνιση Δομών

4.3.3 Χρήσιμες συναρτήσεις για την ανάπτυξη του αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος κατηγοριοποίησης αναλύεται σε επιμέρους κομμάτια, τα οποία επαναλαμβάνονται και για διευκόλυνση θα αποτελέσουν ένα σύνολο συναρτήσεων, το οποίο βρίσκεται σε πλήρη μορφή στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Ακολουθεί μία σύντομη ανασκόπηση των συναρτήσεων αυτών:

- **cluster** create_cluster (*int* l, *int* f, *int* t, *float* daily[62][5])
 με τη συνάρτηση αυτή δημιουργείται μία νέα κλάση, γι' αυτό και ο επιστρεφόμενος τύπος είναι cluster. Δέχεται ως ορίσματα τρεις μεταβλητές τύπου int , οι οποίες δηλώνουν τον αριθμό επανάληψης , τον αριθμό της δημιουργούμενης κλάσης και τον αριθμό του υπό εξέταση μέλους. Επίσης η συνάρτηση δέχεται ως όρισμα έναν πίνακα τύπου float, έτσι ώστε να περάσουμε τα στοιχεία του υπό εξέταση μέλους, δηλαδή τους αντίστοιχους ημερήσιους δείκτες κατανάλωσης ενέργειας, όπως περιγράφηκαν παραπάνω.
- **cluster** update_cl_c1 (*cluster* q, *float* memb[5], *int* t, *int* i)
 η συνάρτηση δέχεται ως όρισμα εκτός των άλλων μία υπάρχουσα κλάση και επιστρέφει μία ανανεωμένη έκδοσή της , η οποία περιέχει πλέον ένα νέο μέλος. Συνεπώς με τη συνάρτηση ενημερώνουμε μία κλάση ,μετακινώντας το κέντρο της και αυξάνοντας τον αριθμό που δηλώνει το πλήθος των μελών της. Πρέπει να προσέξουμε το πεδίο valid του νέου μέλους να τροποποιηθεί κατάλληλα.
- **cluster** update_cl_c2 (*cluster* q1, *float* memb[5], *int* t, *int* i)
 συνάρτηση αντίστοιχη της προηγούμενης μόνο που τώρα η ενημέρωση της εν λόγω κλάσης περιλαμβάνει αφαίρεση ενός μέλους, το οποίο δεν θα ανήκει στο εξής στη συγκεκριμένη κλάση.
- **cluster** find_cluster (*int* g, *cluster* b_i[62], *float* daily_ind[62][5], *int* t)
 πρόκειται για τη συνάρτηση «ραχοκοκαλιά» του αλγορίθμου, αφού υπολογίζει σε ποια είναι η κλάση που απέχει λιγότερο από το υπό εξέταση μέλος. Προφανώς ο επιστρεφόμενος τύπος είναι **cluster** , ενώ ως ορίσματα η συνάρτηση δέχεται τον αριθμό επανάληψης, τον αριθμό του υπό εξέταση μέλους, έναν πίνακα τύπου cluster , ο οποίος όπως θα δούμε έχει δημιουργηθεί για να περιέχει όλες τις κλάσεις, κι έναν πίνακα με την ταυτότητα του εξεταζόμενου μέλους, δηλαδή τους ημερήσιους δείκτες του. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει την ευκλείδεια νόρμα που περιγράφει την απόσταση από τα κέντρα όλων των κλάσεων κι αφού αποθηκεύσει τα αποτελέσματα σε έναν βοηθητικό πίνακα , προχωρά σε σύγκριση μεταξύ τους έτσι ώστε να εντοπισθεί η μικρότερη νόρμα, που δηλώνει τη μικρότερη απόσταση.
- **cluster** find_member (*int* f, *int* t, *cluster* b_i[62])
 αντίστοιχη της προηγούμενης με σχεδόν αντίστροφη διεργασία. Ελέγχει όλες τις κλάσεις και συγκεκριμένα το πεδίο valid του υπό εξέταση μέλους, και εντοπίζει σε ποια κλάση ανήκει έως τώρα το μέλος. Ο επιστρεφόμενος τύπος είναι cluster , αφού πρόκειται για κλάση που εντοπίζεται, ενώ τα ορίσματα απαρτίζουν δύο ακέραιοι, ο αριθμός επανάληψης και το ID του εξεταζόμενου μέλους, καθώς επίσης κι ένας πίνακας τύπου cluster στον οποίο βρίσκονται ήδη όλες οι ενημερωμένες εκδόσεις των υφιστάμενων κλάσεων.
- **int** print_clusters (*cluster* b_i[62], *FILE* *f)
 βοηθητική συνάρτηση που ελέγχει το πεδίο valid κάθε μέλους για όλες τις κλάσεις και σε περίπτωση που είναι 1 τυπώνει στο αρχείο αποτελεσμάτων μία φράση που δηλώνει ότι η συγκεκριμένη ημέρα είναι πράγματι μέλος της κλάσης αυτής. Ως ορίσματα δέχεται τον πίνακα που περιέχει όλες τις υπάρχουσες κλάσεις και το δείκτη αρχείου που θα γράψει τα αποτελέσματα.

4.3.4 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου με βάση τις συναρτήσεις



Η τελική μορφή του προγράμματος δέχεται στην είσοδο ένα αρχείο με τις μετρήσεις ανά τέταρτο της ώρας και αφού υπολογίσει τους πέντε ημερήσιους δείκτες, που περιγράφηκαν παραπάνω, προχωρά στην συσταδοποίηση των ημερών ανάλογα με τους δείκτες αυτούς. Αφού πραγματοποιηθεί και η τελευταία επανάληψη του αλγορίθμου εξάγονται τρία αρχεία txt τα οποία περιέχουν τον πίνακα με τους υπολογισμένους ημερήσιους δείκτες, τον πίνακα με τα κεντροειδή των κλάσεων (96 ανακατασκευασμένες τιμές ανά τέταρτο της ώρας) και τον πίνακα που δείχνει μετά από κάθε επανάληψη πώς κατανομούνται οι ημέρες στις διάφορες κλάσεις, αλλά και τις τιμές των πέντε ημερήσιων δεικτών για τα κεντροειδή των κλάσεων που μεταβάλλονται με την πάροδο των επαναλήψεων.

Επιπλέον των παραπάνω μετά από κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, που φανερώνει το πόσο πυκνά πλαισιώνουν τα μέλη κάθε κλάσης το κεντροειδές της. Παρατίθεται σχετικό τμήμα του κώδικα υλοποίησης σε C:

```

for (l=0;l<k;l++)          // for all clusters
{ d=0;
  for (j=1;j<=M;j++)      // for all members
  {
    if (w[l].cm[(j-1)].valid==1) // if it is member of the cluster
    {
      if (w[l].n>0)
      { a=0;
        for (s=0;s<5;s++) // subtract attributes for all dimensions
          a=a+(daily_ind[(j-1)][s]-w[l].cc.y[s])*(daily_ind[(j-1)][s]-w[l].cc.y[s]);

        } else a=0;
        d=d+a; // sum for all members
      };
    };
    d=sqrt(d); // square distance
    di[(i-1)]=di[(i-1)]+d; // permanent load in matrix di, i: Iteration No
  };
  fprintf(res2,"// entropia :%f \n",di[(i-1)]);

```


5

*ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ &
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ*

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ & ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1.	Προεπεξεργασία Δεδομένων πριν την εφαρμογή του Αλγορίθμου.....	55
5.2.	Εφαρμογή Αλγορίθμου & Αποτελέσματα.....	59
5.2.1.	Κτίριο 01.....	59
5.2.2.	Κτίριο 02.....	67
5.2.3.	Κτίριο 03.....	73
5.2.4.	Πισίνα	79
5.3.	Συνολική Εφαρμογή & Αποτελέσματα για τα τρία Κτίρια.....	86
5.3.1.	Εφαρμογή για κατώφλι 0,008.....	87
5.3.2.	Εφαρμογή για κατώφλι 0,01.....	91
5.3.3.	Εφαρμογή για κατώφλι 0,02.....	94

Στο πέμπτο και μεγαλύτερο κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφεται η εφαρμογή του αλγορίθμου στα δεδομένα και σχολιάζονται κατάλληλα τα συμπεράσματα. Αρχικά γίνεται μία προ-επεξεργασία των δεδομένων έτσι ώστε να είναι βέβαιο ότι ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί με σωστό τρόπο. Κατόπιν ακολουθεί εφαρμογή του αλγορίθμου με διαφορετικές παραδοχές για κάθε κτίριο και για την πισίνα. Κάθε φορά τα αποτελέσματα οπτικοποιούνται με τη βοήθεια χρωματικών διαγραμμάτων και γραφικών παραστάσεων στο Matlab και συγκεντρωτικών διαγραμμάτων. Τέλος εφαρμόζεται ο αλγόριθμος συγκεντρωτικά και για τα τρία κτίρια, συσταδοποιώντας όλες τις καταναλώσεις μαζί.

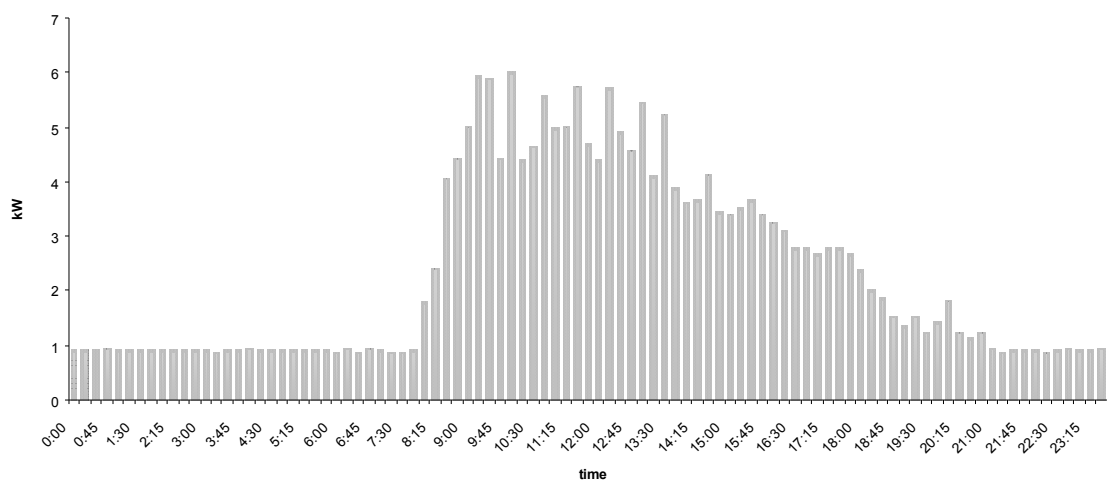
5.1 Προεπεξεργασία δεδομένων πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου

Οι μετρήσεις που διαθέτουμε αποτελούν ένα σύνολο καταναλώσεων χρονικά προσδιορισμένων ανά τέταρτο. Συγκεκριμένα διαθέτουμε μετρήσεις ενεργού ισχύος σε kW και παροχής φυσικού αερίου σε $\frac{Nm^3}{h}$ ανά τέταρτο της ώρας, για τρία κτίρια και για την πισίνα ενός σχολικού συγκροτήματος. Για τα δύο πρώτα κτίρια διαθέτουμε 5952 μετρήσεις, για το τρίτο κτίριο 5856 μετρήσεις και για την πισίνα 4896 μετρήσεις, δηλαδή έχουμε μετρήσεις για διάστημα δύο περίπου μηνών.

Η αρχή των μετρήσεων για τα δύο πρώτα κτίρια προκύπτει ότι έγινε Τετάρτη, αφού είναι λογικό να υποθέσουμε ότι τις καθημερινές υπάρχει κάποια διακύμανση στην κατανάλωση ενώ τα Σαββατοκύριακα αυτή η κατανάλωση σταθεροποιείται κοντά σε μία συγκεκριμένη τιμή (φορτίο βάσης) καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

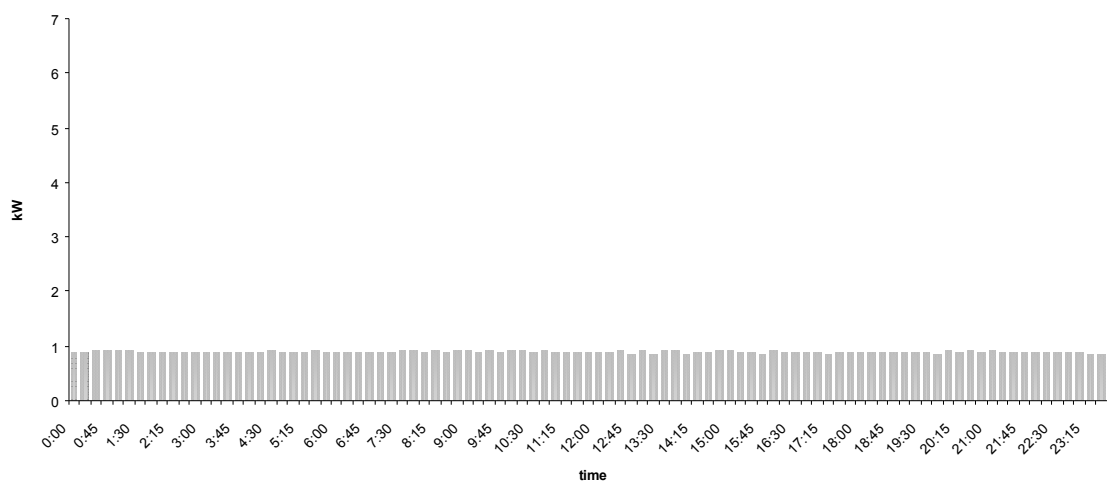
Ακολουθεί η τυπική καμπύλη φορτίου για μία καθημερινή ημέρα για το πρώτο κτίριο. Στον κάθετο άξονα έχουμε kW ενώ ο οριζόντιος άξονας δίνει τη χρονική εξέλιξη. Παρατηρούμε όπως ήταν αναμενόμενο ότι μεταξύ 8:15 και 21:00 υπάρχουν αρκετές διακυμάνσεις στην κατανάλωση, καθώς επίσης και μία τάση για μεγαλύτερη ζήτηση φορτίου μεταξύ 8:30 και 14:30, ώρες λειτουργίας ενός σχολείου. Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι ακόμη και στις ώρες που δε λειτουργεί το σχολείο, υπάρχει κάποια ζήτηση η οποία είναι σχεδόν σταθερή και λίγο μικρότερη του 1 kW .

WeekDay B01



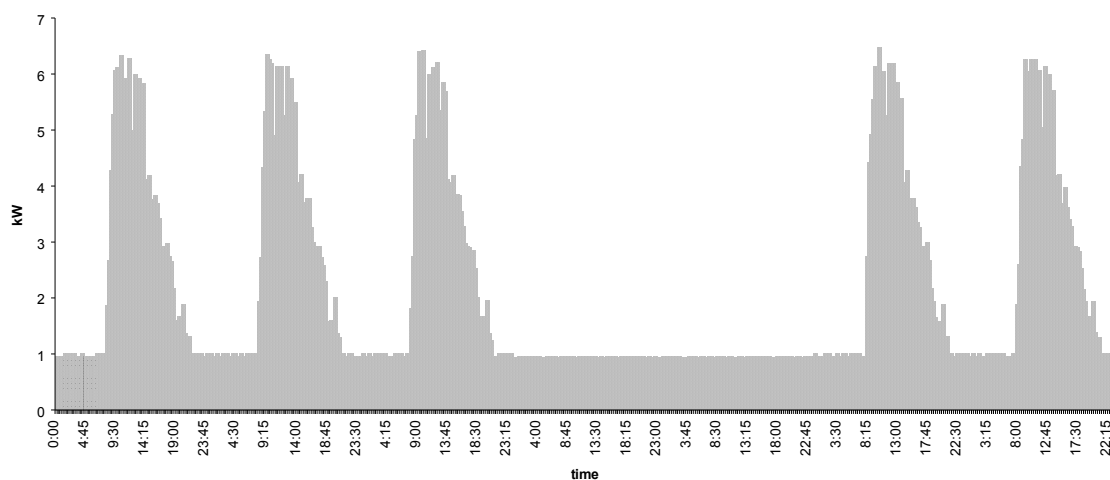
Αυτό το σχεδόν σταθερό φορτίο του 1 kW συνεχίζει να υπάρχει και σε όλη τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα που ακολουθεί και σχετίζεται με ένα εικοσιτετράωρο το Σαββατοκύριακο. Ενδεχομένως το φορτίο αυτό να αφορά κάποιο απαραίτητο φωτισμό έκτακτης ανάγκης, την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του γραφείου του φύλακα του κτιρίου ή κάποιου υφιστάμενου συστήματος συναγερμού και πυρασφάλειας.

WeekEnd B01



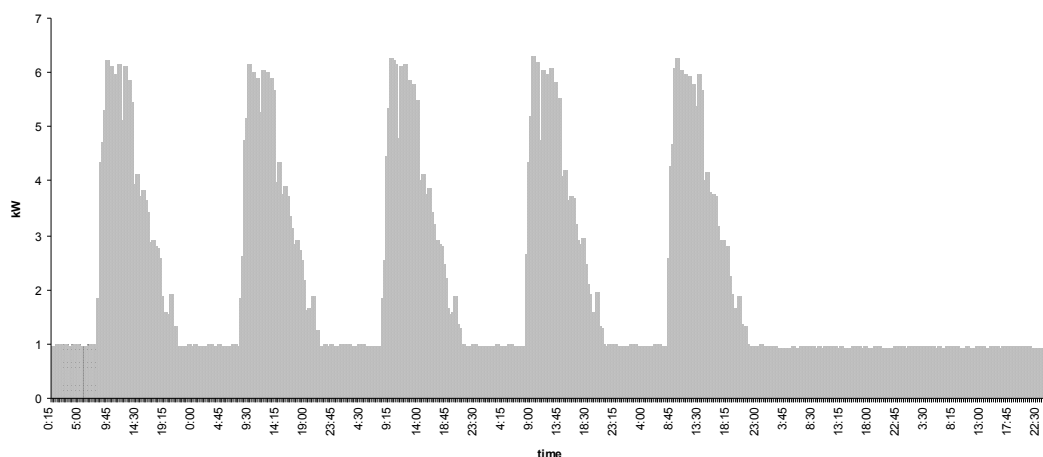
Ακολουθεί η εβδομαδιαία καμπύλη ζήτησης φορτίου για το δεύτερο κτίριο, από την οποία προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα σχετικά με την αλληλουχία των ημερών (δηλαδή ότι οι μετρήσεις μας ξεκινούν από Τετάρτη), αλλά και το παρατηρούμενο ελάχιστο φορτίο όταν δεν υπάρχουν διακυμάνσεις στη ζήτηση.

Week B02



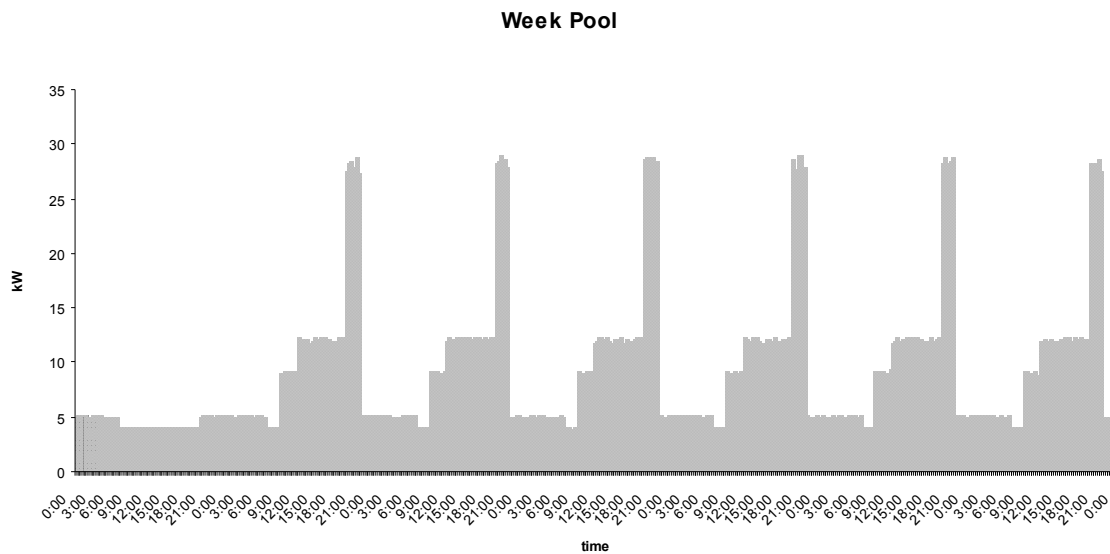
Ακολουθεί μία εβδομάδα μετρήσεων για το τρίτο κτίριο, οπότε από τη ζήτηση προκύπτει ότι για το συγκεκριμένο κτίριο οι μετρήσεις που έχουμε ξεκινούν ημέρα Δεύτερα, αφού παρατηρούμε πέντε διαδοχικές ημέρες με διακύμανση στη ζήτηση όπως περιγράφηκε παραπάνω ότι ταιριάζει σε μία καθημερινή ημέρα ,ακολουθούμενες από δύο διαδοχικές ημέρες με σχεδόν σταθερή ζήτηση γύρω από το 1 kW, όπως αρμόζει σε ένα Σαββατοκύριακο. Βέβαια για το τρίτο κτίριο έχουμε συνολικά 5856 μετρήσεις που αντιστοιχούν σε 61 ημέρες, δηλαδή έχουμε μετρήσεις για μία ημέρα λιγότερη σε σχέση με τα κτίρια 1 και 2.

Week B03

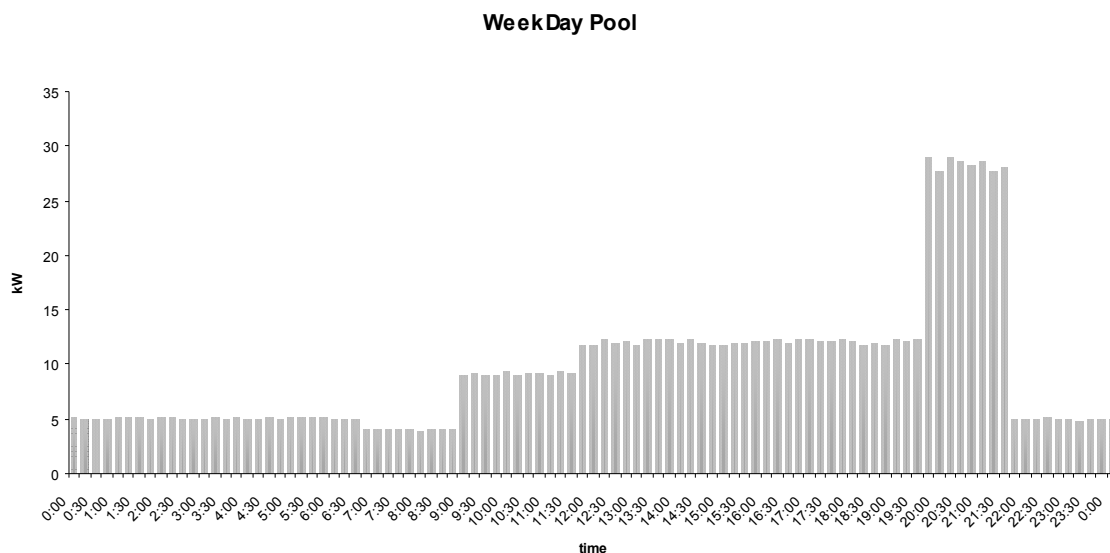


Η εβδομαδιαία καμπύλη ζήτησης για την πισίνα διαφέρει από τις αντίστοιχες των κτιρίων, καθώς η ελάχιστη κατανάλωση είναι γύρω στα 5 kW και σταθερότητα για όλο το εικοσιτετράωρο παρατηρείται μόνο για μία ημέρα ενδεχομένως την Κυριακή κι όχι ολόκληρο το Σαββατοκύριακο. Επιπλέον συμπεραίνουμε ότι οι μετρήσεις ξεκινούν από την ημέρα Κυριακή ,καθώς παρατηρείται σταθερή ζήτηση κοντά στην ελάχιστη τιμή για την πρώτη ημέρα.

Ακολουθεί το διάγραμμα:



Αξίζει να δούμε από κοντά ένα τυπικό εικοσιτετράωρο της κατανάλωσης της πισίνας:



Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην κατανάλωση δεν έχουν τη μορφή ακανόνιστων αιχμών, αλλά τη μορφή «σκαλοπατιών». Συγκεκριμένα παρατηρείται ένας διπλασιασμός φορτίου στις 9:15 το πρωί, ενώ το φορτίο παραμένει σταθερό μέχρι τις 12:00, οπότε και παρατηρείται μία επιπλέον αύξηση της τάξης των 5 kW. Αντίστοιχα παρατηρείται μία απότομη αύξηση στο φορτίο της πισίνας στις 20:00, ενώ μετά τις 21:30 το φορτίο πέφτει στην ελάχιστη τιμή των 5 kW.

5.2 Εφαρμογή Αλγορίθμου

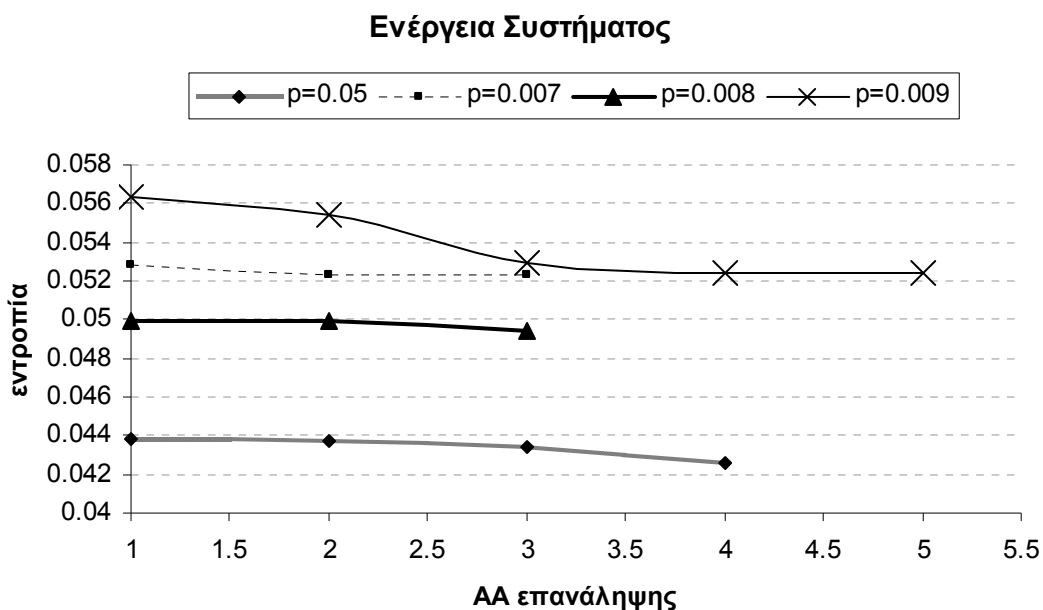
5.2.1 Κτίριο 01

Για το πρώτο κτίριο διαθέτουμε 5952 μετρήσεις , οι οποίες αντιστοιχούν ανά 96 σε 62 ημέρες. Οι μετρήσεις μας σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση έχουν αφετηρία ημέρα Τετάρτη. Αρχικά από την καμπύλη φορτίου υπολογίζονται οι πέντε ημερήσιοι δείκτες για καθεμία από τις 62 ημέρες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμένοι δείκτες για την πρώτη εβδομάδα μετρήσεων :

Daily Indices					
	fD1	fD2	fD3	fD4	fD5
0 day	0.389519	0.379430	0.134916	0.000000	0.215968
1 day	0.394685	0.379935	0.135118	0.000000	0.214997
2 day	0.388176	0.378841	0.134743	0.000000	0.215912
3 day	0.969832	0.971772	0.000000	0.343066	0.000000
4 day	0.971731	0.969759	0.000000	0.341455	0.000000
5 day	0.971237	0.971326	0.343777	0.000000	0.143286
6 day	0.966880	0.975364	0.344275	0.000000	0.142545
7 day	0.394282	0.378344	0.134149	0.000000	0.217564

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης για διαφορετικά κατώφλια και ακολουθεί παρουσίαση και συσχετισμός των αποτελεσμάτων.

Με κατώφλι **0,005** οι ημέρες χωρίζονται σε 12 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 4 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος , η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη. Οι επαναλήψεις συνεχίζονται καθώς υπάρχουν μετακινήσεις από την 3^η προς την 10^η κλάση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μείωση της εντροπίας με τις επαναλήψεις για όλες τις εφαρμογές του αλγορίθμου με διαφορετικά κατώφλια για το εύρος κάθε κλάσης:



Σχήμα 5 - 1 : Εντροπία συσταδοποιήσεων για το Κτίριο 01

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των ημερών σε κλάσεις ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης φορτίου:

ITERATION : 1-3 (p=0.005)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	03	1 3 9
1	04	2 8 10 17
2	16 (14)	4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 47 53 60 61
3	02	6 14
4	01	7
5	12	13 15 16 20 21 22 23 24 27 28 30 31
6	01	29
7	08	34 36 37 38 41 43 55 62
8	08	35 42 44 45 51 52 56 57
9	02 (04)	46 54
10	04	48 49 50 59
11	01	58

Ενώ στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ποιες ημέρες μετακινούνται σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, ακολουθεί η τελική κατανομή σε κλάσεις στον επόμενο πίνακα:

ITERATION : 4 (p=0.005)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	03	1 3 9
1	04	2 8 10 17
2	13	4 5 11 12 25 32 33 39 40 47 53 60 61
3	02	6 14
4	01	7
5	12	13 15 16 20 21 22 23 24 27 28 30 31
6	01	29
7	08	34 36 37 38 41 43 55 62
8	08	35 42 44 45 51 52 56 57
9	05	18 19 26 46 54
10	04	48 49 50 59
11	01	58

Για καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα θα αποκωδικοποιηθούν χρωματικά στο παρακάτω διάγραμμα, όπου οι ημέρες δεν αναπαριστώνται πλέον ως αριθμοί αλλά ως ημέρες της εβδομάδας. Όπως έχει ήδη αναλυθεί η αρχή των μετρήσεων τοποθετείται σε ημέρα Τετάρτη για το πρώτο κτίριο, οπότε η ημέρα με τον αύξοντα αριθμό 1 είναι η Τετάρτη της 1^{ης} εβδομάδας.

Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59
Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60
Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61
Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62
Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56	

Τε									
Πε									
Πα									
Σα									
Κυ									
Δε									
Τρ									

Τε									
Πε									
Πα									
Σα									
Κυ									
Δε									
Τρ									

Σχήμα 5-2: Χρωματικό Διάγραμμα

Με κατώφλι 0,005

Με κατώφλι 0,007

Κατά το διαχωρισμό των ημερών σε κατηγορίες για κάθε κατηγορία υπολογίζεται το κεντροειδές το οποίο θεωρούμε ότι χαρακτηρίζει όλα τα μέλη της κλάσης. Το κεντροειδές αυτό περιγράφεται από τους ημερήσιους δείκτες κατ' αντιστοιχία όσων έχουν ήδη σχολιαστεί, κι επίσης από 96 ανακατασκευασμένες από τα μέλη τιμές όπως ακριβώς και οι αρχικές μετρήσεις καθενός από τα μέλη της κλάσης. Οι 96 αυτές τιμές προκύπτουν συνθετικά μετά το πέρας της επαναληπτικής διαδικασίας ως εξής: για κάθε τέταρτο της ώρας, για κάθε μέλος της κλάσης υπολογίζεται μία τιμή ως ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

Παρατίθεται κομμάτι του σχετικού κώδικα :

```
for (j=0; j<=k; j++)
{
  a_i=0;
  for (m=1; m<=M; m++)
  {
    if (w[j].cm [(m-1)].valid)
    {
      for (l=0; l<96; l++)
        centr[j][l] = ((centr[j][l]*a_i) +numbers[((m-1)*96+l]))/(a_i+1);
      a_i=a_i+1;
    }
  };
};
```

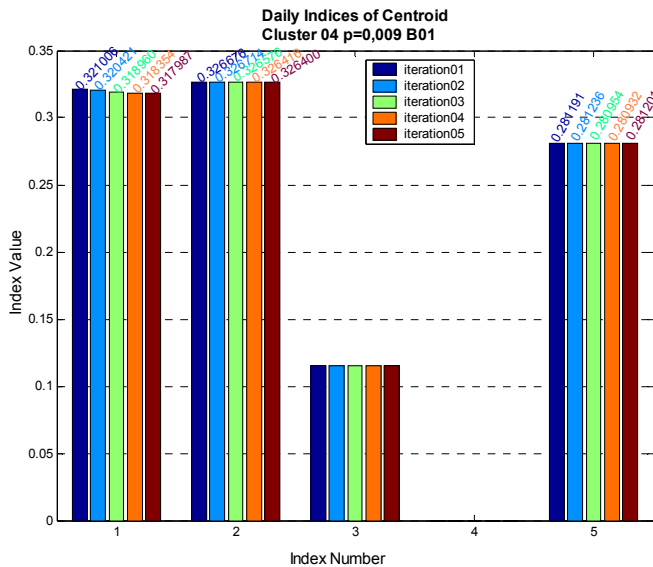
Με κατώφλι **0,007** οι ημέρες χωρίζονται σε 6 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 3 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη, ενώ ο παρακάτω πίνακας περιέχει την τελική κατανομή των ημερών σε κλάσεις.

Ακολουθεί ο πίνακας με την τελική κατανομή των μελών στις κλάσεις :

ITERATION : 3 (p=0.007)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	19	1 2 3 8 9 10 13 15 16 17 20 21 22 23 24 27 28 30 31
1	18	4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61
2	03	6 7 14
3	01	29
4	10	34 37 38 41 43 48 49 50 55 59
5	11	35 36 42 44 45 51 52 56 57 58 62

Είναι εμφανές ότι στην 1^η κλάση συγχωνεύτηκαν τρεις από τις κλάσεις της προηγούμενης εφαρμογής του αλγορίθμου, στην 2η κλάση συγχωνεύτηκαν δύο από τις προηγούμενες κλάσεις, στην 3η κλάση συγχωνεύονται δύο ακόμα κλάσεις, λογική απόρροια του γεγονότος ότι το κατώφλι μεγάλωσε κι έτσι τα όρια των κλάσεων διευρύνθηκαν. Βέβαια η ημέρα με αύξοντα αριθμό 29 αποτελεί και πάλι αυτόνομη κλάση, ενώ οι δύο τελευταίες κλάσεις διαμορφώνονται με συγχώνευση αλλά και ανταλλαγή μελών υπαρχουσών κλάσεων. Η ημέρα με AA 58 ενσωματώνεται πλέον στην τελευταία κλάση.

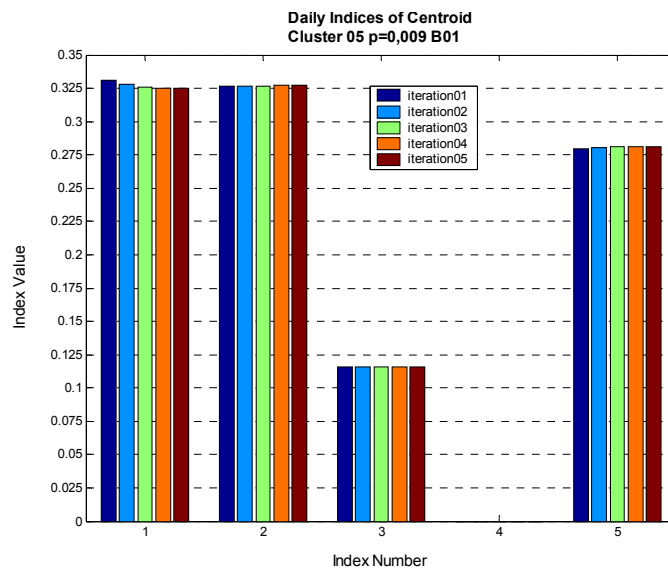
Με κατώφλι **0,008** αν και αρχικά οι ημέρες κατανέμονται διαφορετικά μετά το τέλος των επαναλήψεων η τελική κατανομή σε κλάσεις είναι όμοια με αυτή που προέκυψε από την εφαρμογή για κατώφλι **0,007**. Το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα συσταδοποίησης πετυχαίνουμε και με κατώφλι **0,009**, μόνο που τώρα παρατηρείται κάποιου είδους αστάθεια και απαιτούνται έξι επαναλήψεις μέχρι την τελική κατανομή, αφού μία από τις πολυπληθέστερες κλάσεις ξεκινά με ένα μοναδικό μέλος μετά την πρώτη επανάληψη. Συγκεκριμένα αυτό το μοναδικό μέλος είναι η ημέρα με AA 58, η οποία στην πρώτη εφαρμογή του αλγορίθμου με **p=0,005** αποτελούσε ξεχωριστή κλάση από μόνη της. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων επαναλήψεων της εφαρμογής του αλγορίθμου με **p=0,009** η εν λόγω κλάση αποκτά όλο και περισσότερα μέλη μέχρι το τέλος των επαναλήψεων οπότε την ημέρα με AA 58 πλαισιώνουν άλλες 10 ημέρες. Λόγω των αρκετών επαναλήψεων που πραγματοποιούνται στη συγκεκριμένη εφαρμογή του αλγορίθμου παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον η μελέτη της κίνησης των κεντροειδών κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων. Έτσι στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση των πέντε ημερήσιων δεικτών που χαρακτηρίζουν το κεντροειδές της κλάσης σε σχέση με τον αριθμό της επανάληψης για τις δύο τελευταίες κλάσεις που διαφοροποιούνται σε κάθε επανάληψη.



Σχήμα 5-3: Μετακίνηση κεντροειδούς κλάσης 04 (p=0,009)

Παρατηρούμε ότι ο πρώτος ημερήσιος δείκτης ακολουθεί μία γενίως φθίνουσα τάση, ενώ οι ο δεύτερος και πέμπτος δείκτης ταλαντώνονται γύρω από μία σχεδόν σταθερή τιμή μέχρι να σταθεροποιηθεί η κατάσταση. Ο τρίτος δείκτης μένει πρακτικά σταθερός. Οι τιμές των δεικτών σε κάθε επανάληψη για την πέμπτη κλάση (cluster04) απεικονίζονται στο διπλανό διάγραμμα.

Παρατηρούμε ότι ο πρώτος ημερήσιος δείκτης ακολουθεί μία γενίως φθίνουσα τάση, ενώ οι ο δεύτερος και πέμπτος δείκτης ταλαντώνονται γύρω από μία τιμή κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας. Ο τρίτος δείκτης μένει πρακτικά σταθερός. Οι τιμές των δεικτών σε κάθε επανάληψη για την έκτη κλάση (cluster05) απεικονίζονται στο διπλανό διάγραμμα.



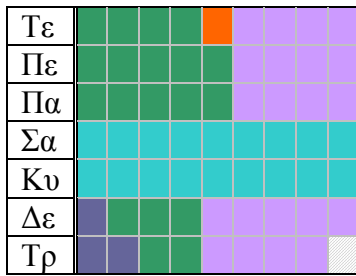
Σχήμα 5-4: Μετακίνηση κεντροειδούς κλάσης 05 (p=0,009)

Με κατώφλι **0,01** αρκεί μία επανάληψη για να χωριστούν οι ημέρες σε πέντε κλάσεις, οι οποίες προέκυψαν από τις προηγούμενες με τη διαφορά ότι συμπύχθηκαν ακόμη δύο κλάσεις.

Οι ημέρες των Σαββατοκύριακων συνεχίζουν να αποτελούν μία κλάση, ενώ η κλάση με τα τρία μέλη παραμένει αμετάβλητη και αυτόνομη παρόλο που αυξήσαμε το εύρος κάθε κλάσης. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι τρεις ημέρες (6,7 και 14) παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες καθημερινές. Επίσης η ημέρα με AA 29 συνεχίζει να αποτελεί μία ξεχωριστή κλάση με μοναδικό μέλος την ίδια, που σημαίνει ότι η καμπύλη φορτίου της διαφοροποιείται περισσότερο από το εύρος (<0,01) που έχουμε θέσει ως τώρα για τις κλάσεις. Ακολουθεί ο πίνακας με την τελική κατανομή για **0,01**:

ITERATION : 3 (p=0.01)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	19	1 2 3 8 9 10 13 15 16 17 20 21 22 23 24 27 28 30 31
1	18	4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61
2	03	6 7 14
3	01	29
4	21	34 35 36 37 38 41 42 43 44 45 48 49 50 51 52 55 56 57 58 59 62

Ακολουθεί το χρωματικό διάγραμμα αναπαράστασης των κλάσεων και ακριβώς δίπλα ο πίνακας με τους ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών όλων των κλάσεων.



Σχήμα 5-5: Χρωματικό Διάγραμμα για $p=0,01$

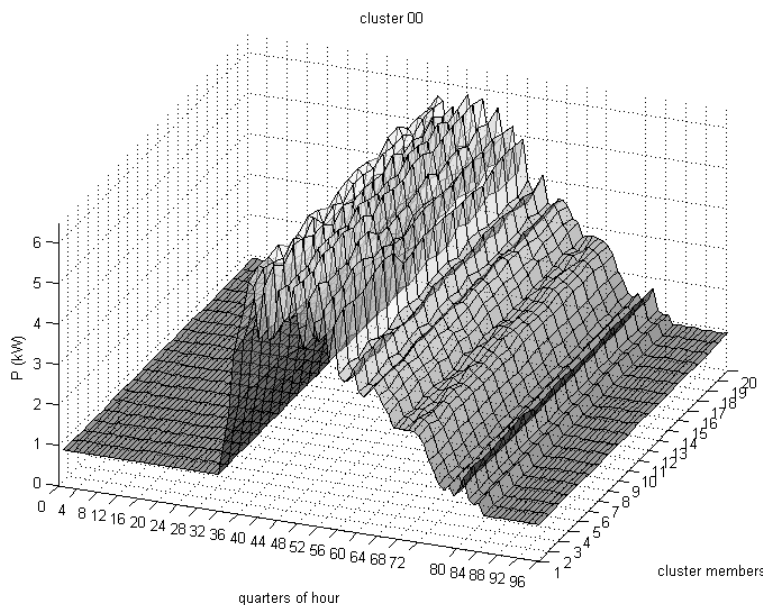
ITERATION : 3 ($p=0.01$)					
clusterNo:	Centroid	Daily	Ind		
0	0.393719	0.381983	0.135228	0.000000	0.215476
1	0.971400	0.970793	0.000000	0.343704	0.000000
2	0.970438	0.972348	0.343432	0.000000	0.143177
3	0.404131	0.383856	0.135351	0.000000	0.216000
4	0.321477	0.326667	0.115619	0.000000	0.281107

ημερήσιοι δείκτες κεντροειδών

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τρίτη κλάση, όπως προκύπτει από τους ημερήσιους δείκτες περιέχει μέλη που παρουσιάζουν «συμπεριφορά» (καμπύλη φορτίου) όμοια με εκείνη των Σαββατοκύριακων. Η ξεχωριστή αυτή ιδιότητα των συγκεκριμένων ημερών αναδεικνύεται καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται για κατώφλια ακόμη μεγαλύτερα του $0,01$, οπότε ακόμη και για κατώφλι $0,02$ ή $0,03$ ή ακόμα και $0,1$ αυτές οι τρεις ημέρες συνεχίζουν να ανήκουν σε ξεχωριστή κλάση αν και όλες οι υπόλοιπες καθημερινές των πρώτων εβδομάδων ανήκουν πλέον σε μία κοινή κλάση.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Matlab απεικονίζονται γραφικά για κάθε κλάση η πρότυπη καμπύλη φορτίου μαζί με την καμπύλη φορτίου κάθε μέλους της κλάσης. Στην μπροστινή όψη φαίνεται η καμπύλη φορτίου του κεντροειδούς της κλάσης και ακολουθούν οι καμπύλες για κάθε μέλος της ίδια κλάσης. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος –ένα εικοσιτετράωρο- υπό τη μορφή τετάρτων της ώρας, ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται η ισχύς του φορτίου σε kW. Στην τρίτη διάσταση (βάθος) φαίνονται τα μέλη της κλάσης. Παρατίθενται τα διαγράμματα που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση στις τέσσερις κλάσεις που δημιουργήθηκαν μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου για κατώφλι $0,01$.

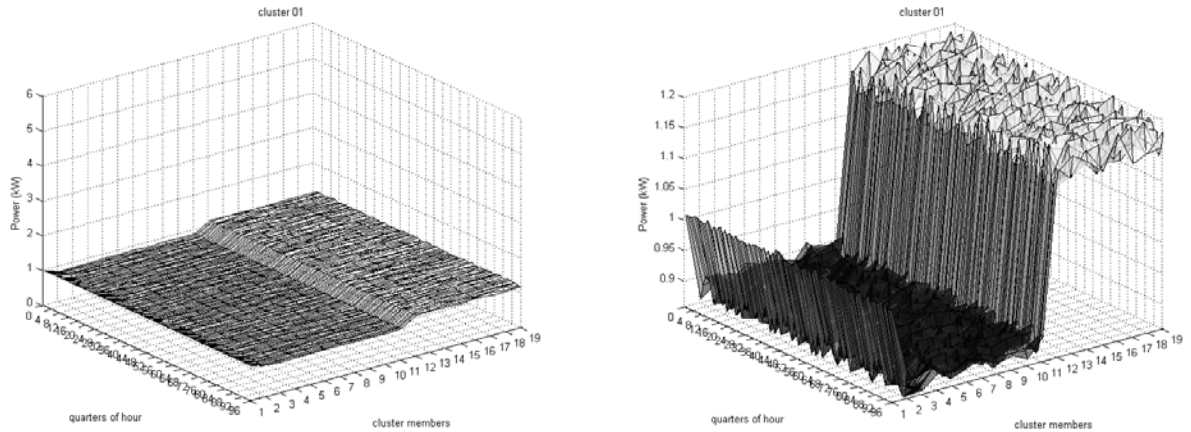
Σχήμα 5-6: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 00



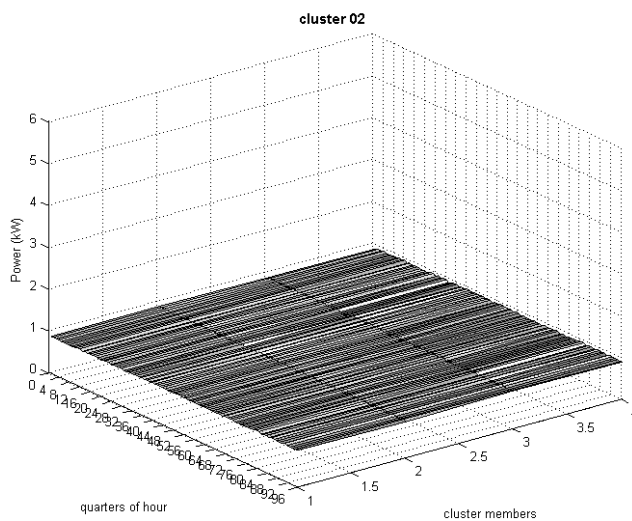
Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται οι 19 ημέρες που ανήκουν στην 1^η κλάση. Επιβεβαιώνεται η ομοιότητα στην καμπύλη φορτίου τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντροειδές της κλάσης, το οποίο θεωρητικά μπορεί να αντικαταστήσει όλα τα μέλη της κλάσης.

Παρακάτω φαίνεται το αντίστοιχο συγκεντρωτικό διάγραμμα για τη 2^η κλάση, η οποία περιλαμβάνει όλες τις ημέρες των Σαββατοκύριακων. Στο 13^ο μέλος της κλάσης παρατηρούμε ένα σκαλοπάτι, το οποίο μπορεί να δικαιολογηθεί ως εξής: Με κατώφλι

0,005 τα Σαββατοκύριακα χωρίζονται σε δύο κλάσεις, οι οποίες συγχωνεύονται για να προκύψει μία ενιαία κλάση καθώς το εύρος των κλάσεων επεκτείνεται μέχρι το κατώφλι 0,01 που εξετάζουμε.

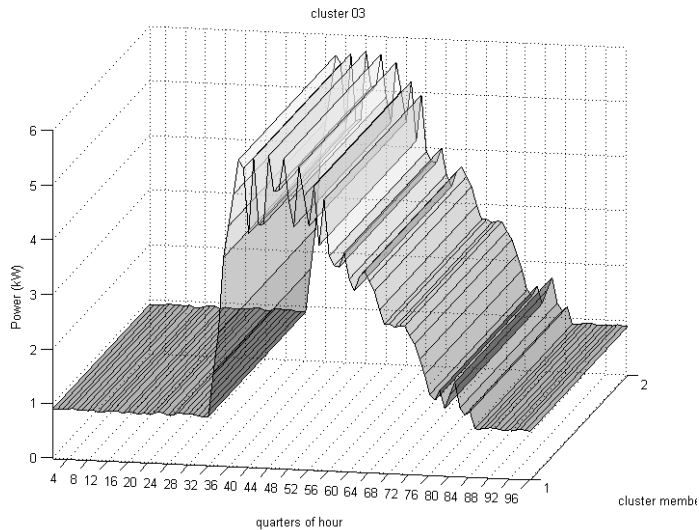


Σχήμα 5-7: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 01 (πιο κοντινή όψη- σκαλοπάτι)



Σχήμα 5-8: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 02 για $p=0,01$ (days 6, 7 & 14)

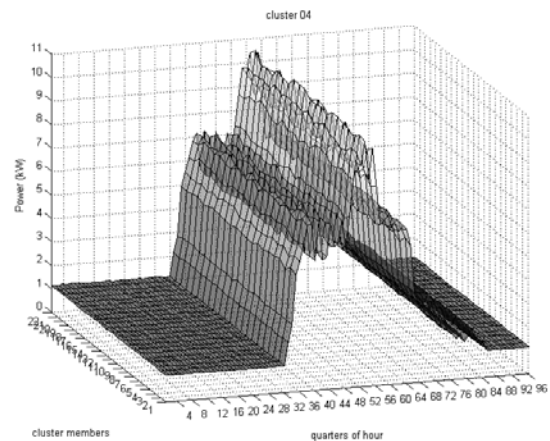
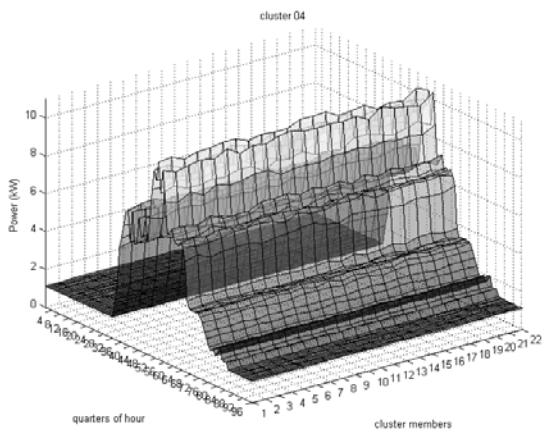
Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται τα 3 μέλη της 3^{ης} κλάσης μαζί με το κεντροειδές της κλάσης. Είναι εμφανές ότι ενώ πρόκειται για καθημερινές ημέρες η κατανάλωση ενέργειας είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας όπως ακριβώς συμβαίνει και τα Σαββατοκύριακα.



Στο διπλανό σχήμα απεικονίζεται το μοναδικό μέλος της 4^{ης} κλάσης μαζί με το κεντροειδές που είναι η ίδια η ημέρα.

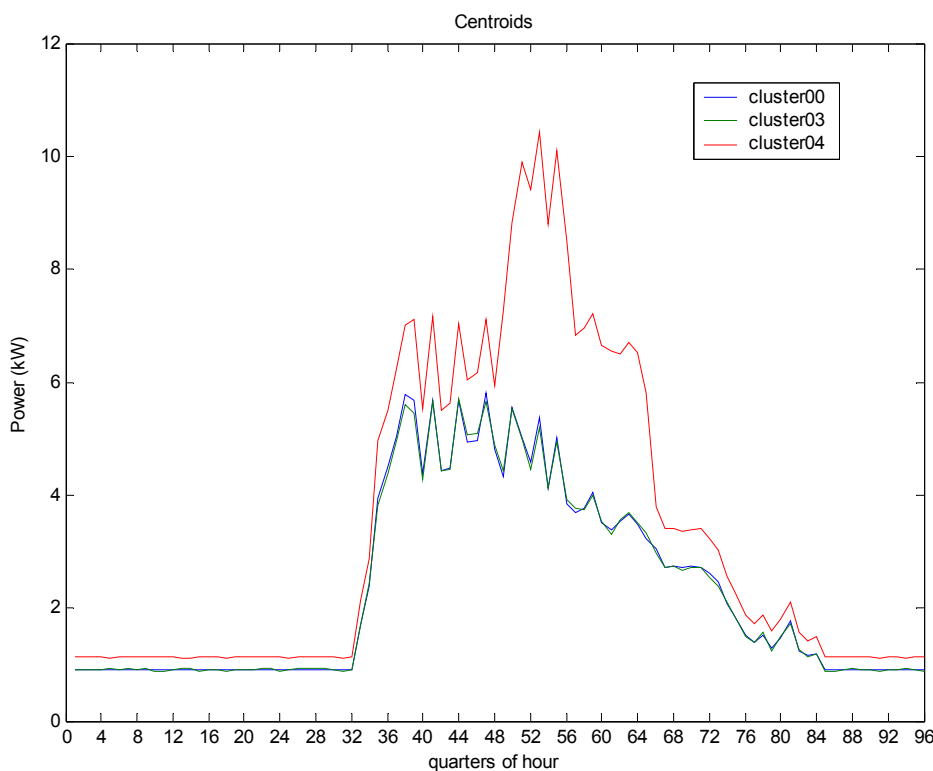
Σχήμα 5-9: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 03 για $p=0,01$ only day 29

Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα για τα μέλη της 5ης κλάσης. Παρατηρούμε ότι τα μέλη της εν λόγω κλάσης παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες καθημερινές ημέρες στην καμπύλη ζήτησης, αφού εμφανίζεται μία αιχμή με τιμή περίπου 10 kW μεταξύ 12.30 και 13.30 το μεσημέρι.



Σχήμα 5-10: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 04 για $p=0.01$ (2 όψεις)

Για καλύτερη σύγκριση των διαφορετικών κλάσεων παρατίθεται συγκριτικό διάγραμμα των καμπυλών φορτίου των κεντροειδών των κλάσεων που αντιστοιχούν σε καθημερινές ημέρες.



Σχήμα 5-11: Καμπύλη Ζήτησης φορτίου κεντροειδών κλάσεων 00, 03 & 04

Με κόκκινο χρώμα ξεχωρίζει η διαφορετική καμπύλη της 5^{ης} κλάσης, στην οποία παρουσιάζεται μία αιχμή στη ζήτηση τις μεσημεριανές ώρες. Επειδή πρόκειται για κτίριο σχολείου μπορούμε να υποθέσουμε ότι κατά τις τελευταίες εβδομάδες (οι καθημερινές ημέρες των τελευταίων εβδομάδων ανήκουν σε αυτή την κλάση) που εξετάζουμε προστέθηκε στο πρόγραμμα ,λίγο πριν το σχολάσμα, κάποια διαφορετική δραστηριότητα , η οποία απαιτεί περισσότερη κατανάλωση ενέργειας.

Για το 1ο Κτίριο μετά την ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων παρατηρούμε ότι :

- η συσταδοποίηση με κατώφλια μικρότερα του 0,007 χωρίζει τις ημέρες σε πολλές κλάσεις χωρίς σαφείς διαφοροποιήσεις μεταξύ τους.
- η εφαρμογή του αλγορίθμου με κατώφλι 0,009 οδηγεί σε μία μικρή αστάθεια, αφού πραγματοποιούνται περισσότερες από το συνηθισμένο αριθμό επαναλήψεις.
- εντοπίζονται τρεις καθημερινές ημέρες με ζήτηση μόνο του φορτίου βάσης καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.
- υπάρχει σαφέστατος διαχωρισμός των υπόλοιπων καθημερινών σε δύο ευρύτερες κατηγορίες με διαφορετική καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου, με ετεροχρονισμό των αιχμών και διαφορετική μέγιστη ζήτηση.

5.2.2 Κτίριο 02

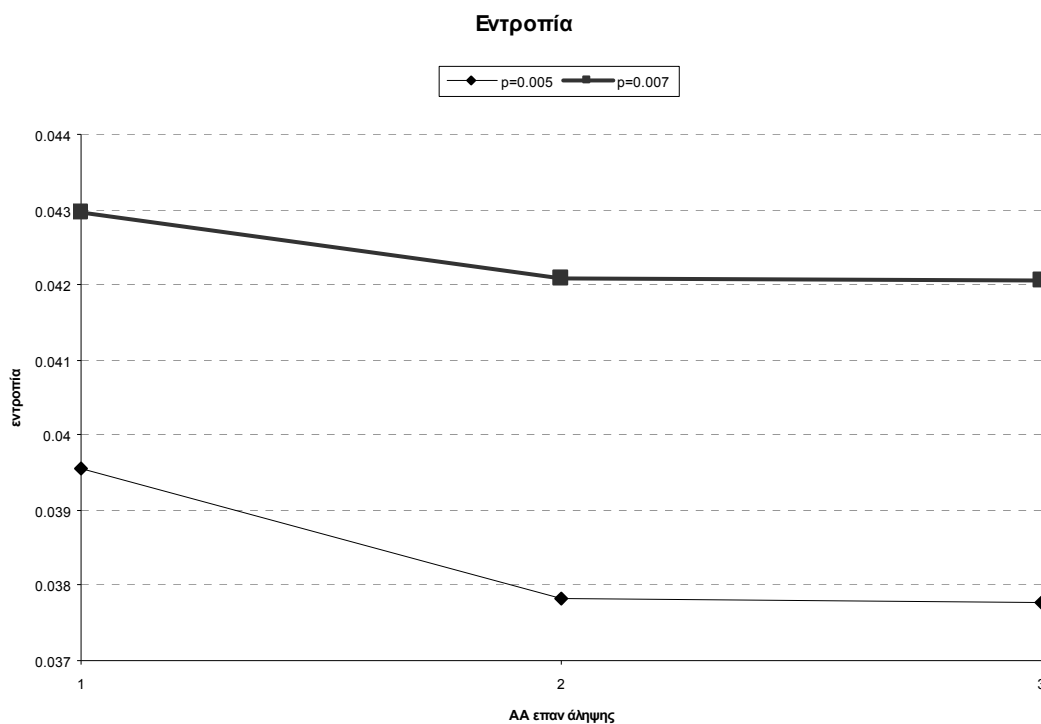
Για το δεύτερο κτίριο έχουμε επίσης 5952 μετρήσεις , οι οποίες αντιστοιχούν σε 62 ημέρες. Οι μετρήσεις μας σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση ξεκινούν και πάλι Τετάρτη. Αρχικά υπολογίζονται οι ημερήσιοι δείκτες που απεικονίζουν κάποια κανονικοποιημένα μεγέθη της καμπύλης φορτίου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμένοι δείκτες για την πρώτη εβδομάδα μετρήσεων :

Daily Indices					
	fD1	fD2	fD3	fD4	fD5
0 day	0.394795	0.379490	0.133609	0.000000	0.218736
1 day	0.392566	0.379935	0.134097	0.000000	0.217267
2 day	0.389336	0.378414	0.135024	0.000000	0.216697
3 day	0.971002	0.970087	0.000000	0.342791	0.000000
4 day	0.970720	0.971477	0.000000	0.344117	0.000000
5 day	0.384868	0.380309	0.134810	0.000000	0.216909
6 day	0.398167	0.379787	0.134611	0.000000	0.219867
7 day	0.387887	0.379797	0.134495	0.000000	0.217497

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης για διαφορετικά κατώφλια και ακολουθεί παρουσίαση και συσχετισμός των αποτελεσμάτων.

Με κατώφλι **0,005** οι ημέρες χωρίζονται σε 8 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 3 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος , η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη.

Οι επαναλήψεις συνεχίζονται καθώς υπάρχουν μετακινήσεις από την 1^η προς την 3^η κλάση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μείωση της εντροπίας με τις επαναλήψεις:



Σχήμα 5-12: Εντροπία συσταδοποιήσεων για το Κτίριο 02

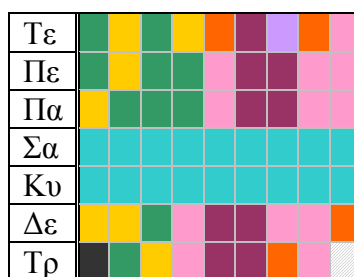
Παρακάτω φαίνεται η τελική κατανομή των ημερών σε κλάσεις ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης φορτίου:

ITERATION : 3 (p=0.005)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	10	1 2 10 14 15 16 17 20 23 24
1	18	4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61
2	07	3 6 8 9 13 21 22
3	01	7
4	12	27 28 30 31 48 51 52 55 56 57 58 59
5	04	29 49 50 62
6	09	34 35 36 37 38 41 42 44 45
7	01	43

Για καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα θα αποκωδικοποιηθούν σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα, όπου οι ημέρες δεν αναπαριστώνται πλέον ως αριθμοί αλλά ως ημέρες της εβδομάδας. Όπως έχει ήδη αναλυθεί η αρχή των μετρήσεων τοποθετείται σε ημέρα Τετάρτη, οπότε η ημέρα με τον αύξοντα αριθμό 1 είναι η Τετάρτη της 1^{ης} εβδομάδας.

Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59
Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60
Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61
Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62
Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56	

Σχήμα 5-13: Χρωματικό Διάγραμμα



με κατώφλι 0,005



με κατώφλι 0,007

Κατά το διαχωρισμό των ημερών σε κατηγορίες για κάθε κατηγορία υπολογίζεται το κεντροειδές το οποίο θεωρούμε ότι χαρακτηρίζει όλα τα μέλη της κλάσης. Το κεντροειδές αυτό περιγράφεται από τους ημερήσιους δείκτες κατ' αντιστοιχία όσων έχουν ήδη σχολιαστεί, κι επίσης από 96 τιμές όπως ακριβώς και οι αρχικές μετρήσεις καθενός από τα μέλη της κλάσης. Οι 96 αυτές τιμές προκύπτουν συνθετικά μετά το πέρας της επαναληπτικής διαδικασίας ως εξής: για κάθε τέταρτο της ώρας, για κάθε μέλος της κλάσης υπολογίζεται μία τιμή ως ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

Με κατώφλι **0,007** οι ημέρες χωρίζονται σε 5 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 3 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη.

ITERATION : 3 (p=0.007)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	23	1 2 7 10 14 15 16 17 20 23 24 27 28 30 31 48 51 52 55 56 57 58 59
1	18	4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61
2	07	3 6 8 9 13 21 22
3	04	29 49 50 62 7
4	10	34 35 36 37 38 41 42 43 44 45

Τε																			
Πε																			
Πα																			
Σα																			
Κυ																			
Δε																			
Τρ																			

Είναι εμφανές ότι στην 1^η κλάση συγχωνεύτηκαν οι τρεις κλάσεις της προηγούμενης εφαρμογής του αλγορίθμου και στην 5^η κλάση συγχωνεύτηκαν δύο κλάσεις , λογική απόρροια του γεγονότος ότι το κατώφλι μεγάλωσε κι έτσι τα όρια των κλάσεων διευρύνθηκαν.

Σχήμα 5-14: Χρωματικό Διάγραμμα για $p=0,008$

Με κατώφλι **0,008** αν και αρχικά οι ημέρες κατανέμονται διαφορετικά μετά το τέλος των επαναλήψεων η τελική κατανομή σε κλάσεις είναι όμοια με αυτή που προέκυψε από την εφαρμογή για κατώφλι **0,007**.

Με κατώφλι **0,01** αρκεί μία επανάληψη για να χωριστούν οι ημέρες σε τέσσερις κλάσεις, οι οποίες προέκυψαν από τις προηγούμενες με τη διαφορά ότι συμπύχτηκαν ακόμη δύο κλάσεις.

Οι ημέρες των Σαββατοκύριακων συνεχίζουν να αποτελούν μία κλάση, ενώ η κλάση με τα τέσσερα μέλη παραμένει αμετάβλητη και αυτόνομη παρόλο που αυξήσαμε το εύρος κάθε κλάσης. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι τέσσερις ημέρες παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες καθημερινές.

ITERATION : 3 ($p=0.01$)	
clusterNo:	NoMembers: days:
0	30 1 2 3 6 7 8 9 10 13 14 15 16 17 21 22 20 23 24 27 28 30 31 48 51 52 55 56 57 58 59
1	18 4 5 11 12 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61
2	04 29 49 50 62
3	10 34 35 36 37 38 41 42 43 44 45

Ακολουθεί το χρωματικό διάγραμμα αναπαράστασης των κλάσεων και ακριβώς δίπλα ο πίνακας με τους ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών όλων των κλάσεων.

Τε																			
Πε																			
Πα																			
Σα																			
Κυ																			
Δε																			
Τρ																			

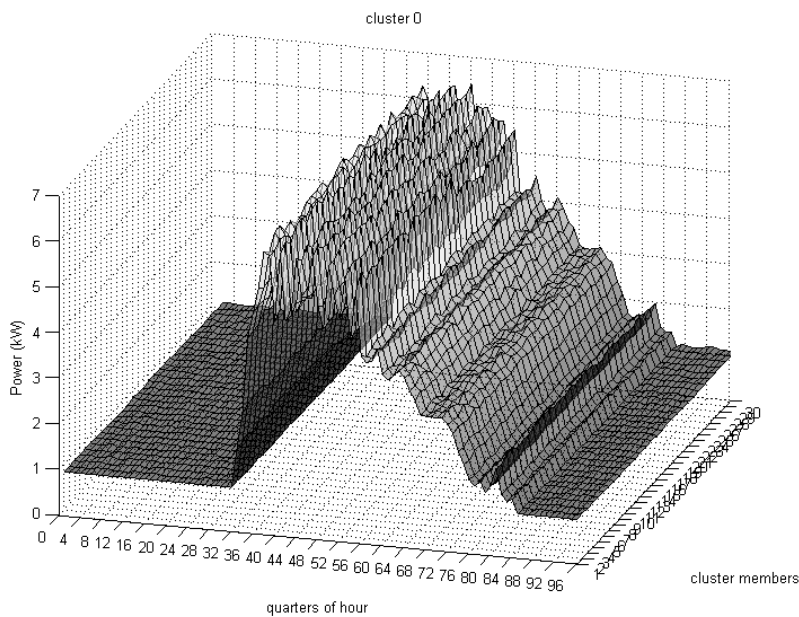
ITERATION : 3 ($p=0.01$)					
clusterNo:	Centroid	Daily	Ind		
0	0.393143	0.381005	0.134829	0.000000	0.216515
1	0.971317	0.970754	0.000000	0.343942	0.000000
2	0.403508	0.383451	0.135917	0.000000	0.215660
3	0.971346	0.970690	0.343689	0.000000	0.142887

Σχήμα 5-15: Χρωματικό Διάγραμμα για $p=0.01$

Ημερήσιοι δείκτες κεντροειδών κλάσεων για $p=0.01$

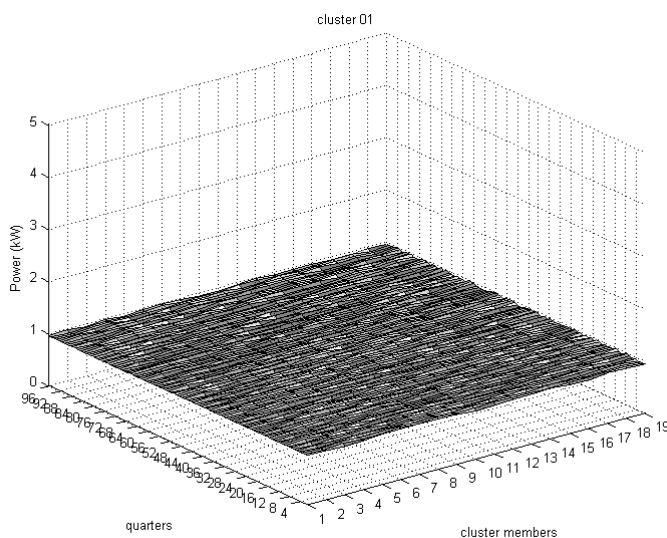
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τέταρτη κλάση ,όπως προκύπτει από τους ημερήσιους δείκτες περιέχει μέλη που παρουσιάζουν «συμπεριφορά» (καμπύλη φορτίου) όμοια με εκείνη των Σαββατοκύριακων. Η ξεχωριστή αυτή ιδιότητα των συγκεκριμένων ημερών αναδεικνύεται καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται για κατώφλια ακόμη μεγαλύτερα του **0,01** , οπότε ακόμη και για κατώφλι **0,02** ή **0,03** ή ακόμα και **0,1** αυτές οι 10 ημέρες συνεχίζουν να ανήκουν σε ξεχωριστή κλάση αν και όλες οι υπόλοιπες καθημερινές ανήκουν πλέον σε μία κοινή κλάση.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Matlab απεικονίζονται γραφικά για κάθε κλάση η πρότυπη καμπύλη φορτίου μαζί με την καμπύλη φορτίου κάθε μέλους της κλάσης. Στην μπροστινή όψη φαίνεται η καμπύλη φορτίου του κεντροειδούς της κλάσης και ακολουθούν οι καμπύλες για κάθε μέλος της ίδια κλάσης. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος –ένα εικοσιτετράωρο- υπό τη μορφή τετάρτων της ώρας, ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται η ισχύς του φορτίου σε kW. Στην τρίτη διάσταση (βάθος) φαίνονται τα μέλη της κλάσης. Παρατίθενται τα διαγράμματα που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση στις τέσσερις κλάσεις που δημιουργήθηκαν μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου για κατώφλι **0,01**.



Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται οι 30 ημέρες που ανήκουν στην 1^η κλάση. Επιβεβαιώνεται η ομοιότητα στην καμπύλη φορτίου τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντροειδές της κλάσης, το οποίο θεωρητικά μπορεί να αντικαταστήσει όλα τα μέλη της κλάσης.

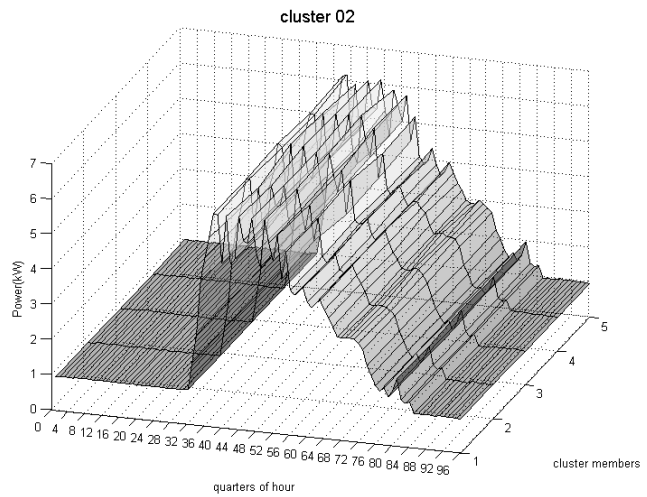
Σχήμα 5-16: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 00 για $p=0.01$



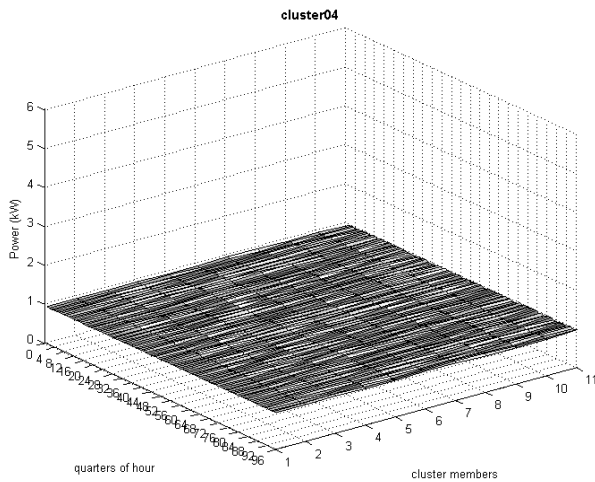
Η δεύτερη κλάση αποτελείται από 18 μέλη, τα οποία είναι ακριβώς όλα τα Σαββατοκύριακα των εννιά εβδομάδων των δεδομένων μας για το δεύτερο κτίριο. Δεν παρατηρείται κάποια απόκλιση στις καμπύλες ζήτησης φορτίου των μελών από την καμπύλη του κεντροειδούς. Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το κέντρο της κλάσης αντιπροσωπεύει με επιτυχία όλα τα μέλη της κλάσης.

Σχήμα 5-17: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 01 για $p=0.01$

Στο διπλανό διάγραμμα παρατίθενται οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για την τρίτη κλάση, η οποία περιλαμβάνει τέσσερα μέλη και συγκεκριμένα τις καθημερινές ημέρες 29, 49, 50 & 62. Παρακάτω σε ένα συγκριτικό διάγραμμα των καμπυλών των κεντροειδών της εν λόγω κλάσης με εκείνη του κεντροειδούς της πρώτης κλάσης, η οποία περιλαμβάνει την πλειοψηφία των καθημερινών, θα εντοπίσουμε τι είναι εκείνο (ποιο χαρακτηριστικό της καμπύλης φορτίου) που διαφοροποιεί τα μέλη αυτής της κλάσης.



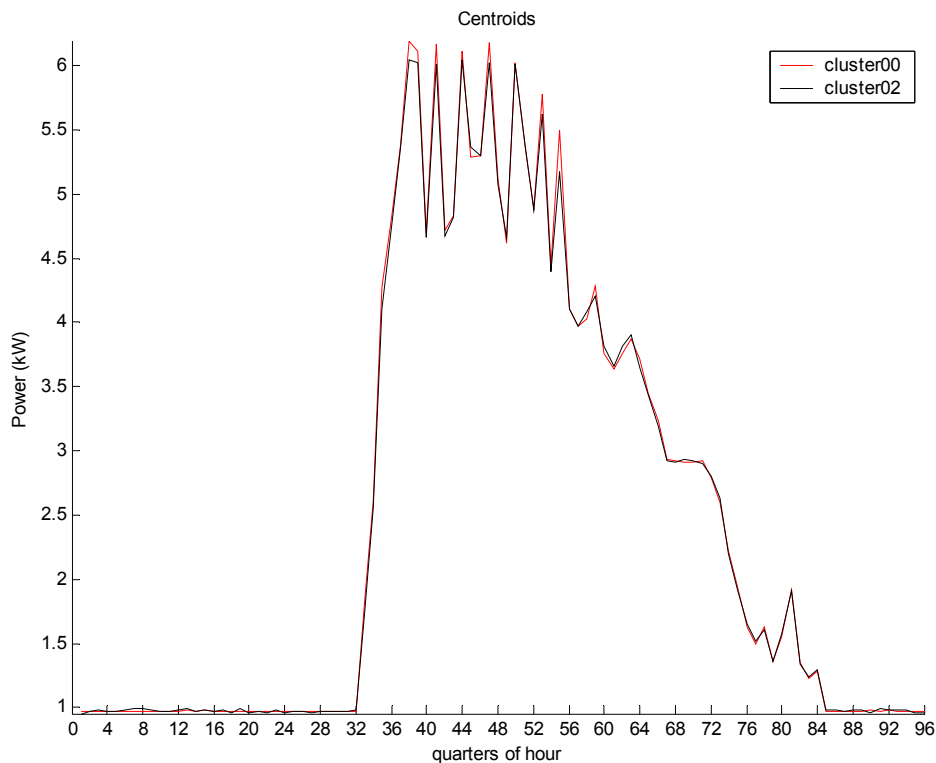
Σχήμα 5-18: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 02 για $p=0.01$



Στο διπλανό διάγραμμα παρατίθενται οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για την ιδιόμορφη τέταρτη κλάση, η οποία περιλαμβάνει δέκα μέλη και συγκεκριμένα τις καθημερινές ημέρες 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44 & 45, οι οποίες όπως είδαμε παρουσιάζουν ενεργειακή συμπεριφορά παρόμοια με εκείνη των Σαββατοκύριακων. Ο ισχυρισμός αυτός επιβεβαιώνεται από το σχετικό διάγραμμα, αφού όλες τα μέλη της κλάσης παρουσιάζουν μια σχεδόν σταθερή καμπύλη ζήτησης φορτίου κοντά στο 1 kW.

Σχήμα 5-19: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 03 για $p=0.01$

Ακολουθεί το συγκριτικό διάγραμμα για τις καμπύλες ζήτησης των κεντροειδών των κλάσεων 00 και 02, οι οποίες περιλαμβάνουν μόνο καθημερινές ημέρες ως μέλη:



Σχήμα 5-20: Καμπύλη Ζήτησης φορτίου κεντροειδών των κλάσεων 00 & 02

Για το 2ο Κτίριο μετά την ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων παρατηρούμε ότι :

- η συσταδοποίηση με κατώφλια μικρότερα του 0,007 χωρίζει τις ημέρες σε πολλές κλάσεις χωρίς σαφείς διαφοροποιήσεις μεταξύ τους.
- εντοπίζονται δέκα καθημερινές ημέρες με ζήτηση μόνο του φορτίου βάσης καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, οι οποίες μάλιστα είναι συνεχόμενες ημέρες που καλύπτουν δύο εβδομάδες.
- υπάρχει κάποιος διαχωρισμός των υπόλοιπων καθημερινών σε δύο ευρύτερες κατηγορίες με ελάχιστες ωστόσο διαφορές στην καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου, κυρίως λόγω διαφοροποίησης της μορφής των αιχμών κι όχι τόσο λόγω ετεροχρονισμού τους.
- με περαιτέρω διεύρυνση του κατωφλίου (πάνω από 0,015) παρατηρείται συγχώνευση των δύο παραπάνω κλάσεων των καθημερινών, έτσι ώστε όλες οι καθημερινές πλην το δέκα ιδιόμορφων, να ανήκουν σε μία κλάση.

5.2.3 Κτίριο 03

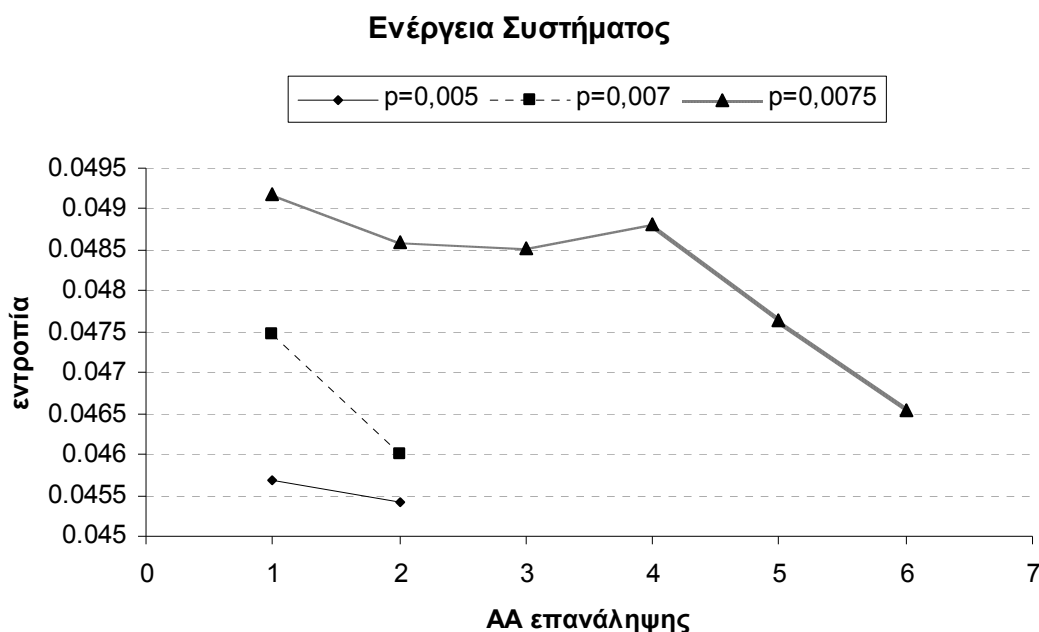
Για το πρώτο κτίριο διαθέτουμε 5856 μετρήσεις , οι οποίες αντιστοιχούν ανά 96 σε 61 ημέρες. Οι μετρήσεις μας σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση έχουν αφετηρία ημέρα Δευτέρα. Αρχικά από την καμπύλη φορτίου υπολογίζονται οι πέντε ημερήσιοι δείκτες για καθεμία από τις 61 ημέρες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμένοι δείκτες για την πρώτη εβδομάδα μετρήσεων :

Daily Indices					
	fD1	fD2	fD3	fD4	fD5
0 day	0.391091	0.379408	0.134495	0.000000	0.215946
1 day	0.390685	0.379082	0.133693	0.000000	0.216784
2 day	0.967978	0.973206	0.342413	0.000000	0.143521
3 day	0.391182	0.378394	0.134526	0.000000	0.216754
4 day	0.392391	0.378051	0.134296	0.000000	0.216334
5 day	0.973005	0.973841	0.000000	0.343759	0.000000
6 day	0.972437	0.969962	0.000000	0.343226	0.000000
7 day	0.387952	0.379866	0.134183	0.000000	0.217520

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης για διαφορετικά κατώφλια και ακολουθεί παρουσίαση και συσχετισμός των αποτελεσμάτων.

Με κατώφλι **0,005** οι ημέρες χωρίζονται σε 7 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 2 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος , η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη.

Οι επαναλήψεις συνεχίζονται καθώς υπάρχει μετακίνηση από την 5^η προς την 6^η κλάση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μείωση της εντροπίας με τις επαναλήψεις για όλες τις εφαρμογές του αλγορίθμου με διαφορετικά κατώφλια για το εύρος κάθε κλάσης:



Σχήμα 5-21: Εντροπία Συσταδοποιήσεων για το Κτίριο 03

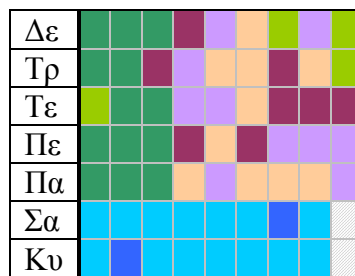
Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των ημερών σε κλάσεις ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης φορτίου:

ITERATION : 2 (p=0.005)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	13	1 2 4 5 8 9 10 11 12 15 17 18 19
1	04	3 43 57 58
2	14	6 7 13 20 21 27 28 34 35 41 42 49 55 56
3	02	14 48
4	08	16 22 25 39 44 45 52 59
5	10	23 24 29 31 33 46 50 53 60 61
6	10	26 30 32 36 37 38 40 47 51 54

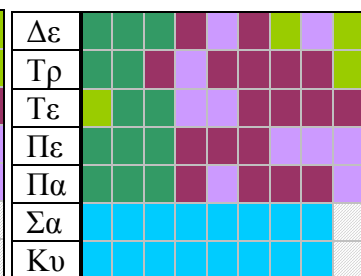
Για καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα θα αποκωδικοποιηθούν χρωματικά στο παρακάτω διάγραμμα, όπου οι ημέρες δεν αναπαριστώνται πλέον ως αριθμοί αλλά ως ημέρες της εβδομάδας. Όπως έχει ήδη αναλυθεί η αρχή των μετρήσεων τοποθετείται σε ημέρα Δευτέρα, οπότε η ημέρα με τον αύξοντα αριθμό 1 είναι η Δευτέρα της 1^{ης} εβδομάδας.

Δε	1	8	15	22	29	36	43	50	57
Τρ	2	9	16	23	30	37	44	51	58
Τε	3	10	17	24	31	38	45	52	59
Πε	4	11	18	25	32	39	46	53	60
Πα	5	12	19	26	33	40	47	54	61
Σα	6	13	20	27	34	41	48	55	62
Κυ	7	14	21	28	35	42	49	56	

Σχήμα 5-22: Χρωματικό Διάγραμμα



με κατώφλι 0,005



με κατώφλι 0,007

Κατά το διαχωρισμό των ημερών σε κατηγορίες για κάθε κατηγορία υπολογίζεται το κεντροειδές το οποίο θεωρούμε ότι χαρακτηρίζει όλα τα μέλη της κλάσης. Το κεντροειδές αυτό περιγράφεται από τους ημερήσιους δείκτες κατ' αντιστοιχία όσων έχουν ήδη σχολιαστεί, κι επίσης από 96 τιμές όπως ακριβώς και οι αρχικές μετρήσεις καθενός από τα μέλη της κλάσης. Οι 96 αυτές τιμές προκύπτουν συνθετικά μετά το πέρας της επαναληπτικής διαδικασίας ως εξής: για κάθε τέταρτο της ώρας, για κάθε μέλος της κλάσης υπολογίζεται μία τιμή ως ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

Με κατώφλι **0,007** οι ημέρες χωρίζονται σε 5 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 2 επανλήψεις επίσης. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη, ενώ ο παρακάτω πίνακας περιέχει την τελική κατανομή των ημερών σε κλάσεις.

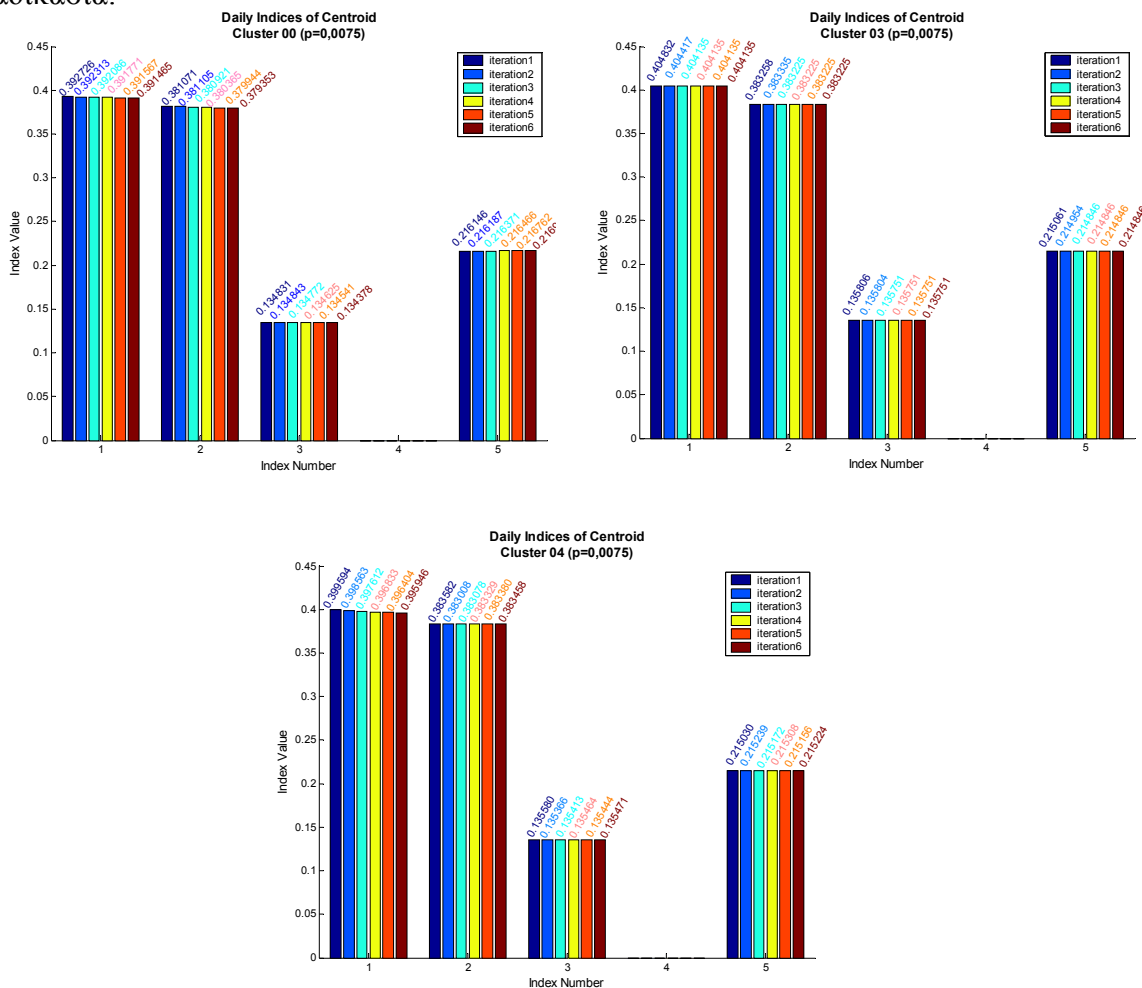
ITERATION : 2 (p=0.007)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	24 (13)	1 2 4 5 8 9 10 11 12 15 16 17 18 19 22 26 30 32 36 37 40 47 51 54
1	04	3 43 57 58
2	16	6 7 13 14 20 21 27 28 34 35 41 42 48 49 55 56
3	10 (18)	25 31 33 38 39 44 45 46 52 59
4	7 (10)	23 24 29 50 53 60 61

Η 1^η και η 2^η κλάση έμειναν αμετάβλητες, ενώ στην 3^η συγχωνεύτηκαν δύο από τις κλάσεις της προηγούμενης εφαρμογής του αλγορίθμου έτσι ώστε όλες οι ημέρες των Σαββατοκύριακων να αποτελούν πλέον μία ενιαία κλάση. Στην 4^η κλάση συγχωνεύονται δύο ακόμα κλάσεις, λογική απόρροια του γεγονότος ότι το κατώφλι μεγάλωσε κι έτσι τα όρια των κλάσεων διευρύνθηκαν. Η 5^η κλάση παρέμεινε επίσης αμετάβλητη.

Παρατηρήθηκε ότι για κατώφλι **0,0075** παρατηρείται μία σχετική αστάθεια του αλγορίθμου καθώς για να καταλήξουμε στην ίδια ακριβώς τελική κατανομή με την εφαρμογή για **0,007** απαιτούνται 6 επαναλήψεις. Ακολουθεί πίνακας με τις μετακινήσεις των μελών μεταξύ των κλάσεων:

ITERATIONS (p=0.0075)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	24 (13)	1 2 4 5 8 9 10 11 12 15 (16) 17 18 19 (22) 26 (30)
1	04	(32) (36) (37) (40) (47) (51) (54)
2	16	3 43 57 58
3	10 (18)	6 7 13 14 20 24 27 28 34 35 41 42 48 49 55 56
4	7 (10)	23 24 29 25 (31) (33) 38 39 44 45 (46) 52 59
		50 53 60 61

Η αστάθεια αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη κλάση ενώ ξεκινά με 24 μέλη μετά το πέρας της πρώτης επανάληψης, καταλήγει με 13 μέλη μετά το τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας. Παρακάτω παρατίθενται τρία διαγράμματα με τις τιμές των πέντε ημερήσιων δεικτών για τα κεντροειδή των τριών κλάσεων που επηρεάζονται από την επαναληπτική διαδικασία:



Σχήμα 5-23: Μετακινήσεις κεντροειδών κλάσεων 00, 03 & 04 για $p=0,0075$

Με κατώφλι **0,008** πραγματοποιείται μόνο μία επανάληψη. Στην κατανομή των ημερών σε κλάσεις φαίνεται ότι οι κλάσεις του Σαββατοκύριακου και εκείνη με τα 4 μέλη (ημέρες 3, 43, 57, 58) παραμένουν αμετάβλητες. Η 1^η κλάση ενσωματώνει την πλειοψηφία των μελών της τελευταίας κλάσης της προηγούμενης εφαρμογής του αλγορίθμου για $p=0,007$. Τα υπόλοιπα πέντε μέλη της προτελευταίας κλάσης της προηγούμενης εφαρμογής εμπίπτουν στην τελευταία κατηγορία, που αποτελεί μία διεύρυνση της τελευταίας κατηγορίας της προηγούμενης εφαρμογής του αλγορίθμου.

ITERATION : 1 (p=0.008)		
Cluster No:	No Members:	days:
0	26	1 2 4 5 8 9 10 11 12 15 16 17 18 19 22 26 30 32 36 37 38 40 44 47 51 54
1	04	3 43 57 58
2	16	6 7 13 14 20 21 27 28 34 35 41 42 48 49 55 56
3	15	23 24 25 29 31 33 39 45 46 50 52 53 59 60 61

Σχήμα 5-24: Ημερήσιοι Δείκτες κεντροειδών και χρωματική απεικόνιση $p=0,008$

Ακολουθεί το ο πίνακας με τους ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών όλων των κλάσεων που προέκυψαν για $p=0,008$.

ITERATION : 1 (p=0.008)					
clusterNo:	Centroid_Daily_Ind				
0	0.393018	0.381221	0.134853	0.000000	0.215985
1	0.970599	0.970921	0.343708	0.000000	0.143049
2	0.971636	0.970833	0.000000	0.343625	0.000000
3	0.402449	0.383506	0.135747	0.000000	0.215176

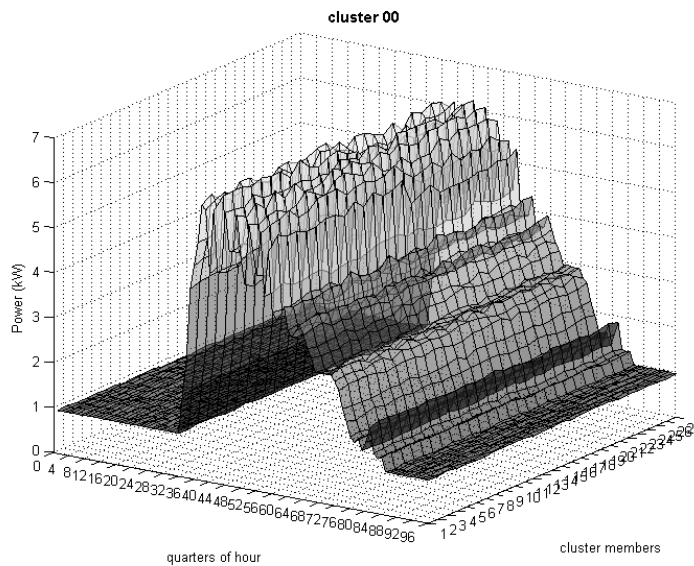
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η δεύτερη κλάση, όπως προκύπτει από τους ημερήσιους δείκτες περιέχει μέλη που παρουσιάζουν «συμπεριφορά» (καμπύλη φορτίου) όμοια με εκείνη των Σαββατοκύριακων. Η ξεχωριστή αυτή ιδιότητα των συγκεκριμένων ημερών αναδεικνύεται καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται για κατώφλια ακόμη μεγαλύτερα του **0,01**, οπότε ακόμη και για κατώφλι **0,02** ή **0,03** ή ακόμα και **0,1** αυτές οι τρεις ημέρες συνεχίζουν να ανήκουν σε ξεχωριστή κλάση αν και όλες οι υπόλοιπες καθημερινές των πρώτων εβδομάδων ανήκουν πλέον σε μία κοινή κλάση.

Η εφαρμογή του αλγορίθμου με κατώφλι $p=0,01$ δίνει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με αυτά για $p=0,008$. Ενώ η εφαρμογή για $p=0,016$ συγχωνεύει όλες τις κλάσεις που αφορούν καθημερινές ημέρες σε μία κλάση εκτός βέβαια από τις τέσσερις ημέρες (3, 43, 57, 58) που από την αρχή αποτελούν αυτόνομη κλάση με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, αφού όπως είδαμε δεν παρουσιάζουν καθόλου διακύμανση στη ζήτηση φορτίου, αλλά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας η καμπύλη φορτίου αποτελείται από το φορτίο βάσης και μόνο όπως ακριβώς τα Σαββατοκύριακα.

ITERATION : 1 (p=0.016)					
Cluster No:	Centroid_Daily_Ind				
0	0.396468	0.382057	0.135180	0.000000	0.215689
1	0.970599	0.970921	0.343708	0.000000	0.143049
2	0.971636	0.970833	0.000000	0.343625	0.000000

Σχήμα 5-25: Ημερήσιοι Δείκτες κεντροειδών και χρωματική απεικόνιση $p=0,016$

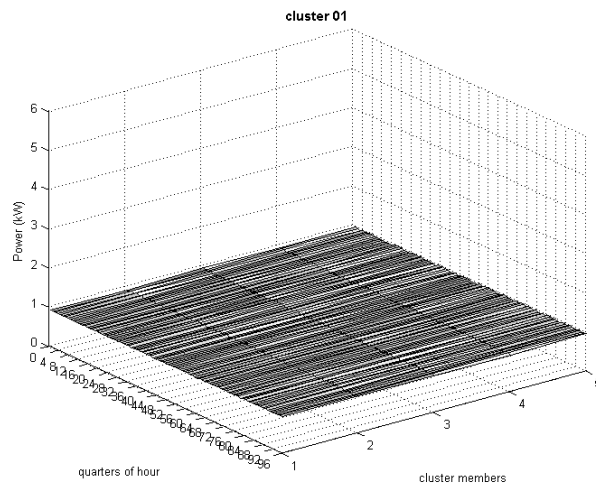
Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Matlab απεικονίζονται γραφικά για κάθε κλάση η πρότυπη καμπύλη φορτίου μαζί με την καμπύλη φορτίου κάθε μέλους της κλάσης. Στην μπροστινή όψη φαίνεται η καμπύλη φορτίου του κεντροειδούς της κλάσης και ακολουθούν οι καμπύλες για κάθε μέλος της ίδια κλάσης. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος –ένα εικοσιτετράωρο- υπό τη μορφή τετάρτων της ώρας, ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται η ισχύς του φορτίου σε kW. Στην τρίτη διάσταση (βάθος) φαίνονται τα μέλη της κλάσης. Παρατίθενται τα διαγράμματα που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση στις τέσσερις κλάσεις που δημιουργήθηκαν μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου για κατώφλι $0,008$ (ή $0,01$).



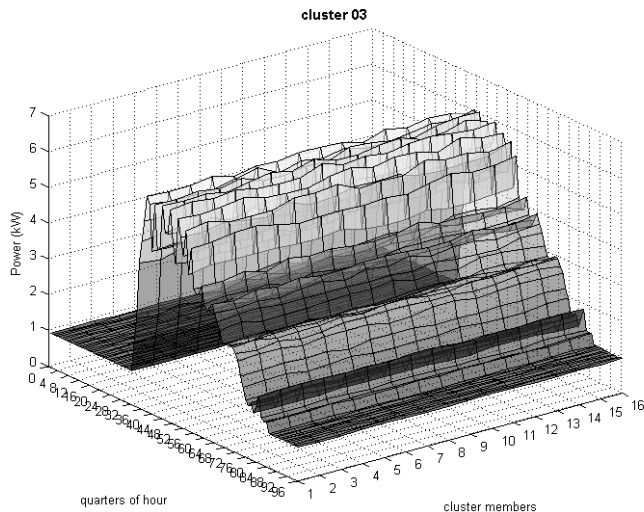
Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται οι 26 ημέρες που ανήκουν στην 1^η κλάση. Επιβεβαιώνεται η ομοιότητα στην καμπύλη φορτίου τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντροειδές της κλάσης, το οποίο θεωρητικά μπορεί να αντικαταστήσει όλα τα μέλη της κλάσης.

Σχήμα 5-26: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 00 για $p=0.01$

Δίπλα φαίνεται το αντίστοιχο συγκεντρωτικό διάγραμμα για τη 2^η κλάση, η οποία περιλαμβάνει τις 4 ημέρες που αν και καθημερινές παρουσιάζουν καμπύλη φορτίου όμοια με εκείνη του Σαββατοκύριακου.



Σχήμα 5-27: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 01 για $p=0.01$ (days 3, 43, 57 & 58)



Η τέταρτη κλάση περιλαμβάνει 15 μέλη , τα οποία ξεκινούν από την πέμπτη εβδομάδα μετρήσεων και μετά. Ωστόσο η κλάση δεν περιλαμβάνει όλες τις καθημερινές των τελευταίων εβδομάδων.

Σχήμα 5-28: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 03 για $\rho=0.01$

Για το 3ο Κτίριο μετά την ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων παρατηρούμε ότι :

- η συσταδοποίηση με κατώφλια μικρότερα του 0,007 χωρίζει τις ημέρες σε πολλές κλάσεις χωρίς σαφείς διαφοροποιήσεις μεταξύ τους.
- παρατηρείται κάποιου είδους αστάθεια για την εφαρμογή του αλγορίθμου με κατώφλι 0,0075
- εντοπίζονται τέσσερις καθημερινές ημέρες με ζήτηση μόνο του φορτίου βάσης καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.
- υπάρχει κάποιος διαχωρισμός των υπόλοιπων καθημερινών σε δύο ευρύτερες κατηγορίες με ελάχιστες ωστόσο διαφορές στην καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου, κυρίως λόγω διαφοροποίησης της μορφής των αιχμών κι όχι τόσο λόγω ετεροχρονισμού τους.
- με περαιτέρω διεύρυνση του κατωφλίου (πάνω από 0,016) παρατηρείται συγχώνευση των δύο παραπάνω κλάσεων των καθημερινών, έτσι ώστε όλες οι καθημερινές πλην το δέκα ιδιόμορφων, να ανήκουν σε μία κλάση.

5.2.4 Πισίνα

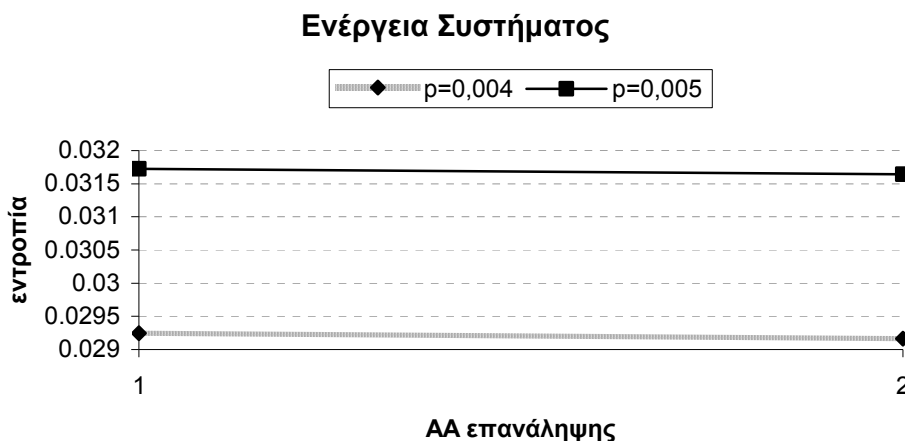
Για την πισίνα διαθέτουμε 4896 μετρήσεις, οι οποίες αντιστοιχούν ανά 96 σε 51 ημέρες. Οι μετρήσεις μας σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση έχουν αφετηρία ημέρα Κυριακή. Αρχικά από την καμπύλη φορτίου υπολογίζονται οι πέντε ημερήσιοι δείκτες για καθεμία από τις 51 ημέρες. Επειδή όπως σχολιάστηκε και στο κεφάλαιο της προεπεξεργασίας δεδομένων τα Σάββατα παρουσιάζουν παρόμοια καμπύλη φορτίου με τις καθημερινές κατά τον υπολογισμό των ημερήσιων δεικτών ο διαχωρισμός μεταξύ καθημερινής ή όχι, θα γίνει με βάση τη σχέση μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου έτσι ώστε να φανεί αν υπάρχει διακύμανση ή αν έχουμε σταθερή καμπύλη ζήτησης. Οπότε εφόσον τα Σάββατα έχουν όμοιες ενεργειακές ανάγκες με τις καθημερινές δεν θα τα ξεχωρίσουμε από αυτές κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου συσταδοποίησης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμένοι δείκτες για την πρώτη εβδομάδα μετρήσεων :

Daily Indices					
	fD1	fD2	fD3	fD4	fD5
0 day	0.867959	0.874959	0.000000	0.385316	0.000000
1 day	0.333228	0.407174	0.042574	0.000000	0.151156
2 day	0.333073	0.404823	0.043123	0.000000	0.150339
3 day	0.332806	0.402588	0.043447	0.000000	0.152035
4 day	0.332373	0.402702	0.043160	0.000000	0.150583
5 day	0.335395	0.402113	0.043117	0.000000	0.152571
6 day	0.334003	0.406018	0.043098	0.000000	0.150860
7 day	0.866577	0.875351	0.000000	0.386173	0.000000

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης για διαφορετικά κατώφλια και ακολουθεί παρουσίαση και συσχέτισμός των αποτελεσμάτων.

Με κατώφλι **0,004** οι ημέρες χωρίζονται σε 6 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 2 επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη.

Η δεύτερη επανάληψη πραγματοποιείται καθώς υπάρχει μετακίνηση από τη 2^η προς την 3^η κλάση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μείωση της εντροπίας με τις επαναλήψεις για όλες τις εφαρμογές του αλγορίθμου με διαφορετικά κατώφλια για το εύρος κάθε κλάσης:



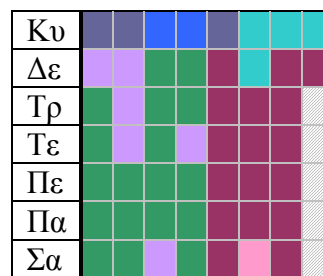
Σχήμα 5-29: Εντροπία Συσταδοποιήσεων για την Πισίνα

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των ημερών σε κλάσεις ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης φορτίου:

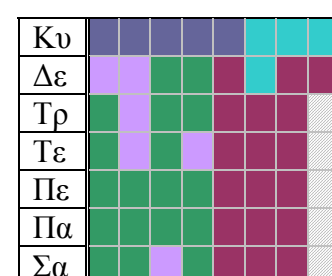
ITERATION : 2 (p=0.004)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	03	1 8 29
1	18	3 4 5 6 7 12 13 14 16 17 18 19 20 23 24 26 27 28
2	06	2 9 10 11 21 25
3	02	15 22
4	17	30 31 32 33 34 35 38 39 40 41 44 45 46 47 48 49 51
5	04	36 37 43 50
6	01	42

Για καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα θα αποκωδικοποιηθούν σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα, όπου οι ημέρες δεν αναπαριστώνται πλέον ως αριθμοί αλλά ως ημέρες της εβδομάδας. Όπως έχει ήδη αναλυθεί η αρχή των μετρήσεων τοποθετείται σε ημέρα Κυριακή, οπότε η ημέρα με τον αύξοντα αριθμό 1 είναι η Κυριακή της 1^{ης} εβδομάδας, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

Κυ	1	8	15	22	29	36	43	50
Δε	2	9	16	23	30	37	44	51
Τρ	3	10	17	24	31	38	45	
Τε	4	11	18	25	32	39	46	
Πε	5	12	19	26	33	40	47	
Πα	6	13	20	27	34	41	48	
Σα	7	14	21	28	35	42	49	



Σχήμα 5-30: Χρωματικό Διάγραμμα με κατώφλι 0,004



με κατώφλι 0,006

Κατά το διαχωρισμό των ημερών σε κατηγορίες για κάθε κατηγορία υπολογίζεται το κεντροειδές το οποίο θεωρούμε ότι χαρακτηρίζει όλα τα μέλη της κλάσης. Το κεντροειδές αυτό περιγράφεται από τους ημερήσιους δείκτες κατ' αντιστοιχία όσων έχουν ήδη σχολιαστεί, κι επίσης από 96 τιμές όπως ακριβώς και οι αρχικές μετρήσεις καθενός από τα μέλη της κλάσης. Οι 96 αυτές τιμές προκύπτουν συνθετικά μετά το πέρας της επαναληπτικής διαδικασίας ως εξής: για κάθε τέταρτο της ώρας, για κάθε μέλος της κλάσης υπολογίζεται μία τιμή ως ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

Με κατώφλι **0,006** οι ημέρες χωρίζονται σε 5 κατηγορίες και η κατάσταση σταθεροποιείται μετά από 2 επανλήψεις. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται η εντροπία του συστήματος, η οποία όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται μειωμένη μετά από κάθε επανάληψη, ενώ ο παρακάτω πίνακας περιέχει την τελική κατανομή των ημερών σε κλάσεις μετά τη συσταδοποίηση.

ITERATION : 2 (p=0.006)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	05	1 8 15 22 29
1	18	3 4 5 6 7 12 13 14 16 17 18 19 20 23 24 26 27 28
2	06	2 9 10 11 21 25
3	18	30 31 32 33 34 35 38 39 40 41 42 44 45 46 47 48 49 51
4	04	36 37 43 50

Παρατηρείται συγχώνευση δύο κλάσεων για να προκύψει η 1^η κλάση, ενώ η 2^η, η 3^η και η 5^η κλάση παραμένουν αμετάβλητες. Κατά το σχηματισμό της 4^{ης} κλάσης προστέθηκε η ημέρα με ΑΑ 42 που στην προηγούμενη εφαρμογή του αλγορίθμου αποτελούσε αυτόνομη κλάση, στην πολυπληθή κλάση στην οποία ούτως ή άλλως ανήκαν οι γειτονικές της ημέρες.

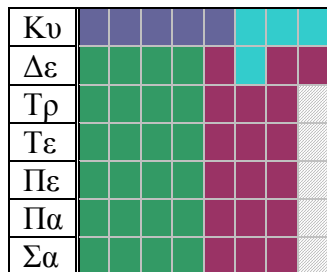
Αξιοσημείωτο μετά τις δύο παραπάνω εφαρμογές του αλγορίθμου είναι ότι η Δευτέρα της 6^{ης} εβδομάδας αν και καθημερινή συνεχίζει να συνυπάρχει σε κλάση που τα υπόλοιπα μέλη είναι Κυριακές, γεγονός που φανερώνει ότι η ενεργειακή κατανάλωση της συγκεκριμένης ημέρας δεν ξεπερνά το φορτίο βάσης. Ενδεχομένως μπορούμε να κάνουμε την υπόθεση ότι η πίσίνα δε λειτούργησε για λόγους συντήρησης.

Κατόπιν ο αλγόριθμος εφαρμόζεται με $p=0,007$ οπότε αρκεί μία επανάληψη για να χωριστούν οι 51 ημέρες σε 4 κλάσεις. Η κατανομή τους ακολουθεί:

ITERATION : 1 (p=0.007)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	05	1 8 15 22 29
1	24	2 3 4 5 6 7 9 10 11 12 13 14 16 17 18 19 20 21 23 24 25 26 27 28
2	18	30 31 32 33 34 35 38 39 40 41 42 44 45 46 47 48 49 51
3	04	36 37 43 50

Η μόνη διαφοροποίηση από τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής είναι ότι συγχωνεύτηκαν δύο κλάσεις για να προκύψει η 2^η κλάση. Από το χρωματικό διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει κάποια διαφοροποίηση στην καμπύλη φορτίου μετά την 5^η εβδομάδα, η οποία ενδεχομένως να έχει να κάνει με κάποια μεταβολή στις καιρικές συνθήκες.

Ακολουθεί το χρωματικό διάγραμμα, συνοδευόμενο από τους ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών όλων των κλάσεων.



ITERATION : 1 (p=0.007)					
clusterNo:	Centroid Daily Ind				
0	0.867337	0.873086	0.000000	0.385793	0.000000
1	0.333605	0.404959	0.043228	0.000000	0.151440
2	0.326222	0.414742	0.042444	0.000000	0.154102
3	0.883689	0.890772	0.000000	0.378371	0.000000

Σχήμα 5-31: Χρωματικό Διάγραμμα και ημερήσιοι δείκτες κεντροειδών για $p=0.007$

Με κατώφλι μεγαλύτερο από **0,07** και μέχρι **0,015** αρκεί μία επανάληψη για να χωριστούν οι ημέρες με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και παραπάνω.

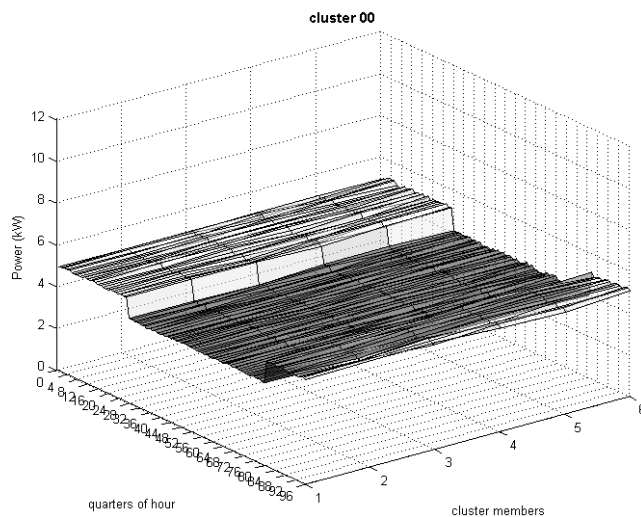
Οι Κυριακές συνεχίζουν να χωρίζονται σε δύο κλάσεις, ενώ οι καθημερινές (με εξαίρεση τη Δευτέρα της 6^{ης} εβδομάδας) συνεχίζουν να χωρίζονται επίσης σε δύο κλάσεις με σαφές χρονολογικό όριο την 5^η εβδομάδα μετρήσεων.

Η εφαρμογή του αλγορίθμου για $p=0,015$ απαιτεί μία επανάληψη και έχει ως αποτέλεσμα τη συνένωση των δύο κλάσεων που αποτελούνται από καθημερινές, σε μία κλάση με 42 μέλη. Οι Κυριακές μαζί με την 5^η Δευτέρα χωρίζονται και πάλι με τον ίδιο τρόπο όπως και πριν σε δύο κλάσεις, γεγονός που συνεπάγεται ότι υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ των κεντροειδών των δύο κλάσεων.

Ακολουθεί η κατανομή των ημερών σε κλάσεις

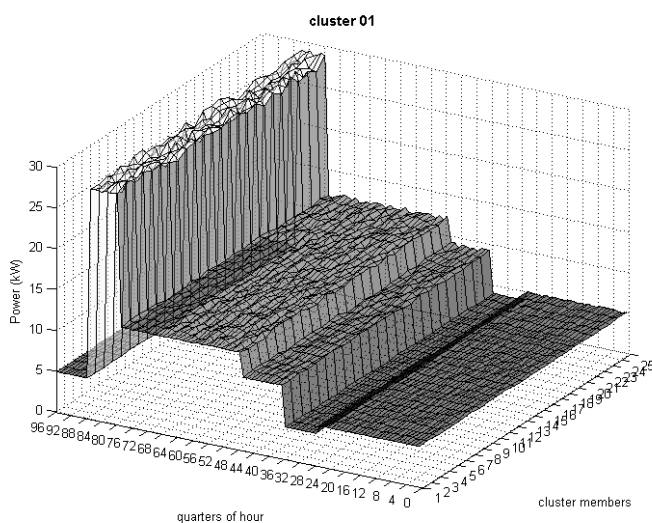
ITERATION : 1 ($p=0.015$)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	05	1 8 15 22 29
1	18	2 3 4 5 6 7 9 10 11 12 13 14 16 17 18 19 20 21 23 24 25 26 27 28
3	04	30 31 32 33 34 35 38 39 40 41 42 44 45 46 47 48 49 51
		36 37 43 50

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Matlab απεικονίζονται γραφικά για κάθε κλάση η πρότυπη καμπύλη φορτίου μαζί με την καμπύλη φορτίου κάθε μέλους της κλάσης. Στην μπροστινή όψη φαίνεται η καμπύλη φορτίου του κεντροειδούς της κλάσης και ακολουθούν οι καμπύλες για κάθε μέλος της ίδια κλάσης. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος –ένα εικοσιτετράωρο- υπό τη μορφή τετάρτων της ώρας, ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται η ισχύς του φορτίου σε kW. Στην τρίτη διάσταση (βάθος) φαίνονται τα μέλη της κλάσης. Παρατίθενται τα διαγράμματα που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση στις τέσσερις κλάσεις που δημιουργήθηκαν μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου για κατώφλι **0,007**.



Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται οι 5 Κυριακές που ανήκουν στην 1^η κλάση. Επιβεβαιώνεται η ομοιότητα στην καμπύλη φορτίου τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντροειδές της κλάσης, το οποίο θεωρητικά μπορεί να αντικαταστήσει όλα τα μέλη της κλάσης.

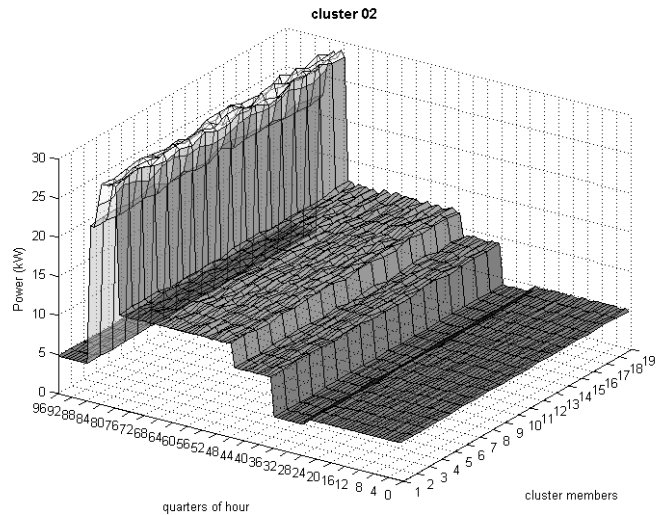
Σχήμα 5-32: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 00 για $p=0.007$



Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται τα 24 μέλη της 2^{ης} κλάσης μαζί με το κεντροειδές της κλάσης.

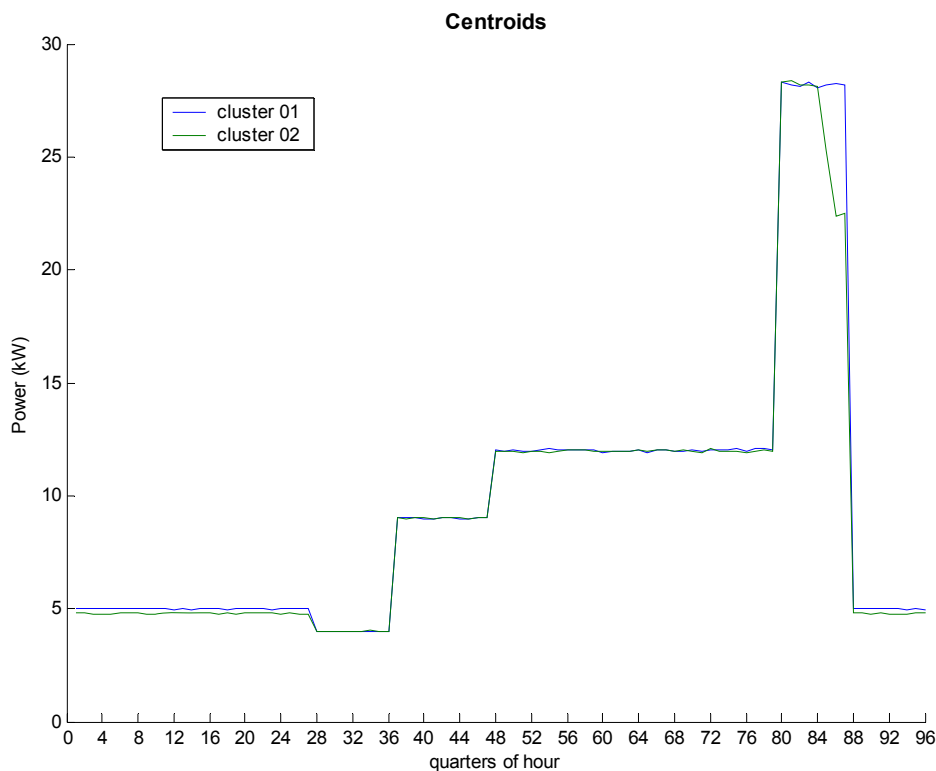
Σχήμα 5-33: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 01 για $p=0.007$

Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται τα 18 μέλη της 3^{ης} κλάσης μαζί με την καμπύλη φορτίου του κεντροειδούς της κλάσης.

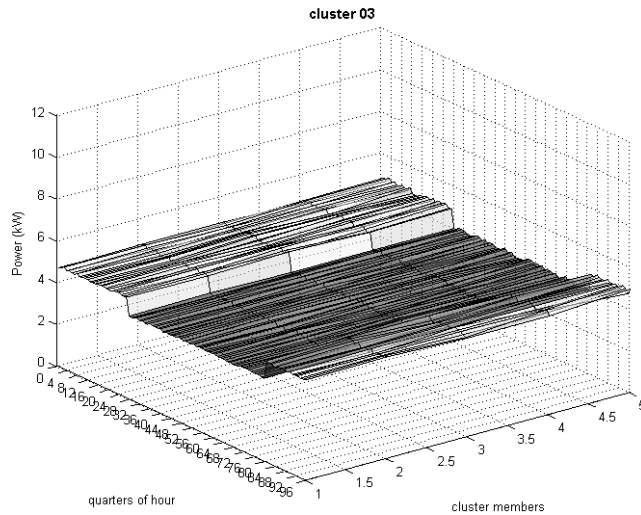


Σχήμα 5-34: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 02 για $\rho=0.007$

Ακολουθεί ένα συγκριτικό διάγραμμα των καμπυλών φορτίου των κεντροειδών των δύο παραπάνω κλάσεων, έτσι ώστε να τονιστεί η διαφορά τους και να δικαιολογηθεί ο διαχωρισμός των ημερών σε δύο κλάσεις. Η πιο εμφανής διαφοροποίηση στη μορφή της καμπύλης ζήτησης είναι η κλίση που εμφανίζεται στο κεντροειδές της 3^{ης} κλάσης μεταξύ 21.00 και 22.00, ενώ για το κεντροειδές της 2^{ης} κλάσης έχουμε απότομη μείωση στις 22.00 ακριβώς.



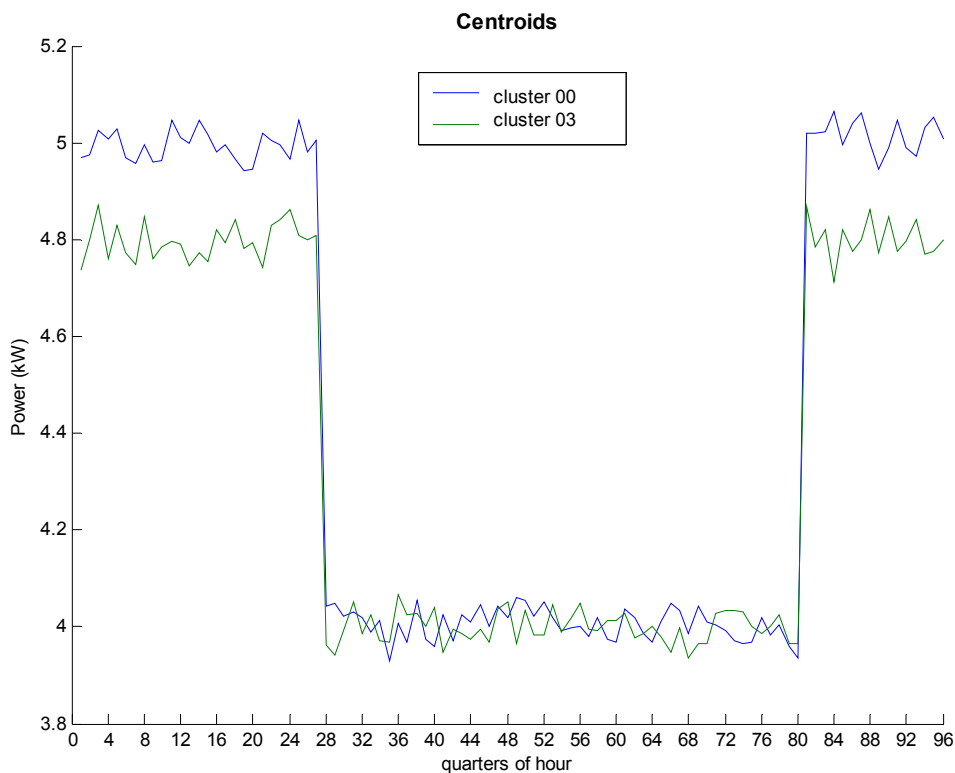
Σχήμα 5-35: Καμπύλη Ζήτησης φορτίου κεντροειδών κλάσεων 01 & 02



Παρατίθεται και το διάγραμμα με τα 4 μέλη της 4^{ης} κλάσης, η οποία περιλαμβάνει τις Κυριακές των τριών τελευταίων εβδομάδων και τη Δευτέρα της 5^{ης} εβδομάδας.

Σχήμα 5-36: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 03 για $\rho=0.007$

Για καλύτερη σύγκριση των διαφορετικών κλάσεων παρατίθεται συγκριτικό διάγραμμα των καμπυλών φορτίου των κεντροειδών των κλάσεων που αντιστοιχούν σε Κυριακές.



Σχήμα 5-37: Καμπύλη Ζήτησης φορτίου για τα κεντροειδή των κλάσεων 00 & 03

Η διαφορετικότητα των καμπυλών ζήτησης για τα δύο κεντροειδή είναι εμφανής καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, καθώς παρατηρούνται τοπικές αιχμές και διακυμάνσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Μετά την ανάλυση των κλάσεων για τα ενεργειακά δεδομένα της πισίνας παρατηρούμε ότι:

- τα Σάββατα έχουν εντελώς αντίστοιχη ενεργειακή κατανάλωση με τις καθημερινές.
- οι Κυριακές χωρίζονται σε δύο κλάσεις χρονικά προσδιορισμένες, ενώ από τη σύγκριση των καμπυλών φορτίου των κεντροειδών των δύο κλάσεων εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις ως προς τη μορφή των αιχμών και λιγότερο ως προς την εμφάνισή τους μέσα στο 24ωρο.
- μία μόνο καθημερινή (Δευτέρα 5^{ης} εβδομάδας) παρουσιάζει ομοιότητα με τις Κυριακές, καθώς οι απαιτήσεις περιορίζονται στο φορτίο βάσης για όλο το 24ωρο.
- Οι υπόλοιπες καθημερινές μαζί με τα Σάββατα χωρίζονται σε δύο κλάσεις, με διαφορετική μορφή καμπύλη ζήτησης φορτίου. Ωστόσο η διαφορά αυτή δεν είναι τόσο ισχυρή, οπότε με διεύρυνση των κλάσεων, δηλαδή για κατώφλια πάνω από 0,015, οι κλάσεις αυτές συγχωνεύονται.

5.3 Συγκεντρωτική Εφαρμογή για τα τρία Κτίρια

Ο αλγόριθμος τροποποιείται κατάλληλα ώστε να διατρέχει τις μετρήσεις για όλα τα κτίρια ταυτόχρονα και να κατηγοριοποιεί τις ημέρες σε κλάσεις ανάλογα με την καμπύλη ζήτησης φορτίου. Η σημαντικότερη διαφοροποίηση που πραγματοποιήθηκε σχετίζεται με τον υπολογισμό των πέντε ημερήσιων δεικτών. Όπως είδαμε από την ανάλυση της εφαρμογής της συσταδοποίησης σε καθένα από τα κτίρια ξεχωριστά, πάντα υπάρχουν κάποιες καθημερινές ημέρες που παρουσιάζουν συμπεριφορά Σαββατοκύριακου. Εξάλλου η αφητηρία των ενεργειακών μετρήσεων για κάθε κτίριο τοποθετείται σε διαφορετική ημέρα. Οπότε το κριτήριο για το εάν θα μεταχειριστούμε μία ημέρα ως καθημερινή ή όχι δε θα είναι πλέον η θέση της μέσα στην εβδομάδα, αλλά η σχέση που παρουσιάζει η μέγιστη και η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή κατά τη διάρκεια του εν λόγω εικοσιτετραώρου, γιατί εάν υπάρχει διακύμανση τότε όντως πρόκειται για καθημερινή. Συγκεκριμένα θέτουμε το όριο το μέγιστο να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερο από το ελάχιστο.

Παρατίθεται το κομμάτι του κώδικα που έχει αλλάξει:

```
if(b>=(d*2))
{
    //working day
    daily_ind[(k/a_day)][2]= ((ai/32)/(c/a_day))/3;//night impact
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][2]);
    daily_ind[(k/a_day)][3]=0;
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][3]);
    daily_ind[(k/a_day)][4]= ((o/8)/(da/64))/8; //lunch impact
    fprintf(f,"%f\n",daily_ind[(k/a_day)][4]);
}
else
{
    //weekend
    daily_ind[(k/a_day)][2]=0;
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][2]);
    daily_ind[(k/a_day)][3]= ((v/32)/(c/a_day))/3;//night impact
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][3]);
    daily_ind[(k/a_day)][4]=0;
    fprintf(f,"%f \n",daily_ind[(k/a_day)][4]);
};
```

, όπου b είναι το μέγιστο και d το ελάχιστο. Το πλήρες αρχείο κώδικα βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

Συνολικά έχουμε 17760 μετρήσεις, οι οποίες αντιστοιχίζονται ανάλογα με ποια σειρά θα ανοίξουμε τα αρχεία που περιέχουν τα δεδομένα για κάθε κτίριο. Δηλαδή αν διαβάσουμε πρώτα το αρχείο του πρώτου κτιρίου, τότε οι πρώτες 5952 μετρήσεις αντιστοιχούν σε αυτό. Σε κάθε περίπτωση αυτή η αντιστοιχία θα μας απασχολήσει μετά την εφαρμογή, οπότε θα προσπαθήσουμε να αποκωδικοποιήσουμε τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης.

Όπως και στις μεμονομένες περιπτώσεις της εφαρμογής του αλγορίθμου στα κτίρια, ο αλγόριθμος συσταδοποίησης εφαρμόζεται για διαφορετικά κατώφλια, τα οποία ορίζουν το εύρος των κλάσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής για κάθε κατώφλι.

5.3.1 Εφαρμογή για κατώφλι $p=0,008$

Με κατώφλι **0,008** ο αλγόριθμος εκτελεί τρεις επαναλήψεις καθώς υπάρχουν μετακινήσεις μελών μεταξύ της πρώτης, τέταρτης, πέμπτης και έβδομης κλάσης, ενώ τα μέλη χωρίζονται σε 7 κλάσεις. Ακολουθεί ο πίνακας με την τελική κατανομή των ημερών σε κλάσεις:

ITERATION : 3 ($p=0.008$)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	57	2 8 10 13 15 16 17 20 21 22 23 24 27 28 30 31 63 64 69 72 76 77 78 79 82 85 86 89 90 92 93 110 113 114 117 118 119 120 121 133 135 139 140 146 149 150 154 156 160 161 162 164 168 169 171 175 178
1	69	4 5 6 7 11 12 14 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61 66 67 73 74 80 81 87 88 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 115 116 122 123 127 130 131 137 138 144 145 151 152 158 159 165 166 167 172 173 179 180 181 182
2	18	29 91 111 112 124 147 148 153 155 157 163 170 174 176 177 183 184 185
3	12	35 36 37 42 43 44 45 51 52 56 57 62
4	08	34 38 41 48 49 50 55 59
5	01	58
6	20	1 3 9 65 68 70 71 75 83 84 125 126 128 129 132 134 136 141 142 143

Όπως σχολιάστηκε ήδη η σειρά με την οποία διαβάζονται τα δεδομένα παίζει καταλυτικό ρόλο στην οπτικοποίηση της πληροφορίας των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή οι πρώτες 5952 μετρήσεις αντιστοιχούν στο πρώτο κτίριο, οι επόμενες 5952 στο δεύτερο κτίριο και οι τελευταίες 5856 μετρήσεις στο τρίτο κτίριο.

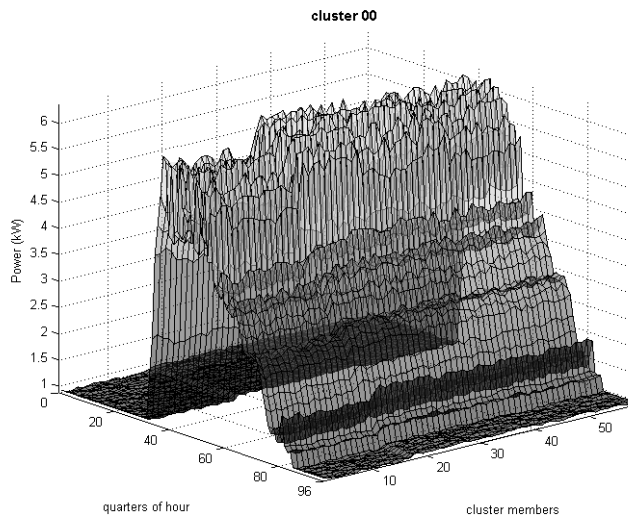
Ακολουθούν το χρωματικό διάγραμμα κατανομής των ημερών σε κλάσεις και οι πίνακες με τους ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών και την εντροπία του συστήματος:

Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57	Τε	63	70	77	84	91	98	105	112	119	Δε	125	132	139	146	153	160	167	174	181
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58	Πε	64	71	78	85	92	99	106	113	120	Τρ	126	133	140	147	154	161	168	175	182
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59	Πα	65	72	79	86	93	100	107	114	121	Τε	127	134	141	148	155	162	169	176	183
Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60	Σα	66	73	80	87	94	101	108	115	122	Πε	128	135	142	149	156	163	170	177	184
Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61	Κυ	67	74	81	88	95	102	109	116	123	Πα	129	136	143	150	157	164	171	178	185
Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62	Δε	68	75	82	89	96	103	110	117	124	Σα	130	137	144	151	158	165	172	179	
Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56		Τρ	69	76	83	90	97	104	111	118		Κυ	131	138	145	152	159	166	173	180	

ITERATION : 3 ($p=0.008$)			
clusterNo:	NoMembers:	Daily Indices :	
0	57	0.394750	0.382118 0.032782 0.000000 0.225090
1	69	0.971337	0.970852 0.000000 0.343734 0.000000
2	18	0.403197	0.383438 0.032893 0.000000 0.224669
3	12	0.323685	0.326924 0.028002 0.000000 0.291284
4	08	0.316848	0.326288 0.027972 0.000000 0.291687
5	01	0.330880	0.326485 0.028241 0.000000 0.289663
6	20	0.389482	0.379351 0.032603 0.000000 0.225126

$p=0,008$	
Iteration:	Ενέργεια Συστήματος
1	0.087124
2	0.085855
3	0.085293

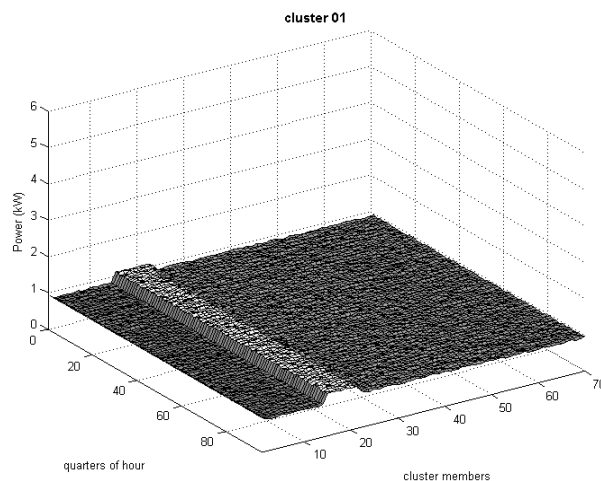
Ακολουθούν τα διαγράμματα των μελών για τις δύο πρώτες κλάσεις ενδεικτικά. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η ζητούμενη ισχύς, στον οριζόντιο τα τέταρτα της ημέρας, και στον τρίτο άξονα (βάθος) το κεντροειδές της κλάσης ακολουθούμενο από τα μέλη της.



Η πρώτη κλάση της συνολικής εφαρμογής στα τρία κτίρια περιλαμβάνει 57 μέλη, τα οποία είναι διάσπαρτες καθημερινές για τα δύο τελευταία κτίρια, και καθημερινές των πρώτων τεσσάρων εβδομάδων για το πρώτο κτίριο. Στο διπλανό σχήμα απεικονίζονται όλα τα μέλη της κλάσης, μαζί με το κεντροειδές της.

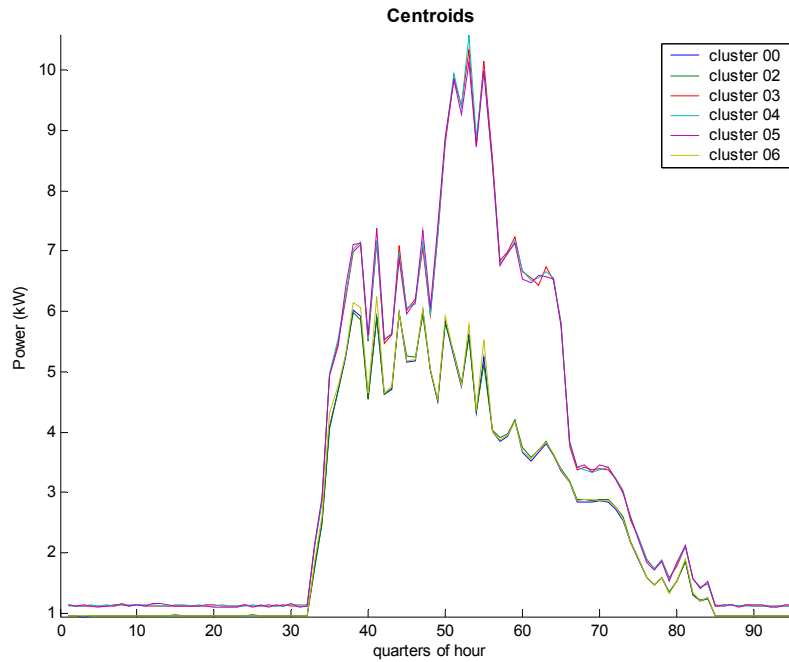
Σχήμα 5-38: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 00 για $p=0.008$

Η δεύτερη κλάση αποτελείται από τα Σαββατοκύριακα όλων των εβδομάδων και για τα τρία κτίρια κι επιπλέον κάποιες καθημερινές που παρουσιάζουν συμπεριφορά Σαββατοκύριακου όσον αφορά τη ζήτηση ισχύος. Η καμπύλη ζήτησης για τα 69 μέλη της κλάσης φαίνεται στο διπλανό σχήμα, μαζί με την καμπύλη ζήτησης του κεντροειδούς της κλάσης. Επειδή αυτή η κλάση παραμένει αμετάβλητη και στις επόμενες εφαρμογές για μεγαλύτερα κατώφλια, το εν λόγω διάγραμμα δε θα επαναληφθεί.

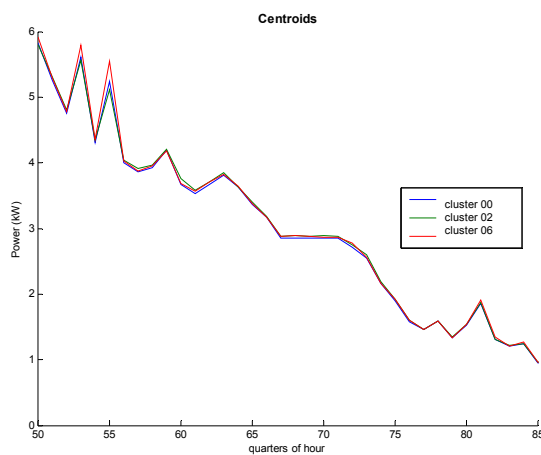


Σχήμα 5-39: Καμπύλη φορτίου κεντροειδούς και μελών κλάσης 01 για $p=0.008$ 0.01 & 0.02

Ακολουθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα των καμπυλών ζήτησης των κεντροειδών για τις έξι κλάσεις που περιλαμβάνουν καθημερινές ημέρες, με σκοπό να τονιστούν οι διαφορές μεταξύ των κλάσεων και δικαιολογηθεί ο λόγος ύπαρξής τους.

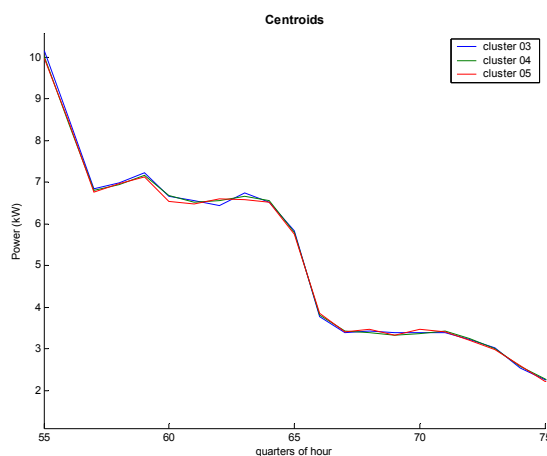


Σχήμα 5-40: Καμπύλη Ζήτησης Φορτίου για τα κεντροειδή των κλάσεων 00, 02, 03, 04, 05 & 06



Διαφορές στο σχήμα των καμπυλών ζήτησης για τις κλάσεις 00, 02 και 06 εντοπίζονται τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα μεταξύ 13.30 και 16.15, γι' αυτό και στο διπλανό σχήμα παρατίθεται μία λεπτομέρεια του παραπάνω σχήματος που αφορά τις ώρες αυτές.

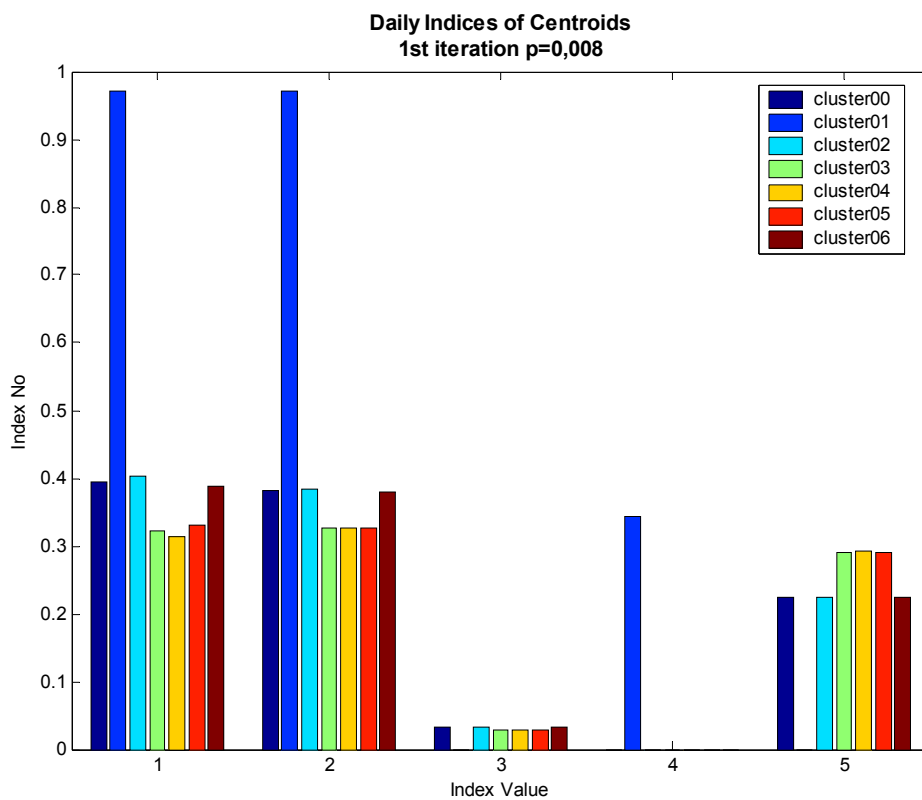
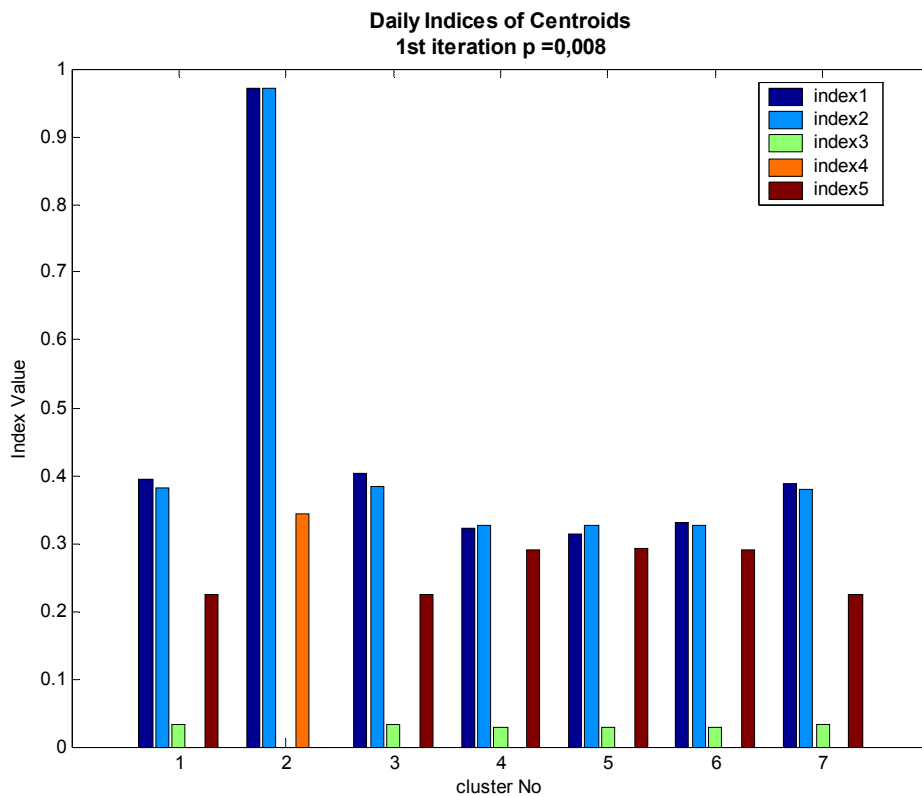
clusters 00, 02 & 06 $p=0,008$



Αντίστοιχα για τις κλάσεις 03, 04 και 05 διαφορές στο σχήμα των καμπυλών ζήτησης των κεντροειδών εντοπίζονται πάλι τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα μεταξύ 14.30 και 16.00, γι' αυτό και στο διπλανό σχήμα παρατίθεται μία λεπτομέρεια του αρχικού σχήματος που αφορά τις εν λόγω κλάσεις τις ώρες αυτές.

clusters 03, 04 & 05 $p=0,008$

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που απεικονίζουν τη μετακίνηση του κεντροειδούς των κλάσεων που συνεχίζουν να μεταβάλλονται καθώς προχωρούν οι επαναλήψεις.



5.3.2 Εφαρμογή για κατόφλι $p=0,01$

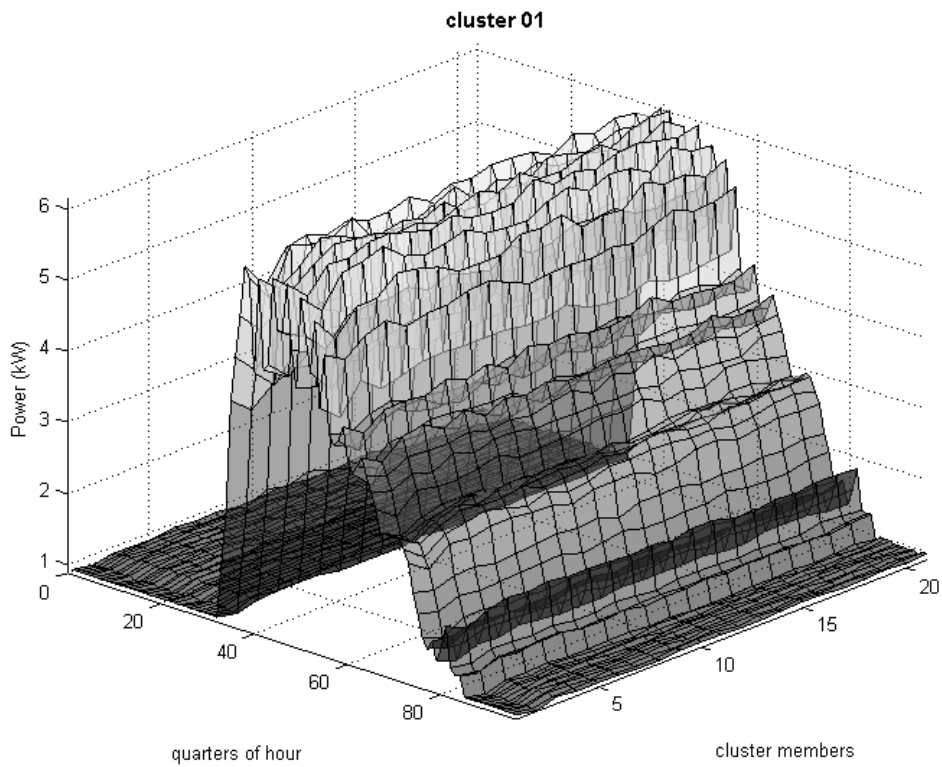
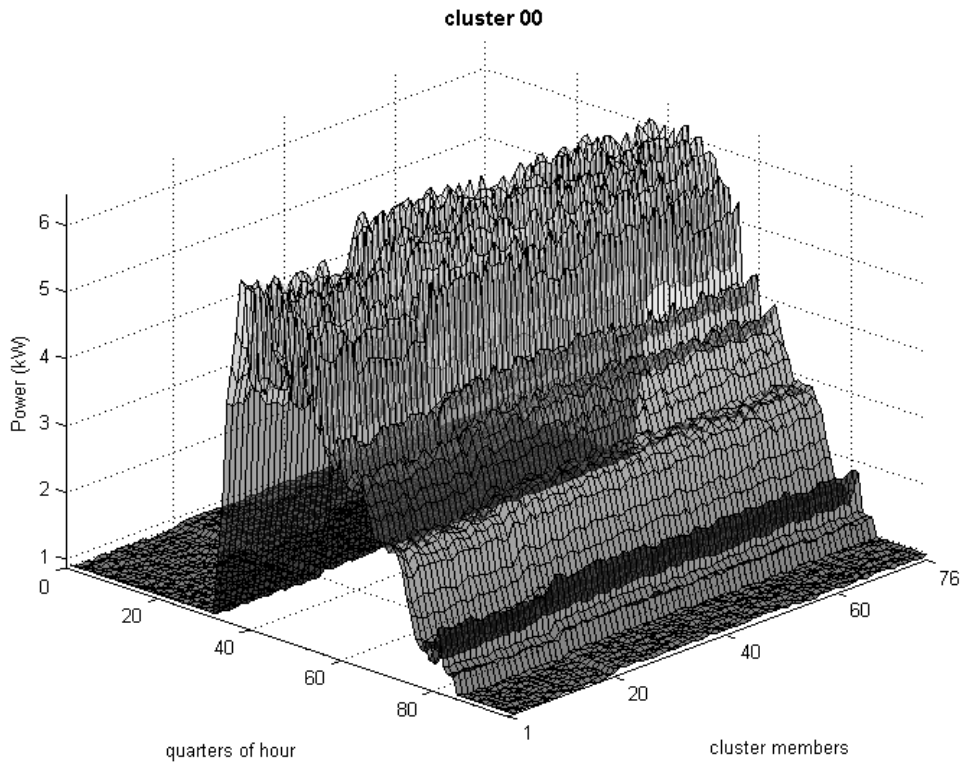
Αρκεί μία μοναδική επανάληψη για να χωριστούν τα μέλη σε 4 κλάσεις.

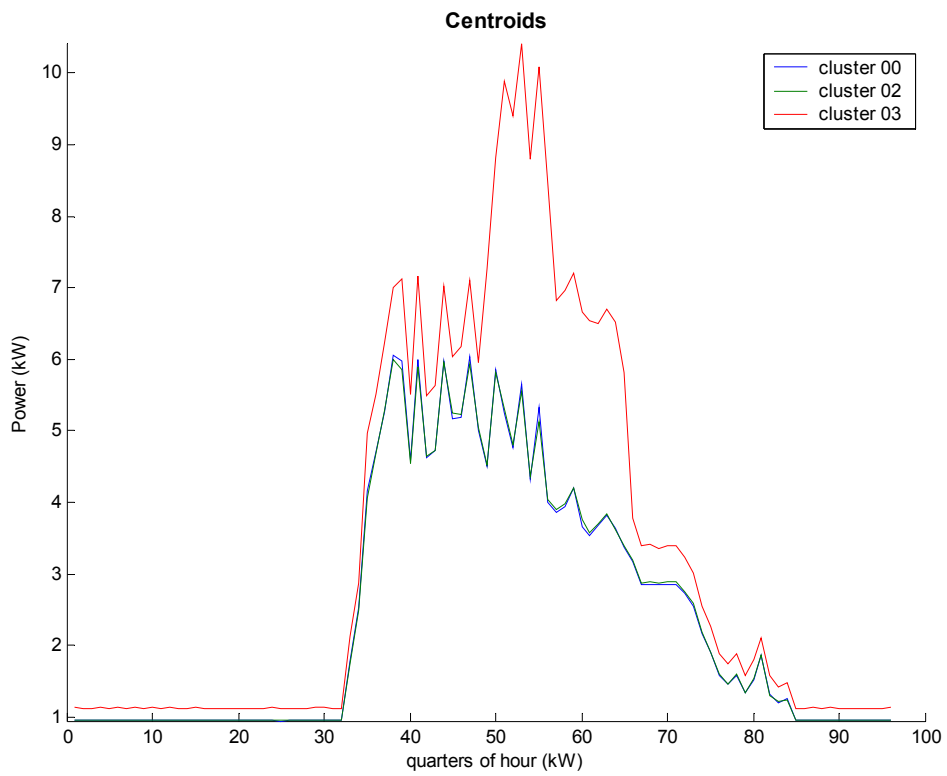
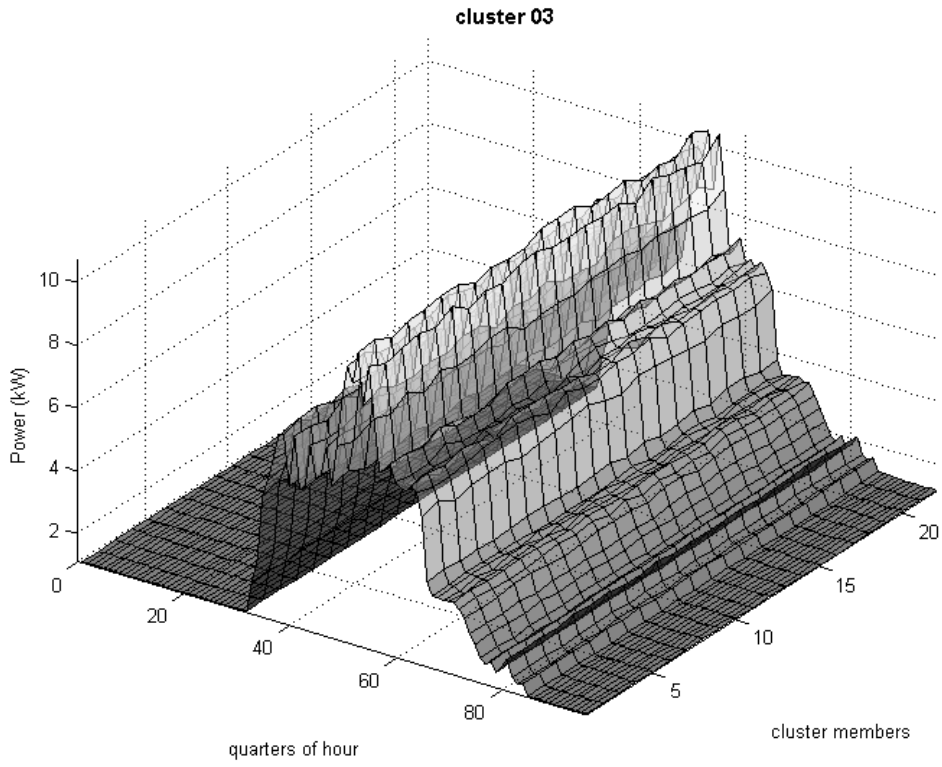
ITERATION : 3 ($p=0.008$)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	75	1 2 3 8 9 10 13 15 16 17 20 21 22 23 24 27 28 30 31 63 64 65 68 69 70 71 72 75 76 77 78 79 82 83 84 85 86 89 90 92 93 110 113 114 117 118 119 120 121 125 126 128 129 132 133 134 135 136 139 140 141 142 143 146 150 154 156 160 161 162 164 168 171 175 178
1	69	4 5 6 7 11 12 14 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61 66 67 73 74 80 81 87 88 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 115 116 122 123 127 130 131 137 138 144 145 151 152 158 159 165 166 167 172 173 179 180 181 182
2	20	29 91 111 112 124 147 148 149 153 155 157 163 169 170 174 176 177 183 184 185
3	21	34 35 36 37 38 41 42 43 44 45 48 49 50 51 52 55 56 57 58 59 62

Παρατηρούμε ότι η κλάση με τα Σαββατοκύριακα και τις καθημερινές με σταθερή ζήτηση φορτίου παρέμεινε αμετάβλητη, ενώ η πρώτη κλάση που περιλαμβάνει την πλειοψηφία των καθημερινών απέκτησε ακόμη περισσότερα μέλη. Αξιοσημείωτο είναι ότι διαφαίνεται κάποια διαφορετικότητα τόσο στις καθημερινές των τελευταίων εβδομάδων για το πρώτο κτίριο, όσο και σε κάποιες διάσπαρτες καθημερινές όλων των κτιρίων και πάλι στις τελευταίες εβδομάδες. Ακολουθεί η χρωματική αναπαράσταση για καλύτερα εποπτεία των αποτελεσμάτων. Ακολουθούν το χρωματικό διάγραμμα κατανομής των ημερών σε κλάσεις, και ο πίνακας με τους πέντε ημερήσιους δείκτες των κεντροειδών των κλάσεων:

Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57	Τε	63	70	77	84	91	98	105	112	119	Δε	125	132	139	146	153	160	167	174	181
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58	Πε	64	71	78	85	92	99	106	113	120	Τρ	126	133	140	147	154	161	168	175	182
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59	Πα	65	72	79	86	93	100	107	114	121	Τε	127	134	141	148	155	162	169	176	183
Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60	Σα	66	73	80	87	94	101	108	115	122	Πε	128	135	142	149	156	163	170	177	184
Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61	Κυ	67	74	81	88	95	102	109	116	123	Πα	129	136	143	150	157	164	171	178	185
Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62	Δε	68	75	82	89	96	103	110	117	124	Σα	130	137	144	151	158	165	172	179	
Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56		Τρ	69	76	83	90	97	104	111	118		Κυ	131	138	145	152	159	166	173	180	

ITERATION : 1 ($p=0.01$)						
clusterNo:	NoMembers:	Daily Indices :				
0	75	0.393245	0.381328	0.032727	0.000000	0.225097
1	69	0.971337	0.970852	0.000000	0.343734	0.000000
2	20	0.402745	0.383513	0.032907	0.000000	0.224722
3	21	0.321477	0.326667	0.028003	0.000000	0.291363





5.3.3 Εφαρμογή για κατώφλι $\rho=0,02$

Με κατώφλι **0,02** απαιτείται μία μοναδική επανάληψη του αλγορίθμου έτσι ώστε να χωριστούν τα μέλη σε 3 κλάσεις, η τελική σύσταση των οποίων φαίνεται στον επόμενο πίνακα:

ITERATION : 1 ($\rho=0.02$)		
clusterNo:	NoMembers:	days:
0	95	1 2 3 8 9 10 13 15 16 17 20 21 22 23 24 27 28 29 30 31 63 64 65 68 69 70 71 72 75 76 77 78 79 82 83 84 85 86 89 90 91 92 93 110 111 112 113 114 117 118 119 120 121 124 125 126 128 129 132 133 134 135 136 139 140 141 142 143 146 147 148 149 150 153 154 155 156 157 160 161 162 163 164 168 169 170 171 174 175 176 177 178 183 184 185
1	69	4 5 6 7 11 12 14 18 19 25 26 32 33 39 40 46 47 53 54 60 61 66 67 73 74 80 81 87 88 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 115 116 122 123 127 130 131 137 138 144 145 151 152 158 159 165 166 167 172 173 179 180 181 182
2	21	34 35 36 37 38 41 42 43 44 45 48 49 50 51 52 55 56 57 58 59 62

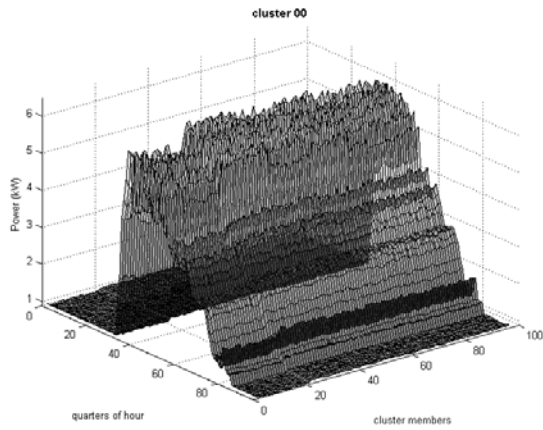
Ακολουθεί το χρωματικό διάγραμμα αποκωδικοποίησης της κατανομής των ημερών σε κλάσεις:

Κτίριο 01					Κτίριο 02					Κτίριο 03																			
Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57	Τε	63	70	77	84	91	98	105	112	119	Δε	125	132	139	146	153	160	167	174	181
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58	Πε	64	71	78	85	92	99	106	113	120	Τρ	126	133	140	147	154	161	168	175	182
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59	Πα	65	72	79	86	93	100	107	114	121	Τε	127	134	141	148	155	162	169	176	183
Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60	Σα	66	73	80	87	94	101	108	115	122	Πε	128	135	142	149	156	163	170	177	184
Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61	Κυ	67	74	81	88	95	102	109	116	123	Πα	129	136	143	150	157	164	171	178	185
Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62	Δε	68	75	82	89	96	103	110	117	124	Σα	130	137	144	151	158	165	172	179	
Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56	Τρ	69	76	83	90	97	104	111	118	Κυ	131	138	145	152	159	166	173	180			

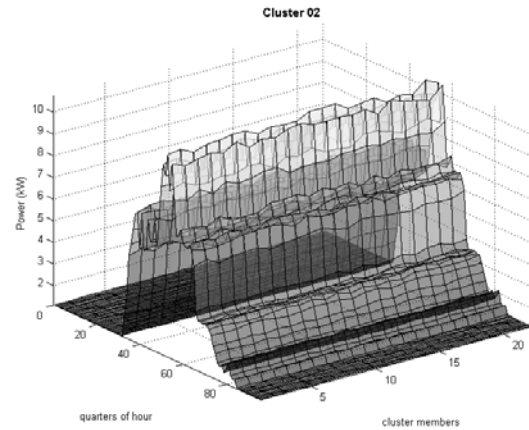
Παρακάτω κρίνεται σκόπιμη μία αναδιάταξη των ημερών στο χρωματικό διάγραμμα έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται καλύτερα κάποιες συμμετρίες που εντοπίστηκαν μετά τη συγκεντρωτική εφαρμογή του αλγορίθμου συσταδοποίησης. Εξάλλου η πραγματική αλληλουχία των ημερών δεν άλλαξε. Έγινε απλώς μία ολίσθηση των εβδομάδων, με αποτέλεσμα τα Σαββατοκύριακα να παρουσιάζονται πρώτα.

Κτίριο 01					Κτίριο 02					Κτίριο 03																				
	Σα	4	11	18	25	32	39	46	53	60	Σα	66	73	80	87	94	101	108	115	122	Σ	130	137	144	151	158	165	172	179	
	Κυ	5	12	19	26	33	40	47	54	61	Κυ	67	74	81	88	95	102	109	116	123	Κ	131	138	145	152	159	166	173	180	
	Δε	6	13	20	27	34	41	48	55	62	Δε	68	75	82	89	96	103	110	117	124	Δ	125	132	139	146	153	160	167	174	181
	Τρ	7	14	21	28	35	42	49	56	Τρ	69	76	83	90	97	104	111	118	Τ	126	133	140	147	154	161	168	175	182		
Τε	1	8	15	22	29	36	43	50	57	Τε	63	70	77	84	91	98	105	112	119	Τ	127	134	141	148	155	162	169	176	183	
Πε	2	9	16	23	30	37	44	51	58	Πε	64	71	78	85	92	99	106	113	120	Π	128	135	142	149	156	163	170	177	184	
Πα	3	10	17	24	31	38	45	52	59	Πα	65	72	79	86	93	100	107	114	121	Π	129	136	143	150	157	164	171	178	185	

Παρατίθενται και τα διαγράμματα με τις καμπύλες ζήτησης για όλα τα μέλη των δύο κλάσεων που περιλαμβάνουν καθημερινές ημέρες:

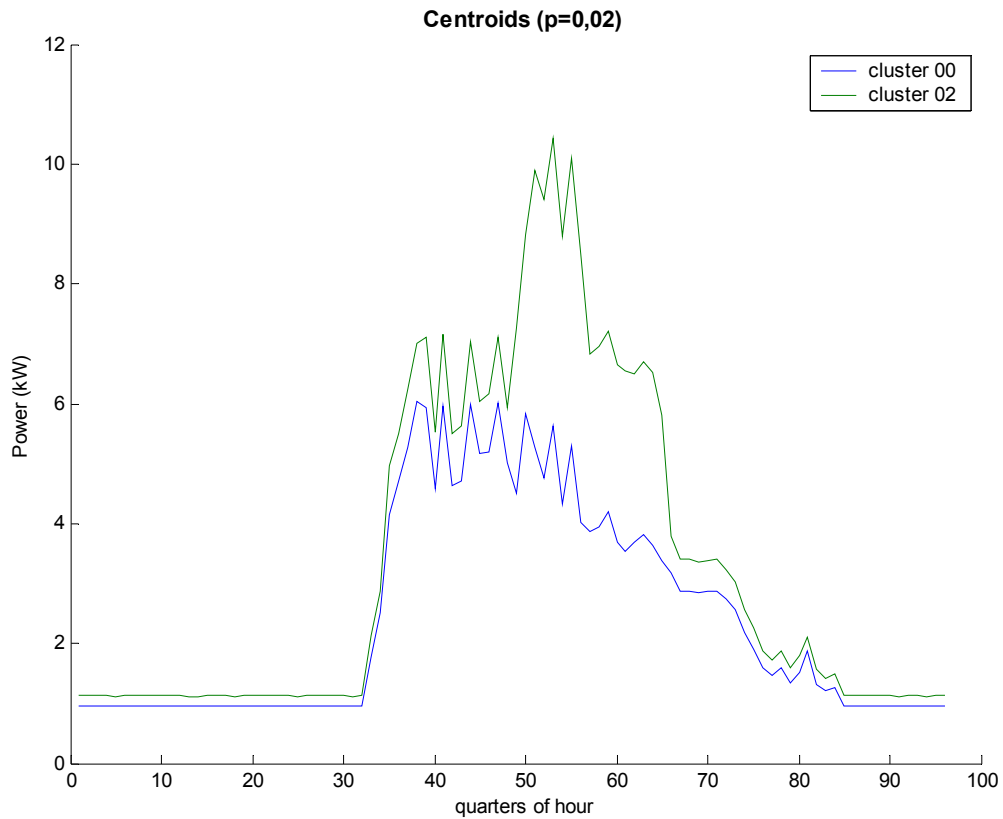


cluster 00 $p=0,02$ 95 members



cluster 02 $p=0,02$ 21 members

Στη συνέχεια ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα των καμπυλών ζήτησης των κεντροειδών και για τις δύο προηγούμενες κλάσεις:



Η διαφορά των κεντροειδών των δύο κλάσεων είναι εμφανής, καθώς το σχήμα των καμπυλών ζήτησης φορτίου είναι εντελώς διαφορετικό. Η παραπάνω διαφοροποίηση τονίστηκε και κατά τη μελέτη του κτιρίου 01 ξεχωριστά.

Μετά την ανάλυση των κλάσεων για τα ενεργειακά δεδομένα των τριών κτιρίων παρατηρούμε ότι:

- η εφαρμογή του αλγορίθμου με κατώφλι μικρότερο του 0,02 προσδίδει υπερβολική λεπτομέρεια στο διαχωρισμό των καθημερινών σε κλάσεις, καθώς διακρίνονται τρεις κλάσεις, εκ των οποίων οι δύο διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους.
- κάποιες καθημερινές ημέρες για όλα τα κτίρια παρουσιάζουν παρόμοιες ενεργειακές απαιτήσεις με τα Σαββατοκύριακα, γι' αυτό και κατατάσσονται σε μία κλάση μαζί τους .
- οι δύο κλάσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου με κατώφλι 0,02 για τις καθημερινές παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση ως προς την καμπύλη ζήτησης φορτίου.
- η εφαρμογή για κατώφλια μεγαλύτερα του 0,02 δίνει παρόμοια αποτελέσματα, καθώς οι κλάσεις είναι σαφώς διαχωρισμένες.

*ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ &
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ*

6. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

6.1	Περιγραφή & Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων.....	99
6.2	Τεχνικές Συμπααραγωγής.....	102
6.3	Βέλτιστος Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων Συμπααραγωγής.....	104
	6.3.1. Διαδικασία Επιλογής Συστήματος.....	105
6.4	Ανάλυση Δεδομένων για την εφαρμογή ΣΗΘ στο σχολικό συγκρότημα..	106
	6.3.1. Ηλεκτρικές Καταναλώσεις.....	106
	6.3.2. Παροχή Φυσικού Αερίου	107
	6.3.3. Συσχετισμός Ηλεκτρικού και Θερμικού Φορτίου	109
6.5	Πρόταση Εγκατάστασης Μονάδας ΣΗΘ.....	111
6.6	Συμπέρασμα Κεφαλαίου.....	112

Αφού μελετήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια αφενός μεν πόσο σημαντική είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, αφετέρου δε το αναλυτικό ενεργειακό προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός σχολικού συγκροτήματος, στο παρόν κεφάλαιο θα δοθεί μια αρχική εκτίμηση-πρόταση για εξοικονόμηση ενέργειας με εγκατάσταση μονάδας Συμπααραγωγής. Αρχικά θα δοθούν οι σχετικοί ορισμοί και επεξηγήσεις των τεχνικών θεμάτων που αφορούν τη Συμπααραγωγή και κατόπιν θα ακολουθηθεί η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος συνδυάζοντας το προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης και τα δεδομένα από την παροχή φυσικού αερίου που διαθέτουμε. Για λόγους που θα εξηγηθούν στο κεφάλαιο αυτό ο αναλυτικός σχεδιασμός του εν λόγω συστήματος δεν είναι εφικτός με τα τρέχοντα δεδομένα.

6.1 Περιγραφή & Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων

Συμπααραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Η αρχική ιδέα της συμπααραγωγής είναι αρκετά παλιά κι εξελίχθηκε κυρίως λόγω του χαμηλού βαθμού απόδοσης των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων συμπααραγωγής είναι η ανάκτηση του μεγαλύτερου τμήματος της παραγόμενης θερμότητας, η οποία στους συμβατικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς αποβάλλεται εξ ολοκλήρου σχεδόν στο περιβάλλον μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων ή μέσω των καυσαερίων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πόρων αλλά και ταυτόχρονη βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ξεχωριστά. Διευκρινίζεται ότι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση χώρων ή νερού όσο και για την ψύξη ή των κλιματισμό. Η ψύξη επιτυγχάνεται με μηχανές που εκτελούν κύκλο απορρόφησης και λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Ο κύκλος απορρόφησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας καθώς ως πηγή ενέργειας θεωρείται η θερμότητα που ούτως ή άλλως θα αποβαλλόταν στο περιβάλλον. Με τον όρο ψύξη νοείται η αποβολή θερμότητας από έναν χώρο, θερμότητα την οποία παραλαμβάνει το ψυκτικό μέσο κι εξατμίζεται. Η ανταλλαγή αυτή θερμότητας στον κύκλο απορρόφησης γίνεται στον εξατμιστή, και αποτελεί το ωφέλιμο έργο του ψυκτικού κύκλου.

Οι κύριοι τομείς εφαρμογής των συστημάτων συμπααραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας [40] (Σ.Η.Θ) συνοψίζονται στον παρακάτω:

- ✓ **Εθνικό Σύστημα Ηλεκτρισμού.** Συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μετατρέπονται σε μονάδες συμπααραγωγής και καλύπτουν ταυτόχρονα και τις θερμικές ανάγκες παρακείμενων πόλεων, βιομηχανιών και οικισμών.

- ✓ **Βιομηχανικός Τομέας.** Σημαντικό δυναμικό παρουσιάζουν βιομηχανικές μονάδες που απαιτούν μεγάλα θερμικά φορτία για να λειτουργήσουν οι παραγωγικές τους διαδικασίες όπως είναι οι βιομηχανίες χάρτου, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια, τα εργοστάσια τσιμέντου.
- ✓ **Τριτογενής Κτιριακός Τομέας.** Διακρίνεται σε τρεις κύριους υποτομείς, καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή καμπύλης φορτίου: ξενοδοχεία-νοσοκομεία, μεγάλα συγκροτήματα κατοικιών και κτίρια γραφείων. Βέβαια υπάρχουν και άλλου είδους κτίρια, όπως εκπαιδευτικά ιδρύματα ή εμπορικά κέντρα, η καμπύλη φορτίου των οποίων προκύπτει ως συνδυασμός των τριών βασικών υποτομέων.
- ✓ **Αγροτικός Τομέας.** Τα υπολείμματα κάποιων αγροτικών διεργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο και η ανακτώμενη θερμότητα κατόπιν να διοχετευθεί σε μία σειρά από αγροτικές διαδικασίες που απαιτούν θερμότητα, όπως η ξήρανση γεωργικών προϊόντων και η θέρμανση θερμοκηπίων.

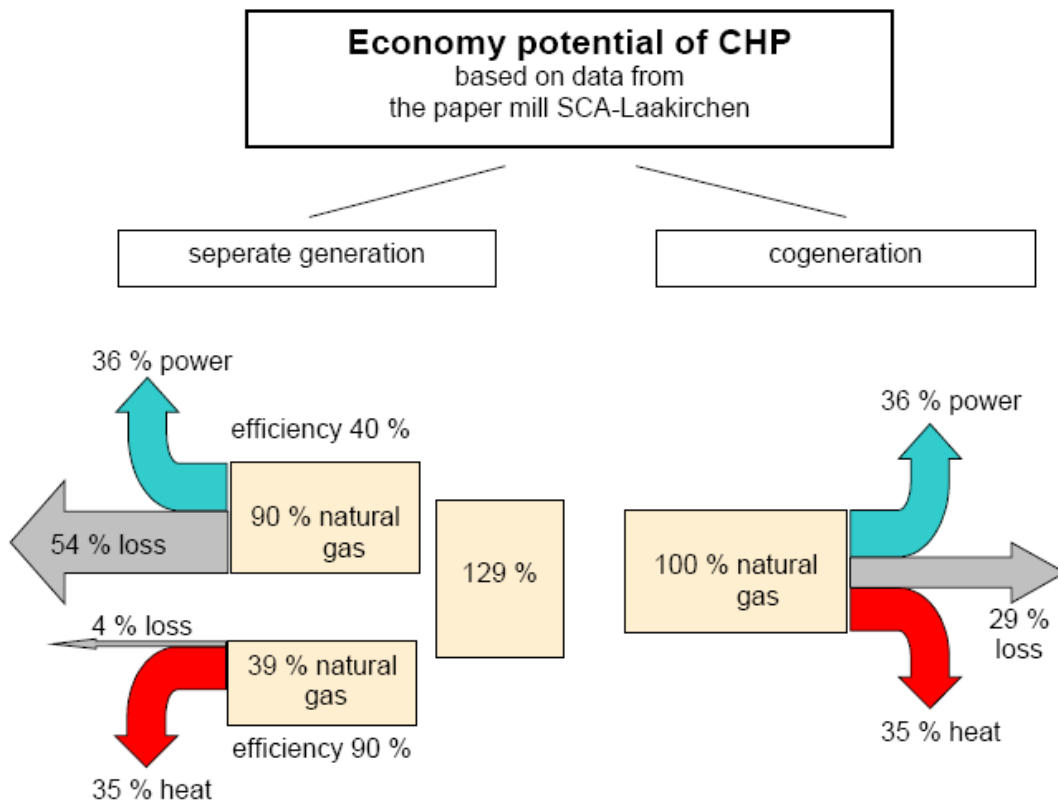
Κάτω από τις προϋποθέσεις που θα συζητηθούν στη συνέχεια η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την επιλογή της λύσης της Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού - Θερμότητας (Σ.Η.Θ.) στο συνολικό ενεργειακό κόστος, μπορεί να είναι ιδιαίτερα αξιόλογη στις περιπτώσεις εκείνες, που απαιτούνται ταυτοχρόνως μεγάλες ποσότητες θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους έως και 40% (σχήμα 7.3), ενώ η περίοδος αποπληρωμής τους κυμαίνεται από 3 έως 5 έτη. Αν μάλιστα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, τότε η Σ.Η.Θ. προκύπτει ως ένας από τους οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους μείωσης του ενεργειακού κόστους μιας διεργασίας.

Το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με άλλα καύσιμα, όπως το ελαφρύ και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), όπως η καθαρότητα και η ποιότητα του, που συντελούν στην πιο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία, της μονάδας, με ευνοϊκές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της και στις δαπάνες συντήρησης. Επιπλέον με την χρήση του φυσικού αερίου λύνονται τα προβλήματα προμήθειας και αποθήκευσης που παρουσιάζονται με την χρησιμοποίηση άλλων καυσίμων, υγρών και στερεών, καθόσον το φυσικό αέριο διανέμεται στα σημεία κατανάλωσης με ευθύνη της εταιρείας αερίου. Τέλος, το φυσικό αέριο αναμειγνύεται εύκολα με τον ατμοσφαιρικό αέρα γεγονός που το καθιστά σχεδόν ακίνδυνο, ενώ τα προϊόντα της καύσεως του είναι ελεύθερα θείου που σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας που επέρχεται με τη μέθοδο της συμπααραγωγής, οδηγούν σε σημαντική μείωση των αερίων ρυπαντών, όπως NO_x, CO, CO₂.

Η εμπειρία στις χώρες της Ε.Ε., αλλά και από τις πρώτες ελληνικές επιχειρήσεις που από το 1999 χρησιμοποιούν συστήματα Σ.Η.Θ. με φυσικό αέριο, έχουν δείξει ότι οι ενεργειακές δαπάνες παρουσιάζουν σημαντική μείωση, εφόσον καλύπτονται ανάγκες για θέρμανση χώρων, θερμικά φορτία παραγωγικών διαδικασιών και ηλεκτρισμού και οι ώρες λειτουργίας υπερβαίνουν τις 4.000 ετησίως.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγνωρίσει από καιρό τη σημασία της συμπααραγωγής στην εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, και την έχει εντάξει σε μια σειρά προγραμμάτων: Community Demonstration Program, THERMIE, SAVE, JOULE.

Επίσης σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2004/8/EK [41] δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη σημασία της συμπαραγωγής για τη μείωση της εκπομπής ρύπων αλλά και την εξοικονόμηση ενέργειας.



Σχήμα 6-1: Επεξήγηση της Εξοικονόμησης Ενέργειας από τη ΣΗΘ[41]

Είναι φανερό ότι η εφαρμογή όπως παρούσας εργασίας εμπίπτει στην Τρίτη από όπως παραπάνω εφαρμογές. Όπως έχει ήδη περιγραφεί στην αρχή όπως εργασίας, το ενεργειακό προφίλ των κτιρίων κοινής ωφέλειας παρουσιάζει κάποια ντετερμινιστικότητα, αφού οι διεργασίες που πραγματοποιούνται εμφανίζουν περιοδικότητα και είναι συνήθως εκ των προτέρων γνωστές. Βέβαια ενδεχομένως να υπάρχει ετεροχρονισμός των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων, ειδικά όταν η εφαρμογή όπως είναι ένα σχολικό συγκρότημα όπως στην προκειμένη περίπτωση, οπότε θεωρείται επιβεβλημένη ανάγκη η ύπαρξη κάποιου επιπρόσθετου συστήματος αποθήκευσης θερμότητας. Πριν προχωρήσουμε στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος Συμπαραγωγής, όπως δούμε συνοπτικά ποιες είναι οι κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη Συμπαραγωγή.

6.2 Τεχνικές Συμπαραγωγής

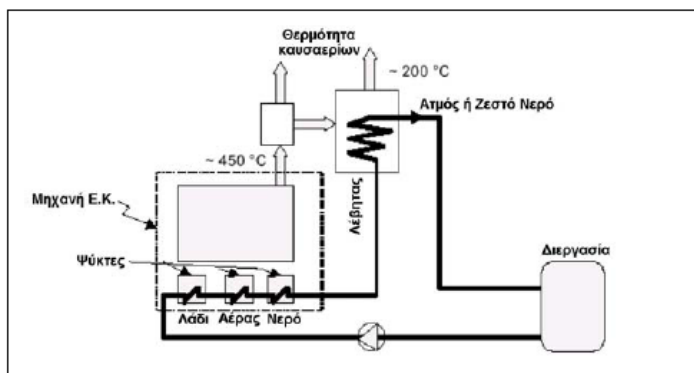
Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως συστήματα «κορυφής» (topping systems), είτε ως συστήματα «βάσης» (bottoming systems). Στα συστήματα κορυφής, ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων, ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα βάσεως, παράγεται πρωτίστως θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως, π.χ., σε καμίνους χαλυβουργείων, υαλουργείων και εργοστασίων σκυροδέματος), κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου παράγεται ατμός ο οποίος θέτει σε λειτουργία έναν αμοστρόβιλο και εν συνεχεία μία γεννήτρια. Είναι ακόμη δυνατόν τα θερμά αέρια να διοχετευθούν σε αεριοστρόβιλο, που δίνει κίνηση σε μία ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα. [40]

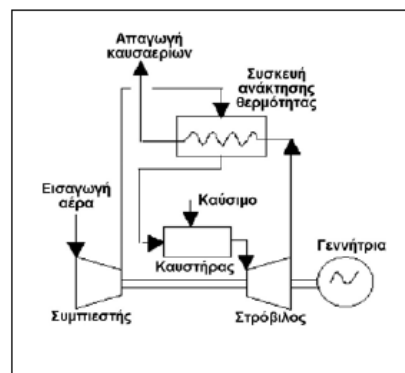
Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά στα συστήματα συμπαραγωγής όσον αφορά τη μηχανή όπως, το βασικότερο υποσύστημα όπως εγκατάσταση [42]:

- **Συστήματα Αμοστρόβιλου** (κύκλος Rankine) Εκτονώνει ατμό υψηλής ενθαλπίας, και παράγει μηχανικό έργο καθώς και ατμό χαμηλής ενθαλπίας
- **Συστήματα Αεριοστρόβιλου** (κύκλος Brayton) Γνωστός για τη χρήση του στα αεροπλάνα. Ο αέρας συμπιέζεται μέχρι το θάλαμο καύσης και ακολούθως εκτονώνεται.
- **Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου** Συνδυασμός των δύο παραπάνω με λέβητα ανάκτησης ανάμεσα όπως.
- **Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης** (κύκλος Diesel ή Otto). Γνωστές από όπως στα οχήματα.
- **Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής**

Οι παραπάνω μηχανές παράγουν ηλεκτρισμό συνδέοντας όπως γεννήτρια στον άξονα όπως, ενώ η θερμότητα παράγεται από λέβητες ανάκτησης με ή χωρίς συμπληρωματική καύση. Η ψύξη όπως περιγράφηκε και παραπάνω, δημιουργείται ως αποτέλεσμα του κύκλου απορρόφησης. Ακολουθούν σχηματικά διαγράμματα του συστήματος με παλινδρομική μηχανή και με στρόβιλο.



Σχηματικό διάγραμμα της συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή



Σχηματική αναπαράσταση ενός μίνι-στρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας

Σχήμα 6-2: Συμπαραγωγή με παλινδρομική Μηχανή και με Στρόβιλο [41]

Για περιγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς των συστημάτων αυτών χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συμβολισμοί και δείκτες:

Σύμβολο	Περιγραφή	Υπολογισμός
W	Ηλεκτρική ισχύς	
Q	Θερμική ισχύς	
$H_{f\Sigma}$	Ισχύς καυσίμου που καταναλώνει το ΣΗΘ	$H_{f\Sigma} = \dot{m}_{f\Sigma} \cdot H_u$
$\dot{m}_{f\Sigma}$	Παροχή καυσίμου	
H_u	Κατώτερη θερμογόνο δύναμη καυσίμου	
H_{fW}	Ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας W	
H_{fQ}	Ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας Q	
H_{fX}	Ολική ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή των W, Q	$H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ}$
n_e	Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	$n_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}}$
n_h	Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	$n_h = \frac{Q}{H_{f\Sigma}}$
n	Ολικός Ενεργειακός Βαθμός Απόδοσης	$n = n_e + n_h$
PHR	Λόγος Ηλεκτρισμού προς Θερμότητα (Power to Heat Ratio)	$PHR = \frac{W}{Q}$
$FESR$	Λόγος Εξοικονόμησης Ενέργειας Καυσίμου (Fuel Energy Savings Ratio)	$FESR = \frac{H_{fX} - H_{f\Sigma}}{H_{fX}}$

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων συστημάτων συμπαραγωγής:

Σύστημα	Ηλεκτρική Ισχύς	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης %		Ολικός βαθμός απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα -
	MW		Πλήρες φορτίο	Φορτίο 50 %		
Ατμοστρόβιλος	0,5 - 100*	90 - 95	14 - 30	12 - 25	60 - 85	0,1 - 0,3
Αεριοστρόβιλος ανοιχτού κύκλου	0,1 - 100	90 - 95	20 - 35	15 - 29	60 - 80	0,5 - 0,8
Αεριοστρόβιλος κλειστού κύκλου	0,5 - 100	90 - 95	30 - 35	30 - 35	60 - 80	0,5 - 0,8
Συνδυασμένος Κύκλου	4 - 100*	77 - 85	35 - 45	25 - 35	70 - 88	0,6 - 1,1
Κινητήρας Diesel	0,07 - 40	80 - 90	35 - 45	32 - 40	60 - 80	1,2 - 2,4
Μικρό «Πακέτο» με Μ.Ε.Κ.	0,015 - 2	80 - 85	27 - 35	25 - 32	60 - 80	0,5 - 0,7
Κυψέλες καυσίμου	0,04 - 50	90 - 92	37 - 45	37 - 45	85 - 90	0,8 - 1
Μηχανές Stirling	0,003 - 1,5	(αναμενόμενη) 85 - 90	35 - 50	34 - 49	60 - 80	1,2 - 1,7

(*) Η τιμή των 100 MW είναι ένα συνηθισμένο άνω όριο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής διαθέτουν συστήματα αυτού του τύπου με σημαντικά μεγαλύτερη ισχύ

Πίνακας 6-1: Χαρακτηριστικά διαφορετικών Συστημάτων ΣΗΘ

6.3 Βέλτιστος σχεδιασμός και λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής

Παρατίθενται οι διαθέσιμοι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής έτσι ώστε να γίνει αργότερα αντιληπτή η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος.

Οι τρόποι λειτουργίας, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, είναι:

- *Παραγωγή θερμότητας ίση με το θερμικό φορτίο (“Heat Match”).* Έχουμε παραγωγή περισσότερης ή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας από το φορτίο. Η περίσσεια (ή το έλλειμμα) πωλείται (ή αγοράζεται) στο (από το) δίκτυο.
- *Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (“Electricity Match”).* Πρόσθετες ανάγκες θερμότητας καλύπτονται από βοηθητικό λέβητα, ενώ η περίσσεια θερμότητας μπορεί να αποβάλλεται από ψυγεία.
- *Μικτή Κάλυψη.* Κατά περίπτωση εφαρμογή είτε του πρώτου τρόπου λειτουργίας είτε του δεύτερου. Η απόφαση βασίζεται σε εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων όπως τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας τη συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- *Πλήρης Κάλυψη του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή. (“Stand-alone mode”).* Απαιτείται επαρκής εφεδρεία ισχύος και πολύπλοκο σύστημα συμπαραγωγής, με συνεπαγόμενη αύξηση του αρχικού κόστους εγκατάστασης.

Είναι λοιπόν φανερό ότι τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το σχεδιασμό του συστήματος, αλλά ταυτόχρονα τον επηρεάζει και σε μεγάλο βαθμό. Κρίσιμη παράμετρος για την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και χρημάτων είναι η διαστασιολόγηση των μηχανημάτων, κι αυτό υπαγορεύεται από το ποιο φορτίο θα καλύπτεται κάθε στιγμή, το θερμικό ή το ηλεκτρικό [43].

Η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό τομέα όσο και στον κτιριακό.

Παρόλα αυτά η θέσπιση και εφαρμογή γενικών κανόνων για το σχεδιασμό και την επιλογή των συστημάτων συμπαραγωγής δεν ενδείκνυται ως προσέγγιση. Κάθε εφαρμογή έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά, ενώ η ύπαρξη πληθώρας συστημάτων ΣΗΘ καθιστούν την επιλογή του κατάλληλου ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα. Εξάλλου κατά τη λειτουργία του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι τεχνικές και οικονομικές παράμετροι ανά ημέρα.

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος καθιστά επιβεβλημένη τη λήψη αποφάσεων όχι μόνο βάσει γενικών κανόνων, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Ειδικά για τη λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές, έτσι ώστε παρακολουθώντας τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία να είναι δυνατή η επιλογή του κατάλληλου τρόπου λειτουργίας ώστε να έχουμε οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση. [43 ΚΑΠΕ]

Η παρακολούθηση και η μέτρηση εξ αποστάσεων των μεγεθών που σχετίζονται με τις μονάδες συμπαραγωγής μπορεί σίγουρα να συμβάλει στην επιτυχή εφαρμογή της συμπαραγωγής στον κτιριακό τομέα. Οι μικροεπεξεργαστές εγκαθίστανται στο σύστημα συμπαραγωγής και παρακολουθούν τις τιμές των κρίσιμων λειτουργικών παραμέτρων (όπως θερμοκρασίες, πιέσεις, επίπεδα τάσης). Τα δεδομένα συλλέγονται μέσω ρούτερ σε έναν κεντρικό υπολογιστή, όπου πραγματοποιείται η ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό υποδεικνύεται μία επερχόμενη αστοχία, έτσι ώστε οι εργασίες συντήρησης να γίνονται επί τόπου ή ακόμα και πριν επέλθει η αστοχία. Μία ομάδα εξειδικευμένου προσωπικού μπορεί κατ' αυτόν τον τρόπο να παρακολουθεί και να ελέγχει περισσότερα του ενός συστήματα συμπαραγωγής. [43] [44]

6.3.1 Διαδικασία Επιλογής Συστήματος

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για μία δεδομένη εφαρμογή θα πρέπει να βασιστεί σε κριτήρια που έχουν να κάνουν με την οικονομική απόδοση, την ενεργειακή απόδοση, την αδιάκοπη λειτουργία και άλλους παράγοντες απόδοσης. Οι αποφάσεις που θα ληφθούν σε σχέση με τα παραπάνω αφορούν :

- ✓ Το είδος του συστήματος
- ✓ Το ποσοστό κάλυψης του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου (αιχμή ή βάση)
- ✓ Τη σύνδεση ή μη με το ηλεκτρικό δίκτυο
- ✓ Τον τρόπο λειτουργίας, όπως αυτοί περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Επιπρόσθετα στα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και οι διάφοροι νόμοι και κανονισμοί που διέπουν τον τομέα της συμπαραγωγής και ενδεχομένως να επιβάλουν λειτουργικά ή/και σχεδιαστικά όρια.

Σε γενικές γραμμές η επιλογή ακολουθεί τα εξής στάδια:

1. **Ποιοτικός και Ποσοτικός Προσδιορισμός των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων** καθώς μεταβάλλονται με το χρόνο ή τουλάχιστον σε χαρακτηριστικές καταστάσεις (εργάσιμες ημέρες, αργίες). Ακολουθώς υπολογίζεται μία μέση τιμή του λόγου PHR, με βάση τις σημαντικότερες περιόδους λειτουργίας από πλευράς φορτίου και διάρκειας.
2. **Επιλογή συστήματος** λειτουργίας με **λόγο PHR** που να πλησιάζει τον προσδιορισμένο στο προηγούμενο βήμα.
3. **Προσδιορισμός ηλεκτρικής ισχύος** για το επιλεγμένο σύστημα συμπαραγωγής έτσι ώστε η αποδιδόμενη θερμική ισχύς να χρησιμοποιείται ωφέλιμα.
4. **Ενεργειακή και Οικονομική Αξιολόγηση** για καθέναν από τους επιθυμητούς τρόπους λειτουργίας.
5. **Μελέτη ευρύτερων επιπτώσεων** από την εγκατάσταση και τη λειτουργία του συστήματος (περιβαλλοντικές, κοινωνικές επιπτώσεις).

6.4 Ανάλυση Δεδομένων για την εφαρμογή ΣΗΘ στο σχολικό συγκρότημα

Επισημαίνεται ότι ο στόχος της παρούσας εργασίας δεν είναι η ενδελεχής μελέτη των συστημάτων συμπαραγωγής, ούτε η μελέτη εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος στο σχολικό συγκρότημα, ενεργειακά δεδομένα του οποίου διαθέτουμε. Η αρχική εκτίμηση του κατάλληλου συστήματος ΣΗΘ γίνεται με σκοπό να φανούν περισσότερο τα πλεονεκτήματα από την καταγραφή και την ανάλυση ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη λήψη καίριων αποφάσεων για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό αλλά και στο βιομηχανικό τομέα.

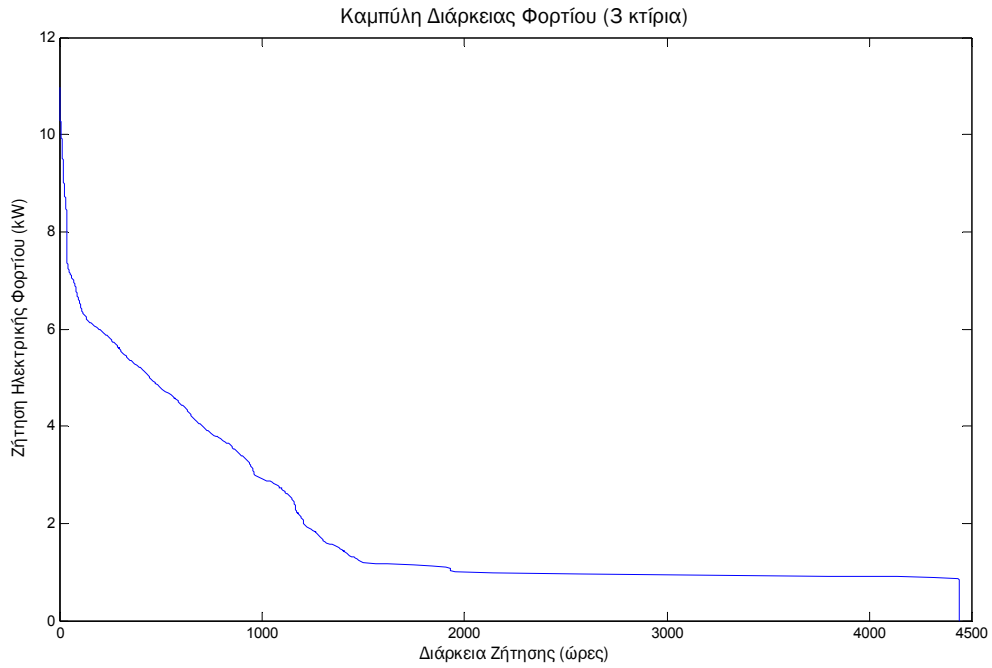
6.4.1 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

Καταρχήν από την ανάλυση των ηλεκτρικών καταναλώσεων που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο κατέστη σαφές ότι:

- Η πισίνα παρουσιάζει εντελώς διαφοροποιημένο ενεργειακό προφίλ από τα κτίρια.
- Οι πλειοψηφία των καθημερινών ημερών όλων των κτιρίων εμφανίζουν παρόμοια διακύμανση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα Σαββατοκύριακα και ελάχιστες καθημερινές και των τριών κτιρίων εμφανίζουν κοινή συμπεριφορά ως προς την ηλεκτρική κατανάλωση, και μάλιστα η ζήτηση περιορίζεται στο φορτίο βάσης, χωρίς αιχμές και διακυμάνσεις.
- Οι καθημερινές των τεσσάρων τελευταίων εβδομάδων για το πρώτο κτίριο εμφανίζουν διαφορετικό προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς το μέγεθος των αιχμών αλλά και ως προς την χρονική εμφάνισή τους εντός του 24ώρου.

Τα παραπάνω συμπεράσματα έχουν ήδη εξαχθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο και θα χρησιμοποιηθούν συσχετιζόμενα με τη ζήτηση θερμικής ενέργειας για την αρχική εκτίμηση του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής.

Για κάθε μορφή ενέργειας είναι χρήσιμο να σχεδιάσουμε την καμπύλη διάρκειας φορτίου, η οποία δείχνει πόσες ώρες συνολικά (στο μελετώμενο χρονικό διάστημα) η απαιτούμενη ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια ξεπέρασε μία συγκεκριμένη τιμή. Στους άξονες του διαγράμματος μπορούμε είτε να έχουμε τις τιμές (kW και h) είτε ποσοστά επί της συνολικής ζήτησης ή του συνολικού διαστήματος αντίστοιχα.



Η συνολική παρατηρούμενη αιχμή ηλεκτρικού φορτίου είναι στα $29kW$.

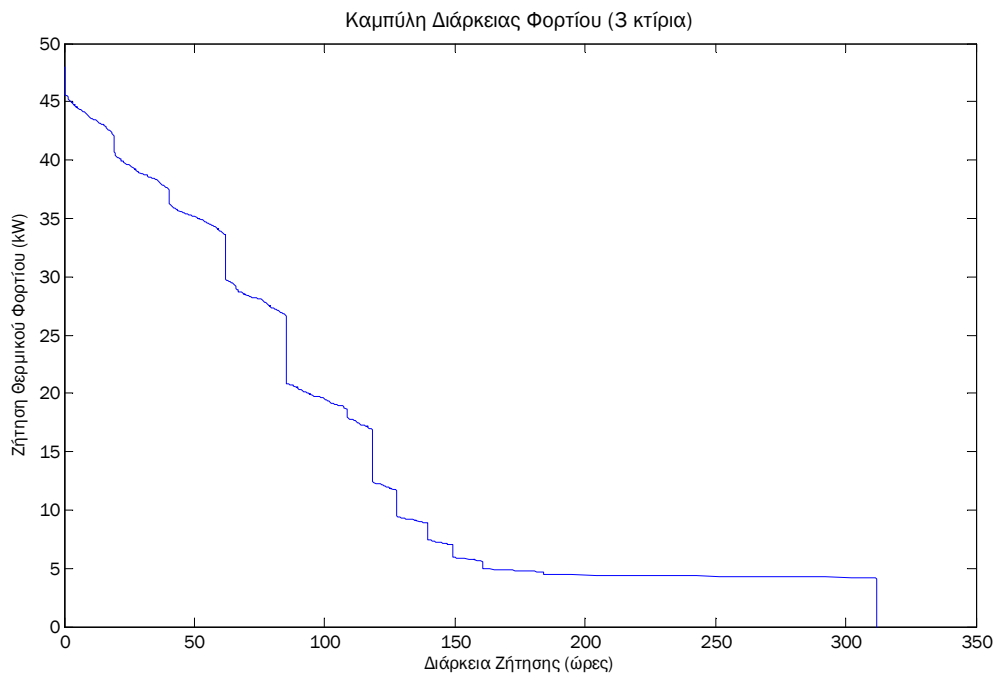
6.4.2 Παροχή Φυσικού Αερίου

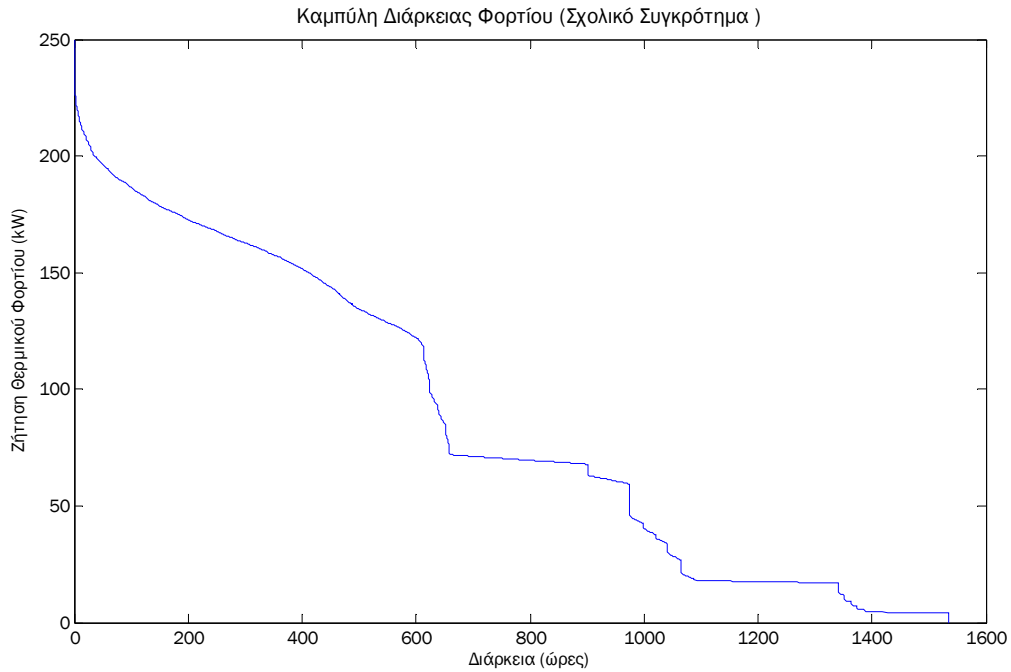
Κατ' αντιστοιχία με τα δεδομένα ζήτησης ενεργού ισχύος ανά τέταρτο διαθέτουμε την παροχή φυσικού αερίου ($\frac{Nm^3}{h}$) για καθένα από τα τρία κτίρια αλλά και για την πισίνα. Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αναλυτική μελέτη του ενεργειακού προφίλ κατανάλωσης

φυσικού αερίου όπως ακριβώς έγινε και για την ηλεκτρική ενέργεια εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο συσταδοποίησης που προτάθηκε παραπάνω. Αυτό που διαφοροποιείται είναι η είσοδος του συστήματός μας (μετρήσεις φυσικού αερίου), και οι απαραίτητοι ημερήσιοι δείκτες.

Πριν προχωρήσουμε στην περαιτέρω ανάλυση της κατανάλωσης φυσικού αερίου για θέρμανση χώρων (κτίρια) και νερού (πισίνα), θα πρέπει τα δεδομένα να μετατραπούν σε ζήτηση θερμικού φορτίου έτσι ώστε να έχουν κάποιο νόημα όσα συζητήθηκαν στις προηγούμενες ενότητες του τρέχοντος κεφαλαίου. Σύμφωνα με την ΕΠΑ η μέση θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι $11,2 \frac{kWh}{Nm^3}$. Συνεπώς από τις μετρήσεις που διαθέτουμε αρκεί ένας πολλαπλασιασμός επί αυτή την τιμή ώστε να προκύψει η ζήτηση θερμικής ισχύος σε kW για κάθε τέταρτο της ώρας.

Οπότε ακριβώς όπως και προηγουμένως μπορούν να προκύψουν οι αντίστοιχες καμπύλες διάρκειας θερμικού φορτίου.

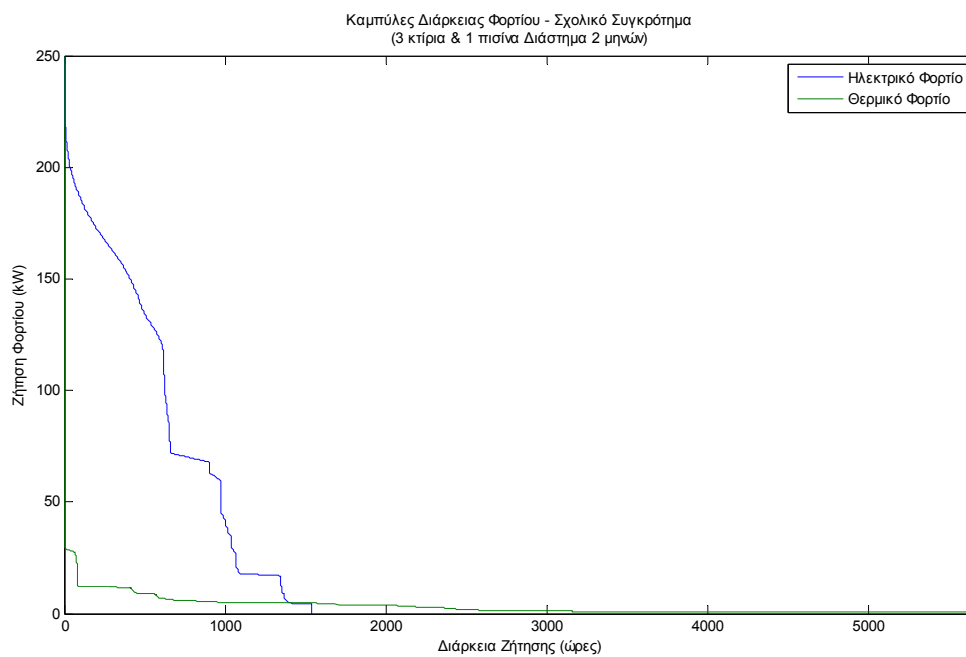




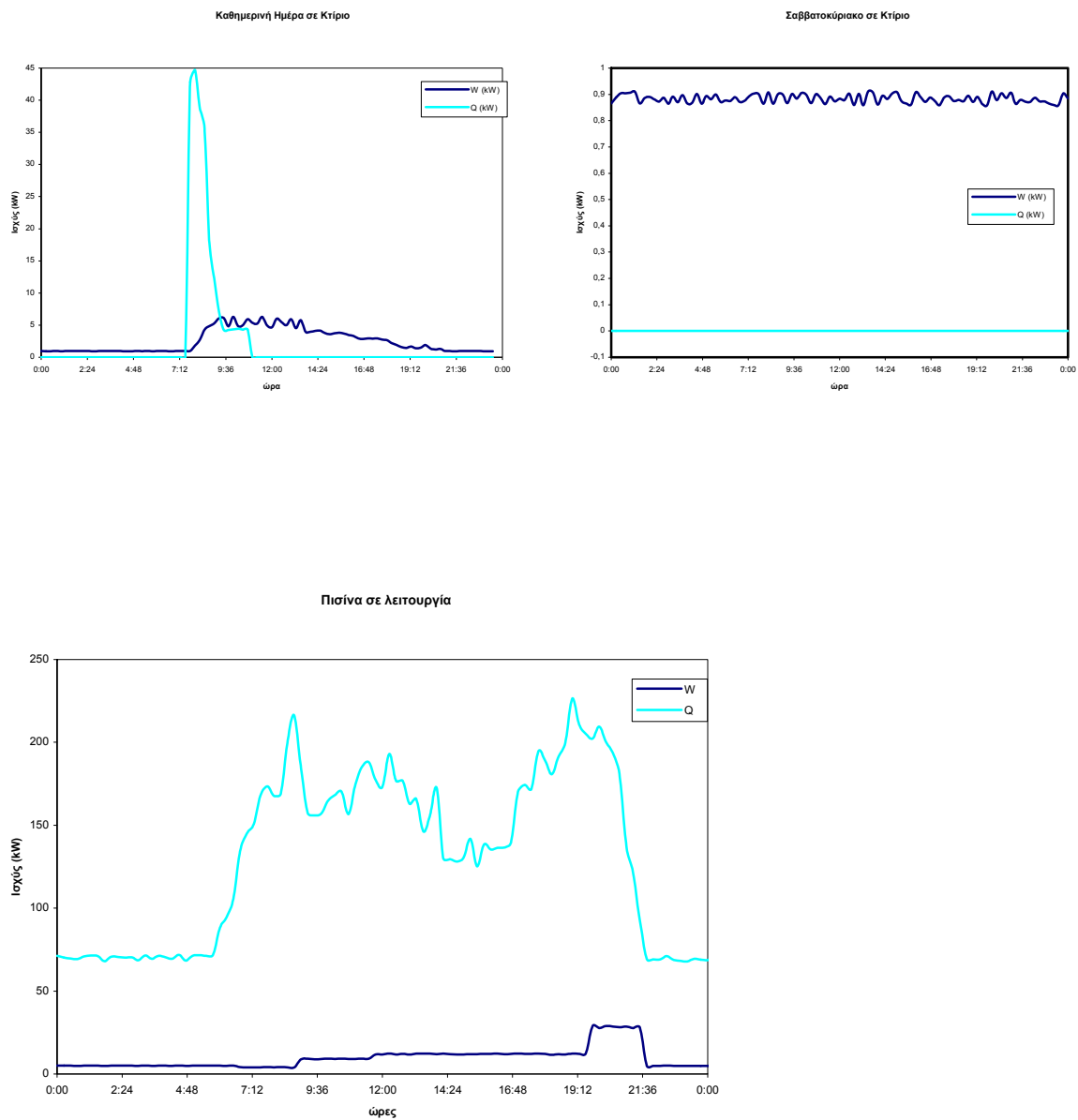
Παρατηρούμε ότι τη σημαντικότερη συμβολή στη ζήτηση θερμικού φορτίου έχει η διεργασία θέρμανσης του νερού της πισίνας.

6.4.3 Συσχετισμός Ηλεκτρικού και Θερμικού Φορτίου

Ακολουθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα που περιέχει τις καμπύλες διάρκειας φορτίου τόσο για τον ηλεκτρισμό όσο και για τη θερμότητα.



Αξίζει να δούμε από πιο κοντά πώς σχετίζονται η ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος μέσα σε ένα 24ωρο.



Μετά τον ποσοτικό προσδιορισμό των φορτίων ακολουθεί ο υπολογισμός του $PHR = \frac{W}{Q} = \frac{29kW}{220kW} = 0.132$ όσον αφορά τα συνολικά φορτία αιχμής.

6.5 Πρόταση Εγκατάστασης Μονάδας ΣΗΘ

Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τη **Ροθμιστική Αρχή Ενέργειας** [45] για να είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα θα πρέπει να διαθέτουμε και να εκτιμήσουμε δεδομένα ηλεκτρικής και θερμικής κατανάλωσης τουλάχιστον για ένα ημερολογιακό έτος.

Αυτή η απαίτηση εκτός από λογική είναι και απαραίτητη. Ας δούμε στη δική μας περίπτωση που δεν εφαρμόζεται αυτή η απαίτηση (έχουμε δεδομένα για διάστημα δύο περίπου μηνών) τι συμβαίνει:

- Η θέρμανση χώρων στα τρία κτίρια παρουσιάζει μια αιχμή γύρω στις 8 το πρωί, ενώ μηδενίζεται εντελώς το θερμικό φορτίο μετά τις 10.30, γεγονός που υπονοεί ότι πρόκειται για εποχή με χαμηλές απαιτήσεις σε θέρμανση. (Άνοιξη ή Φθινόπωρο).
- Δεν διαθέτουμε πληροφορίες/δεδομένα για τη θέρμανση χώρων το Χειμώνα, οπότε και θα εμφανίζονται οι πραγματικές αιχμές στη ζήτηση θερμότητας.
- Απουσιάζουν εντελώς τα δεδομένα για τον κλιματισμό χώρων.

Οπότε δεν μπορούμε να αποφανθούμε για την πραγματική τιμή του λόγου *PHR* που θα καθορίσει τον τύπο μηχανής, στην οποία θα βασιστεί το σύστημα ΣΗΘ.

Βέβαια υπάρχουν κάποια παράπλευρα δεδομένα τα οποία μπορούν να μας οδηγήσουν σε ακριβή συμπεράσματα :

- Το Σχολικό Συγκρότημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο Φυσικού Αερίου. Συνεπώς το σύστημα που θα επιλέξουμε έχουμε την απαίτηση να λειτουργεί με Φυσικό Αέριο, έτσι ώστε να έχουμε μείωση των ρύπων και τα υπόλοιπα οφέλη που περιγράφηκαν νωρίτερα.
- Λόγω ανάγκης για αξιοπιστία στη ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου το σύστημα ΣΗΘ του σχολείου θα πρέπει να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η διαδικασία θέρμανσης της πισίνας αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ζήτησης θερμικού φορτίου για όλες τις εποχές του χρόνου και είναι πολύ πιθανό να λειτουργεί ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες ως εξωσχολική δραστηριότητα, ενόσω το σχολείο είναι σε διακοπές. Οπότε ενδεχομένως να εγκατασταθεί μία μονάδα ΣΗΘ που να ακολουθεί το θερμικό φορτίο (“*Heat Matching*”), κι αφού το σύστημα πρόκειται να διασυνδεθεί στο δίκτυο, η περίσσεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα πωλείται. Βέβαια καλό θα ήταν να εξεταστεί εάν στη γύρω περιοχή υπάρχουν και άλλα κτίρια (σχολεία, αθλητικές εγκαταστάσεις) έτσι ώστε η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας να καταναλώνεται απευθείας από αυτά.

Από μελέτη ανάλογων εφαρμογών προέκυψε ότι στα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας (*small-scale cogeneration systems*) , δηλαδή με ηλεκτρική ισχύ από 10 μέχρι 1000 *kW* ευρεία εφαρμογή παρουσιάζουν οι Τυποποιημένες Μικρές Μονάδες Συμπαραγωγής, οι οποίες κατέχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- χαμηλό κόστος,
- μικρό όγκο,
- εύκολη εγκατάσταση (αρκεί απλώς η σύνδεση τους με το υδραυλικό και ηλεκτρικό

δίκτυο),

- αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Οι μονάδες αυτές διατίθενται συνήθως με κινητήρα Diesel, ενώ για ισχύ μικρότερη των 100 kW είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto και για ισχύ άνω των 600 kW η χρήση αεριοστροβίλου. Μπορούν να λειτουργήσουν με υγρό ή αέριο καύσιμο.

Στη δική μας περίπτωση εκτιμάται ότι ένα σύστημα με μηχανή Diesel, κατάλληλη για κατανάλωση φυσικού αερίου, ηλεκτρικής ισχύος 30 kW, αν επιθυμούμε να καλύψουμε το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο αιχμής ή περίπου 300 kW έτσι ώστε με λόγο $PHR \approx 1.5$ να προκύπτει η απαιτούμενη μέγιστη θερμική ισχύς.

Βέβαια στους παραπάνω υπολογισμούς ο λόγος PHR είναι πολύ διαφορετικός, αλλά λόγω ανεπάρκειας των δεδομένων μας δεν μπορούμε να εξάγουμε σαφή συμπεράσματα όπως ήδη εξηγήθηκε αναλυτικότερα.

Αυτό που σίγουρα εκκρεμεί για μία τελική πρόταση -ειδικά αφού πρόκειται για σχολείο- είναι η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης εγκατάστασης του συστήματος και ο τρόπος που θα αποβάλλονται τα καυσαέρια.

6.6 Συμπέρασμα

Σκοπός του κεφαλαίου ήταν να δοθεί έμφαση στη χρησιμότητα της καταγραφής και επεξεργασίας ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεση μας αφορούν διάστημα περίπου δύο μηνών για ένα Σχολικό Συγκρότημα, και είναι καταγεγραμμένα αποτελώντας ένα μόνο στιγμιότυπο του συγκεκριμένου καταναλωτή. Παρόλο που κανείς θα έλεγε ότι τα δεδομένα μας είναι υπερβολικά πολλά σε ποσότητα και θα συμπεραίνε ότι η διαρκής παρακολούθηση ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι υπερβολή, η έλλειψη επάρκειας δεδομένων είναι αυτή που δε μας επέτρεψε να κάνουμε μία ολοκληρωμένη πρόταση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της Συμπαραγωγής! Συνεπώς για να προωθηθούν μέτρα που έχουν να κάνουν με την εξοικονόμηση αλλά και την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας απαιτείται η κατάλληλη παρακολούθηση και η ταυτόχρονη επεξεργασία ενεργειακών και λοιπών δεδομένων, ακολουθώντας τις τεχνικές που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3 για την εξόρυξη γνώσης από δεδομένα.

*ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ &
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ*

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

7.1.	Συμπεράσματα.....	115
7.2.	Προοπτικές & Μελλοντικές Τάσεις	116

7.1 Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα, τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό και στα επιμέρους κεφάλαια, ωστόσο η ανακεφαλαίωση τους εδώ κρίνεται σκόπιμη:

- ✓ Η **Εξοικονόμηση Ενέργειας** και τα έργα αύξησης της **Ενεργειακής Αποδοτικότητας** σε κάθε τομέα που χρησιμοποιείται κάποια μορφή ενέργειας, κρίνονται απαραίτητα για το μέλλον της ανθρωπότητας χωρίς κατασπατάληση φυσικών πόρων και με σεβασμό στο περιβάλλον και στον πλανήτη γενικότερα, γι' αυτό και ενθαρρύνονται από την ΕΕ και την Πολιτεία.
- ✓ Προς αυτή την κατεύθυνση μπορούν να συνδράμουν με τις υπηρεσίες και το αντικείμενο τους οι Εταιρίες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών (**Energy Services Companies**).
- ✓ Η ενεργειακή συμπεριφορά των καταναλωτών αλλά και οι συνήθειες που σχετίζονται με την χρήση οποιασδήποτε μορφής Ενέργειας είναι δυνατόν να αποτυπωθούν στο **Ενεργειακό Προφίλ** τους, το οποίο κωδικοποιεί όλες αυτές τις πληροφορίες.
- ✓ Οι χρήστες Ενέργειας μπορούν να χωριστούν σε **κατηγορίες** με βάση το **Ενεργειακό** τους **Προφίλ**, αποδεικνύοντας έτσι ότι υπάρχουν δεδομένες συμπεριφορές που οδηγούν σε συγκεκριμένη χρησιμοποίηση της Ενέργειας.
- ✓ Η **Ενεργειακή Ταυτότητα** των χρηστών δεν είναι κάτι στατικό, καθώς οι απαιτήσεις συνεχώς μεταβάλλονται και νέες ενεργειακές ανάγκες δημιουργούνται. Αυτός είναι και ο λόγος που μία **δυναμική καταγραφή** κι επεξεργασία **Ενεργειακών Δεδομένων** είναι επιβεβλημένη για το σωστό χαρακτηρισμό των χρηστών.
- ✓ Μέσα από **σύγκριση** με χρήστες όμοιας Ενεργειακής Ταυτότητας μπορεί να προκύψει αφενός **Ενεργειακή Συνειδητοποίηση**, αφετέρου δε **προτάσεις** για λήψη βελτιωτικών μέτρων ή **καλύτερη Διαχείριση Ενέργειας**.
- ✓ Όλα τα παραπάνω οφείλουν να έχουν εφαρμογή μέσω Διαδικτύου, με τη μορφή **Ηλεκτρονικών Ενεργειακών Υπηρεσιών**. Το Διαδίκτυο παρέχει δυνατότητες για την κατάλληλη διαδραστικότητα και αλληλεπίδραση μεταξύ των παικτών του Ενεργειακού Τομέα, συνεισφέροντας έτσι στην παρακολούθηση των Συστημάτων Ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, με δυνατότητες συνεχούς βελτίωσης της ασφάλειας, της ευστάθειας τους αλλά και μείωση του κόστους της παραγόμενης Ενέργειας.

7.2 Προοπτικές & Μελλοντικές Τάσεις

Ο τομέας της Ενέργειας είναι ένα κεφάλαιο που μόλις έχει ανοίξει παγκοσμίως, και πολύ περισσότερο για τον Ευρωπαϊκό και τον Ελλαδικό Χώρο. Η επί χρόνια κατασπατάληση των φυσικών πόρων οδήγησε στη σημερινή κατάσταση, που ο σύγχρονος τρόπος ζωής κι οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες προστάζουν εξεύρεση νέων οικονομοτεχνικά καλύτερων λύσεων για την κάλυψη των αναγκών αυτών. Εξάλλου ο πλανήτης κρούει τον κώδωνα του κινδύνου κι αν δε ληφθούν άμεσα μέτρα για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση των υπάρχουσών πηγών Ενέργειας, σε λίγα χρόνια η κατάσταση θα είναι σχεδόν αδύνατο να αναστραφεί.

Η διερεύνηση των τρόπων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας έδειξε ότι η Παραγωγή Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές οφείλει να γίνει κατά το δυνατόν πιο αξιόπιστη, έτσι ώστε αυτές να αποτελούν δελεαστικότερο τρόπο Παραγωγής. Βέβαια επειδή η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα τέτοιων Πηγών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από στοχαστικούς παράγοντες (όπως η ταχύτητα ανέμου), αυτό που θα πρέπει να προωθηθεί περισσότερο είναι η βελτιστοποίηση στη Διαχείριση Ενέργειας με ή χωρίς παράλληλη αλλαγή του τρόπου Παραγωγής της.

Σύμφωνα με τα εξαχθέντα συμπεράσματα, όπως αυτά συνοψίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, και με αφορμή τις προοπτικές στον Ενεργειακό Τομέα προτείνονται τα εξής:

- ✓ Σταδιακή αντικατάσταση του μετρητικού εξοπλισμού στα Συστήματα Ενέργειας από σύγχρονους μετρητές με ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή που συγκεντρώνει και αποστέλλει τα Ενεργειακά Δεδομένα σε ένα Υπολογιστικό Κέντρο. Οι χρήστες Ενέργειας οφείλουν να συνειδητοποιήσουν τα οφέλη από τη διαρκή παρακολούθηση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς.
- ✓ Ανάπτυξη ενός κατάλληλου Πληροφοριακού Συστήματος που να επεξεργάζεται ενεργειακά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Στο Σύστημα αυτό μπορούν να ενσωματωθούν αλγόριθμοι επεξεργασίας δεδομένων και εξόρυξης γνώσης, όπως αυτός που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τη συσταδοποίηση Ενεργειακών Καταναλώσεων.
- ✓ Διασύνδεση Καταναλωτών, Παρόχων και Παραγωγών Ενέργειας στο εν λόγω Σύστημα, έτσι ώστε να υπάρξει αμφίδρομη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ τους με σκοπό την Εξοικονόμηση Ενέργειας αλλά και την πραγματική μείωση του κόστους που επωμίζονται οι Καταναλωτές για τη χρήση της Ενέργειας.
- ✓ Ανάπτυξη ολοκληρωμένων πακέτων Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών προσαρμοσμένα στις ενεργειακές ανάγκες κάθε πελάτη, κατόπιν λεπτομερούς ανάλυσης των σύγχρονων ή παρελθοντικών συμπεριφορών του και πρόβλεψη των μελλοντικών του απαιτήσεων.

Βέβαια αν και η απελευθέρωση της Αγοράς Ενέργειας θεωρητικά έχει επέλθει, η εφαρμογή των παραπάνω διαφαίνεται δύσκολη κι αυτό επειδή απαιτείται πρωτίστως η καθολική συνειδητοποίηση της περιρρέουσας ατμόσφαιρας στον Ενεργειακό Τομέα.



*ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:
Κώδικας Υλοποίησης
Αλγορίθμου σε C &
Απεικονίσεων σε Matlab*

Main

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include "clusters1.h"      /*header file with struct definitions and
                           Functions handling "clusters" */

#define M1 62              // 62 days
#define a_day 96          // 96 quarters=24 hours (a day)
#define a_week 672       // 672 quarters=7 days (a week)
#define I 10              // maximum number of iterations

int main() {

FILE *file, *f, *res2,*ce, *re, *ht;
float numbers[5953],a,b,c,d,daily_ind[M][5],v,o,p,pr[5],centr[15][96];
float da,ai,di[I];
int i,j,k,m,l,a_i,n[500],g[62][10],fl[62][62],s,M;

cluster w[62],h,kl; //matrix with 62 elements (max number of clusters)
cluster_center cl[62][10]; //each of the 62 days can be a member

file = fopen("building02.txt", "r");
re=fopen("clusters.txt","w");
f=fopen("daily_indices.txt","w");
res2=fopen("results.txt","w");
ce=fopen("centroids.txt","w");

if(file==NULL) {
    printf("Error: can't open file.\n");
    return 1;
}
else
{ printf("File opened successfully.\n");
  i = 0 ;
  while(!feof(file))
  { /* loop through and store the numbers into the array */
    fscanf(file, "%f", &numbers[i]);
    i++;
  }; i=i-1;
};
fclose(file);
printf("Number of numbers read: %d\n\n", i);
M=i/96;          //total number of days to examine
printf("Let's calculate daily indices....\n");
fprintf(f,"      Daily Indices\n");
fprintf(f,"      FD1      FD2      FD3      FD4      FD5 \n");

c=0;
a=0;
v=0;
o=0;
da=0;
ai=0;

for (k=0; k<i;k=k+a_day) {          //loops every 96 (a_day) quarters
    fprintf(f,"% d day ",(k/96 )); //...next day to process
```

```

b=numbers[k];           //for every day store the first
d=numbers[k];           //measurement

for(l=k;l<k+a_day;l=l+1){           //loops through the 96 quarters
                                   //of k-th day
    c= numbers[l]+c;           //sum
    a=numbers[l];           //next measurement
    if (a>b) {                 //find maximum
        b=a;
        j=l;
    };

    if (a<d) {d=a;};           //find minimum

    if( ((k/a_day) % 7)<3 || ((k/a_day) % 7)>4)
//if it is workday
    {
        fprintf(ht,"workday:%d",((k/a_day)%7));
        if ( (l % 96) <=24 )
//if it is between 6am and 23pm
        {
            ai=numbers[l]+ai;
            fprintf(ht," hour: %d %d (<6) %f\n",l,(l%96),ai);
        }
        else if ((l % 96)>=88)
        {
            ai=numbers[l]+ai;
            fprintf(ht," hour: %d %d (>22) %f \n",l,(l%96),ai);
        }
        else if ( (l%96)<=56 )           //between 14pm and 16pm
        {
            if ( (l%96) >=(48))           //between 14pm and 16pm
            {
                o=numbers[l]+o;
                fprintf(ht," hour: %d %d (>12 and <14) \n",l,(l%96));
            };
        };
        if ((l%96)>24)
            if ((l%96)<88)
                da=da+numbers[l];
    }
    else
//else weekend
    {
        if ( (l % 96) <=24 )           //if it is between 6am and 23pm
        {
            v=numbers[l]+v;
        }
        else if ((l % 96)>=88)
        {
            v=numbers[l]+v;
        }
    };
};

daily_ind[(k/a_day)][0]= ((c/a_day)/b); // Pav/Pmax
fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][0]);
daily_ind[(k/a_day)][1]= (d/(c/a_day)); // Pmin/Pav
fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][1]);
if( ((k/a_day) % 7)<3 || ((k/a_day) % 7)>4){
//working day
    daily_ind[(k/a_day)][2]= ((ai/32)/(c/a_day))/3;//night impact
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][2]);
    daily_ind[(k/a_day)][3]=0;
    fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][3]);
}

```



```

        daily_ind[(k/a_day)][4]= ((o/8)/(da/64))/8; //lunch impact
        fprintf(f,"%f\n",daily_ind[(k/a_day)][4]);
    }
    else { //weekend
        daily_ind[(k/a_day)][2]=0;
        fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][2]);
        daily_ind[(k/a_day)][3]= ((v/32)/(c/a_day))/3;//night impact
        fprintf(f,"%f ",daily_ind[(k/a_day)][3]);
        daily_ind[(k/a_day)][4]=0;
        printf(f,"%f \n",daily_ind[(k/a_day)][4]);
    };
    c=0;
    a=0;
    v=0;
    o=0;
    da=0;
    ai=0;

};
fclose(f);

/***** begins clustering procedure *****/
/***** initialize*/
p=0.007; //put threshold
/*initialize*/
k=0; //number of clusters
i=1; //iteration number
m=1; //pattern number
a_i=0;
//create new cluster function
w[k]=create_cluster(i,k,m,daily_ind);
k=k+1; //increase number of clusters
a_i=a_i+1; //there is a change

for (m=2;m<=M;m++) //next point to examine (a day)
{ /*function that finds the cluster with the minimum distance from the
examining point*/
h=find_cluster(k,w,daily_ind,m);
if ((h.cm[m-1].dist)>p) /*if the distance of the point is over the
threshold, create new cluster*/
{
//create_cluster_function with center the specific point
w[k]=create_cluster(i,k,m,daily_ind);
for (l=1;l<=m;l++)
w[k].cm[(l-1)].valid=0;
for (j=0;j<=k;j++)
w[j].cm[(m-1)].valid=0;
w[k].cm[(m-1)].valid=1;
k=k+1;
a_i=a_i+1;
}
else //if the distance is not above the threshold
{ /*just put the point in the cluster h and update its
Characteristics*/
for (j=0;j<5;j++) pr[j]=daily_ind[(m-1)][j];
w[(h.cc.k)]=update_cl_cl(h,pr,m,i);
w[(h.cc.k)].cm[(m-1)].valid=1;
cl[(h.cc.k)][(i-1)]=w[(h.cc.k)].cc;
g[(h.cc.k)][(i-1)]=1;
//pay attention that the valid field should acquire the value 1

```

```

    for (l=1;l<=m;l++){
        if (w[h.cc.k].cm[(l-1)].valid)
            d=0;
            for (j=0;j<5;j++){
                d=(daily_ind[(l-1)][j]-
w[h.cc.k].cc.y[j])*(daily_ind[(l-1)][j]-w[h.cc.k].cc.y[j]);
                w[h.cc.k].cm[(l-1)].dist=sqrt(d);
                fl[h.cc.k][(l-1)]=w[h.cc.k].cm[(l-1)].valid;
            };
    };
};
/*in k is stored the number of clusters created after the first
iteration. This will be the No of clusters through the rest of the
process*/
printf("No of clusters created : %d", (k-1));
//print results of first iteration
fprintf(res2, "FIRST ITERATION\n");
for (l=0;l<k;l++){
    fprintf(res2, "clusterNo: %d , members: %d: ", l, w[l].n);
    d=0;
    for (j=1;j<=M;j++){
        {
            if (w[l].cm[(j-1)].valid==1){
                fprintf(res2, "%d ", j);
                if (w[l].n>0) {
                    a=0;
                    for (s=0;s<5;s++){
                        a=a+(daily_ind[(j-1)][s]-w[l].cc.y[s])*(daily_ind[(j-
1)][s]-w[l].cc.y[s]);
                    };
                }
                else a=0;
                d=d+a;
            };
        };
        d=sqrt(d);
        fprintf(res2, "// entropia :%f \n", d);
        di[(i-1)]=di[(i-1)]+d;
        fprintf(res2, "\n");
    };
    fprintf(res2, "// entropia :%f \n", di[(i-1)]);

/*update the prev_cl field of all cluster before moving to next
Iteration*/

for (l=0;l<k;l++){
    {
        w[l].cc.i=w[l].cc.i+1;
        for (m=1;m<=M;m++){
            w[l].cm[(m-1)].prev_cl=w[l].cc;
        };
    };
};

/***** this is the body of the algorithm *****/
/*****

while (i<=I && a_i!=0) /*iterations are continued until max No of
iteration reached or no more changes existing*/
{
    i=i+1; //increase No of iterations
    a_i=0; //no changes between clusters yet
    for (m=1;m<=M;m++) //next point (day) to examine

```

```

{
    //finds which is the nearest cluster to the point
    h=find_cluster(k,w,daily_ind,m);
    //finds whose cluster member is the point
    kl=find_member(k,m,w);
    if (h.cc.k!=w[kl.cc.k].cc.k)
    {
        //if the point is NOT in the nearest cluster
        g[h.cc.k][(i-1)]=1;
        g[kl.cc.k][(i-1)]=1;
        for (j=0;j<5;j++) pr[j]=daily_ind[(m-1)][j];
        a_i=a_i+1; //...ups...there is a change
        //function adding a member to acluster
        w[h.cc.k]=update_cl_c1(h,pr,m,i);
        cl.cm[(t-1)].valid=1;
        cl[h.cc.k][(i-1)]=w[h.cc.k].cc;
        w[h.cc.k].cm[(m-1)].valid=1;
        //function removing a member from a cluster
        w[kl.cc.k]=update_cl_c2(kl,pr,m,i,res);
        cl[kl.cc.k][(i-1)]=w[kl.cc.k].cc;
        w[kl.cc.k].cm[(m-1)].valid=0;
        for (j=0;j<=k;j++) w[j].cm[(m-1)].valid=0;
        w[h.cc.k].cm[(m-1)].valid=1;
        w[kl.cc.k].cm[(m-1)].valid=0;
        for (l=1;l<=m;l++){
            fl[h.cc.k][(l-1)]=w[h.cc.k].cm[(l-1)].valid;
            fl[kl.cc.k][(l-1)]=w[kl.cc.k].cm[(l-1)].valid;
        };
    }
    else
    {
        //if the point is so far member of the nearest cluster
        w[h.cc.k].cm[(m-1)].valid=1;
        for (l=1;l<=m;l++){
            fl[h.cc.k][(l-1)]=w[h.cc.k].cm[(l-1)].valid;
        };
    };
}; // for-loop ends...all points (days) are examined
//print the results of the iteration
fprintf(res2,"ITERATION : %d\n",i);
for (l=0;l<k;l++){
    fprintf(res2,"clusterNo: %d , members: %d: ",l,w[l].n);
    d=0;
    for (j=1;j<=M;j++)
    {
        if (w[l].cm[(j-1)].valid==1){
            fprintf(res2,"%d ",j);
            d=d+w[l].cm[(j-1)].dist*w[l].cm[(j-1)].dist;
        };
    };
    d=sqrt(d);
    di[(i-1)]=di[(i-1)]+d;
    fprintf(res2,"\n");
    fprintf(res2,"// entropia : %f \n",d);
};
fprintf(res2,"\n // entropia : %f \n",di[(i-1)]);
for (m=0;m<M;m++)
{
    w[m].cc.i=(w[m].cc.i)+1;
};
};
for (j=1;j<=i;j++)
{
    for (l=0;l<k;l++)

```

```

    {
        if (g[l][j-1]==1){
            fprintf(res2,"No %d ",l);
            for (m=0;m<5;m++)
                fprintf(res2,"%f ",cl[l][j-1].y[m]);
            fprintf(res2,"\n");
        }
    };
};
printf("Total : %d iterations\n",i);

//constructing the 96-value centroids according to the members
if (k<15){
    for (j=0;j<=k;j++){
        a_i=0;
        for (m=1;m<M;m++){

            if (w[j].cm[m-1].valid){
                for (l=0;l<96;l++){
                    centr[j][l]=((centr[j][l]*a_i)+numbers[(m-
1)*96+l])/a_i;
                    a_i=a_i+1;
                };
            };
        };
    };

for(l=0;l<k;l++)
{
    for (j=0;j<96;j++)
        fprintf(ce, "%f ",centr[l][j]);
    fprintf(ce,"\n");
};
fclose(ht);
fclose(ce);
fclose(re);
fclose(res2);
getchar();
return 0;

};

```

Clusters.h (Header file)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

typedef struct cluster_center {
    int i;                // number of cycles
    int k;                // number of cluster
    float y[5];          // characteristics of cluster center
} cluster_center ;

typedef struct cluster_members {
    cluster_center prev_cl; //previous cluster of the member
    int valid;
    float dist; //distance from center
} cluster_members ;

typedef struct cluster {
    int n;                // number of cluster members
    cluster_center cc;
    cluster_members cm[62];
} cluster;

typedef struct clusters {
    cluster clust[62];
} clusters;

/*function to create a new cluster*/
cluster create_cluster(int l/*number of iterations*/,int f/*number of
cluster*/,int t/*member number*/,float daily[62][5])
{
    cluster b_i;
    int j;
    //printf("%d ",f);
    b_i.n=1;
    b_i.cc.i=1;
    b_i.cc.k=f;
    b_i.cm[(t-1)].prev_cl.i=1;
    b_i.cm[(t-1)].prev_cl.k=f;
    for (j=0;j<5;j++) {
        b_i.cc.y[j]=daily[(t-1)][j]; //center of new cluster
        b_i.cm[(t-1)].prev_cl.y[j]=daily[(t-1)][j];
    };
    b_i.cm[(t-1)].valid=1;
    b_i.cm[(t-1)].dist=0;
    //printf("Hello");
}
```

```

        //if (f==0) for (j=0;j<5;j++) printf("ddd
%f",b_i.cc.y[j]);
        return b_i;
};

cluster update_cl_c1 (cluster q,float memb[5],int t,int i)
{
    cluster cl;
    int j;
    cl.n=(cl.n)+1;
    cl.cc.i=i;
    cl.cc.k=q.cc.k;
    //cl.cm[(t-1)].valid=1;
    for (j=0;j<5;j++) {
        cl.cc.y[j]=((q.n)*(q.cc.y[j]) + memb[j])/(q.n+1);
        cl.cm[(t-1)].prev_cl.y[j]=q.cc.y[j];
    };
    return cl;
};

cluster update_cl_c2 (cluster q1, float memb[5],int t,int i, FILE *f)
{
    cluster cl;
    int j;
    cl.n=(cl.n)-1;
    cl.cc.i=i;
    cl.cc.k=q1.cc.k;
    cl.cm[(t-1)].valid=0;
    for (j=0;j<5;j++) {
        cl.cc.y[j]=((q1.n+1)*(q1.cc.y[j]) -
memb[j])/(q1.n);
        cl.cm[(t-1)].prev_cl.y[j]=q1.cc.y[j];
    };
    return cl;
};

cluster find_cluster (int g, cluster b_i[62],float daily_ind[62][5],int
t)
{
    int l,j;
    float d_i[62],a,b;
    cluster p;
    for (l=0;l<=g;l=l+1) {
        p=b_i[l];
        a=0;
        b=b_i[0].cc.y[1];
        if ((b_i[l].n)!=0){
            for (j=0;j<5;j++){
                b= p.cc.y[j]-daily_ind[(t-1)][j];
                if (b<0) b=fabs(b);
                a=a+b*b;
            };
        } else a=100;
        d_i[l]=sqrtf(a);
    }; a=d_i[0];
    j=0;
    for (l=1;l<=g;l=l+1) {
        b=d_i[l];
        if (a>b){ //minimum distance

```

```

        a=b;
        j=1; //number of cluster
    };
};
b_i[j].cm[t-1].dist=d_i[j];
p=b_i[j];
//b_i[j].cm[(t-1)].valid=1;
return p;
};

cluster find_member(int f,int t,cluster b_i[62])
{
    int l,o;
    l=0;
    o=0;
    for (l=1;l<=f;l++)
    {
        if (b_i[l].cm[(t-1)].valid==1) {
            o=l;
            printf("\n %d is_member ..%d\n",t,o);
        };
    };
    return b_i[o];
};

int print_clusters (cluster b_i[62],FILE *f)
{
    int j,l;

    for (l=0;l<62;l++) {
        for (j=0;j<62;j++) {
            if (b_i[j].cm[l].valid==1) fprintf(f,"The %d day is in the %d
class (%d iteration).\n", (l+1), (j+1), b_i[j].cc.i);
        };
    };
};
};

```

mat.m file

```
clear all;
load centroids.txt;
load building0.txt;
load clusters.txt;
o=size(clusters);
h=size(building01);
for i=1:96:h(1)
    for j=i:1:(i+95)
        day((((i-1)/96)+1),(j-i+1))=building01(j);
    end
end

for j=1:1:96
    moments(1,j)=j;
end

for k=1:1:o(1)
    j=1;
    for i=1:1:62
        if clusters(k,i)~=0
            centroids2(k,:,j)=day(clusters(k,i),:);
            j=j+1;
        end
        t(k)=(j-1);
    end
end

for i=1:1:o(1)
    clear clust;
    clear u;
    clust(:,1)=transp(centroids(i,:));
    for g=1:1:t(i) clust(:,g+1)=transp(centroids2(i,:,g)); end
    for g=1:1:(t(i)+1) u(g)=g; end
    figure,surf(u,moments,clust)
end
```


B

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “Energy-efficient homes and buildings : The beauty of efficiency”, 48 projects funded by the Intelligent Energy-Europe programme , Project Report N °2 – May 2008
http://ec.europa.eu/energy/intelligent/library/doc/ka_reports/buildings_en.pdf
- [2] Paolo Bertoldi, Benigna Boza-Kiss, Silvia Rezessy, “Latest Development of Energy Service Companies across Europe - A European ESCO Update” , Institute for Environment and Sustainability, European Commission, EUR 22927 EN - 2007
- [3] M. Sforza, ENEL S.p.A., “Data mining in a power company customer database”, Italy Electric Power Systems Research 55 (2000) 201–209
- [4] T. Marijanić, D. Karavidović, “Load Profiling in an Opening Electricity Market”, *TRANSACTIONS OF IEEE* 2007
- [5] Bertoldi, P., Berrutto, V., Renzio, M., Adnot, J., Vine, E., “How are EU ESCOs behaving and how to create a real ESCO market?” , Proceedings of the 2003 ECEEE Summer Study, European Council for an Energy-Efficient Economy, Paris, France, pp. 909–916.
- [6] Edward Vine, Lawrence Berkeley National Laboratory, EETD “An international survey of the energy service company (ESCO) industry”, Energy Policy (2005) p.691-704
- [7] Manchester Knowledge Capital, “Enterprise with Energy, ESCO Feasibility Study”, Final Report, July 2007
- [8] Raemsohl, S., Dudda, C., “Barriers to energy service contracting and the role of standardised measurement and verification schemes as a tool to remove them”, Proceedings of the 2001 ECEEE Summer Study, European Council for an Energy-Efficient Economy, Vol. 2, Paris, France, pp. 208–218.
- [9] Bundesverband Privatwirtschaftlicher Energie-Contracting-Unternehmen (PECU) e.V., (German association of private ESCOs). 28.02.2004 Artikel: „ Förderung des Contracting ist gesamtpolitische Aufgabe. PECU fordert Bundesregierung zur Erleichterung von Contracting-Massnahmen auf „, URL: http://www.pecu.de/index_aktuell.html. [consulted July 2008].
- [10] Geissler, M. 2005. “EUROCONTRACT – Guaranteed Energy Performance. Standardised Energy Services for Europe’s buildings”, Presentation at ESCO Europe Conference 2005, Vienna.
- [11] Vera Figueiredo, Fátima Rodrigues, Zita Vale, and Joaquim Borges Gouveia, “An Electric Energy Consumer Characterization Framework Based on Data Mining Techniques”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 20, NO. 2, MAY 2005 p.596-602
- [12] I.G.Malkina-Pykh & Y.A. Pykh, “Sustainable Energy: Resources, Technology and Planning” , WIT Press 2002 p.81
- [13] *IPMVP International Performance Measurement & Verification Protocol*, <http://www.ipmvp.org>
- [14] John C. Van Gorp, “Using key performance indicators to manage energy costs”, 2005, vol. 25, pp. 9-25, Strategic Planning for Energy and the Environment, Lilburn

- [15] Asia Pacific Energy Research Center- APERC (2000), “*Energy Efficiency Indicators – A Study of Energy Efficiency Indicators for Industry in APEC Economies*”, Institute of Energy Economics, Tokyo, Japan
- [16] A.Gort, “*Utility e-business @ Work White Plains*”, 1999 N.Y.: IBM Corporation
- [17] P.Seybold with Ronni T. Marshak 1998 “*Customers.com: How to Create a Profitable Business Strategy for the Internet and Beyond*”, New York, 1998, 320pp N.Y.: Times Business.
- [18] Carol A. Dahl, “*International Energy Markets*”, 2004 Penn Well Corporation p 423, 441
- [19] G. Piatetsky-Shapiro and W. J. Frawley, “*Knowledge Discovery in Databases*”, AAAI (American Association for Artificial Intelligence)/MIT Press, 1991.
- [20] Ming-Syan Chen, Jiawei Han, Philip S. Yu, “*Data Mining: An Overview from Database Perspective*”, IEEE Transactions on Knowledge and **Data** Engineering, Dec 1996 Vol.8 pp 866-883
- [21] U. Fayyad, R. Uthurusamy, “*Data Mining and Knowledge Discovery in Databases*”, Communication of the ACM, November 1996, Vol. 39, No. 11, pp. 24–26.
- [22] C. Bishop, “*Neural Networks for Pattern Recognition*”, New York: Oxford Univ. Press, 1995.
- [23] Cherkassky and F. Mulier, “*Learning From Data: Concepts, Theory, and Methods*”, New York: Wiley, 1998
- [24] E. Backer and A. Jain, “*A clustering performance measure based on fuzzy set decomposition*”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-3, no. 1, pp. 66–75, Jan. 1981
- [25] Brian S. Everitt, S. Landau, M. Leese, “*Cluster Analysis*”, London: Arnold Publishers 2001 p2-3
- [26] R.E Bonner, “*On some clustering techniques*”, International Business Machines Journal of Research and Development, 1964, p 22-32
- [27] R. M. Cormack, “*A review of classification*”, Journal of the Royal Statistical Society 1971, 134, 321-367.
- [28] A.D. Gordon, “*Classification*”, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 1999
- [29] J. B. MacQueen, “*Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations*”, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1:281-297
- [30] Hartigan J.A., Wong M.A, “*A K-Means Clustering Algorithm*”, 1979 Applied Statistics 28:100–108.
- [31] J. C. Dunn, “*A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters*”, 1973 *Journal of Cybernetics* 3: 32-57
- [32] J. C. Bezdek, “*Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*”, 1981 Plenum Press, New York
- [33] S. C. Johnson, “*Hierarchical Clustering Schemes*”, 1967 *Psychometrika*, 2:241-254

- [34] R. D'andrade, “*U-Statistic Hierarchical Clustering*”, 1978 *Psychometrika*, 4:58-67
- [35] A.P. Dempster, N.M. Laird, and D.B. Rubin, “*Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM algorithm*”, 1977 *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 39, 1:1-38
- [36] T. Kohonen., “*Self-Organisation and Associative Memory*”, 3rd Ed., Springer-Verlag, Berlin, 1989
- [37] Liu G.L., “*Introduction to Combinatorial Mathematics*”, McGraw Hill, New York 1968
- [38] Rui Xu, Student Member, IEEE and Donald Wunsch II, Fellow, IEEE : “*Survey of Clustering Algorithms*”, IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL. 16, NO. 3, MAY 2005 p.646
- [39] G. Chicco, R. Napoli, P.Postolache, M. Scutariu and C. Toader, “*Electric Energy Customer Characterization for Developing Dedicated Market Strategies*”, presented in IEEE 2001 Porto Power Tech Conference, 10-13th September Porto, Portugal
- [40] Χ.Φραγκόπουλος, Η. Καλυδογιάννης, Γ. Καραλής : «*ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ*», Εκδόσεις Ελληνικού Κέντρου Παραγωγικότητας, 1994
- [41] Ευρωπαϊκή Οδηγία για τη Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας :
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:052:0050:0060:EN:PDF>
- [42] Institute for Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics, “*Cogeneration (CHP) Technology Portrait*”, Graz University of Technology Vienna 2002
http://energytech.at/pdf/techportrait_kwk_en.pdf
- [43] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, (ΚΑΠΕ), Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «*Οδηγός Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*»,
http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp_1.pdf
- [44] Universite Catholique de Louvain, “*EDUCOGEN: An educational tool for Cogeneration*”, March 2001 Funded by the SAVE Program p.73
- [45] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, «*ΟΔΗΓΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ*», Έκδοση 1.0, 20.12.2007